

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Optimización en el consumo de shotcrete  
mejorando el control de flujo del agua en el subnivel  
274 de la Unidad Minera Ticlio**

Julio Cesar Martinez Mantilla  
Joel Jenry Huarcaya Canchari

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2023

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

**INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS**

**A** : Ing. Felipe Gutarra Meza  
Decano de la Facultad de Ingeniería

**DE** : Ing. Benjamín Manuel Ramos Aranda  
Asesor de tesis

**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

**FECHA** : 27 de setiembre del 2023

---

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "OPTIMIZACION EN EL CONSUMO DE SHOTCRETE MEJORANDO EL CONTROL DE FLUJO DEL AGUA EN EL SUB NIVEL 274 DE LA UNIDAD MINERA TICLIO", perteneciente a los estudiantes Huarcaya Canchari, Joel Jenry, y; Martinez Mantilla, Julio Cesar, de la E.A.P. de Ingeniería de Minas; se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 20 % de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores (Nº de palabras excluidas: 30) SI  NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que la tesis constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad.

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,



---

Asesor de tesis

## **DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD**

Yo, JULIO CESAR MARTINEZ MANTILLA, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 76805262, de la E.A.P. de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "OPTIMIZACION EN EL CONSUMO DE SHOTCRETE MEJORANDO EL CONTROL DE FLUJO DEL AGUA EN EL SUB NIVEL 274 DE LA UNIDAD MINERA TICLIO", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

30 de SETIEMBRE de 2023.



---

JULIO CESAR MARTINEZ MANTILLA

DNI. No. 76805262

## **DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD**

Yo, JOEL JENRY HUARCAYA CANCHARI, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 77666001, de la E.A.P. de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "OPTIMIZACION EN EL CONSUMO DE SHOTCRETE MEJORANDO EL CONTROL DE FLUJO DEL AGUA EN EL SUB NIVEL 274 DE LA UNIDAD MINERA TICLIO", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

30 de SETIEMBRE de 2023.



---

JOEL JENRY HUARCAYA CANCHARI

DNI. No. 77666001

# Optimización de shotcrete controlando el flujo de agua

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>20%</b>	<b>18%</b>	<b>0%</b>	<b>11%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>Submitted to Universidad Continental</b> Trabajo del estudiante	<b>7%</b>
<b>2</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>pt.scribd.com</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>4</b>	<b>zonaingenieria.wordpress.com</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>5</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>6</b>	<b>www.scribd.com</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>vsip.info</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>pdfcookie.com</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>9</b>	<b>repositorio.uncp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>

10 repositorio.unsaac.edu.pe <1 %  
Fuente de Internet

---

11 repositorio.unap.edu.pe <1 %  
Fuente de Internet

---

12 Linda Castañeda, Jordi Adell. "Beyond the tools: analysing personal and group learning environments in a university course / Más allá de la tecnología: análisis de los entornos de aprendizaje personales y grupales de estudiantes en una asignatura universitaria", Cultura y Educación, 2014 <1 %  
Publicación

---

---

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo

**Asesor**

**Ing. BENJAMÍN MANUEL RAMOS ARANDA**



## **Agradecimiento**

A Dios, por permitirnos seguir con vida y alcanzar nuestras metas, a nuestros padres, por el apoyo incondicional, por ser soporte desde el inicio de nuestras vidas; a nuestros maestros, por compartir sus conocimientos y experiencia.

## **Dedicatoria**

A nuestros padres, quienes nos acompañaron y nos dieron su apoyo incondicional, brindándonos todo lo necesario para que esto sea posible; a nuestros docentes de la universidad, por su compromiso en la enseñanza desde un inicio de nuestra vida universitaria.

# Índice

Asesor.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Índice.....	v
Índice de Figuras.....	viii
Índice de Tablas.....	x
Resumen.....	xi
Abstract.....	xii
Introducción.....	xiii
<b>Capítulo I.....</b>	<b>14</b>
<b>Planteamiento y Formulación del Problema.....</b>	<b>14</b>
1.1. Planteamiento del Problema.....	14
1.2. Formulación del Problema.....	15
1.2.1. Problema General.....	15
1.2.2. Problemas Específicos.....	15
1.3. Objetivos.....	15
1.3.1. Objetivo General.....	15
1.3.2. Objetivos Específicos.....	15
1.4. Justificación e Importancia.....	16
1.5. Hipótesis de la Investigación.....	16
1.5.1. Hipótesis General.....	16
1.5.2. Hipótesis Específicas.....	16
1.6. Identificación de Variables.....	16
1.6.1. Matriz de Operacionalización de Variables.....	17
<b>Capítulo II.....</b>	<b>18</b>
<b>Marco Teórico.....</b>	<b>18</b>
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	18
2.2. Descripción de la Unidad Minera Ticlio.....	22
2.2.1. Ubicación y las Accesibilidades.....	22
2.2.2. Geología del Depósito.....	23
2.2.3. Geología Estructural.....	24
2.2.3.1. Estructura a Escala de Mina.....	24
2.2.4. Descripción Geomecánica.....	26
2.2.4.1. Dominios Geotécnicos.....	27
2.2.4.2. Resistencia de la Roca Intacta.....	31

2.2.4.3. Propiedades de Macizo Rocosos .....	32
2.2.4.4. Calidades de Roca .....	33
2.2.5. Método de Minado .....	34
2.2.5.1. Método de Explotación Corte y Relleno Ascendente (over cut and fill) ..	34
2.3. Bases Teóricas .....	38
2.3.1. Sistema de Sostenimiento .....	38
2.3.1.1. Diseño de Sostenimiento .....	38
2.3.1.2. Consideraciones Geotécnicas .....	38
2.3.2. Shotcrete o Concreto Lanzado .....	39
2.3.3. Shotcrete en Roca Débil .....	39
2.3.4. Aplicación de Shotcrete en Roca Débil .....	40
2.3.4.1. Elementos Utilizados para el Shotcrete .....	41
2.3.4.2. Métodos de Refuerzos de Hormigón Proyectado .....	43
2.3.4.3. Diseño de Mezcla para el Hormigón Proyectado .....	44
2.3.5. Hidrogeología .....	45
2.3.5.1. Aguas Subterráneas .....	45
2.3.5.2. Características Geológicas de los Acuíferos .....	46
2.3.5.3. Propiedades de las Aguas Subterráneas .....	47
2.3.5.4. Dinámica de las Aguas Subterráneas .....	48
2.3.5.5. Propiedades Hidrogeológicas .....	49
2.4. Definición de Términos Básicos .....	49
<b>Capítulo III .....</b>	<b>51</b>
<b>Metodología .....</b>	<b>51</b>
3.1. Método y Alcance de la Investigación .....	51
3.1.1. Método de la Investigación .....	51
3.1.2. Alcance de la Investigación .....	51
3.2. Diseño de la Investigación .....	52
3.3. Población y Muestra .....	52
3.3.1. Población .....	52
3.3.2. Muestra .....	52
3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos .....	52
3.4.1. Técnicas Utilizadas en la Recolección de Datos .....	52
3.4.2. Instrumentos Utilizados en la Recolección de Datos .....	52
<b>Capítulo IV .....</b>	<b>53</b>
<b>Resultados y Discusión .....</b>	<b>53</b>
4.1. Condición Geomecánica .....	53
4.1.1. Caracterización Geomecánica del SN_274 .....	53

4.1.2. Análisis de la Clasificación con el uso de la Cartilla.....	55
4.1.3. Determinar el tipo del Sostenimiento para el SN_274.....	58
4.2. Condición Hidrogeológica .....	59
4.2.1. Monitoreo de Filtración del Interior de Mina, Zona Oeste .....	61
4.2.2. Variación del Caudal (l/s) .....	63
4.2.3. Diseño de Taladros de Drenaje .....	65
4.3. Aplicación del Sostenimiento (Shotcrete) en el SN_274 .....	66
4.4. Calculo de Costos y Consumo de Shotcrete.....	69
4.4.1. Cálculo del Consumo de Shotcrete .....	70
4.4.2. Costos de Lanzado de Shotcrete por m <sup>3</sup> .....	72
<b>Conclusiones .....</b>	<b>74</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>76</b>
<b>Lista de Referencias .....</b>	<b>77</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>79</b>

## Índice de Figuras

Figura 1. Localización U. P. Ticlio.....	23
Figura 2. Modelo estructural a escala de mina.....	25
Figura 3. Estereograma – caliza.....	25
Figura 4. Estereograma – diorita.....	26
Figura 5. Plano geotécnico.....	27
Figura 6. Distribución de valores de RMR – mineral en caliza.....	27
Figura 7. Distribución de valores de RMR – caliza.....	28
Figura 8. Distribución de valores de RMR – mineral en diorita (mapeo de galerías).....	29
Figura 9. Distribución de valores de RMR – mineral en diorita (logueo de sondajes).....	29
Figura 10. Distribución de valores de RMR – diorita (mapeo de galerías).....	30
Figura 11. Distribución de valores de RMR – diorita (logueo de sondajes).....	30
Figura 12. Correlación entre GSI y RMR.....	33
Figura 13. Dominios geotécnicos.....	34
Figura 14. Flujo de explotación del método corte y relleno.....	35
Figura 15. Vista isométrica del método corte y relleno.....	36
Figura 16. Vista longitudinal de las labores.....	36
Figura 17. Vista de planta, corte y relleno ascendente.....	37
Figura 18. Vista de perfil, corte relleno ascendente.....	37
Figura 19. Secuencia de minado.....	37
Figura 20. Plan de sostenimiento.....	38
Figura 21. Comportamiento sometido a esfuerzos.....	39
Figura 22. Capa inicial de shotcrete.....	40
Figura 23. Instalación de mallas y pernos swellex.....	41
Figura 24. Tipos de acuíferos.....	46
Figura 25. Nivel freático regional: A. bajo una montaña, B. bajo una isla.....	49
Figura 26. Valores para la RCU.....	55
Figura 27. Valores para el RQD.....	56
Figura 28. Valores para el espaciado.....	56
Figura 29. Diseño de sostenimiento en labores mineras subterráneas SPM.....	59
Figura 30. Comportamiento hidrogeológico conforme se profundiza la mina.....	60
Figura 31. Esquema de método de explotación.....	60
Figura 32. Impacto de drenaje en la calidad del macizo rocoso.....	61
Figura 33. Puntos de monitoreo y de taladros de drenaje del nivel 13 AC_274.....	63
Figura 34. Variación del caudal (l/s) del nivel 13, especificando las labores de avance.....	64
Figura 35. Mapeo de la filtración del agua de enero del 2022.....	64

Figura 36. Mapeo de filtración de agua mayo 2022 .....	64
Figura 37. Plano de diseño de taladros de drenaje .....	65
Figura 38. Taladros de drenaje ubicados en el hastial .....	66
Figura 39. Pruebas de slump en interior de la mina con el cono Abrams .....	67
Figura 40. Medición de slump antes del lanzado .....	67
Figura 41. Medición de la temperatura del concreto .....	67
Figura 42. Pruebas de resistencia temprana .....	68
Figura 43. Lanzado de shotcrete para controlar la labor SN_274 .....	69
Figura 44. Dimensiones para el cálculo de cubicación de shotcrete .....	69
Figura 45. Reporte de cubicación de shotcrete .....	70
Figura 46. Gráfico de consumo de shotcrete .....	72

## Índice de Tablas

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables.....	17
Tabla 2. Indicadores de calidad de macizo rocoso.....	31
Tabla 3. Numero de ensayo de laboratorio válidos.....	31
Tabla 4. Propiedades físicas, mecánicas y elásticas de roca intacta .....	32
Tabla 5. Propiedades geotécnicas de macizo rocoso .....	32
Tabla 6. Proporciones típicas a cemento para hormigón proyectado.....	43
Tabla 7. Diseño de mezcla del shotcrete.....	45
Tabla 8. Resultados del mapeo en campo antes de realizar los taladros de drenaje .....	53
Tabla 9. Valoración según el RMR antes de realizar la disminución del flujo del agua .....	54
Tabla 10. Resultados del mapeo en campo después de realizar los taladros de drenaje.....	54
Tabla 11. Valoración según el RMR después de realizar taladros de drenaje .....	55
Tabla 12. Mapeo geomecánico con el uso de la cartilla .....	57
Tabla 13. ESR de Bartón .....	58
Tabla 14. Resumen del monitoreo hidrogeológico del nivel 12 y 13 .....	62
Tabla 15. Dosificación de shotcrete.....	66
Tabla 16. Medición de la resistencia temprana de shotcrete a las 2 horas.....	68
Tabla 17. Consumo de shotcrete en m <sup>3</sup> periodo 2021 y 2022.....	71
Tabla 18. Costos de Shotcrete 2021 .....	72
Tabla 19. Costos de Shotcrete 2022.....	73



## Resumen

La minería, hoy en día, considera muchas soluciones frente a las problemáticas en la operación, ya que para extraer el mineral se tiene que abrir labores con condiciones desfavorables; es en ese momento que se emplean estudios según la condición de la mina, es el caso de la unidad minera Ticlio que cuenta con una zona con una alta filtración de agua en sus labores, esto por consiguiente, afecta la condición geomecánica.

Teniendo en cuenta el estudio y un análisis geomecánico e hidrogeológico de la mina, que da como resultado un RMR que varía de 30 – 40 en las labores como sus ramas principales, cámaras, *by pass*, accesos, con una calidad de roca regular a mala de tipo III; mientras que en los subniveles y tajos se tiene un RMR que varía de 20 a 30, considerada roca de mala calidad de tipo IV B.

Lo que se quiere lograr es mejorar las condiciones de las labores, ya que se trata de uno de los trabajos considerados de alto riesgo, que implica un riesgo constante para el colaborador y para los equipos; en este panorama y teniendo en cuenta el caudal (l/s) de la zona Este emplazada en roca caliza, es drenar el agua de las labores más aun de labores con un RMR de 20 – 30, para de esta manera, antes de entrar a los subniveles, hacer que las condiciones geomecánicas mejoren, haciendo también que las operaciones no se perjudiquen ni se paralicen por posibles realces y colapsos del frente.

Otra de las consideraciones de esta investigación es no solo mejorar condiciones geomecánicas de la labor, sino también mejorar en el ahorro excesivo de *shotcrete* que inicialmente se tenía un consumo promedio mensual de 1500 m<sup>3</sup> y el 52 % del consumo total era empleado en los subniveles, esto debido a la presencia de agua; debido a que al momento de realizar el lanzamiento de *shotcrete*, este se desprendía del frente haciendo que para controlar la labor se empleara más *shotcrete* con respecto al cálculo de m<sup>3</sup> con las dimensiones de la labor.

Con la aplicación de los taladros de drenaje, las condiciones mejoraron y el consumo de *shotcrete* también se redujo en un 20 %, aproximadamente, siendo este el objetivo principal de este estudio.

**Palabras claves:** condición geomecánica, consumo de *shotcrete*, taladros de drenaje

## Abstract

Mining today, considers many solutions to the problems in the operation, since to extract the mineral must open work with unfavorable conditions; it is at that time that studies are used according to the condition of the mine, is the case of the Ticlio mining company that has an area with a high filtration of water in its works, this therefore affects geomechanical condition.

Taking into account the study and a geomechanical and hydrogeological analysis of the mine, which results in an RMR that varies from 30 to 40 in the works as main branches, chambers, bypass, accesses, with a quality of regular too bad rock of type III; whereas in sub-levels and slices there is an RMR that varies from 20 to 30 considered poor quality rock type IV B.

What we want to achieve is to improve the conditions of the work, since it is one of the jobs considered high risk, which implies a constant risk for the collaborator and for the teams; in this panorama and taking into account in flow (l/s) of the area East located in limestone, is to drain the water of the labors more even of labors with an RMR of 20-30, in this way before entering to the sub-levels the geomechanical conditions improve, also making that the operations are not damaged or paralyzed by possible realizations and collapses of the front.

Another of the considerations of this project is not only to improve geomechanical conditions of the work, but also to improve in the excessive savings of shotcrete that initially had a monthly consumption of 1500 m<sup>3</sup> and 52% of the total consumption was used in the sub-levels, this due to the presence of water; because at the time of the launch of shotcrete, this was detached from the front making that to control the work was used more shotcrete with respect to the calculation of m<sup>3</sup> of shotcrete with the dimensions of the work.

With the application of drainage drills the conditions improved and the consumption of *shotcrete* was also reduced by about 20%, which was the main objective of this project.

**Keywords:** drainage drills, geomechanical condition, shotcrete consumption

## Introducción

La geomecánica en la actualidad es considerada una de las áreas que interviene en todas las etapas del desarrollo de la mina, es por eso que los estudios son más detallados e implica mucho análisis; para las condiciones de la mina Ticlio uno de los problemas no solo es una roca de mala calidad, sino también la presencia de agua en todas sus labores que dificultan el proceso de la operación y cumplimiento, para esto el área de Geomecánica plantea soluciones mediante estudios y análisis continuos.

Esta tesis titulada «Optimización en el consumo de *shotcrete* mejorando el control de flujo del agua en el subnivel 274 de la unidad minera Ticlio», plantea que se requiere drenar el agua de las labores de la zona Oeste, para así mejorar las condiciones.

Por ello, en el Capítulo I, el problema general es la optimización del consumo de *shotcrete* controlando el flujo de agua del subnivel 274 del nivel 13, que será de mucha importancia para la seguridad y el avance de la producción.

En el Capítulo II se detalla un panorama general de la mina Ticlio, en donde se establece un marco teórico, tomando en cuenta algunos antecedentes que son de apoyo para la elaboración del proyecto; introduciendo las bases teóricas del estudio geomecánico, estudio hidrogeológico, aplicación del sostenimiento como soporte detallando la aplicación del *shotcrete*.

En el Capítulo III, la metodología general establecida es de estudio y de análisis geomecánico e hidrogeológico para luego aplicarlo, frente a las condiciones de la mina, desde ese punto se define una población y la muestra, con tomas de información y recolección de datos en campo.

En el Capítulo IV se desarrollan los resultados y la discusión, donde se detallan los estudios y los cálculos obtenidos en campo y demostrándolo de forma detallada para dar solución al problema establecido en el Capítulo I.

## **Capítulo I**

### **Planteamiento y Formulación del Problema**

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

A nivel mundial, el hormigón proyectado por vía húmeda es un método utilizado en la minería para la extracción de carbón, oro y otros minerales del subsuelo, el hormigón proyectado es un tipo de hormigón que se rocía sobre las superficies, normalmente para sellarlas e impermeabilizarlas.

El hormigón proyectado se puede aplicar desde una boquilla, el hormigón proyectado se ha utilizado durante siglos, pero se ha vuelto más popular en los últimos años porque es más barato y fácil de aplicar que otros tipos de hormigón, también tiene la capacidad de moldearse en formas que no son posibles con otros tipos de hormigón.

En los últimos años, en la minería se utiliza más para el sostenimiento de labores mineras como frentes de avance, galería, niveles, entre otros, a este se le añadieron un valor agregado como los pernos de anclaje y malla electrosoldada, con esto ayudará a mejorar el sostenimiento de las labores mineras.

En la unidad minera Ticlio de la compañía minera Volcán S. A. A. como en las demás unidades de la compañía, el consumo del *shotcrete* es un problema que afecta de forma directa a los costos operativos por el precio unitario de aplicación, es por lo que se busca minimizar el consumo del *shotcrete*, cumpliendo con la calidad del sostenimiento, en los subniveles (ingresando a la zona mineralizada) se tienen problemas en el consumo excesivo de *shotcrete*, ya que esta zona con roca caliza cuenta con un macizo rocoso de mala calidad, otro de los problemas que hace que el RMR sea entre 20 a 30, es la presencia de agua en gran cantidad; lo

que se plantea para mejorar esta condición es drenar el agua antes de ingresar a los subniveles en donde se tendrá mayor problema por ingresar a zonas de mineralización.

## **1.2. Formulación del Problema**

### **1.2.1. Problema General**

¿De qué manera se optimizará el consumo de *shotcrete* si se mejora el control del flujo del agua del subnivel 274 del nivel 13 de la unidad minera Ticlio?

### **1.2.2. Problemas Específicos**

- ¿Cuál es la influencia en las mejoras del control del flujo del agua para aumentar el avance en la producción frente al consumo del *shotcrete* del subnivel 274 de la unidad minera Ticlio?
  
- ¿Cómo se realizará la reducción de la presencia de agua en las labores para mejorar y determinar el sostenimiento adecuado del subnivel 274 de la unidad minera Ticlio?
  
- ¿Cómo se optimizarán los costos unitarios del lanzado de *shotcrete* con respecto a las mejoras del control del flujo de agua del subnivel 274 de la unidad minera Ticlio?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo General**

Optimizar el consumo de *shotcrete* mejorando el control de flujo de agua del subnivel 274 del nivel 13 de la unidad minera Ticlio.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Mejorar el control del flujo de agua para aumentar los avances en la producción frente al consumo del *shotcrete* del subnivel 274 de la unidad minera Ticlio.
  
- Realizar la reducción de la presencia de agua en las labores para mejorar y determinar el sostenimiento del subnivel 274 de la unidad minera Ticlio.
  
- Optimizar los costos unitarios del lanzado de *shotcrete* con respecto a las mejoras del control de flujo de agua del subnivel 274 de la unidad minera Ticlio.

#### **1.4. Justificación e Importancia**

En la unidad minera Ticlio de la compañía minera Volcan S. A. A. en los subniveles de la veta Ramal techo, específicamente en el SN\_274 del nivel 13, de la zona Oeste, donde la presencia del agua hace que las labores sean inestables, esto se suma a un caudal y presión de agua de las labores que dificultan que el sostenimiento que se aplica en este caso *shotcrete* tenga problemas; frente a lo que sucede se viene teniendo deficiencias en el avance y la producción de mineral, ya que no se realizan análisis adecuados o estudios de la geomecánica e hidrología para poder drenar el agua.

Se tiene una deficiencia en el control del espesor, ya que se tiene un estándar de 2 pulgadas, pero no se cumple, todas estas deficiencias aumentan el costo de sostenimiento con *shotcrete*. Que es muy perjudicial para la empresa, lo que se busca es mejorar las deficiencias para poder optimizar el sostenimiento con *shotcrete* y así reducir el costo unitario de sostenimiento del SN\_274.

#### **1.5. Hipótesis de la Investigación**

##### **1.5.1. Hipótesis General**

La optimización en el consumo de *shotcrete* será factible si se mejora el control de flujo del agua del subnivel 274 del nivel 13 de la unidad minera Ticlio.

##### **1.5.2. Hipótesis Específicas**

- Las mejoras del control de flujo del agua influirán en aumentar el avance de la producción frente al consumo de *shotcrete* del subnivel 274 de la unidad minera Ticlio.
- La reducción de la presencia del agua en las labores mejorará la condición geomecánica, lo que determinará el sostenimiento adecuado con respecto al valor del RMR del subnivel 274 de la unidad minera Ticlio.
- La optimización de los costos unitarios del lanzamiento de *shotcrete* será factible si mejora el control de flujo de agua del subnivel 274 de la unidad minera Ticlio.

#### **1.6. Identificación de Variables**

Para este trabajo de investigación se tienen las variables independientes y dependientes, los cuales se presentan a continuación.

### A) Variable Independiente

Optimización en el consumo de *shotcrete*

### B) Variable Dependiente

Mejorar el control de flujo del agua en el SN\_274

#### 1.6.1. Matriz de Operacionalización de Variables

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores
<b>Variable Independiente.</b> Consumo de <i>shotcrete</i>	<p>Es la optimización de cada etapa de elaboración de <i>shotcrete</i> y su aplicación en el sostenimiento de labores principales y labores temporales, que dependerá de una buena calidad del <i>shotcrete</i>.</p> <p>Analizando actividades operativas tanto del personal y equipo para un mejor desempeño en cada etapa que en suma genera pérdidas considerables en material desperdiciado como inestabilidad de labores perjudiciales en seguridad para los trabajadores de la unidad minera.</p>	Análisis en el consumo de <i>shotcrete</i> vía húmeda	<ul style="list-style-type: none"><li>• Control del consumo por m<sup>3</sup>/m</li><li>• Control de calidad de <i>shotcrete</i></li><li>• Tiempo de transporte y lanzado</li></ul>
<b>Variable Dependiente.</b> Control de flujo de agua	<p>La minería generalmente se enfoca en rocas ígneas cristalinas asociadas con rocas calcáreas o clásticas que producen aguas subterráneas, así como otros tipos de rocas que restringen o controlan la migración del agua, lo que complica la extracción de minerales en diversos grados. En una labor minera la presencia de agua es un factor que perjudica en gran manera a los avances y la producción, ya que el caudal es superior a la capacidad de bombeo, sumado a esto está la presión que según la recomendación de sostenimiento se tiene que lanzar <i>shotcrete</i>, siendo este que no se puede adherir y se tenga pérdidas en el sostenimiento.</p>	Evaluación y análisis del flujo de agua	<ul style="list-style-type: none"><li>• Caudal</li><li>• Presión</li><li>• Nivel freático</li></ul>

## **Capítulo II**

### **Marco Teórico**

#### **2.1. Antecedentes de la Investigación**

Vargas (1), en su tesis «Optimización del sostenimiento con *shotcrete* usando desmonte zarandeado como agregado, en la construcción de la rampa principal – MARSА», aporta una metodología experimental apropiada para la instalación de pernos helicoidales de 8 pies, malla electrosoldada no galvanizada y el lanzamiento de *shotcrete* vía húmeda. Además, la metodología tiene los siguientes pasos:

Esta tesis calcula el porcentaje de agregado (residuo agitado) y finos de la mezcla que se utiliza en el lanzamiento de *shotcrete* húmedo, para el apoyo de la rampa Patrick III, trabajo de desarrollo en minería subterránea (1).

- Para este estudio se crea y describe una operación minera en el norte del país. Esta operación está prevista para 80 metros lineales de avance por mes, para lo cual es urgente utilizar un soporte adecuado; la rampa es un acceso principal. Con esta información se realiza un estudio económico del soporte para poder corroborar que es económicamente viable y al mismo tiempo cumple con los parámetros que se requieren para el uso de dicha rampa como acceso principal (1).
- En toda operación minera la sustentabilidad es crítica, con mucha más razón en este proyecto, ya que es en su fase III, donde las presiones son intensas, a todo esto se suma la presencia de fallas que inevitablemente hay que atravesar en la construcción de la rampa (1).



- La correcta construcción de esta rampa garantizará que los objetivos se cumplan durante toda la vida de la mina. Teniendo una planificación minera enfocada al desarrollo de la mina, se pueden realizar cálculos de acuerdo con el potencial de reservas y mineral que se espera extraer por año, para estos procesos es necesario cumplir con el 100 % de avance de la obra en desarrollo. para asegurar un funcionamiento razonable de la mina. Por tanto, tener un agarre adecuado es que se pueda obtener un avance planificado y cumplir con lo programado, se obtiene mediante el uso de parámetros como control de tiempos de colada del hormigón proyectado (m<sup>3</sup>), porcentaje de rebote, huecos perimetrales de la rampa y sobre rotura (1).

Camarena (2) en su tesis «Optimización del sostenimiento con shotcrete vía húmeda con fines de minimizar costos y mejorar la producción de lanzado de la E. E. Robocon S. A. C. en la mina San Cristóbal Cía. Minera Volcan S. A. A.», aporta una metodología experimental apropiada para el control y la minimización en gran medida del porcentaje de rebote de fibras en el lanzado de *shotcrete* mediante la aplicación correcta de las técnicas de proyección de lanzado y el uso exclusivo de un diseño de mezcla, reduciendo así costos en la operación por m<sup>3</sup> de *shotcrete* (2).

- Se mejoró la exposición de la ayuda con hormigón proyectado húmedo, así como la calidad, vida útil y obstrucción del material adherido a la roca, aplicando una medición óptima de insumos de hormigón proyectado en la interacción de preparación y plan de mezcla (2).
- Se redujo la presencia de los 3 ciclos de proyección de hormigón proyectado desviados en la actividad y se logró la capacidad de bombeo ideal con el engranaje Alpha 20 en cada frente de proyección debido a la preparación constante en cuestiones de utilización, interacción y estrategias de proyección a los administradores (2).
- La mejora incesante de la red de apoyo emocional con hormigón proyectado húmedo es el efecto secundario de trabajar con límites de ejecución de élite, por ejemplo, tensión y corriente de viento satisfactorias, con respecto al tipo de paisaje y las pautas de tamaño de los pozos, para garantizar la consistencia y la competencia de un despacho de hormigón proyectado decente (2).
- El aislamiento subyacente de las contribuciones al proceso de agrupación sustancial fue una de las partes principales del control de valor en la actividad de este marco. Este

aislamiento se logró trabajando con *droop* 0, con un rebote de menos del 10 % y con una proporción de agua / concreto = 1.8 (2).

Bravo (3) en su tesis «Propuesta de mejoramiento en el sistema de sostenimiento mediante *shotcrete* vía húmeda en sección Cuerpos zona alta – compañía minera Casapalca – Huarochirí – Lima», aporta una metodología experimental apropiada para determinar que para labores permanentes el sostenimiento por *shotcrete* vía húmeda será el más apto de aplicar debido a que se obtendrá una mayor calidad en cuanto a resistencia mecánica con 400 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, lo que representa una cifra elevada para el planteo necesario de 210 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, a su vez, se obtiene un mejor rendimiento de los elementos componentes de la mezcla de *shotcrete* debido a que se obtendrá un rebote menor en 26.5 %. Además, la metodología tiene los siguientes pasos:

- El diseño de *shotcrete* vía húmeda permitirá una mejor aplicación de la mezcla planteada, en roca mala a regular de RMR de 0 a 60, para labores permanentes en la sección Cuerpos Cía. minera Casapalca, teniendo un proceso bastante dinámico debido al uso de equipo robotizado SPM 4210 WETKRET, a su vez se elevó el lanzado de metros cúbicos de *shotcrete* en gran medida debido al uso de la planta dosificadora de mezcla CIFAMOOVE 30 y el equipo de transporte mediante MIXKRET 4, obteniéndose mayor versatilidad, ya que la movilidad de los equipos es independiente, no requiriendo de equipo adicional para su traslado, demostrando así ser más eficiente y de mayor beneficio para el sostenimiento de labores subterráneas en la sección Cuerpos zona alta – Cía. minera Casapalca (3).
- Del diseño de *shotcrete* propuesto, para un espesor de 2 pulgadas según la estructura de precio unitario se obtendrá un incremento en el beneficio de S/ 1308 por guardia (3).
- El diseño de lanzado vía húmeda ofrece un mejor ambiente laboral para el personal ubicado en la labor con mínimas cantidades de polvo en suspensión y mayor visibilidad del entorno de trabajo, siendo este también más seguro, ya que el personal en la zona de sostenimiento se encontrará a una distancia de 4 a 10 metros de la zona de lanzado (3).

Rojas (4) en la tesis «Diseño de *shotcrete* vía húmeda para construir el sostenimiento de rampa principal aplicando la norma ACI 506, mina Alpayana, Lima, 2021», el objetivo fue aportar una metodología experimental apropiada para diseñar el *shotcrete* vía húmeda para

construir el sostenimiento de la rampa principal en la mina Alpayana, Lima, 2021. Además, la metodología tiene las siguientes características:

- Los ensayos físicos de los agregados para el diseño de mezcla del *shotcrete* vía húmeda en la construcción del sostenimiento de la rampa principal en la mina Alpayana, Lima, 2021, concluyen que mediante la norma ASTM la curva granulométrica que se encuentra dentro de las especificaciones mínimas y máximas de la gradación 2 con un módulo de fineza con un promedio de 3,84 % dentro del límite que es 4 %, ensayo de malla #200 con un promedio de 3,95 % dentro del límite que es 5 % a la vez libre de partículas contaminantes, gravedad específica de 2,65 g/cm<sup>3</sup> con una absorción de 1,95 % y un contenido de humedad con un promedio de 6,74 %, es aceptable para este diseño (4).
- Respecto a la resistencia inicial del *shotcrete* vía húmeda para construir el sostenimiento de la rampa principal en la mina Alpayana, Lima, 2021, se concluyó que las resistencias de compresión del *shotcrete* vía húmeda mediante la norma EN 14488-2 con el método penetrómetro la resistencia inicial es de 9,3 kg/cm<sup>2</sup> en 1 hora y con el método del martillo *hilti* la resistencia temprana es de 36 kg/cm<sup>2</sup> en 2 horas, lo cual es óptimo para construir el sostenimiento en la rampa principal del nivel 21 (4).
- Respecto al *shotcrete* vía húmeda para construir el sostenimiento de la rampa principal en la mina Alpayana Lima 2021, se concluyó que aplicando correctamente el lanzado de *shotcrete* vía húmeda a la rampa principal del nivel 21 y cumpliendo correctamente las técnicas y procedimientos con el personal calificado de dicha operación, se obtuvo un rebote bajo de 5,19 %, trabajando con una presión de aire de 3 bar (4).

Tapia (5) en la tesis «Diseño y aplicación del *shotcrete* vía húmeda como elemento de sostenimiento en labores mineras – Inpecon SAC – mina Chipmo Cía. minera Buenaventura, unidad Orcopampa», el objetivo fue aportar una metodología experimental apropiada para diseñar y aplicar correctamente el *shotcrete* vía húmeda en la mina Chipmo y optimizar el sostenimiento, logrando así beneficios económicos a la Cía. minera Buenaventura, unidad Orcopampa.

Además, la metodología tiene las siguientes características (5):

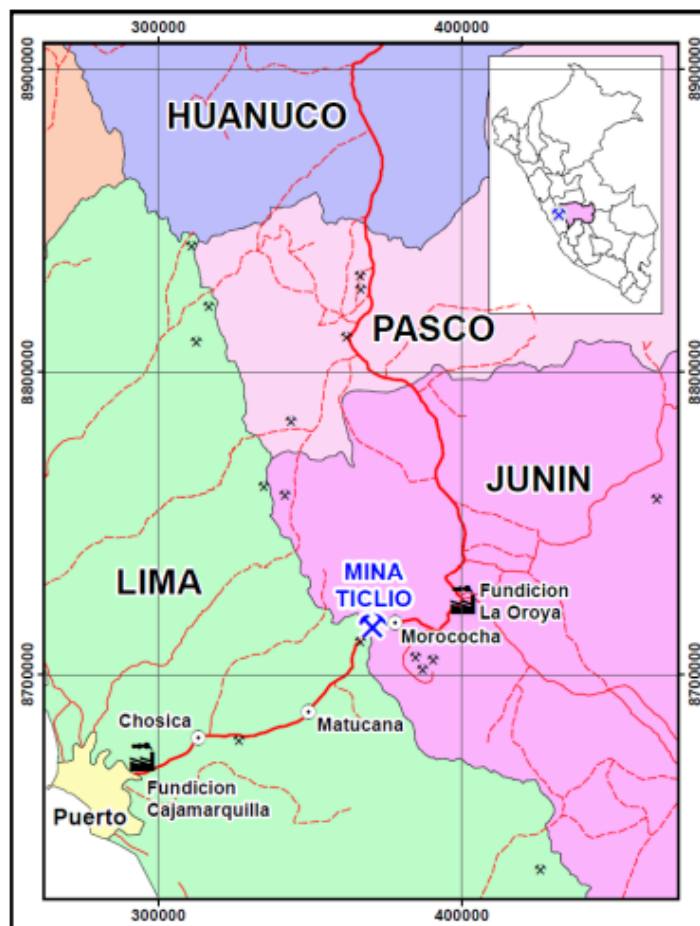
- Se realizó el diseño de mezcla de *shotcrete* con 9 bolsas de cemento, que cumple con lo requerido por la unidad minera ( $F'_{C} = 210 \text{ kg/cm}^2$ ). Logrando obtener una resistencia a la compresión promedio de 223.06 kg/cm<sup>2</sup> (5).

- El diseño de *shotcrete* propuesto con 9 bolsas de cemento permite un ahorro para la empresa Cía. Buenaventura, según al espesor de lanzado de *shotcrete* (2, 3, 4, y 5 pulgadas). Un promedio de S/ 3.68 por m<sup>2</sup> (5).
- El diseño de *shotcrete* propuesto con 9 bolsas de cemento y con un rendimiento de 16 m<sup>3</sup>/guardia en la estructura del precio unitario, permite un incremento para la empresa Inpecon SAC según al espesor de lanzado de *shotcrete* (2, 3, 4, y 5 pulgadas). Un promedio de S/ 31.55 por m<sup>2</sup> (5).
- La evaluación del macizo rocoso de la mina Chipmo, cuenta con dos zonas, Prometida y Nazareno, donde la zona alta de Prometida se caracteriza por el tipo de roca IIIA a IIIB y la zona de profundización de Prometida se caracteriza por roca IVA a IVB con presencia de filtración de aguas acidas. La zona alta de Nazareno se caracteriza por el tipo de roca IIIB a IVA y la zona de profundización IVA a IVB (5).

## **2.2. Descripción de la Unidad Minera Ticlio**

### **2.2.1. Ubicación y las Accesibilidades**

La mina Ticlio está ubicada en la región central del Perú, perteneciente al distrito de Chicla de la provincia de Lima y al distrito de Morococha de la provincia de Junín. La ubicación geográfica es excelente, ubicada en la zona minera de Marruecos, con plena infraestructura como carreteras, energía, ferrocarriles, fundición, comunicaciones y materiales. La altitud es de 4600 a 5000 metros y se encuentra a 130 kilómetros del casco urbano. Ubicado en la región Lima, a 40 kilómetros de la ciudad de La Oroya, conectada por carreteras pavimentadas y vías férreas (figura 1).



*Figura 1. Localización U. P. Ticlio  
Tomada de U. P. Ticlio, área de Ingeniería y planeamiento – Compañía minera Volcan S.  
A. A.*

### 2.2.2. Geología del Depósito

Localmente, el área está dividida en dos zonas Este y Oeste: La zona Este presenta una litología compuesta por diorita anticlinal, de textura porfírica, con una matriz compuesta de plagioclasas, cuarzo y óxidos; los fenocristales consisten en plagioclasas, biotita y hornblenda. Presenta alteración cercana a las zonas de mineralización. La zona Oeste está constituida por calizas perteneciente a la formación Jumasha compuesta por capas medias a gruesas de calizas, calizas dolomíticas, dolomitas de coloración gris claro a blanquecino y gris amarillento.

La geología estructural en el área de Ticlio parece ser el resultado de las fuerzas compresivas e intrusivas que dieron lugar a la formación del domo de Yauli. La continuación de las fuerzas de compresión durante el plegamiento incaico dio lugar a la formación de fallas de cizalla de rumbo NW-SE. La combinación de las fuerzas de compresión y la penetración del intrusivo Morococha produjeron un levantamiento y arqueamiento del anticlinal; esto produjo fracturas de tensión perpendiculares al eje del

anticlinal; estas fracturas de tensión también son observadas en Ticlio y en ellas están alojadas las principales estructuras mineralizadas.

Los cambios en el área de estudio se deben a dos tipos de eventos: los relacionados con la intrusión y la alteración hidrotermal. El grado y extensión del primer fenómeno varía con la naturaleza de la roca huésped y el tamaño de la intrusión. Las intrusiones terciarias que ocurren en la parte noroeste del domo Morococha comúnmente intruyen los carbonatos de las formaciones Pucará, grupo Goyllarisquizga, grupo Machay y Casapalca.

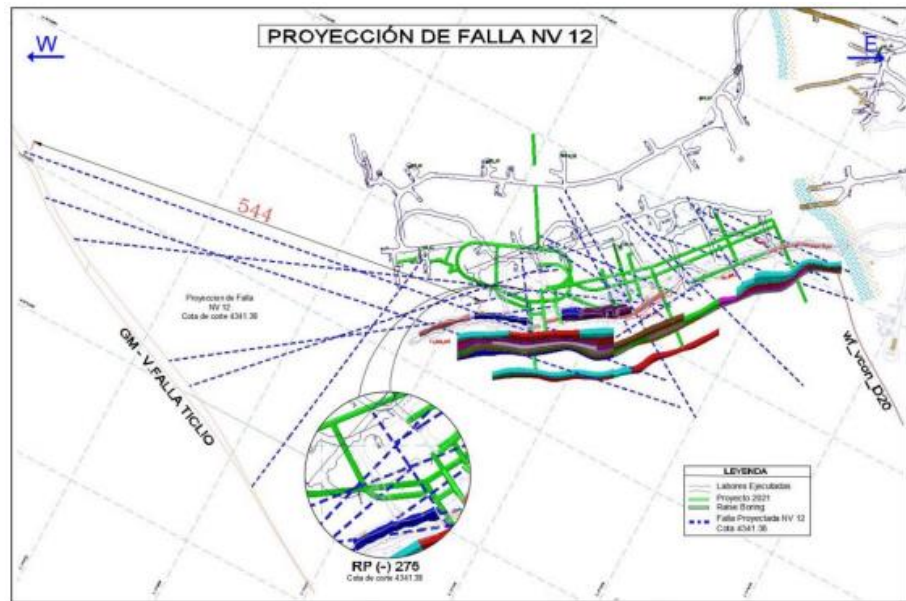
La alteración carbonatada es muy variable, desde marmoleado hasta débil escarnización, y la aureola varía desde unos pocos metros hasta decenas de metros; el desarrollo del *skarn* se caracteriza por la aparición de epidota, clorita y la cantidad relativa de granate y magnetita en menor medida; la alteración no produjo mineralización de los metales comunes y es un exosilicato seco; los afloramientos más grandes se encuentran en el lado norte y noreste del monte Meigs, cerca de la antigua mina Ticlio. Entre las rocas intrusivas predomina la alteración moderada de cianopanita para formar clorita, epidota y pirita; también se observan diversos grados de modificación y silicificación relacionados con la mineralización.

En el pórfido de Ticlio se han observado vetas que contienen alteración potásica de feldespato-magnetita-cuarzo, que generalmente ocurre como parte de la alteración potásica en sistemas tipo pórfido de cobre.

### **2.2.3. Geología Estructural**

#### **2.2.3.1. Estructura a Escala de Mina**

A escala regional se tiene la falla Ticlio, que está en una orientación de NW, esta falla se encuentra ubicada a 80 m al oeste de la zona de operación. Se tiene fallas de orientación EW con buzamiento al S, conceptualmente estas fallas llegan a interceptar con la falla Ticlio. Así mismo, se tienen fallas de orientación NW con buzamiento al W. En la figura 2 se muestran las fallas principales proyectadas al nivel 12.

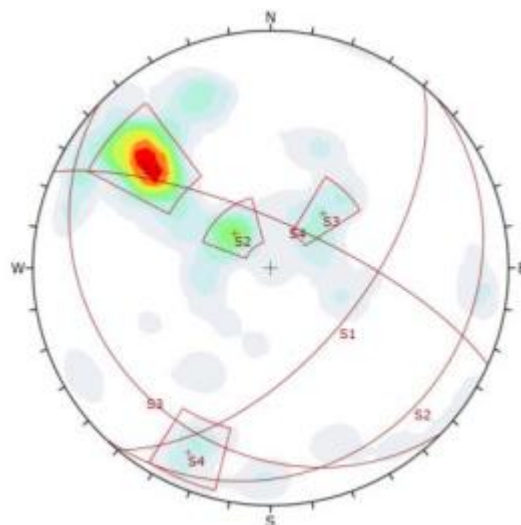


**Figura 2. Modelo estructural a escala de mina**  
 Tomada de U. P. Ticlio, área de Geomecánica – compañía minera Volcan S. A. A.

En términos de patrones estructurales, se tiene reconocido dos dominios de estructuras menores (juntas), con las siguientes características:

- **Patrón estructural ubicado en caliza (zona Oeste)**

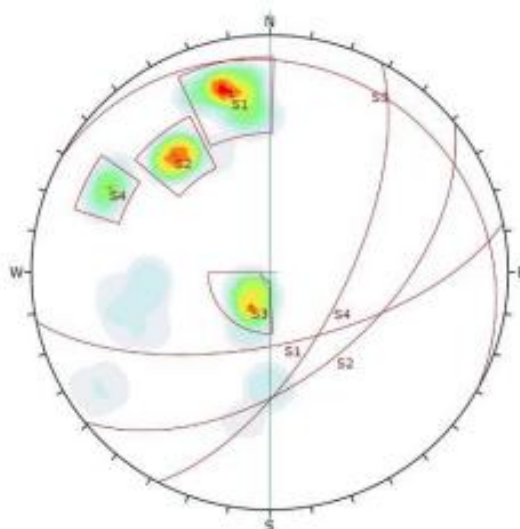
Se reconocen 3 familias principales de discontinuidades menores (JS), el primero corresponde al plano de estratificación con una orientación N45°E Bz de 17°SE, el segundo es un sistema paralelo a la veta mineralizada con un rumbo de N40°E Bz 59°SE, el tercer sistema tiene un rumbo de N45°W Bz de 26°SW paralelo a la estructura mayor que intercepta con la falla Ticlio.



**Figura 3. Estereograma – caliza**  
 Tomada de U. P. Ticlio, área de Geomecánica – compañía minera Volcan S. A. A.

#### - Patrón estructural ubicado en dioritas

Se reconocen 4 familias principales de discontinuidades menores (JS), el primero a las estructuras tensionales (veta Kelly) N78°E Bz de 65°SE, el segundo y cuarto sistema es paralelo a la veta mineralizada con un rumbo de N51°E Bz 53°SE y N28°E Bz 65°SE respectivamente, el tercer sistema tiene un rumbo de N29°E Bz de 13°SE y corresponde a un sistema de bajo ángulo.

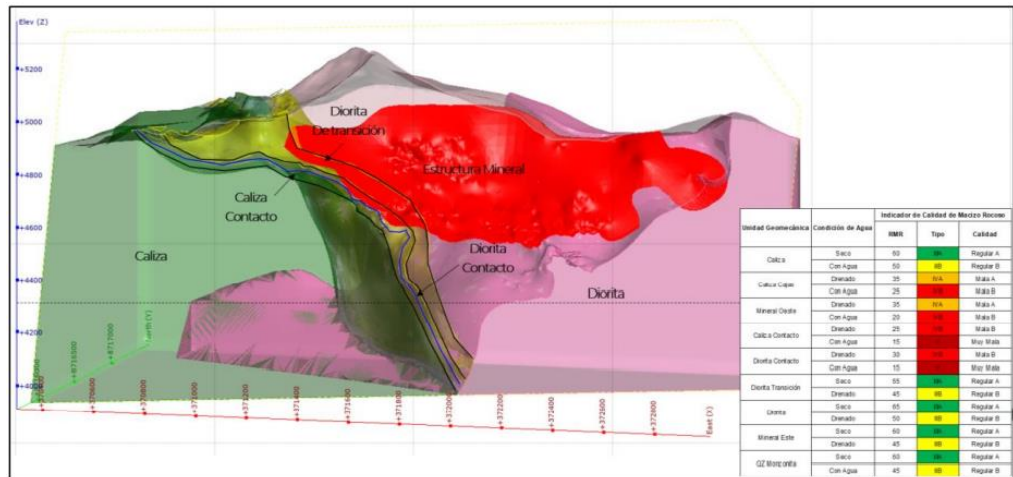


*Figura 4. Estereograma – diorita  
Tomada de U. P. Ticlio, área de Geomecánica – compañía minera Volcan S. A. A.*

#### 2.2.4. Descripción Geomecánica

La mina se encuentra emplazada dentro de rocas intrusivas (dioritas) y sedimentarias (calizas), donde el contacto entre estas unidades litológicas representa una zona de muy mala calidad geotécnica (zona de contacto), con una potencia de 50 m en los niveles cercanos a superficie y llegando a 100 m en los niveles actuales de explotación. En general, la zona mineralizada emplazada en rocas calizas es de mala calidad geotécnica y la zona mineralizada emplazada en dioritas son de regular a buena calidad geotécnica. Las rocas de caja (dioritas y calizas) son en general de regular a buena calidad geotécnica.





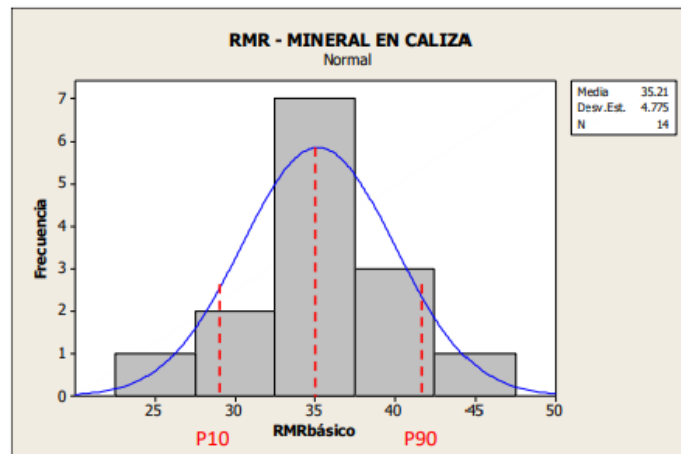
**Figura 5. Plano geotécnico**  
 Tomada de U. P. Ticlio, área de Geomecánica – compañía minera Volcan S. A. A.

### 2.2.4.1. Dominios Geotécnicos

La mina se encuentra zonificada en 5 dominios

#### Dominio 1

Este corresponde a la estructura mineralizada emplazada en calizas. Este dominio se encuentra en la zona Oeste de la mina y se caracteriza por ser un macizo rocoso de mala calidad geotécnica, con un RMR C1: 35 RMR No drenado RMR C2: 41 RMR: Drenado RMR promedio de 35, RMR min de 28 (P10) y RMR máx. de 43 (P90). En la figura 6 se muestra la distribución de los datos.

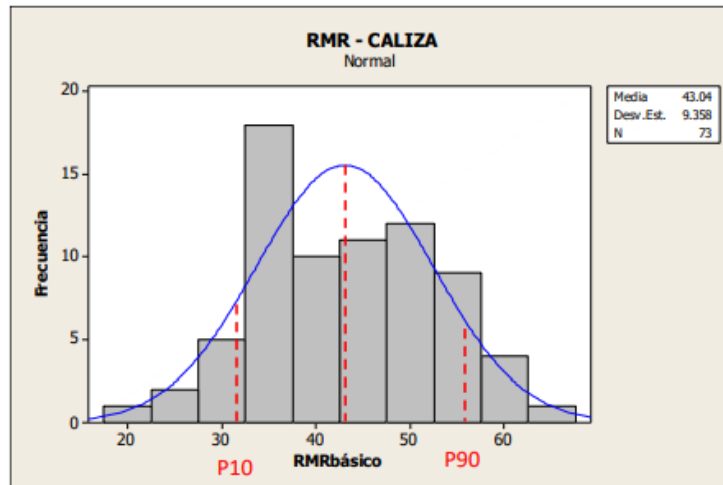


**Figura 6. Distribución de valores de RMR – mineral en caliza**  
 Tomada de U. P. Ticlio, área de Geomecánica – compañía minera Volcan S. A. A.

#### Dominio 2

Corresponde a calizas. Este dominio se encuentra emplazado en la zona Oeste de la mina, corresponde a la roca de caja de la estructura mineralizada,

corresponde a un macizo rocoso de regular a buena calidad geotécnica, con un valor medio de RMR de 43, RMR mínimo de 32 (P10) y RMR máx. de 57 (P90) (6).



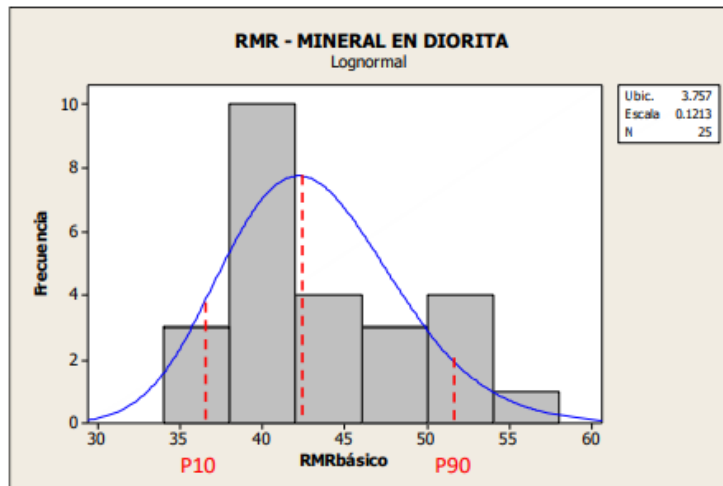
*Figura 7. Distribución de valores de RMR – caliza  
Tomada de U. P. Ticlio, área de Geomecánica – compañía minera Volcan S. A. A.*

### **Dominio 3**

Corresponde a la zona de contacto entre diorita y caliza, se caracteriza por presentar calidad de macizo rocoso de mala calidad, en los niveles superiores esta zona presenta una potencia del orden de 50 m y en los niveles actuales de operación presentan espesores del orden de 100 m. Para los análisis, de manera conservadora se viene utilizando como valor representativo un RMR de 28, que corresponde al rango mínimo del RMR de la caliza. Se está desarrollando el logueo geotécnico de sondajes que cortan este dominio.

### **Dominio 4**

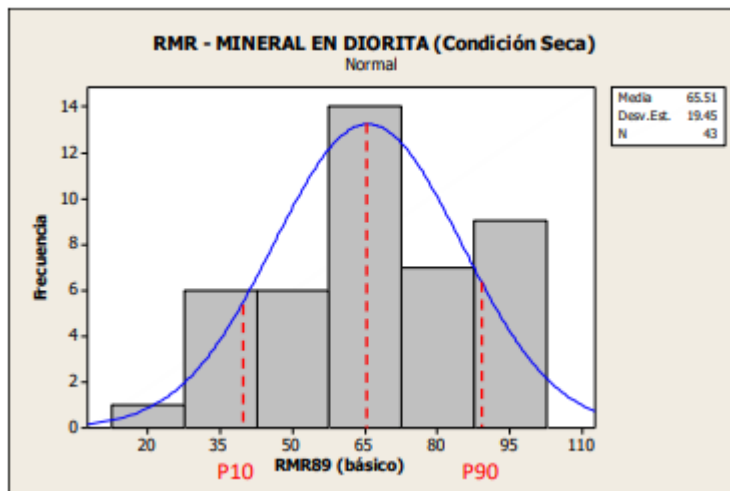
Corresponde a la estructura mineralizada que tiene como roca de caja dioritas, se emplaza en la zona Oeste de la mina, se caracteriza por ser un macizo de regular calidad geotécnica con un RMR promedio de 43, RMR mín. de 37 (P10) y RMR máximo de 51 (P90).



**Figura 8. Distribución de valores de RMR – mineral en diorita (mapeo de galerías)**

Tomada de U. P. Ticlio, área de Geomecánica – compañía minera Volcan S. A. A.

Del logueo geotécnico de sondajes se puede indicar que el RMR en condición seca es en promedio 65, RMR mín. de 36 (P10) y RMR máximo de 89 (P90), en la figura 9 se muestra la distribución de los datos. Para el análisis de estabilidad se viene utilizando la condición más desfavorable (mapeo de galerías).



**Figura 9. Distribución de valores de RMR – mineral en diorita (logueo de sondajes)**

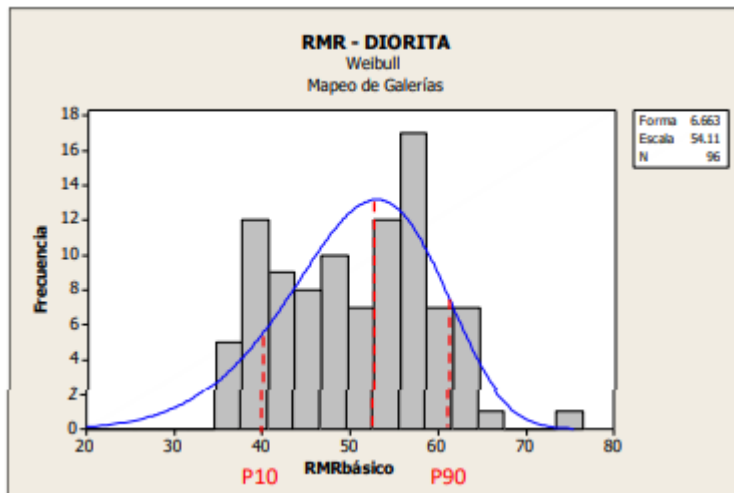
Tomada de U. P. Ticlio, área de Geomecánica – compañía minera Volcan S. A. A.

### Dominio 5

Corresponde a dioritas emplazadas, en la zona Este de la mina, se caracteriza por ser un macizo rocoso de regular a buena calidad geotécnica, con un RMR promedio de 51, RMR mín. de 40 (P10) y RMR máx. de 61 (P90), estos valores corresponden a los obtenidos en el mapeo de galerías. Del logueo

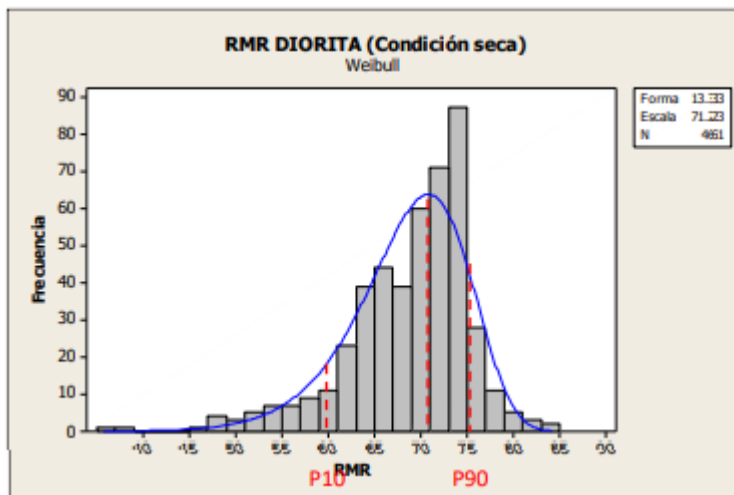
geotécnico de sondajes se puede indicar que el RMR en condición seca es en promedio 77, RMR mín. de 60 (P10) y RMR máximo de 75 (P90).

Para análisis de estabilidad se viene utilizando la condición más desfavorable (mapeo de galerías). En las figuras 10 y 11 se muestra la distribución estadística de los datos.



**Figura 10. Distribución de valores de RMR – diorita (mapeo de galerías)**

*Tomada de U. P. Ticlio, área de Geomecánica – compañía minera Volcan S. A. A.*



**Figura 11. Distribución de valores de RMR – diorita (logueo de sondajes)**

*Tomada de U. P. Ticlio, área de Geomecánica – compañía minera Volcan S. A. A.*

En la siguiente tabla se puede observar el resumen de los principales indicadores del macizo rocoso, estimados a partir del mapeo de galerías y mapeo de sondajes.

**Tabla 2. Indicadores de calidad de macizo rocoso**

UGT	RMRB89			Q'			RMRL			RQD%			GSI	
	P10	MED	P90	P10	MED	P90	P10	MED	P90	P10	MED	P90	MIN	MAX
Caliza	59	68	79	11	73	148	39	54	68	81	92	100	64	69
Caliza cajas	27	38	65	0	13	33	12	17	50	0	52	100	37	42
Mineral oeste	27	35	58	0.1	8	23	13	20	45	0	32	100	15	20
Caliza contacto	23	28	45	0	2.4	8.6	7	12	35	0	12	55	2	3
Diorita contacto	24	30	67	0.1	40.6	50	8	14	43	0	25	100	17	20
Diorita transición	34	60	74	0.5	89	150	23	43	60	0	75	100	53	58
Diorita	59	71	75	5	50	141	33	46	58	86	95	100	61	66
Mineral Este	34	63	74	0.3	45	137	17	42	57	12	83	100	53	58
Qz monzonita	58	62	74	10	40	98	37	47	57	81	93	100	58	63

Tomada de U. P. Ticlio, área de Geomecánica – compañía minera Volcan S. A. A.

### 2.2.4.2. Resistencia de la Roca Intacta

Las propiedades de roca intacta fueron estimadas a partir de los resultados de ensayos de laboratorio realizado por Geomec y UNI. En la tabla 2 se resumen los ensayos válidos por cada dominio geotécnico y en la tabla 3 se resumen las propiedades físicas, elásticas y mecánicas de la roca intacta.

**Tabla 3. Numero de ensayo de laboratorio válidos**

Dominio	Dominio	PLT	UCS	TX	TI	E	V	Y	CD
1	Mineral en caliza	9	2	7	3	1	4	4	5
2	Caliza	5	6	10	9	3	9	9	5
3	Contacto entre diorita y caliza	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Mineral en Diorita	9	2	5	6	2	4	4	0
5	Diorita	5	6	16	3	3	9	9	5
	<b>Total</b>	<b>28</b>	<b>16</b>	<b>38</b>	<b>21</b>	<b>9</b>	<b>26</b>	<b>26</b>	<b>15</b>

Tomada de U. P. Ticlio, área de Geomecánica – compañía minera Volcan S. A. A.

PLT: carga puntual

UCS: resistencia a la comprensión no confinado

Tx: triaxiales

Ti: tracción indirecta

E: módulo de deformación

v: Poisson

Y: densidad

CD: corte directo

**Tabla 4. Propiedades físicas, mecánicas y elásticas de roca intacta**

Dominio	Descripción	sci			mi			PLT	UCS	Ti	E	v	Y
		Min	Med	Max	Min	Med	Max						
1	Mineral en caliza	40	57	75	12	3	14	3.4	67	4	6	0.28	3.3
2	Caliza	90	137	185	10	12	13	5	164	11	33	0.2	2.8
3	Contacto entre diorita y caliza	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	Mineral en Diorita	90	107	135	9	9	10	-	113	11	32	0.1	3.3
5	Diorita	55	101	140	12	14	16	7	77	14	23	0.2	2.7

Tomada de U. P. Ticlio, área de Geomecánica – compañía minera Volcan S. A. A.

mi: constante de la roca

Sci: resistencia a la compresión uniaxial (MPa)

PLT: carga Puntual (MPa)

UCS: resistencia a la compresión no confinado (MPa)

Ti: tracción indirecta (MPa)

E: Poisson

Y: densidad (t/m<sup>3</sup>)

### 2.2.4.3. Propiedades de Macizo Rocoso

Las propiedades geomecánicas del macizo rocoso fueron estimadas mediante el criterio de rotura propuesto por Hoek-Brown, donde se consideraron las propiedades de roca intacta, indicadores de calidad de macizo rocoso (GSI) y profundidad de la zona de explotación, en la tabla 5 se resumen las propiedades de macizo rocoso.

**Tabla 5. Propiedades geotécnicas de macizo rocoso**

Dominio	Descripción	GSI	H (m)	Y (MN/m <sup>3</sup> )	sci (MPa)	mi	mb	s	a	C (MPa)	PHI	scm (MPa)	s <sup>3</sup> máx. (MPa)
1	Mineral en caliza	30	630	0.032	57	13	1.067	4.19E-04	0.522	2.11	27	7	13.4
2	Caliza	38	630	0.028	137	12	1.311	1.02E-03	0.513	3.09	37	20	12.7
3	Contacto entre diorita y caliza	22	630	0.032	57	13	0.802	1.72E-04	0.538	1.74	25	6	13.1
4	Mineral en Diorita	38	700	0.032	107	9	0.983	1.02E-03	0.513	2.97	30	14	15.6
5	Diorita	46	700	0.026	101	14	2.035	2.48E-03	0.508	3.45	38	19	13.4

Tomada de U. P. Ticlio, área de Geomecánica – compañía minera Volcan S. A. A.

GSI: índice geológico promedio

H: profundidad

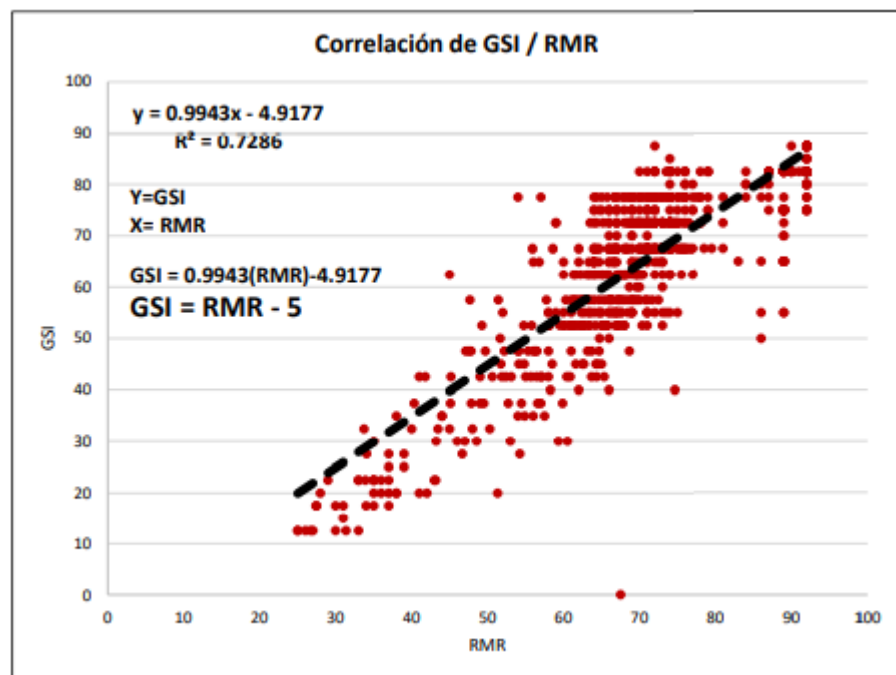
Y: peso unitario

Sci: resistencia a la compresión uniaxial

mi: constante de la roca

mb: valor reducido de la constante del material  $m_i$   
 s y a: constantes del macizo rocoso  
 c: cohesión  
 PHI: ángulo de fricción  
 smc: resistencia a la compresión uniaxial del macizo rocoso  
 s3max: esfuerzo de confinamiento máximo

Los valores de GSI fueron determinadas mediante la relación  $GSI = RMR - 5$ , que es una aproximación mas no una relación exacta, esta relación ha sido validada a partir de los datos de logueo de sondajes. En la figura 12 se muestra la correlación del GSI vs. RMR, que confirma que la relación antes descrita se adapta bien a la condición de macizo rocoso de la mina.

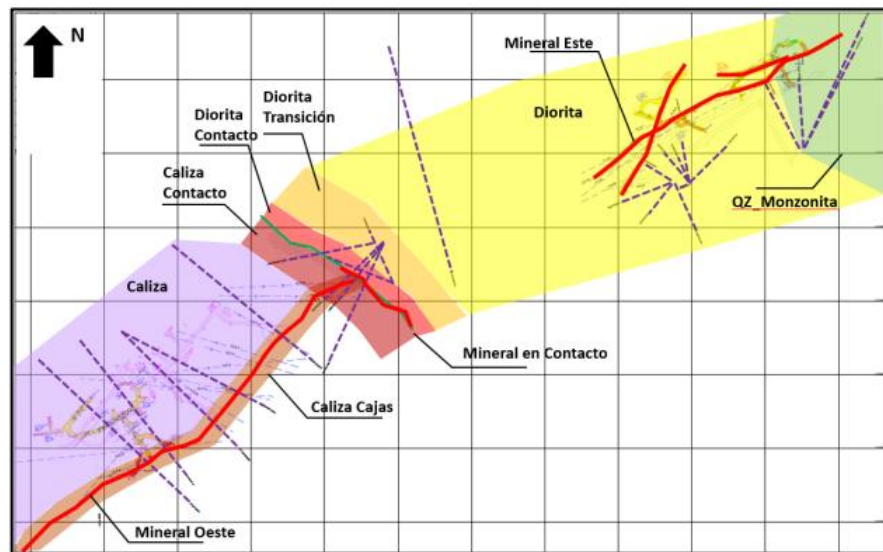


**Figura 12. Correlación entre GSI y RMR**  
*Tomada de Hook (7)*

#### 2.2.4.4. Calidades de Roca

La caracterización del macizo rocoso se realiza mediante el sistema de clasificación RMR de Bieniawski 1989. Cuya recopilación de datos es mediante el mapeo en galerías y logueo en sondajes. Así mismo, se viene realizando la caracterización del macizo mediante los sistemas GSI, Q de Barton y RMR Laubscher, esto orientado básicamente a conseguir correlaciones entre los distintos sistemas de clasificación. La recopilación de

los datos es a partir del logueo en sondajes. Con los datos analizados se elaboró un plano en planta con las unidades geotécnicas definidas.



**Figura 13. Dominios geotécnicos**

*Tomada de U. P. Ticlio, área de Geomecánica – compañía minera Volcan S. A. A.*

### 2.2.5. Método de Minado

Para el análisis del proyecto se tiene como campo de evaluación a la zona Oeste, emplazadas en roca caliza, que según criterios geomecánicos se ha determinado en el siguiente método de explotación.

#### 2.2.5.1. Método de Explotación Corte y Relleno Ascendente (*over cut and fill*)

Este método se aplica cuando las vetas presentan un buzamiento menor a 50°.

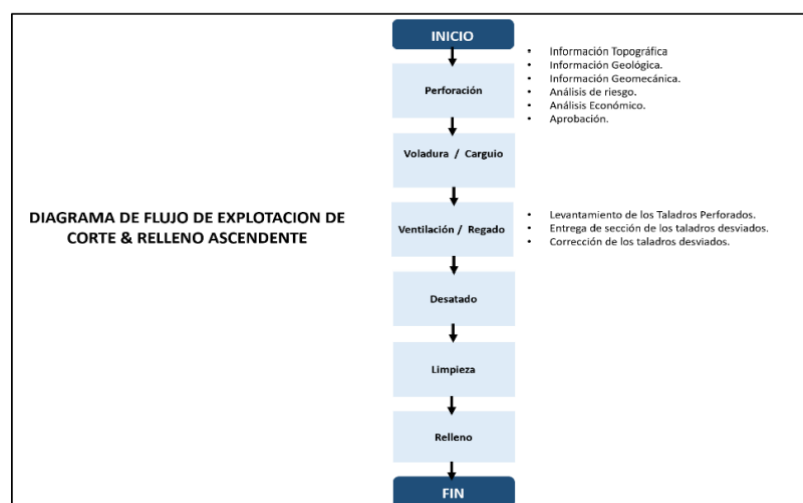
Se utiliza para preparar tajos para este método de minería; comienza con una rampa negativa (-12 %) en un tramo de 4.20 m x 4.00 m (la rampa de profundización) desde donde sigue la mineralización por 75 m. La construcción genera una carretera de circunvalación desde la que se genera un acceso al edificio de 75 m de longitud, la sección de dicho acceso es de 3,50 m x 4,00 m con una pendiente del -15 %, las obras de acceso cortan la estructura de 4,00 m x 4,00 m galería de inicio de la sección m. En el transcurso del desarrollo de la rampa, se implementa la infraestructura (cuartos de carga de volquetes, pozos de bombeo, cámaras de almacenamiento, marquesinas de peatones, marquesinas de tableros, subestaciones, chimeneas, etc.). El tamaño del bloque



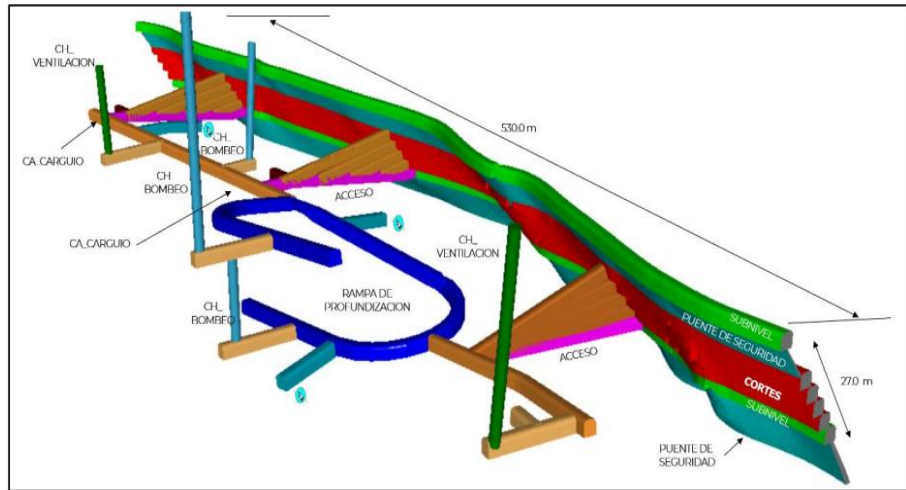
del tajo de la mina es de 510 m de largo y 20 m de alto. Hay 3 métodos preparados para este tamaño (8).

Se utiliza en la apertura de los tajos con este método de minería cuando se completa la galería de bloques. Se continúa con el relleno detrítico y se retira la galería al acceso negativo, dejando 0,5 m de luz con respecto a la parte superior de la galería. Después de que se llene la tierra, se reforzará el acceso y se determinará que la carga de barras de refuerzo sigue siendo el piso nuevo. La primera explotación minera se inicia sobre la galería con un escalón de 4 m de altura. El proceso se realiza hasta crear el acceso con una pendiente del -15 %, la pendiente debe ser del 15 % (8).

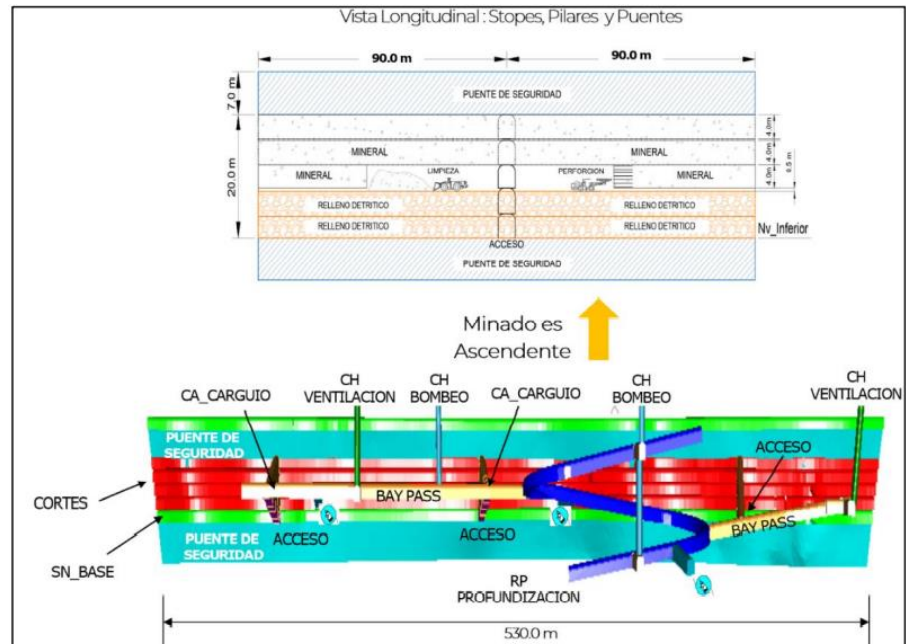
Continuando con el ciclo de minado se realiza la limpieza y extracción del mineral utilizando equipos LHD Scoops diésel con una capacidad de carga de 6.0 yd<sup>3</sup>, haciendo el uso de las cámaras de carguío a volquetes de 25 toneladas, que transportan el mineral del interior de la mina hacia cancha de mineral de superficie. Una vez realizada la etapa de limpieza de mineral se utiliza el relleno detrítico proveniente principalmente de los avances desarrollos y preparaciones para seguir cumpliendo el ciclo de minado. Se considera un tajo con 5 cortes, donde cada corte tiene una altura de 4 m, siendo así la altura máxima de tajo 20 metros y 75 de longitud distribuidas tanto para el Este y el Oeste. El acceso inicial tendrá una gradiente del 15 % (-). Para los siguientes cortes se hará un batido de los accesos hasta completar los 5 cortes y el acceso llegará a tener una gradiente de +15 % (8).



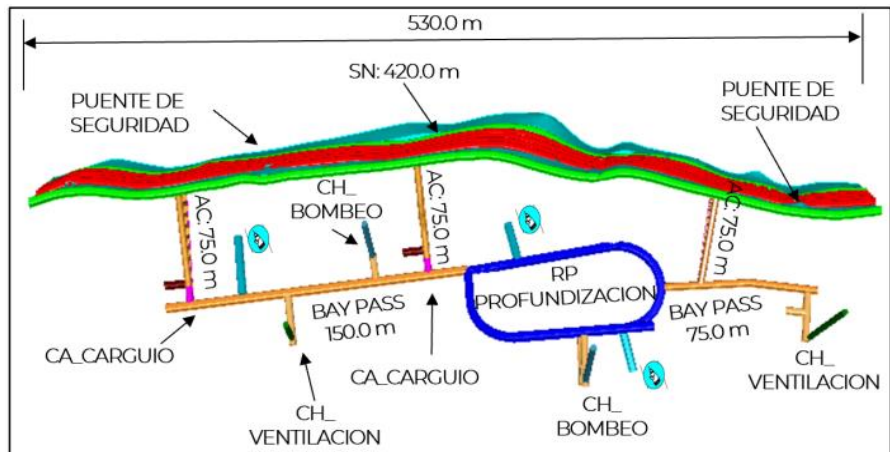
**Figura 14. Flujo de explotación del método corte y relleno**  
 Tomada de U. P. Ticlio, área de Ingeniería y Planeamiento – compañía minera Volcan S. A. A.



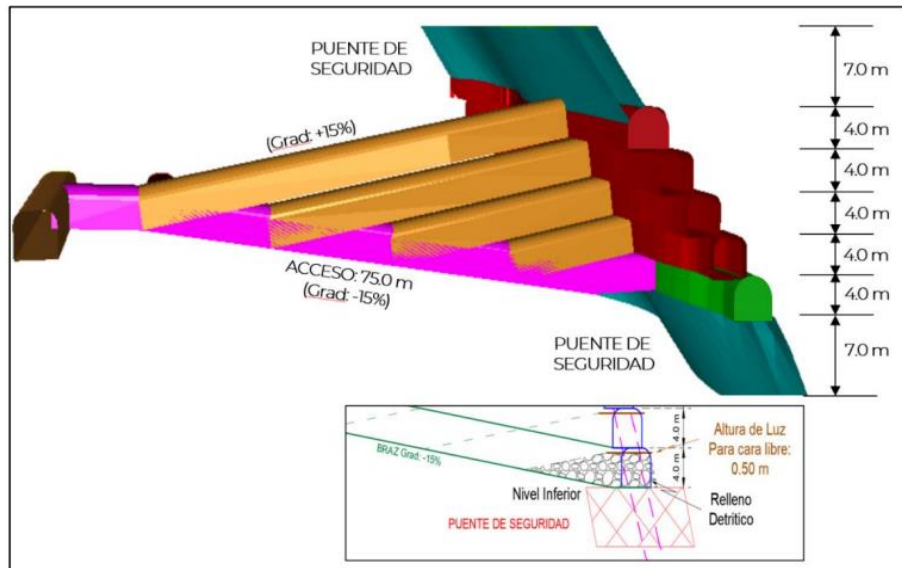
**Figura 15. Vista isométrica del método corte y relleno**  
 Tomada de U. P. Ticlio, área de Ingeniería y Planeamiento – compañía minera Volcan S. A. A.



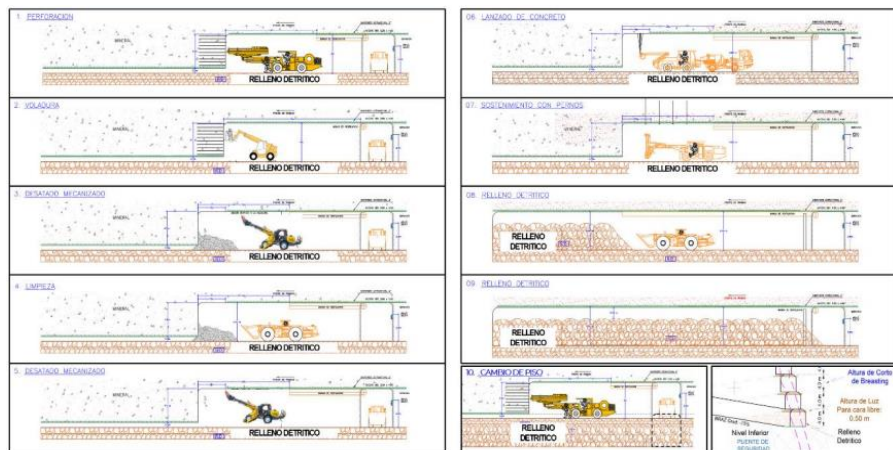
**Figura 16. Vista longitudinal de las labores**  
 Tomada de U. P. Ticlio, área de Ingeniería y Planeamiento – compañía minera Volcan S. A. A.



**Figura 17. Vista de planta, corte y relleno ascendente**  
 Tomada de U. P. Ticlio, área de Ingeniería y Planeamiento – compañía minera Volcan S. A. A.



**Figura 18. Vista de perfil, corte relleno ascendente**  
 Tomada de U. P. Ticlio, área de Ingeniería y Planeamiento – compañía minera Volcan S. A. A.



**Figura 19. Secuencia de minado**  
 Tomada de U. P. Ticlio, área de Ingeniería y Planeamiento – compañía minera Volcan S. A. A.

## 2.3. Bases Teóricas

### 2.3.1. Sistema de Sostenimiento

«El sostenimiento de minas es el conjunto de elementos que se coloca en una instalación subterránea para contribuir con su estabilidad y crear ambientes seguros que protejan a los mineros en sus diferentes actividades cuando se realiza una excavación» (9).

Donde el titular minero debe mantener a disposición elementos de sostenimiento, donde el material sea de calidad cumpliendo con la resistencia adecuada, en cantidades suficientes y aplicarlas a zonas ya habilitadas para emplearlas de forma inmediata.

En un sistema de sostenimiento se debe incluir la descripción de la secuencia de avance y de la instalación del sostenimiento temporal, esquemas y secciones que permitan una mejor aplicación del sostenimiento.



*Figura 20. Plan de sostenimiento  
Tomada de Positiva (9)*

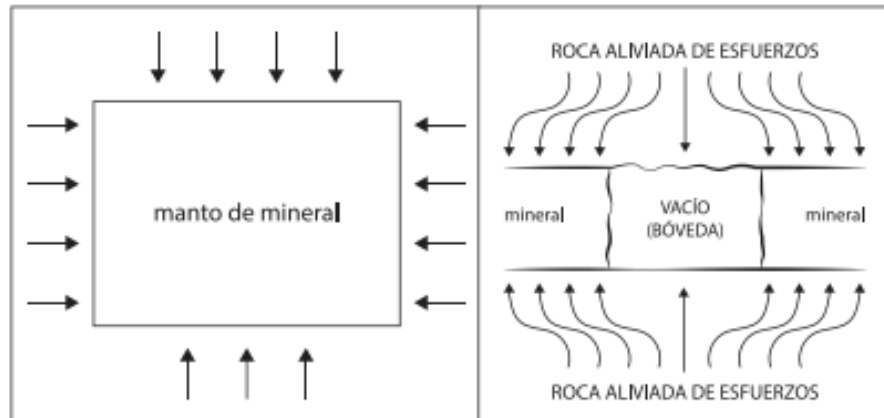
#### 2.3.1.1. Diseño de Sostenimiento

Para el diseño del sostenimiento debe realizarse teniendo en cuenta las características del macizo rocoso en donde se tienen labores en desarrollo, dimensiones de las labores, condiciones impuestas por el método de explotación.

#### 2.3.1.2. Consideraciones Geotécnicas

Al abrir una labor subterránea da origen a movimientos y asentamientos del terreno, donde los esfuerzos se redistribuyen originando

presiones en la corona y los hastiales. Las presiones básicamente se dan por el peso de las rocas suprayacentes, a causa de la gravedad y por la presión interna de la tierra; siendo necesario que se aplique el sostenimiento más adecuado evitando el colapso.



*Figura 21. Comportamiento sometido a esfuerzos  
Tomada de Positiva (9)*

### 2.3.2. Shotcrete o Concreto Lanzado

Según Venancio (10) «es un hormigón lanzado a través de una manguera neumática con alta velocidad, para alcanzar una elevada capacidad», donde el concreto tiene que cumplir con ciertos criterios de trabajabilidad para que se cumpla con la resistencia necesaria ya calculada por el área de Geomecánica.

El concreto viene a ser de una mezcla de agua, cemento y arena (que cumpla una granulometría adecuada para un mejor trabajo); esto comúnmente se utiliza para cualquier tipo de construcción, mientras que para el uso de labores mineras ya se necesita la adherencia de aditivos que ayudarán a un fraguado rápido, esto según las condiciones de las labores, ya sea por presencia de agua y fibras que mejorarán la resistencia que se son ejercidas por la roca.

### 2.3.3. Shotcrete en Roca Débil

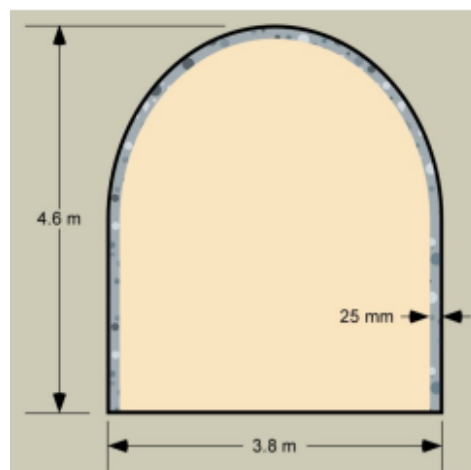
Según Morgan (11), «la industria de la minería subterránea de metales es un usuario importante de hormigón proyectado para soporte subterráneo diseñado y ha sido pionera en aplicaciones novedosas que utilizan hormigón proyectado». La demanda de sistemas de soporte que puedan acomodar las cargas subterráneas extremas de macizo rocoso débil, definidas con una clasificación de macizo rocoso (RMR) de 20 (muy pobre) a 45 (pobre), se está satisfaciendo con la incorporación de hormigón

proyectado en un multielemento del sistema de control del suelo que consta de hormigón proyectado, malla de alambre soldado y pernos *swellex*.

#### 2.3.4. Aplicación de *Shotcrete* en Roca Débil

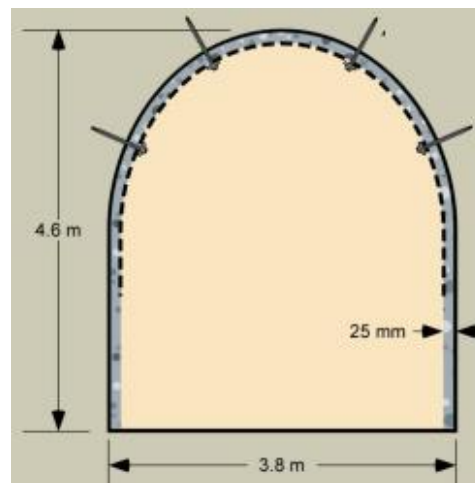
La roca comprimida y desmoronada que se encuentra en terrenos débiles no se sustenta por sí misma una vez realizada la excavación y, de forma inmediata y cumpliendo con el tiempo de autosoporte, se debe instalar de forma inmediata juntamente con el ciclo de minado activo, como se mencionó anteriormente. En el sistema de control del suelo se utiliza hormigón proyectado para proporcionar un control temporal de la superficie para la estabilidad local antes de que se instale el soporte principal. Debido a que el hormigón proyectado debe volverse autosuficiente antes de que los mineros y el equipo puedan trabajar de manera segura debajo, las características de curado del hormigón proyectado son fundamentales para la velocidad del ciclo de minería.

Inicialmente, se aplica una capa delgada de hormigón proyectado como control superficial para evitar que la roca se deshaga (figura 22). La capa *flash* tiene un espesor de 19 a 25 mm (0,75 a 1 pulgada). Esta fina capa de hormigón proyectado estabiliza la superficie recién expuesta y evita que caigan rocas y escombros muy pequeños, y también evita el aflojamiento del aire y la deshidratación del material rocoso expuesto en las grietas. Si este material no está confinado, la roca de tamaño pequeño puede aflojarse y caerse, lo que permite que se desplace material adicional, lo que compromete la estructura geométrica y, en última instancia, provoca una falla masiva.



**Figura 22. Capa inicial de shotcrete  
Tomada de Morgan (11)**

A continuación, se coloca previamente una malla de alambre soldado de calibre seis de 100 x 100 mm (4 x 4 pulgadas) y se instalan pernos de fricción con placas para mantener la malla en su lugar. Esto evita que la roca se deshaga y estabilizará temporalmente el suelo entre las futuras ubicaciones de soporte principal (figura 23). Los pernos cortos enchapados también reducen la vibración a medida que se aplica la segunda capa de hormigón proyectado a la malla de alambre soldado. Debe reconocerse que la masa de roca débil probablemente se desmoronará, y el resultado será que los bloques de roca individuales caerán entre los pernos; por lo tanto, se requiere soporte superficial para contener el macizo rocoso como una sola unidad de soporte (12).



*Figura 23. Instalación de mallas y pernos swellex  
Tomada de Morgan (11)*

#### **2.3.4.1. Elementos Utilizados para el Shotcrete**

##### **Cemento**

El cemento que se utiliza para el hormigón proyectado de mezcla húmeda o seca es generalmente una variedad Portland tipo I/II o una variación de cemento mezclado. En muchos casos, el proveedor/fabricante incorporará materiales cementícos adicionales al hormigón proyectado.

##### **Agregados**

El componente agregado de origen de cada mezcla diseñada se especifica junto con las curvas de granulometría definidas y la cantidad de variación permitida. Estos factores son responsabilidad del proveedor en los casos de mezclas en bolsa dosificada o a granel. Para el procesamiento por lotes en el sitio utilizando materiales de origen, la mezcla debe tener una clasificación consistente dentro de la variación permitida.



### **Agua de mezcla**

El agua utilizada para dosificar la mezcla de hormigón proyectado es un componente importante en términos de su efecto sobre el mezclado, la aplicación, el curado y el desarrollo de resistencia a largo plazo. La temperatura, la presencia de mineralización o la acidez del agua pueden afectar el rendimiento de la mezcla de hormigón proyectado. La pureza del agua utilizada para dosificar y mezclar el hormigón proyectado debe probarse junto con las variaciones de temperatura permitidas. El agua caliente acelerará y el agua fría retrasará el proceso de curado cementoso. En algunos casos, la presencia de mineralización interferirá con el proceso de cementación, al igual que los niveles de acidez fuera del rango para el que se diseñó la mezcla.

### **Relación A/C**

La relación agua-cemento (a/c) de una mezcla de hormigón proyectado tiene una gran influencia en las características de secado, el desarrollo de la resistencia y la durabilidad a largo plazo del material aplicado. La relación agua-cemento se obtiene dividiendo el peso total del agua por el peso de los materiales cementícos en la mezcla de hormigón proyectado. Para hormigón proyectado de mezcla seca, la relación estándar es del 35 %, y para hormigón proyectado de mezcla húmeda, la relación estándar es del 45 % (tabla 6). La dosificación de agua, en términos de usar la cantidad correcta de agua para mantener la relación w:c especificada para la mezcla de hormigón proyectado cuando se dosifica, es fundamental, ya que afecta el curado y el desarrollo de la resistencia del material desde la colocación inicial hasta la madurez. La resistencia de los materiales debe aumentar a los niveles de umbral en un corto período de tiempo después de la aplicación para que los mineros y el equipo vuelvan a ingresar de manera segura al encabezado y luego, cuando estén completamente curados, para alcanzar una resistencia última especificada. Regar en exceso la mezcla cuando se dosifica o se rocía el hormigón proyectado puede reducir la proporción de materiales cementosos, retrasar el tiempo de curado, reducir la ganancia de resistencia a largo plazo y producir una pérdida de adherencia en la superficie de aplicación por existir agua insuficiente de la lata de mezcla.



**Tabla 6. Proporciones típicas a cemento para hormigón proyectado**

<b>Tipo de mezcla y procesos de solitud</b>	<b>Rango típico %</b>
Hormigón para proyectos de mezcla seca	35
Hormigón proyectado de mezcla húmeda	45

*Tomada de U. P. Ticlio, área de Geomecánica – compañía minera Volcan S. A. A.*

### **Aditivos**

Hay una serie de aditivos químicos que se pueden usar para cambiar el transporte, el curado y el tiempo general del proceso de aplicación del hormigón proyectado. La adición de estos productos, si bien es útil para extender el tiempo de trabajo o mejorar las características de transporte y aplicación, puede degradar el rendimiento de soporte del hormigón proyectado si no se usa correctamente. Se pueden usar reductores de agua para acelerar o retardar el curado. Los superplastificantes (reductores de agua de alto rango) permiten usar menos agua mientras mantienen buenas características de transporte y aplicación. El uso de reductores da como resultado mayores resistencias que una mezcla comparable que usa un exceso de agua para lograr la trabajabilidad del hormigón proyectado. En aplicaciones donde la mezcla debe dosificarse y luego transportarse distancias considerables que implican demoras de tiempo, las mezclas de control de hidratación se pueden usar para suspender el proceso de hidratación durante un período. Después de la entrega y antes de la aplicación, se puede agregar un acelerador para reanudar el proceso de hidratación. Los aceleradores de hormigón proyectado también se utilizan en situaciones en las que la adherencia es primordial. Sin embargo, estos aceleradores pueden reducir la resistencia final de curado del hormigón proyectado. Se debe tener cuidado para asegurar que la cantidad de acelerador agregado en la boquilla no afecte negativamente la resistencia de diseño del hormigón proyectado.

#### **2.3.4.2. Métodos de Refuerzos de Hormigón Proyectado**

El hormigón proyectado se puede reforzar mediante el uso de una malla de acero incrustada o mediante la adición de fibras a la mezcla antes de la aplicación. El hormigón proyectado no reforzado exhibe características de alta resistencia en cargas de compresión, pero tiene muy baja resistencia a la tracción y ductilidad. Las condiciones débiles del suelo rocoso someten al hormigón proyectado a altas cargas de tracción y, por lo tanto, a menudo se necesita un refuerzo adicional en el hormigón proyectado.

### **Hormigón proyectado reforzado con malla electrosoldada**

Un hormigón proyectado se aplica a una malla de alambre soldado que se coloca sobre una capa *flash* previamente instalada de hormigón proyectado sin reforzar. Esto incrusta la malla dentro de la matriz de hormigón proyectado. La malla también ayuda durante la instalación del hormigón proyectado, ya que proporciona un área de superficie de anclaje adicional para que el hormigón proyectado se adhiera y acumule volumen.

En rocas débiles, cuando los esfuerzos de tracción provocan la falla del hormigón proyectado quebradizo, el acero dúctil proporciona tenacidad (ductilidad posterior a la fisuración) que puede prolongar y preservar la integridad de la estructura. El tipo de refuerzo de malla de alambre (calibre de alambre, espaciado de rejilla y estilo de tejido) requerido para propósitos estructurales lo determinan los expertos en control de terreno utilizando los métodos empíricos apropiados.

Para condiciones de roca débil, se utiliza malla de alambre soldado de rejilla de 100 x 100 mm (4 x 4 pulgadas) de calibre seis. Cuando se utiliza como parte del sistema de supermalla descrito en la sección Ciclo típico de minería de corte superior de roca débil, el refuerzo de malla de alambre soldado se instala después de una capa de expansión inicial de hormigón proyectado. Luego se aplica una segunda capa de hormigón proyectado para encapsular el refuerzo de malla de alambre, seguido de la instalación de pernos primarios con placas a través de la estructura.

#### **2.3.4.3. Diseño de Mezcla para el Hormigón Proyectado**

Se resume una mezcla típica de hormigón proyectado en forma húmeda y seca. Estas mezclas se pueden utilizar como punto de partida como referencia. Cabe señalar que la mayoría de las mezclas de hormigón proyectado son premezcladas por los proveedores de hormigón proyectado que tienen un número determinado de variaciones de mezcla disponibles según la aplicación y el costo. Estas mezclas se pueden comprar como bolsas premezcladas con capacidades de hasta 1500 kg (3306 lb). El tamaño de la bolsa para aplicaciones de mezcla seca o húmeda está limitado por la resistencia de la bolsa disponible (13).

**Tabla 7. Diseño de mezcla del shotcrete**

Material	Und.	Diseño de shotcrete		
		400	420	460
Cemento tipo I	kg	400	420	460
Arena	kg	1557	1537	1500
Agua	l	219	220	230
Sika Fiber 65/35	kg	20	20	20
Master Glenium 3915	kg	2.24	2.35	2.58

*Tomada de U. P. Ticlio, área de Geomecánica – compañía minera Volcan S. A. A.*

## 2.3.5. Hidrogeología

### 2.3.5.1. Aguas Subterráneas

«Las aguas subterráneas provienen de la infiltración en el terreno de las aguas de lluvias o de lagos y ríos, que después de pasar la franja capilar del suelo, circulan y se almacenan en formaciones geológicas porosas o fracturadas, denominadas acuíferos» (14).

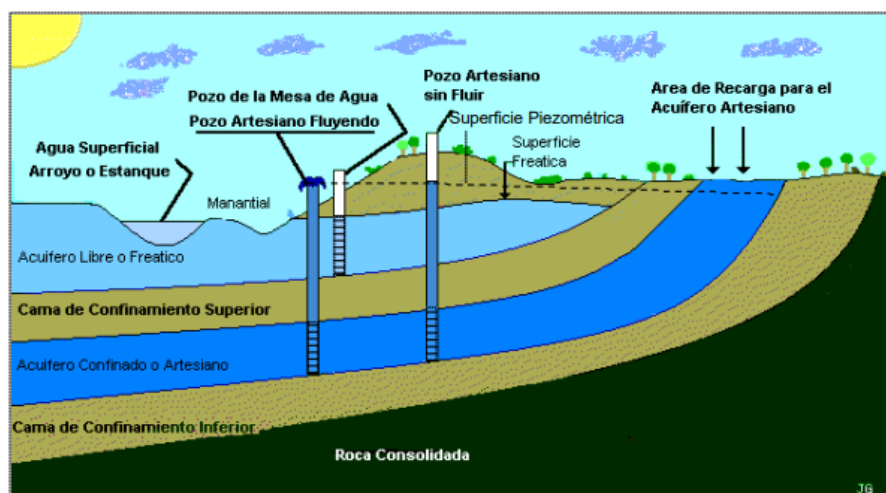
Los acuíferos desempeñan un papel fundamental tanto como conductores de las aguas desde sus zonas de recarga hasta lagos, ríos, manantiales, pantanos, captaciones construidas por el hombre y como almacenadores de estos recursos que posteriormente pueden ser aprovechados para satisfacer las necesidades de abastecimiento de sus usuarios (14).

Existen básicamente dos diferentes tipos de acuíferos:

**Acuíferos libres**, son generalmente someros, donde el agua se encuentra rellenando poros y fisuras por acción de la gravedad. La superficie hasta donde llega el agua es denominada superficie freática y en los pozos es conocida como nivel freático (figura 24).

**Acuíferos confinados**, en estos acuíferos el agua se encuentra a presión entre capas impermeables, de modo que si se extrae agua no queda ningún poro vacío, solo se disminuye la presión del agua que colabora con la sustentación de todos los materiales, pudiendo en casos extremos, llegar a producirse asentamientos del terreno. La superficie virtual que se formaría si se perforaran infinitos pozos en el acuífero confinado se denomina superficie piezométrica y dentro de un pozo es conocido como nivel piezométrico (14).

Existen otros acuíferos denominados acuíferos semiconfinados cuando su capa confinante es muy delgada o semipermeable.



*Figura 24. Tipos de acuíferos  
Tomada de Castellanos (14)*

### 2.3.5.2. Características Geológicas de los Acuíferos

Según Stanley (15), como es evidente, no todas las formaciones geológicas poseen las propiedades que caracterizan a un acuífero, es decir, que sus intersticios o espacios huecos, sean capaces de almacenar el agua y de servirle de conductos a la vez para transmitirla, permitiendo su aprovechamiento para satisfacer las necesidades del hombre. Desde este punto de vista, el concepto de acuífero es en cierto modo relativo, ya que una formación geológica que sea capaz, por ejemplo, de producir 1 l, no se considera como acuífero, en un lugar donde haya otras en que sea posible captar 50 l o más

«La existencia de dos tipos, en general, de intersticios ha hecho que algunos autores europeos, Castany y Schneebeili, hablen de rocas y terrenos de permeabilidad por porosidad y permeabilidad por fisuración» (16).

Las formaciones geológicas que constituyen acuíferos pueden incluirse en uno de estos dos grupos: I. Acuíferos formados por depósitos no consolidados. II. Acuíferos formados por rocas consolidadas. Los acuíferos formados por depósitos no consolidados están constituidos por materiales sueltos, fundamentalmente, arenas, gravas o mezclas de ambas de origen geológico muy diverso. Según Todd (17) el 90 % de los acuíferos en explotación en el mundo caen bajo esta categoría.

Los acuíferos formados por rocas consolidadas pueden presentarse en:

- a) Calizas y dolomías (fisuradas, fracturadas y karstificadas).

- b) Conglomerados o areniscas (disueltas y con algunas partes cementadas).
- c) Rocas volcánicas alteradas (escoriáceas)
- d) Algunas rocas cristalinas (granitos fracturados, por ejemplo)

### **2.3.5.3. Propiedades de las Aguas Subterráneas**

#### **Temperatura**

«Las aguas subterráneas gozan, por lo general, de una constancia de temperatura que las aguas de circulación superficial no pueden poseer nunca, sometidas como están a evaporaciones, intercambios térmicos con el aire exterior y el terreno de superficie, radiación solar etc.» (18).

En las aguas de capas (porosidad primaria) tienen temperaturas que varían mucho con la extensión y penetración de la capa en el suelo. Si no hay influencia térmica de aguas superficiales, un agua de capa que circule muy lentamente por un estrato impermeable situado a 100 m de profundidad poseerá una temperatura superior en dos o tres grados a otra que se encuentre en un terreno compacto situado solamente a 30 m abajo de la superficie, según la ley del gradiente geotérmico (18).

En promedio, por cada dos grados de latitud que se aleje del ecuador, la temperatura disminuye 1 °C y por cada 150 m, en altitud, la variación de la temperatura es de 1 °C (18).

En las aguas de fisuras anchas (calizas y sistemas de porosidad secundaria), por la alta permeabilidad de los sistemas, las aguas perdidas o abismadas imponen rápidamente su temperatura a las paredes de las galerías subterráneas por las que circulan. Saliendo al aire libre por las resurgencias estas aguas siguen, por lo general, las fluctuaciones térmicas observadas en el nivel de las aguas perdidas. No ocurre lo mismo en el caso de las emergencias. El agua que circula por la superficie de las calizas penetra en pequeñas cantidades por una infinidad de fisuras cuya función térmica sobre el agua es importante (18).

### **La radiactividad**

Otra característica es la radiactividad de las aguas subterráneas, que no es exclusiva de las aguas termales. No es necesariamente el más radiactivo el que proviene de aguas más profundas (18).

### **Conductividad eléctrica**

Varía en función del intercambio químico y del aporte de agua externa e indica la cantidad de electrolitos disueltos en ella (18).

### **Turbidez y transparencia**

Estas propiedades del agua en circulación varían en muchos casos dependiendo de su caudal. Por el contrario, el agua estratificada casi siempre permanece clara debido a la filtración del sistema. Según el desarrollo de la topografía calcárea, la caliza tiene un carácter intermedio entre el agua circulante y el agua estratificada (18).

### **Composición**

Desde un punto de vista químico, la composición de cada fuente depende de la composición de la región subterránea atravesada y de las sustancias que produce o intercambia (18).

Las sales alcalinas son muy comunes y el cloruro de sodio casi siempre está presente y, por lo general, en cantidades aceptables para el consumo humano. Los sulfatos de metales alcalinos son relativamente raros. El carbonato de calcio y el sulfato de calcio son los elementos minerales más importantes en las aguas subterráneas (18).

#### **2.3.5.4. Dinámica de las Aguas Subterráneas**

En lugar de tener una superficie plana, el nivel del agua intenta seguir la forma del terreno, aunque de una manera menos obvia. En consecuencia, el agua subterránea está en constante movimiento y el agua fluye bajo el NAF, en la zona saturada. Si la porosidad es primaria y las partículas del suelo son finas, el flujo es laminar, de lo contrario, se vuelve turbulento. El flujo de agua comienza donde el nivel del agua es alto y drena donde el NAF es bajo, generalmente a través de un canal (18).



*Figura 25. Nivel freático regional: A. bajo una montaña, B. bajo una isla  
Se ilustran con flechas el flujo del agua y en línea punteada el NAF*

### 2.3.5.5. Propiedades Hidrogeológicas

En el comportamiento hidráulico de un acuífero se pueden distinguir diferentes propiedades, como se describe a continuación, que sirven para caracterizar dicho comportamiento y definir sus leyes (18).

En general, se puede decir que la tasa de circulación del agua subterránea  $U$  es proporcional al efecto del gradiente hidráulico  $I$  multiplicado por una constante de proporcionalidad conocida como conductividad hidráulica (18).

La conductividad hidráulica indica con qué facilidad el medio permite que el agua pase a través del área de la sección transversal del equipo en la dirección del flujo. Tiene velocidad de tamaño  $(L T^{-1})$  y ahora tiene dos tipos (18).

## 2.4. Definición de Términos Básicos

- a) **Geomecánica.**— Es el estudio de la masa rocosa mediante sus características, quien a través de análisis y parámetros numéricos define un cierto comportamiento de la roca.
- b) **Hidrogeología.**— Es el análisis y estudio de las aguas subterráneas, la cual son infiltradas por medio de fracturas desde la superficie y almacenándose en unidades rocosas de la parte subterránea.
- c) **Sostenimiento.**— Es el proceso de utilizar materiales de forma activa o pasiva en una excavación subterránea con el fin de mejorar la estabilidad y las condiciones de su entorno.
- d) **Shotcrete (concreto lanzado).**— Es el término utilizado para el concreto lanzado a una gran presión que se adhiere a la roca, con el fin de crear una capa que recubra la sección

de la labor. El *shotcrete* tiene que cumplir ciertos criterios de calidad para mejorar la condición de seguridad.

- e) **Taladros de drenaje.**– Es la acción de realizar taladros orientados hacia los hastiales o a fallas que transportan agua, para la captación y la despresurización del flujo de agua subterránea que perjudica las condiciones geomecánicas de la labor.
  
- f) **Control del consumo de *shotcrete*.**– Es el control de *shotcrete* utilizado en las labores que las requieran; con la finalidad de no perjudicar en los costos de producción de la mina.



## **Capítulo III**

### **Metodología**

#### **3.1. Método y Alcance de la Investigación**

##### **3.1.1. Método de la Investigación**

###### **A) Método General de la Investigación**

En forma general, se empleó el método científico, porque se construye optimización en el consumo de *shotcrete* mejorando el control del flujo de agua del subnivel 274 de la unidad minera Ticlio

###### **B) Método Específico de la Investigación**

El método específico empleado es el método experimental inductivo, porque se usó para la optimización en el consumo de *shotcrete* mejorando el control de flujo de agua del subnivel 274 de la unidad minera Ticlio, de acuerdo con la información obtenida en campo mes a mes.

##### **3.1.2. Alcance de la Investigación**

###### **A) Tipo de Investigación**

La investigación es de diseño no experimental, porque el objetivo de la investigación es la optimización en el consumo de *shotcrete* mejorando el control del flujo del agua del subnivel 274 de la unidad minera Ticlio.

###### **B) Nivel de Investigación**

Descriptivo, porque trata de explicar de qué manera se da la optimización en el consumo de *shotcrete* mejorando el control de flujo de agua del subnivel 274 de la unidad minera Ticlio.

### **3.2. Diseño de la Investigación**

El diseño de la investigación es experimental, porque al realizar la manipulación de variables no es deliberada donde solo se observan los fenómenos en su ambiente natural, de tipo transversal descriptivo, la optimización del consumo de *shotcrete* vía húmeda factible y viable en el subnivel 274 de la unidad minera Ticlio.

### **3.3. Población y Muestra**

#### **3.3.1. Población**

Todas los subniveles de la zona Oeste de unidad minera Ticlio

#### **3.3.2. Muestra**

Subnivel 274 del nivel 13 de la zona Oeste

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

#### **3.4.1. Técnicas Utilizadas en la Recolección de Datos**

En la presente investigación se realizó la recolección de datos en campo *in situ* mediante la técnica observacional y procesamiento de datos pasados y actuales del consumo de *shotcrete* según las condiciones de presencia de agua con un caudal y presión que perjudica el avance operativo.

Para la recolección de datos del consumo del *shotcrete* se tiene una base de datos del consumo diario en metros cúbicos, que también sirve para realizar la valorización mensual, informes diarios, informes mensuales y anuales, se usaron tesis y libros.

#### **3.4.2. Instrumentos Utilizados en la Recolección de Datos**

Para la investigación se utilizó como instrumento de campo: cuaderno de notas, planos, reporte de m<sup>3</sup> de *shotcrete* por guardia, informes del control de la calidad de *shotcrete*, estudio hidrogeológico, sistema de drenaje del subnivel 274 de la unidad minera Ticlio.

## Capítulo IV

### Resultados y Discusión

#### 4.1. Condición Geomecánica

##### 4.1.1. Caracterización Geomecánica del SN\_274

Para la caracterización geomecánica es necesario realizar un mapeo geomecánico, en donde se toman en cuenta las discontinuidades y posibles fallas que se puedan hallar en el proceso; para esto se hizo uso de la clasificación geomecánica del RMR de Bieniaswski y Q de Barton.








En el SN\_274, se realiza la clasificación geomecánica considerando los siguientes criterios (tabla 8) en donde se detallan los valores obtenidos por las discontinuidades presentadas al momento de realizar el mapeo.

**Tabla 8. Resultados del mapeo en campo antes de realizar los taladros de drenaje**

Labor	Valoración	
	SN_274	
Tipo de labor	SN_274	Temporal
RQD	60 %	9
Resistencia	100 MPa	4
Espaciamiento	60 - 200 mm	7
Persistencia	3.0 - 10.0 m	2
Abertura	0.1 - 0.5 mm	1
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Blando < 5 mm	1
Meteorización	Moderadamente alterada	3
Aguas subterráneas	Fluyendo	0

Estos datos obtenidos fueron de mucha importancia al momento de tomar decisiones y recomendaciones geomecánicas con el cual se verifican las tablas de clasificación, para lo cual se considera el RMR para definir resultados exactos.

**Tabla 9. Valoración según el RMR antes de realizar la disminución del flujo del agua**

Rating	Tipo	Calidad	Color
>81	I	Muy buena	
61 – 80	II	Buena	
51 – 60	III – A	Regular A	
41 – 50	III - B	Regular B	
31 – 40	IV - A	Mala A	
21 – 30	IV – B	Mala B	
<20	V	Muy mala	

*Tomada de Zonificación Geomecánica – U. P. Ticlio*

Para el SN\_274 con un RMR de 30, se tendría una roca de mala calidad de tipo IVB, donde se considera un color rojo en los planos de zonificación geomecánica.

Esto se considera antes de emplear los taladros de drenaje; sin embargo, después de realizar los taladros según avanza la labor se tiene que realizar otro mapeo geomecánico, que dará otra valoración que se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 10. Resultados del mapeo en campo después de realizar los taladros de drenaje**

Labor	Valoración	
	SN_274	
tipo de labor	Temporal	
RQD	60 %	9
Resistencia	100 MPa	4
Espaciamiento	60 - 200 mm	7
Persistencia	3.0 - 10.0 m	2
Abertura	0.1 - 0.5 mm	1
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Blando < 5 mm	1
Meteorización	Mod. alterada	3
Agua subterráneas	Goteo	4

En este mapeo se puede observar que la condición de las discontinuidades no tiene una variación puesto que las características geomecánicas son las mismas, ya que se sigue continuando en el mismo subnivel, sin embargo, hay una modificación con respecto al agua subterránea que ya cambia el valor por ya no tener una labor fluyendo si no de goteo; este cambio modifica el resultado del RMR con un valor de 34 con una calidad de roca mala A.

**Tabla 11. Valoración según el RMR después de realizar taladros de drenaje**

Rating	Tipo	Calidad	Color
>81	I	Muy buena	Blue
61 – 80	II	Buena	Cyan
51 – 60	III – A	Regular A	Light Green
41 – 50	III - B	Regular B	Yellow
31 – 40	IV - A	Mala A	Orange
21 – 30	IV – B	Mala B	Red
<20	V	Muy mala	Brown

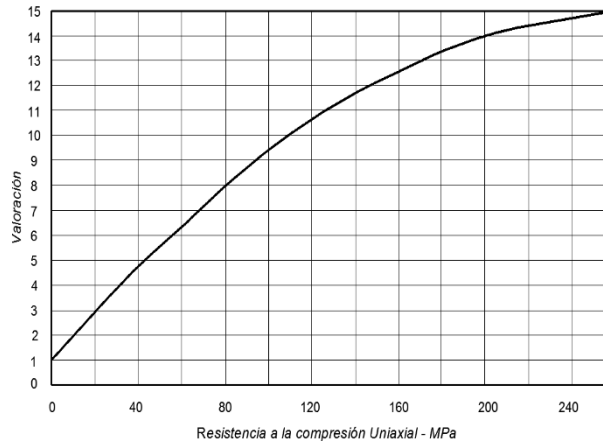
*Tomada de Zonificación Geomecánica – U. P. Ticlio*

#### 4.1.2. Análisis de la Clasificación con el uso de la Cartilla

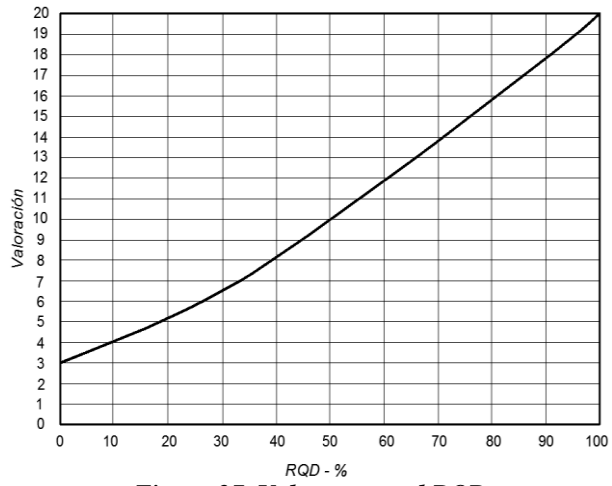
En la unidad minera de Ticlio se hace el uso de las cartillas geomecánicas ya establecidas por el corporativo de Volcan como compañía, en donde se consideran parámetros de clasificación geomecánicas observando todas las fallas diaclasas que se puedan encontrar al momento de realizar el mapeo, esta información se lleva a gabinete para plasmar en los planos geomecánicos, de acuerdo con la recolección de información se realiza un análisis para su diseño al momento de la operación.

En la zona Oeste del SN\_274\_W (nivel 13) se realiza el mapeo geomecánico utilizando la cartilla geomecánica donde se presenta la siguiente información.

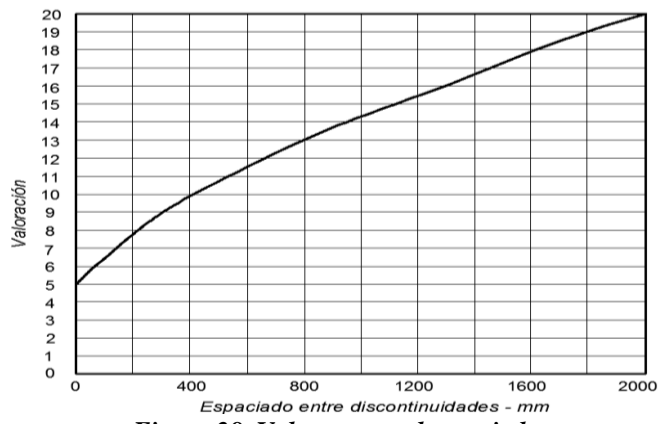
Es importante conocer los ábacos que se utilizarán para la valoración de RMR.



**Figura 26. Valores para la RCU**



**Figura 27. Valores para el RQD**



**Figura 28. Valores para el espaciado  
Tomada de Bieniawski (1989)**

Tabla 12. Mapeo geomecánico con el uso de la cartilla

VOLCAN		CLASIFICACIÓN GEOMECAÍNICA				GLENCORE																																
UNIDAD: TICLIO		EMPRESA: VOLCAN		HOJA: 1																																		
LABOR: SN_274_E		NIVEL: 12		EJECUTADO POR: K. MEZA																																		
COORDENADAS: X= Y= Z=		REVISADO POR: W. CARHUARICRA		FECHA: 15/10/2022																																		
PROGRESIVA / REFERENCIA: AC_274		LITOLOGIA: CALIZA																																				
CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES				CLASIFICACIÓN RMR (ROCK MASS RATING, BIENIAWSKI, 1989)																																		
Familia de discontinuidades		Familia 1		Familia 2		Familia 3		Familia 4																														
Buzamiento y dirección de buzamiento (Bz/DBz)		55°/125°		62°/245°		48°/025°																																
Condición de discontinuidad	Persistencia	3 - 10 m	2	1 - 3 m	4	3 - 10 m	2																															
	Rugosidad	Lig. Rugosa	3	Lisa	1	Lig. Rugosa	3																															
	Abertura	1 - 5 mm	1	1 - 5 mm	1	0.1 - 1.0 mm	4																															
	Relleno	Blando < 5 mm	2	Blando < 5 mm	2	Blando < 5 mm	2																															
	Meteorización	Lig. meteorizada	5	Lig. meteorizada	3	Muy meteorizada	1																															
Espaciamiento (m)		180.00		190.00		200.00																																
Espaciamiento promedio (m)		180.00		190.00		200.00																																
Número total de juntas m3 (Jv)				Porcentaje de RQD (Según Palmstrom, 1982)																																		
				<b>CLASIFICACIÓN Q (ROCK TUNNELING QUALITY INDEX, BARTON 1974)</b> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>RQD</td><td>60</td></tr> <tr><td>2</td><td>Jn</td><td>2</td></tr> <tr><td>3</td><td>Jr</td><td>3.0</td></tr> <tr><td>4</td><td>Ja</td><td>1</td></tr> <tr><td>5</td><td>Jw</td><td>2</td></tr> <tr><td>6</td><td>SRF</td><td>2.0</td></tr> </table>				1	RQD	60	2	Jn	2	3	Jr	3.0	4	Ja	1	5	Jw	2	6	SRF	2.0													
1	RQD	60																																				
2	Jn	2																																				
3	Jr	3.0																																				
4	Ja	1																																				
5	Jw	2																																				
6	SRF	2.0																																				
<b>CLASIFICACIÓN GSI (GEOLOGICAL STRENGTH INDEX, HOEK - KAISER, 2004)</b> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>Tamaño de bloques</td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td>Condición discontinuidad</td><td></td></tr> </table>				1	Tamaño de bloques		2	Condición discontinuidad		<b>RESUMEN DE RESULTADOS DE CLASIFICACION GEOMECAÍNICA</b> <table border="1"> <tr><td>RQD</td><td>60</td><td>Qc</td><td></td><td>Correlación Bieniawski: <math>Q = \exp((RMR-44)/9)</math></td></tr> <tr><td>RMR<sub>min</sub> ajust</td><td>30</td><td>Qc</td><td></td><td>Correlación Barton: <math>Q = 10((RMR-50)/15)</math></td></tr> <tr><td>RMR<sub>sp</sub></td><td>25</td><td>Q'</td><td></td><td>Calculado por: <math>Q' = RQD/J_n \cdot J_r \cdot J_a</math></td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>IV B</td><td>Q</td><td></td><td>Índice <math>Q = RQD/J_n \cdot J_r \cdot J_a \cdot J_w / SRF</math></td></tr> <tr><td>GSI</td><td>IF/MP</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>				RQD	60	Qc		Correlación Bieniawski: $Q = \exp((RMR-44)/9)$	RMR <sub>min</sub> ajust	30	Qc		Correlación Barton: $Q = 10((RMR-50)/15)$	RMR <sub>sp</sub>	25	Q'		Calculado por: $Q' = RQD/J_n \cdot J_r \cdot J_a$	TIPO	IV B	Q		Índice $Q = RQD/J_n \cdot J_r \cdot J_a \cdot J_w / SRF$	GSI	IF/MP			
1	Tamaño de bloques																																					
2	Condición discontinuidad																																					
RQD	60	Qc		Correlación Bieniawski: $Q = \exp((RMR-44)/9)$																																		
RMR <sub>min</sub> ajust	30	Qc		Correlación Barton: $Q = 10((RMR-50)/15)$																																		
RMR <sub>sp</sub>	25	Q'		Calculado por: $Q' = RQD/J_n \cdot J_r \cdot J_a$																																		
TIPO	IV B	Q		Índice $Q = RQD/J_n \cdot J_r \cdot J_a \cdot J_w / SRF$																																		
GSI	IF/MP																																					
<b>OBSERVACIONES:</b> Labor con presencia de agua tanto en corona y hastiales. Desprendimiento del frente y parte de la corona por la presnecia de agua y roca de mala calidad																																						

Tomada de U. P. Ticlio – área de Geomecánica

De acuerdo con los resultados del mapeo geomecánico, ya se conoce el valor del RMR que da como resultado 30, pero con el ajuste se tiene un valor de 25, esto indica que la calidad de la roca es mala de tipo IV B; sin embargo, lo que se quiere es mejorar esa condición, por lo que se realizarán unos taladros de drenaje orientados a las fallas que transportan agua, siendo este el caso donde las condiciones del terreno cambian favoreciendo el sostenimiento según lo establecido.

#### 4.1.3. Determinar el tipo del Sostenimiento para el SN\_274

Para determinar el tipo de sostenimiento en el subnivel es importante conocer el tipo de labor, esto quiere decir si será una labor permanente o será una labor temporal, para el caso del subnivel se tiene una labor temporal y la finalidad es extraer todo el mineral que se tiene, para luego rellenarlo y de esa manera cumplir su ciclo de minado.

##### ESR de Bartón

Este valor será con respecto al tipo de labor, en donde se considera el periodo que dicha labor está expuesta, en este caso se tiene una labor temporal, y su puntuación será de 3 -5. (19) como señala la siguiente tabla:

**Tabla 13. ESR de Bartón**

Categoría de excavaciones	Descripción	ESR
<b>A</b>	Excavaciones mineras temporales	3 - 5
<b>B</b>	Aberturas mineras permanentes, túneles de agua para hidroeléctricas (excluyendo conductos forzados de alta presión), túneles, galería y socavones para grandes excavaciones.	1.6
<b>C</b>	Cámaras de almacenamiento, plantas de tratamiento de agua, túneles carreteros y ferrocarrileros menores, cámaras de equilibrio, túneles de acceso.	1.3
<b>D</b>	Casas de máquinas, túneles carreteros y ferrocarriles mayores, refugios de defensa civil, portales y cruces de túnel.	1.0
<b>E</b>	Estaciones nucleoeeléctricas subterráneas, estaciones de ferrocarril, instalaciones para deportes y reuniones, fabricas.	0.80

##### Tomada de Clasificación Q de Bartón

Este dato se empleará en el siguiente gráfico donde según la información obtenida del mapeo geomecánico y haciendo el uso del valor del RMR; se podrá definir el sostenimiento que se aplicará en el subnivel.



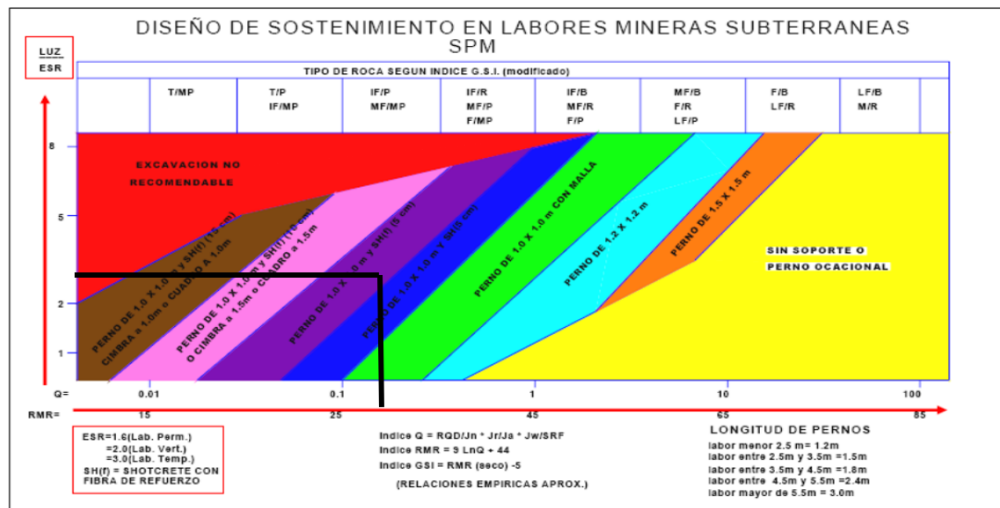


Figura 29. Diseño de sostenimiento en labores mineras subterráneas SPM Tomada de Bieniawski (1989)

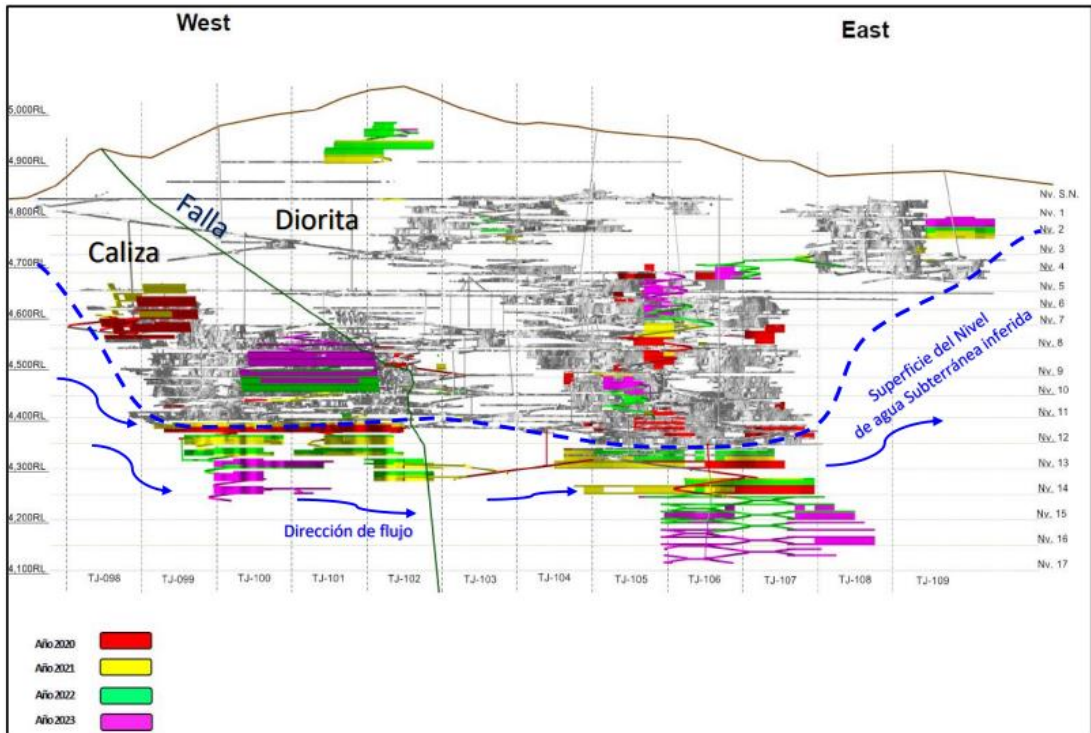
Según estos resultados el tipo de sostenimiento será el siguiente.

- Shotcrete de 2 pulgadas reforzadas con fibra
- Malla electrosoldada de 4" x 4"
- Pernos swellex de 7 pies espaciados a 1.20 x 1.20 m
- Sobremalla (shotcrete)

#### 4.2. Condición Hidrogeológica

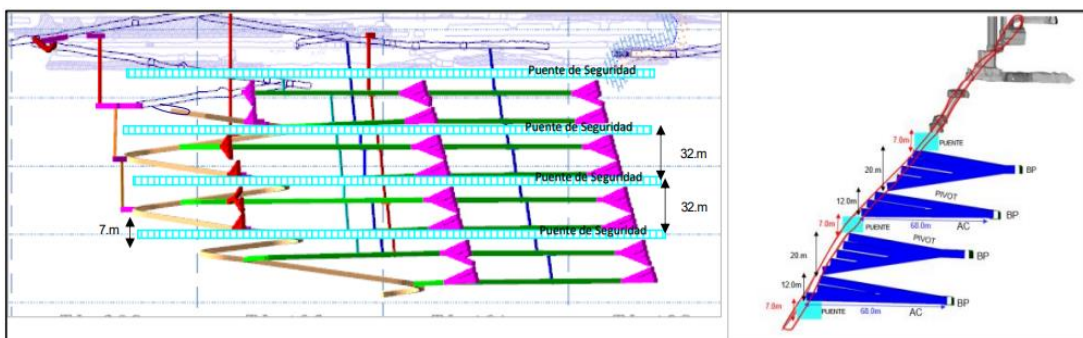
Se cuenta con un estudio hidrogeológico realizado el año 2016 por la empresa WES, con fines de profundización hasta el nivel 14. Donde el sistema hidrogeológico de la mina se enmarca claramente en 2 unidades geológicas, delimitadas por una falla (contacto):

**Calizas al Oeste:** macizo de media a alta permeabilidad secundaria (fracturamiento), son rocas favorables para el almacenamiento y transmitir agua subterránea. Importante, la circulación de las aguas subterráneas en las calizas se da a través de fallas, fracturamiento y cavernas por disolución, no en el mismo macizo rocoso (por lo que habrá zonas secas). Hay que considerar que, por debajo de la línea de nivel de agua subterránea, circula el agua a través de fracturas o cavernas de disolución con gran velocidad y presión.



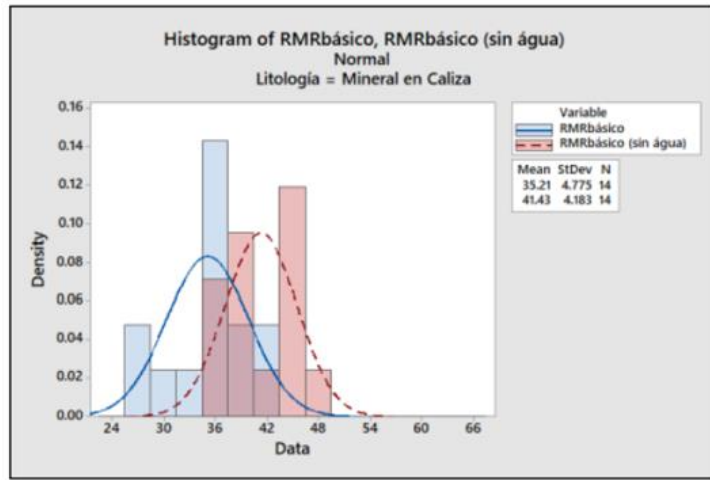
**Figura 30. Comportamiento hidrogeológico conforme se profundiza la mina  
Tomada del área de Geomecánica e Hidrología – U. P. Ticlio**

En la zona Oeste de la mina, donde el volumen del agua es mayor y el método de explotación utilizada es el *cut and fill* (OCF), su manejo se viene realizando desde el diseño minero, donde se considera realizar un nivel base (Corte 0 «C0») que sirve de drenaje, manteniéndose el agua en este nivel, que permite que los siguientes cortes (C1 al C7) se presenten como drenados, con lo cual se logra mejorar el rating de la calidad del macizo rocoso, permitiendo mejorar hasta en 6 puntos en la clasificación del macizo rocoso según el sistema  $RMR_{B89}$ . En la figura 31 se muestra un perfil con la condición descrita; en la figura 32 se muestra la mejora en la calidad del macizo rocoso.



**Figura 31. Esquema de método de explotación, considerando el nivel base (CO) como sistema de drenaje**

**Tomada del área de Geomecánica e Hidrología – U. P. Ticlio**



RMR: Drenado  
 RMR: No Drenado  
RMR: C2: 37
RMR: C1: 30

**Figura 32. Impacto de drenaje en la calidad del macizo rocoso Tomada del área de Geomecánica e Hidrología – U. P. Ticlio**

#### 4.2.1. Monitoreo de Filtración del Interior de Mina, Zona Oeste

Se realizó un monitoreo de las filtraciones que afloran en los avances de accesos y rampas dirigidas hacia la veta Ramal Techo, verificando el descenso total de la capa freática del nivel 12 hacia el nivel 13, incrementándose los caudales de filtraciones presentes en la zona de profundización. Los datos monitoreados se presentan a continuación:

**Tabla 14. Resumen del monitoreo hidrogeológico del nivel 12 y 13**

Estación	Tipo de Fuente	Ubicación	Nivel	Este	Norte	Cota (m s. n. m.)	Método de aforo	Caudal (l/s)	PH	T (°C)	EC (us/cm)
				(m)	(m)						
P - 16	Cuneta	SN_274_W	13	371 351	8 716 295	4345	Volumétrico	33.5	7.82	10.4	627
P - 17	Filtración	AC_274	13	371 390	8 716 307	4345	Correntómetro	5.2	7.62	10.5	600
P - 18	Filtración	AC_274	13	371 347	8 716 307	4345	Correntómetro	5	7.7	10.2	645
P - 19	Cuneta	AC_274	12	371 339	8 716 324	4345	Correntómetro	38.6	7.75	9.8	632
P - 20	Filtración	RP_275	13	371 312	8 716 334	4346	Volumétrico	8	7.88	9.5	777
P - 22	Filtración	RP_275	13	371 345	8 716 350	4340	Volumétrico	1.2	7.67	9.6	725
P - 23	Filtración	AC_274_3	13	371 455.3	8 716 354.8	4339.5	Correntómetro	48	8.05	10.2	535
P - 24	Filtración	AC_274_3	13	371 441	8 716 348.6	4339.4	Correntómetro	158	8.02	11.2	515
P - 25	Filtración	AC_274_3	13	371 426	8 716 363.4	4338.4	Volumétrico	6.5	8.06	10.5	570
P - 26	Filtración	AC_274_3	13	371 436	8 716 336.1	4339.7	Volumétrico	8	7.94	10.8	493
P - 27	Filtración	AC_274_3	13	371 382	8 716 301.4	4341.9	Volumétrico	4	8.13	11.7	465
P - 28	Filtración	AC_274_3	13	371 445.9	8 716 341	4335.4	Volumétrico	2.5	7.88	14.2	605
P - 29	Cuneta	AC_274_3	13	371 414.6	8 716 371.8	4337.9	Correntómetro	238.5	7.91	10.6	550
P - 30	Cuneta	AC_274_4	13	371 459.4	8 716 442.2	4335.7	Volumétrico	22	7.8	8.6	725
P - 31	Cuneta	AC_274_4	13	371 415	8 716 442.1	4337.6	Correntómetro	278.2	7.83	8.4	748
P - 32	Cuneta	AC_274_4	13	371 364.4	8 716 393.1	4337.7	Correntómetro	522.6	7.85	9.2	682
P - 33	Taladro	DSQ_248	13	371 369.1	8 716 365.2	4337.8	Volumétrico	12	8.04	10.9	518
P - 34	Taladro	CA_244	13	371 211	8 716 317.6	4352.3	Volumétrico	4.5	7.81	8.1	836

*Tomada del área de Geomecánica e Hidrología – U. P. Ticlio*

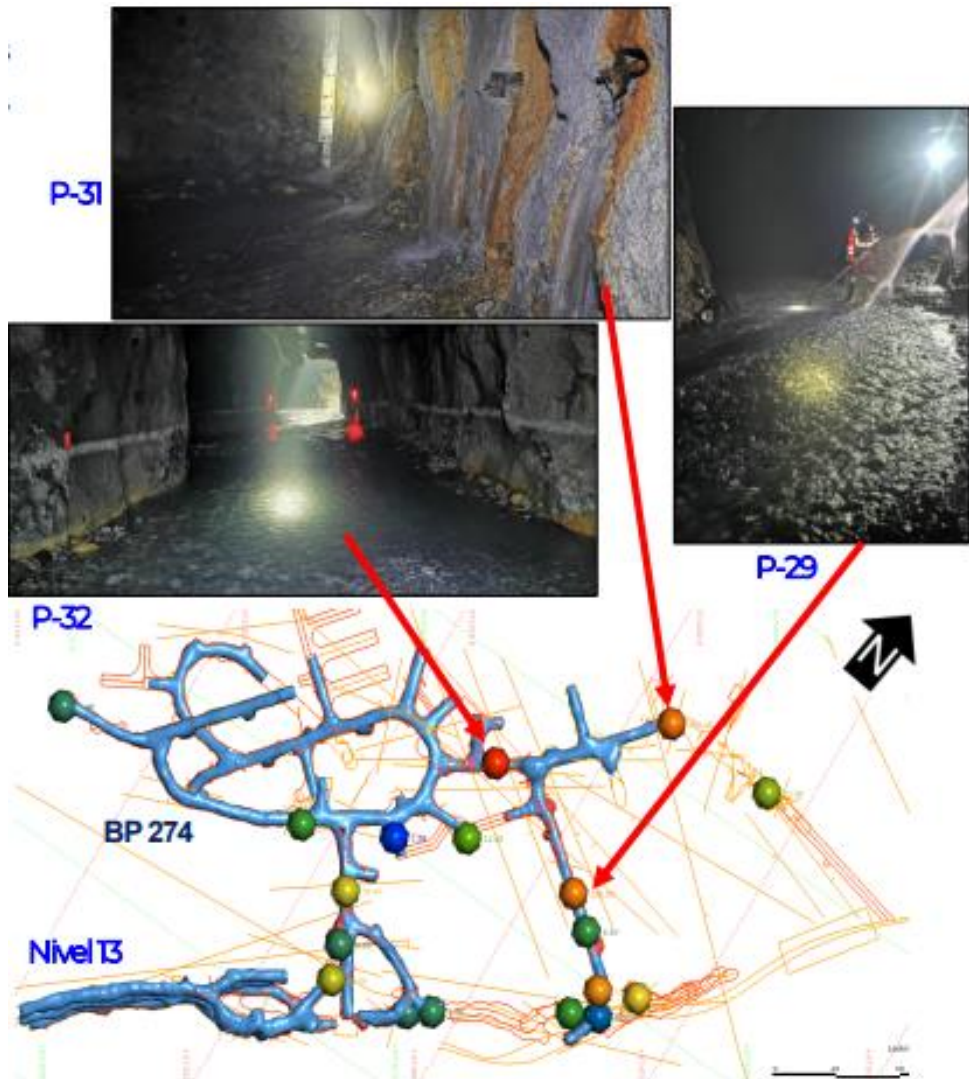
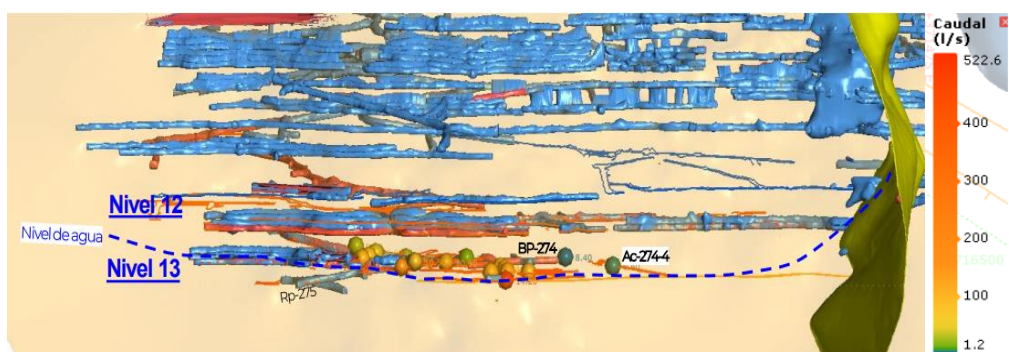


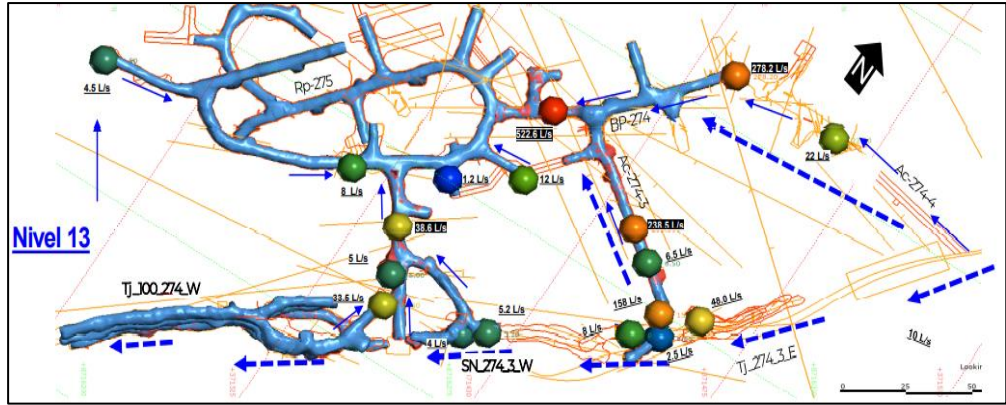
Figura 33. Puntos de monitoreo y de taladros de drenaje del nivel 13 AC\_274  
Tomada del área de Geomecánica e Hidrología – U. P. Ticlio

#### 4.2.2. Variación del Caudal (l/s)

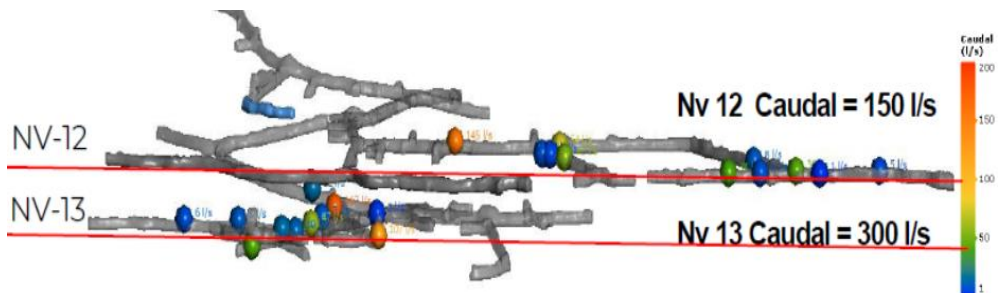
La variación del caudal en el nivel 12 disminuye considerablemente debido a la apertura de las labores del nivel 13 y el avance de la rampa principal, por lo que dentro del monitoreo se tiene la siguiente información de todas las labores del nivel 13.



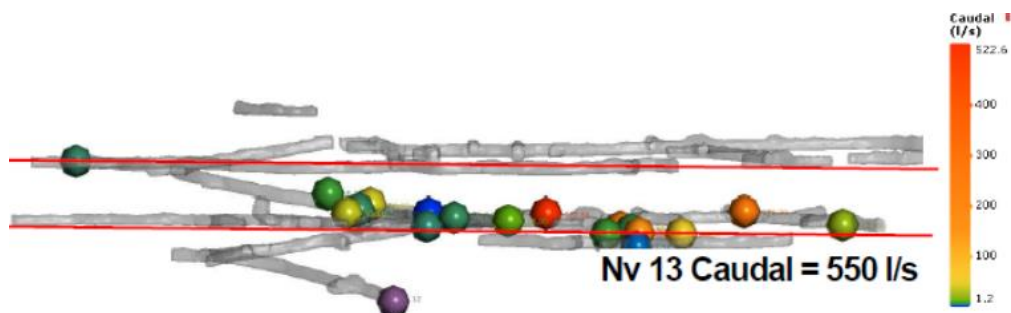




**Figura 34. Variación del caudal (l/s) del nivel 13, especificando las labores de avance  
Tomada del área de Geomecánica – U. P. Ticlio**



**Figura 35. Mapeo de la filtración del agua de enero del 2022  
Tomada del área de Geomecánica – U. P. Ticlio**



**Figura 36. Mapeo de filtración de agua mayo 2022  
Tomada de área de Geomecánica – U. P. Ticlio**

Como se puede observar en los monitoreos del inicio del año del 2022, en el nivel 12 se tenía un caudal de 150 l/s, lo cual se contaba con un sistema de bombeo sobre la capacidad; mientras en el nivel 13 el caudal era de 300 l/s.

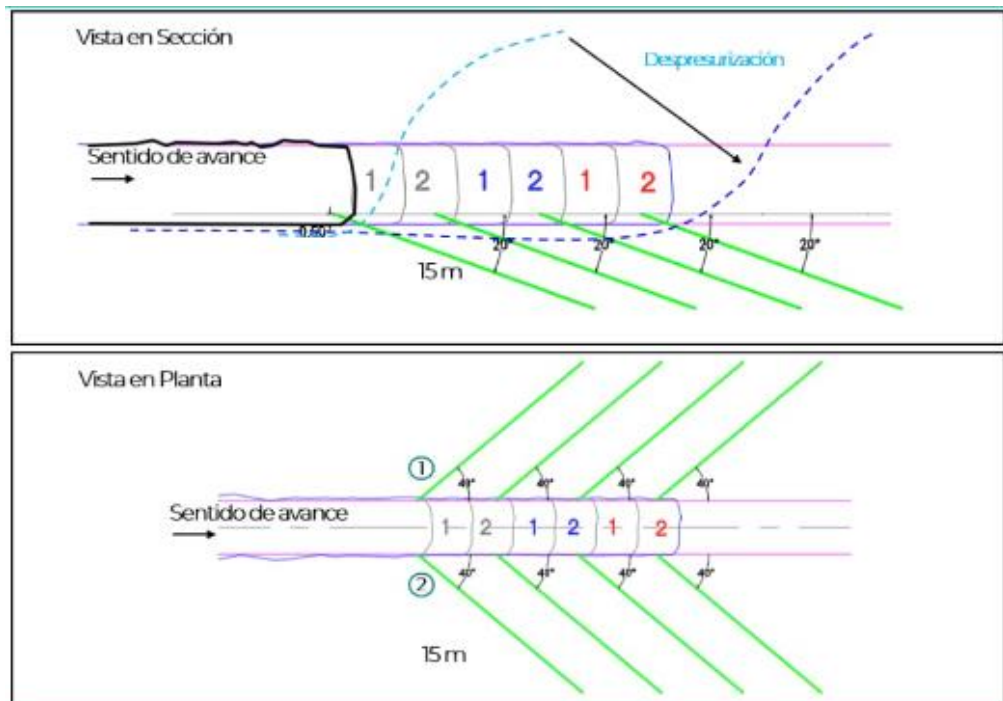
En el mes de mayo las condiciones del caudal de agua varían considerablemente, teniendo como un caudal 0 en el nivel 12, se entiende que el caudal se ha transferido al nivel 13 en donde ya se tiene 550 l/s captada de las labores, como se observa en la figura 37.

Como control se ha estimado 6 meses para despresurizar el subnivel, aplicando el *dewatering* con DDH, con ello, se ha garantizado la no ocurrencia de irrupciones o inundaciones en el frente de minado, así como también minimizando los costos en el sostenimiento.

#### 4.2.3. Diseño de Taladros de Drenaje

Para el diseño de los taladros de drenaje, se tiene que conocer el flujo y dirección del agua, para de esa manera orientar los taladros y poder drenar todo lo que se pueda y reducir las labores al momento de ingresar al subnivel.

Uno de los parámetros importantes dentro del diseño de los taladros de drenaje es la utilización del equipo apropiado que alcance la longitud requerida; en este caso se realiza con un equipo raptor con una longitud de perforación de 15 metros y con un diámetro de 102 mm.



**Figura 37. Plano de diseño de taladros de drenaje  
Tomada del área de Geomecánica – U. P. Ticlio**



*Figura 38. Taladros de drenaje ubicados en el hastial*

#### **4.3. Aplicación del Sostenimiento (*Shotcrete*) en el SN\_274**

Para controlar la estabilidad del subnivel, como se tiene establecido el tipo de sostenimiento, lo primero es emplear el *shotcrete* de 2" inicialmente con el fin de controlar la labor de posibles realces, ya que en esta zona las condiciones geomecánicas son desfavorables a pesar de seguir con la aplicación de los taladros de drenaje.

Es importante emplear *shotcrete* que cumpla con controles de calidad con el fin de tener un buen resultado de fraguado y resistencia del *shotcrete*, en el siguiente cuadro se presenta la receta recomendada y empleada en el subnivel.

**Tabla 15. Dosificación de *shotcrete***

Material	Und.	Diseño de <i>shotcrete</i>		
		400	420	460
Cemento tipo I	kg	400	420	460
Arena	kg	1557	1537	1500
Agua	l	219	220	230
Sika Fiber 65/35 (*)	kg	20	20	20
Master Glenium 3915	kg	2.24	2.35	2.58

*Tomada del área de Geomecánica – U. P. Ticlio*

Para la dosificación dependerá de la recomendación geomecánica, en el caso del subnivel lo recomendado es el diseño de 420.

Como ya se mencionó anteriormente, para que el *shotcrete* cumpla con resistencia y tiempo de fraguado, es necesario realizar pruebas de control de calidad, como la granulometría de la arena que no sobrepase los 1.5 mm. El gráfico de ensayo se presenta en los anexos.



La siguiente prueba que se realiza es la prueba del *slump* de *shotcrete*, siendo óptimo las 10" con una temperatura de 19 a 20 grados antes de ingresar a la mina.



*Figura 39. Pruebas de slump en interior de la mina con el cono Abrams*



*Figura 40. Medición de slump antes del lanzado*



*Figura 41. Medición de la temperatura del concreto*

Para determinar la resistencia del *shotcrete* después del lanzado se realizan pruebas de resistencia temprana, con el equipo penetrómetro, que da como resultados 1.5 MPa a las 2 horas. Véase el gráfico y las pruebas en la tabla 16.



**Figura 42. Pruebas de resistencia temprana**

**Tabla 16. Medición de la resistencia temprana de shotcrete a las 2 horas**

Medición de la resistencia temprana											
Labor	SN_274					Unidad minera Ticlio					
Fecha:	26/05/2022					Área: Geomecánica					
Tiempo (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio
15	245	263.1	263.2	236.2	266.8	198.4	213.5	245.1	254	263	<b>244.83</b>
30	289	278.6	301.5	314.6	309.2	308.4	320.8	315.5	380.4	304.5	<b>312.25</b>
60	423	456	487	465	456	470.2	489.2	423.5	502.4	497.5	<b>466.98</b>
90	685	745.2	728.1	723.6	689.4	704.5	745.3	725.6	718.9	697.3	<b>716.29</b>
120	945.3	956.1	962.1	964.3	979.5	901.3	902.4	946.7	956.3	946.4	<b>946.04</b>
Resistencia (MPa)											<b>1.456</b>

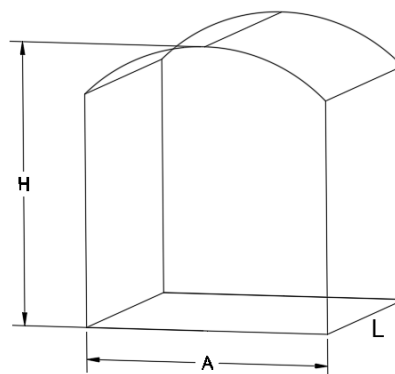
Con los datos tomados en campo después del lanzado de *shotcrete* y de realizar el ensayo de las 2 horas sobre la resistencia del *shotcrete*, se puede determinar la resistencia requerida para cumplir con el soporte del subnivel, aclarando que después de ello se debe seguir con la colocación de malla y pernos.



**Figura 43. Lanzado de shotcrete para controlar la labor SN\_274**

#### 4.4. Cálculo de Costos y Consumo de Shotcrete

Para realizar el control el consumo de *shotcrete* se deben realizar ciertos controles en campo como en la planta de concreto, para ello se debe realizar el cálculo de cubicación de *shotcrete* en m<sup>3</sup> de acuerdo con las dimensiones del frente, para el SN\_274 se cuenta con una sección de 3.5 x 4.0 con un avance promedio de 3.2 metros. En el siguiente gráfico se presentan los cálculos de cubicación.



**Figura 44. Dimensiones para el cálculo de cubicación de shotcrete**

$$V_{shotcrete} = \frac{((H \times 2) + A) \times 0.91 \times L}{11}; m^3$$

$V_{shotcrete}$  = volumen del *shotcrete* en m<sup>3</sup>

H = altura

A = ancho

L = avance de la labor

Ratio de conversión = 11

0.5 = *shotcrete* de sacrificio

$$V_{\text{shotcrete}} = \frac{((4.0 \times 2) + 3.5) \times 0.91 \times 3.2}{11} = 3.45 \text{ m}^3 + 0.5 = 3.95 \text{ m}^3$$

El consumo promedio por frente sostenido es de 4 m<sup>3</sup>, si las condiciones son buenas, sin embargo, según la condición el consumo podría ser mayor.

Uno de los controles empleados por parte del área de Geomecánica es un reporte de la cubicación de las labores para el lanzamiento de *shotcrete*, que se realiza en cada guardia encargada por el supervisor; en donde se detallan los datos de la sección, nombre de la labor, condición del frente que justificarán los cubos solicitados a la planta de concreto.

DATOS GENERALES		DATOS DE UBICACIÓN	
FECHA	22-01-22	OTRA	0466
GRUPO	Nube	NO.	13
TIPO DE LABORA	Alfian 703	LABOR	160-275-3
OPERADOR	Roby	PROYECTO	
COORDINADOR	N. Gómez		

MEDIDAS DE LABOR		CUBICACIÓN (m <sup>3</sup> )	
ALTO	4.7	OPCIÓN (m <sup>3</sup> )	3.9
ANCHO	4.3	MÓDULO (m <sup>3</sup> )	3.91
LONGITUD	11.2	MÓDULO (m <sup>3</sup> )	3.9 m <sup>3</sup>
		NOTAS	

GRABO	OBSERVACIONES
	Se lanza frente y sacrificio

Figura 45 muestra un formulario de reporte de trabajos de lanzamiento de *shotcrete* de la empresa JRC - Ticlio. El formulario está dividido en varias secciones: 'DATOS GENERALES' con campos para fecha, grupo, tipo de labora, operador y coordinador; 'DATOS DE UBICACIÓN' con campos para otra, número, labor y proyecto; 'MEDIDAS DE LABOR' con campos para alto, ancho y longitud; 'CUBICACIÓN (m<sup>3</sup>)' con campos para opción, módulo y notas; 'GRABO' con un diagrama de una sección transversal de una estructura; y 'OBSERVACIONES' con el texto 'Se lanza frente y sacrificio'. El formulario también incluye el logo de JRC y una firma en la parte inferior.

Figura 45. Reporte de cubicación de *shotcrete* Tomada de Reporte de Empresa JRC - Ticlio

#### 4.4.1. Cálculo del Consumo de *Shotcrete*

Para determinar el consumo de *shotcrete*, como ya se ha visto anteriormente, uno es que las condiciones de la labor mejoren y lo que se ha planteado como solución es minimizar el caudal del agua; lo cual mediante los taladros de drenaje se ha logrado reducir, en consecuencia, se ha logrado que el consumo que se tenía anteriormente (periodo de evaluación y toma de datos de todo el año 2021), en promedio unos 1500 m<sup>3</sup> de *shotcrete* mensual destinado a todas las labores con las que se contaba en la unidad.

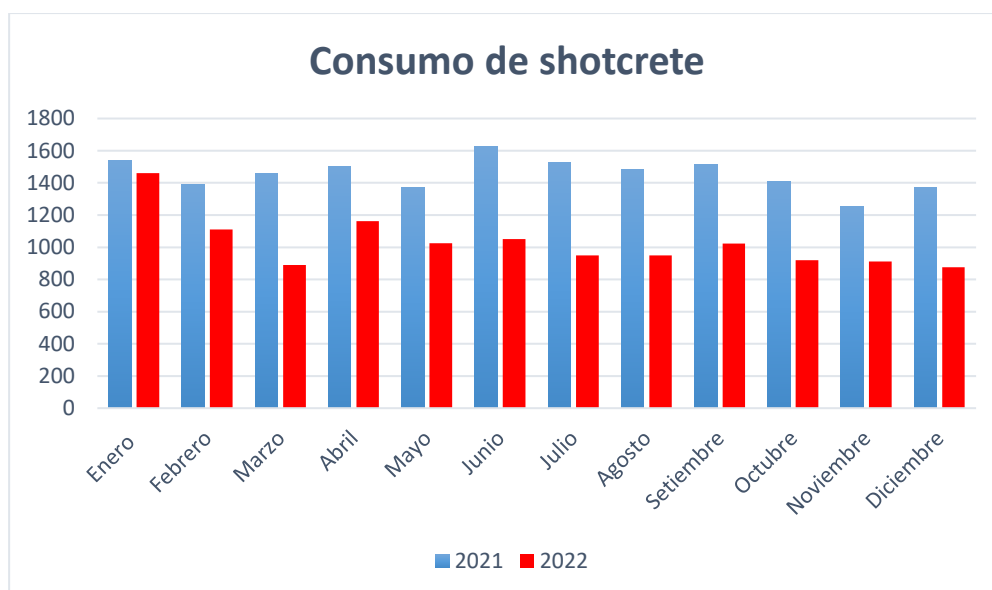
Esto sumando a que no se tenía un control o reporte de los consumos diarios de *shotcrete*.

Para el 2022, se inicia con la implementación de los reportes detallados del consumo de *shotcrete* (figura 46), y se aumentan los taladros de drenaje en las labores de la zona Oeste, específicamente en los subniveles por ser considerados por evaluación geomecánica, roca de mala calidad.

A continuación, se presenta un cuadro de los consumos de *shotcrete* del 2021 y el 2022, donde se puede observar una variación del consumo del 2021 con respecto al 2022, esto indica que para el año 2021 el consumo promedio por mes era de 1452.7 m<sup>3</sup>, y para el año 2022 el consumo promedio fue de 1027.12 m<sup>3</sup> por mes, con una diferencia de aproximadamente 400 m<sup>3</sup>.

**Tabla 17. Consumo de *shotcrete* en m<sup>3</sup> periodo 2021 y 2022**

<b>Consumo de <i>shotcrete</i></b>		
	<b>2021</b>	<b>2022</b>
<b>Enero</b>	1542	1460
<b>Febrero</b>	1387.6	1110
<b>Marzo</b>	1456.2	889
<b>Abril</b>	1502.3	1163
<b>Mayo</b>	1368.7	1024.2
<b>Junio</b>	1623.2	1050.3
<b>Julio</b>	1526	950
<b>Agosto</b>	1482	949
<b>Setiembre</b>	1512	1023
<b>Octubre</b>	1406.3	920
<b>Noviembre</b>	1253	912
<b>Diciembre</b>	1374	875



**Figura 46. Gráfico de consumo de shotcrete**

#### 4.4.2. Costos de Lanzado de Shotcrete por m<sup>3</sup>

Como bien se sabe que dentro de los costos operativos el sostenimiento es uno con los P. U. más elevados, siendo muy necesario para tener una estabilidad adecuada y seguridad de las labores; en este caso, se emplea el *shotcrete* como un sostenimiento pasivo, que tiene un costo de 250 \$/m<sup>3</sup>.

Entonces, lo que se busca para minimizar los costos de sostenimiento, en la siguiente tabla se presenta los costos aproximados de *shotcrete* evaluados desde el año 2021 y el año 2022, en donde según lo mencionado anteriormente sobre el consumo de *shotcrete* no indica que a mayor consumo los costos también serán mayores, y si el consumo disminuye hay un ahorro en los costos de forma muy significativa.

**Tabla 18. Costos de Shotcrete 2021**

Costos de shotcrete 2021		
Mes	Shotcrete (m <sup>3</sup> )	Costo US\$
Enero	1542	385 500
Febrero	1387.6	346 900
Marzo	1456.2	364 050
Abril	1502.3	375 575
Mayo	1368.7	342 175
Junio	1623.2	405 800
Julio	1526	381 500
Agosto	1482	370 500
Setiembre	1512	378 000
Octubre	1406.3	351 575
Noviembre	1253	313 250
Diciembre	1374	343 500

**Tabla 19. Costos de Shotcrete 2022**

<b>Costos de shotcrete 2022</b>		
<b>Mes</b>	<b>Shotcrete (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Costo US\$</b>
Enero	1460	365 000
Febrero	1110	277 500
Marzo	889	222 250
Abril	1163	290 750
Mayo	1024.2	256 050
Junio	980	245 000
Julio	950	237 500
Agosto	949	237 250
Setiembre	1023	255 750
Octubre	920	230 000
Noviembre	912	228 000
Diciembre	875	218 750

En los costos de la aplicación de *shotcrete* para el año 2022 ha sido muy favorable a diferencia del año 2021 con una diferencia de 107.8 mil US\$, siendo así que para el 2021, se tenía un promedio de 363.1 US\$/mes y para el año 2022 con 255.3 US\$/mes.

## Conclusiones

1. Las condiciones geomecánicas del subnivel de forma inicial, considerando la presencia de agua de flujo continuo, tiene un RMR de 30 considerado según su calidad como roca mala de tipo IVB; sin embargo, después de reducir el caudal de agua esta condición cambia teniendo así un RMR de 34, considerada aún roca mala, pero de tipo IVA, por lo que según este resultado se define la recomendación geomecánica.
2. El mapeo geomecánico juega un papel muy importante, la compañía considera una clasificación detallada, donde se considera condición de las discontinuidades de la familia de discontinuidades encontradas, en donde se ha podido encontrar una de las fallas que son conductoras de agua, que corta de forma perpendicular al subnivel con un buzamiento de 68°.
3. Para determinar el tipo de sostenimiento se han utilizado ciertos criterios como el ESR de Barton, quien indica el periodo de exposición de la labor, en este caso tratándose de un subnivel es considerado labor temporal, siendo su puntuación 3. Teniendo los datos se hace uso del diseño de sostenimiento SPM que da como resultado utilizar *shotcrete* con fibra 2" + malla electrosoldada de 4.0 x 4.0" + pernos *swellex* de 7 pies espaciados a 1.20 x 1.20.
4. Las calizas macizo de media permeabilidad son rocas favorables para almacenamiento y la transmisión de agua subterránea a través de las fallas y como el volumen de agua es mayor en esta zona el método de explotación es corte y relleno ascendente, para así realizar el drenaje, mejorando el rating de la calidad del macizo hasta en 6 puntos.
5. Según se va profundizando las labores hay una variación de caudal, es lo que pasa con el nivel 12 que a inicios del año tenía un caudal de 150 l/s y el nivel 13 contaba con un caudal de 300 l/s; sin embargo, mediante el monitoreo del mes de mayo el caudal del nivel 13 era 500 l/s, nivel 12 completamente seco.
6. Para disminuir el caudal, según avanza el subnivel, ya incluso desde el acceso se emplean taladros de drenaje en los hastiales con una orientación de 20° de inclinación, de 15 metros por taladros espaciados a 2.5 metros, logrando captar toda la cantidad posible de agua.
7. El sostenimiento empleado como parte inicial es el lanzado de *shotcrete* para tratar de estabilizar de posibles realces que son muy frecuentes en esta zona, es por lo que el *shotcrete*



es de una mezcla especial que cumple con una resistencia temprana de las 1.5 MPa a las 2 horas.

8. El consumo de *shotcrete* para el año 2021 se tenía como promedio 1452.7 m<sup>3</sup>/mes, mientras que para el año 2022 aplicando los controles del consumo y los taladros de drenaje el consumo promedio fue de 1027.12 m<sup>3</sup>/mes, con una diferencia de 400 m<sup>3</sup>.
9. En los costos de la aplicación de *shotcrete* para el año 2022 ha sido muy favorable a diferencia del año 2021 con una diferencia de 107.8 mil US\$, siendo así que para el 2021 se tenía un promedio de 363.1 US\$/mes y para el año 2022 con 255.3 US\$/mes.

## Recomendaciones

1. Se recomienda seguir con los mapeos geomecánicos de las labores que se inician, y no solo eso, también plasmarlos en los planos para su análisis para luego tomar decisiones con respeto a las condiciones que puedan presentar y perjudicar el avance de la producción.
2. Se recomienda hacer el uso de las cartillas y tablas geomecánicas existentes para tener un resultado probable sobre las condiciones geomecánicas, así como también para determinar el sostenimiento apropiado, que según condiciones *in situ* puedan variar, respetando los estándares establecidos por la compañía.
3. Es recomendable una mayor evaluación de las rocas calizas por ser favorables en el almacenamiento de agua y el transporte mediante fallas en la parte subterránea, perjudicando las condiciones.
4. Se recomienda seguir con la aplicación de taladros de drenaje en las labores con mayor cantidad de caudal y presión; también tener un plan de drenaje con perforación DDH a mayores longitudes en niveles que aún no se han llegado.
5. Se recomienda continuar con los controles de calidad del *shotcrete* antes y después de su aplicación, mayor entrenamiento al personal para un mejor lanzado evitando pérdidas por rebote; continuar también con los controles de la cubicación de los frentes con un reporte por guardia con toda la información necesaria por parte de los supervisores.

## Lista de Referencias

1. **VARGAS NIQUÍN, Ever.** *Optimización del sostenimiento con shotcrete usando desmorte zarandeado como agregado, en la construcción de la rampa principal - marsa.* Tesis para optar el Título de Ingeniero de Minas., Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo : s.n., 2017.
2. **CAMARENA COSME, Franklin Miguel.** *Optimización del sostenimiento con shotcrete vía húmeda con fines de minimizar costos y mejorar la producción de lanzado de la E. E. Robocon S. A. C. en la mina San Cristóbal - Cía. minera Volcan S. A. A.* Tesis para optar el título de Ingeniero de Minas. Huancayo : Universidad Nacional del Centro del Peru, 2016.
3. **BRAVO MUÑOZ, Kleiber Humberto.** *Propuesta de mejoramiento en el sistema de sostenimiento mediante shotcrete vía húmeda en sección Cuerpos zona Alta – Compañía minera Casapalca – Huarochiri – Lima.* Tesis para optar el título de Ingeniero de Minas. Cusco : Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, 2019.
4. **ROJAS ACURIO, John Santy.** *Diseño de shotcrete vía húmeda para construir el sostenimiento de rampa principal aplicando la norma ACI 506 mina Alpayana Lima 2021.* Tesis para optar el título de Ingeniero de Minas, Universidad César Vallejo. Callao, 2021.
5. **TAPIA CHOQUEHUANCA, Juan Aldo.** *Diseño y aplicación del shotcrete vía húmeda como elemento de sostenimiento en labores mineras – Inpecon SAC – Mina Chipmo Cía. minera Buenaventura unidad Orcopampa.* Tesis para optar el título de Ingeniero de Minas, Universidad San Agustín de Arequipa. Arequipa : Universidad San Agustín de Arequipa, 2017.
6. **Compañía minera Volcan.** *GCMP - Ticlio .* Junín : s. n., 2022.
7. **HOOK, E.** *Support of underground excavations in hard rock.* Rotterdam: Balkema : s.n., 1995.
8. **Ingeniería y Planeamiento – Compañía minera Volcan S. A. A.** *Planeamiento a la largo plazo.* Junín : s.n., 2022.
9. **Compañía de Seguros Positiva S. A.** *Guía de seguridad para el sostenimiento de minas subterráneas.* Bogotá : s.n., 2018. 9789585916678.
10. **VENANCIO, Rogerio.** *Hormigones proyectados (shotcrete).* Argentina : Instituto del Cemento Portland Argentino, 2020.
11. **MORGAN, DR.** *Hormigón proyectado reforzado con fibra de acero para soporte de aberturas subterráneas en Canadá. Shotcrete.* Canadá : American Concrete Institute, 2008.
12. **PAKALNIS.** *Diseño de bocas de minas subterráneas utilizando hormigón proyectado.* Kencana : s.n., 2010.
13. **ASTM C 136.** *Método de prueba estándar para análisis de tamiz de agregados finos y gruesos.* Estados Unidos : Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales, 2006.
14. **CASTELLANOS GOMES, Carlos Alberto.** *Extracción y manejo del agua subterránea. Ventajas del agua subterránea comparada con el agua superficial.* Lima : s.n., 2018.
15. **STANLEY, D.** *Hidrogeología.* s.l. : Ariel, 1971.
16. **CASTANY, G.** *Traitépratique des eaux souterraines.* paris : deuxieme edition, 1967.

17. **TODD, D. K.** *Ground water hydrology*. New York : s.n., 1959.
18. **GONZALO DUQUE, Escobar.** *Manual de geología para ingenieros*. Colombia : s.n., 2016.
19. **BARTON.** *Engineering Classification of Rock Masses for the Desing of Tunnel Support*. *Rock Mechanics*. 1974.

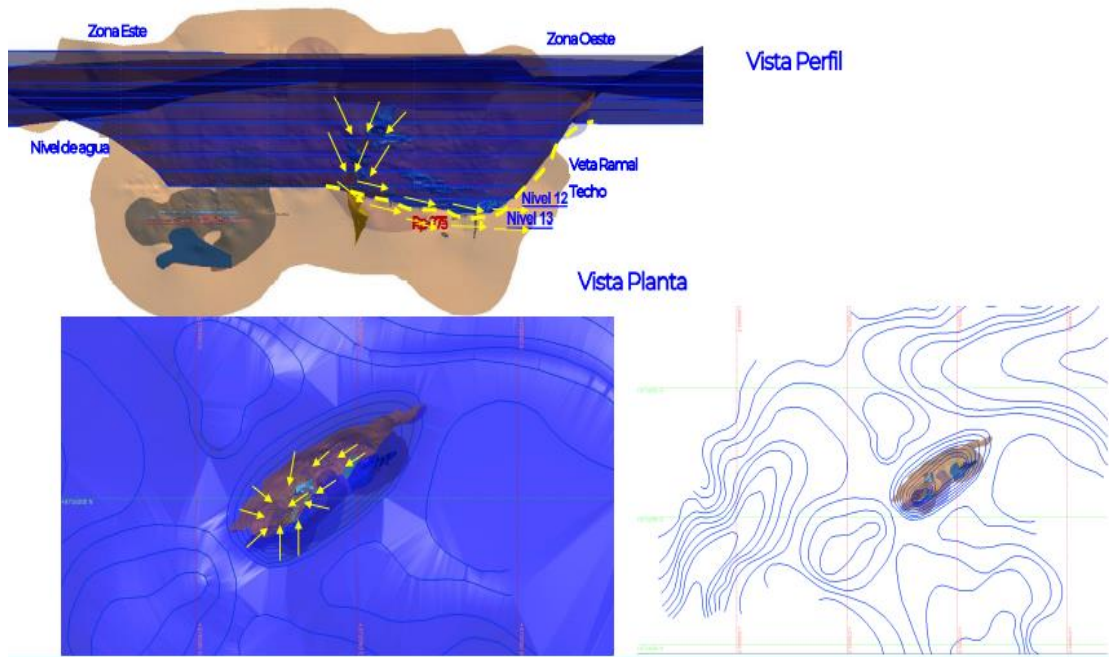
## **Anexos**

## Anexo 1

### Cuadro de matriz de consistencia

<b>Problema general</b>	<b>Objetivo general</b>	<b>Hipótesis general</b>
¿De qué manera se optimizará el consumo de <i>shotcrete</i> si se mejora las condiciones del macizo rocoso del subnivel 274 del nivel 13 de la unidad minera Ticlio?	Optimizar el consumo de <i>shotcrete</i> mejorando las condiciones del macizo rocoso del subnivel 274 del nivel 14 de la unidad minera Ticlio.	La Optimización en el consumo de <i>shotcrete</i> será factible si se mejora las condiciones del macizo rocoso del subnivel 274 del nivel 13 de la unidad minera Ticlio
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específicas</b>
¿Cuál es la influencia en las mejoras de la condición geomecánica para aumentar el avance en la producción frente al consumo del <i>shotcrete</i> del Subnivel 274 de la unidad minera Ticlio?	Mejorar la condición geomecánica y avances en la producción frente al consumo del <i>shotcrete</i> del Subnivel 274 de la unidad minera Ticlio.	Las mejoras en las condiciones geomecánica influirá en aumentar el avance de la producción frente al consumo de <i>shotcrete</i> del Subnivel 274 de la unidad minera Ticlio.
¿Cómo se realizará la reducción de la presencia de agua en las labores para mejorar la condición geomecánica y determinar el sostenimiento adecuado con respecto al valor del RMR del Subnivel 274 de la unidad minera Ticlio?	Realizar la reducción la presencia de agua en las labores para mejorar la condición geomecánica y determinar el sostenimiento con respecto al valor del RMR del Subnivel 274 de la unidad minera Ticlio.	La reducción de la presencia del agua en las labores mejorara la condición geomecánica el cual determinara el sostenimiento adecuado con respecto al valor del RMR del Subnivel 274 de la unidad minera Ticlio.
¿Cómo se optimizarán los costos unitarios del lanzado de <i>shotcrete</i> con respecto a las mejoras de la condición geomecánica del subnivel 274 de la unidad minera Ticlio?	Optimizar los costos unitarios del lanzado de <i>shotcrete</i> con respecto a las mejoras de la condición geomecánica del subnivel 274 de la unidad minera Ticlio.	La Optimización de los costos unitarios del lanzado de <i>shotcrete</i> será factible si mejoran las condiciones geomecánicas del Subnivel 274 de la unidad minera Ticlio.

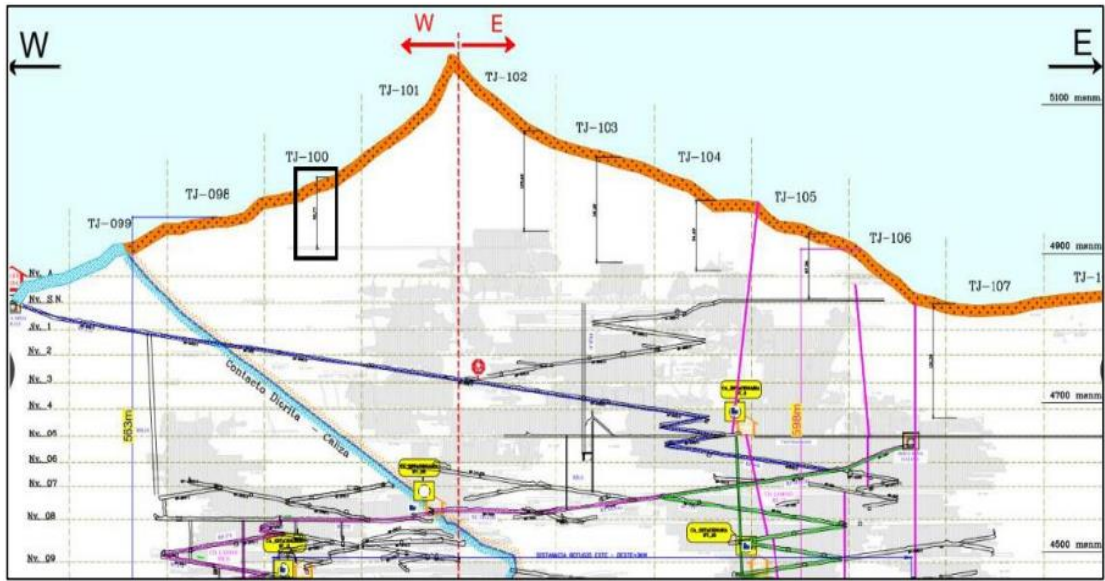
**Anexo 2**  
**Delimitación del nivel freático**



*Tomada del área de Geomecánica e Hidrología – U. P. Ticlio*

### Anexo 3

#### Sección longitudinal de la mina Ticlio



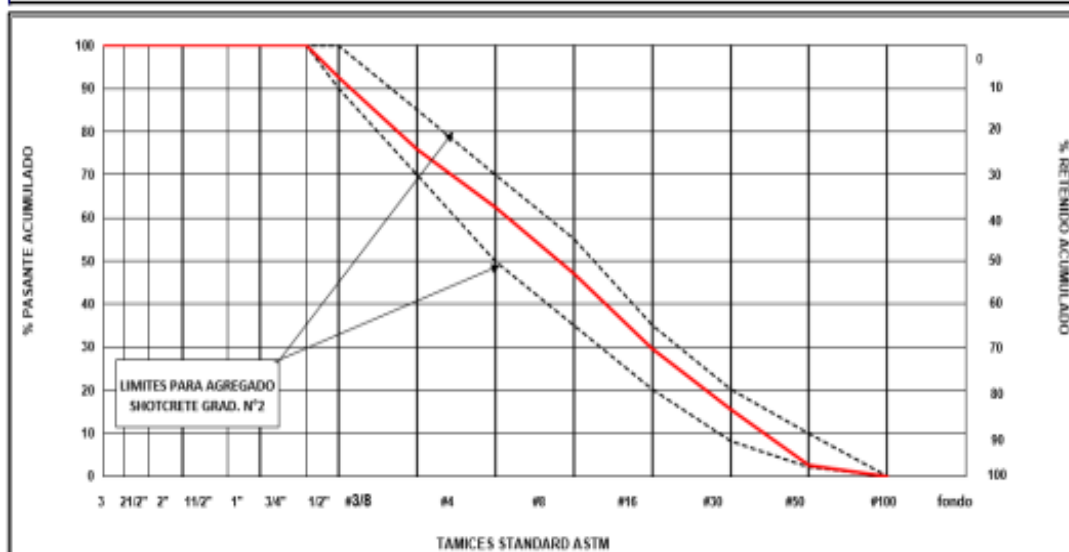
*Tomada del Área de Ingeniería y planeamiento – U. P. Ticlio*



## Anexo 4

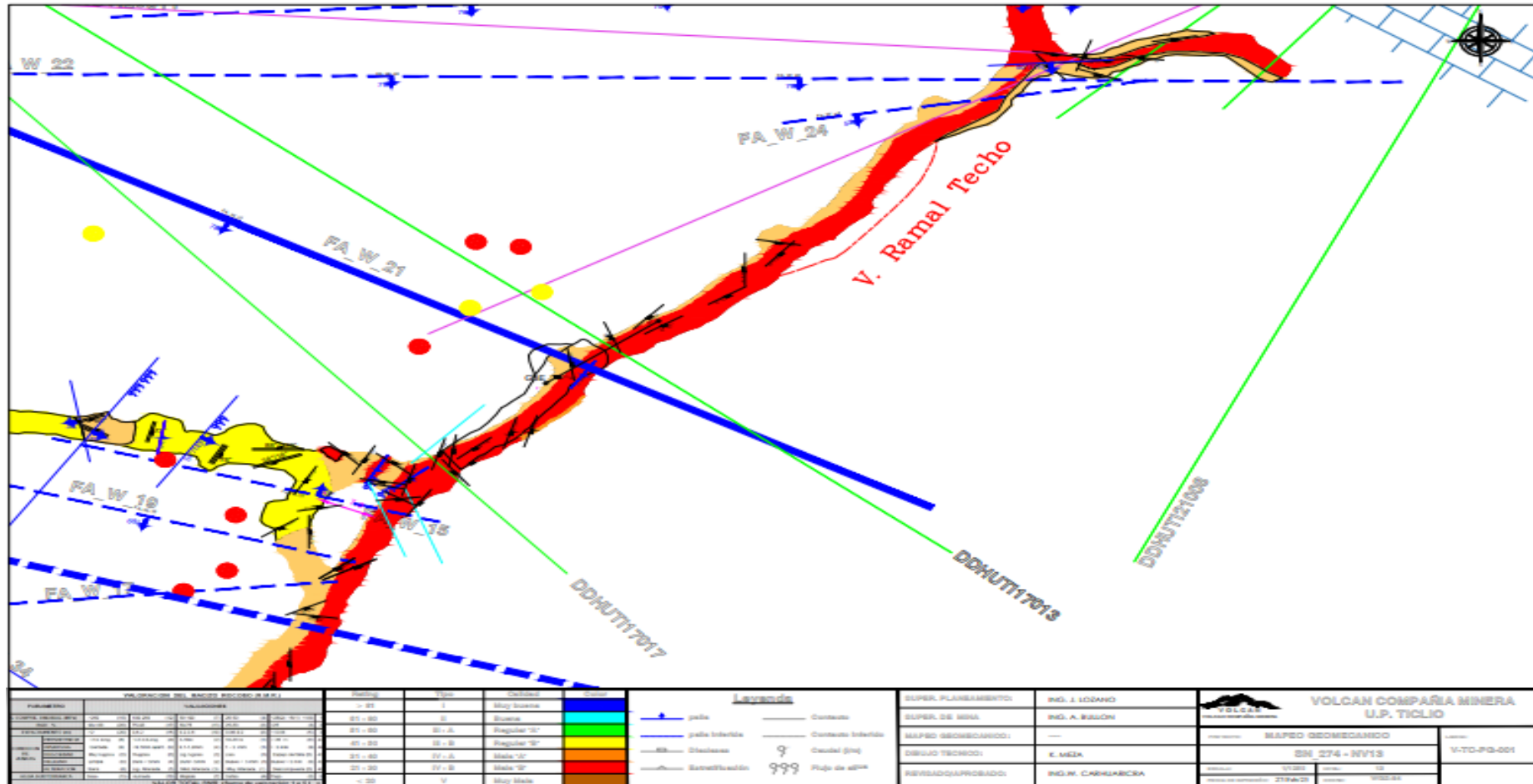
### Pruebas de granulometría y porcentaje de humedad de la arena

MATERIAL : Agregado Fino (Gradacion 2)						MUESTRA N° : M-1 (Angar Planta)	
CANTERA: PACHACHACA cantera "X"						FECHA DE MUESTREO: 10-Mar-22	
TRANSPORTISTA: C.C. SAN JUAN BAUTISTA DE PACHACHACA						FECHA DE INGRESO : 10-Mar-22	
REALIZADO POR: KITMAR VALVERDE ALANIA						FECHA DE ANALISIS : 10-Mar-22	
GRANULOMETRIA						CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
MALLA	PESO RETENIDO EN GRAMOS	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMUL.	% PASANTE ACUMUL.	ESPECIFIC. GRADACIÓN ACI-506_G2	MODULO DE FINEZA	3.74
3"	-	0.0	0.0	100.0		TAMAÑO MAXIMO	3/8"
2 1/2"	-	0.0	0.0	100.0		% DE HUMEDAD	
2"	-	0.0	0.0	100.0		(A) peso de tara (g) :	629.5
1 1/2"	-	0.0	0.0	100.0		(B) peso de muestra original húmeda(g):	1233.2
1"	-	0.0	0.0	100.0		(B) peso de muestra original seca(g):	1131.5
3/4"	-	0.0	0.0	100.0	100	Peso de muestra original húmeda(g):	9.0
1/2"	-	0.0	0.0	100.0	100	% DE MALLA #200	
3/8"	83.4	7.4	7.4	93	90 - 100	(D) peso de tara (g) :	629.5
# 4	189.8	16.8	24.1	76	70 - 85	(E) peso de muestra seca (g) :	1131.5
# 8	161.0	13.3	37.5	63	50 - 70	(F) peso de muestra después de lavado seca (g):	
# 16	172.6	15.3	52.7	47	35 - 55	%PASANTE DE M # 200: [(E-F) * 100 / (E-D)]	100.0
#30	200.4	17.7	70.5	30	20 - 35	<b>NORMA ACI 506 - ASTM C33</b>	
#50	169.5	14.1	84.6	15	8 - 20		
#100	145.1	12.8	97.4	3	2 - 10		
fondo	29.7	2.6	100.0	0	0 - 0		
TOTAL	1131.5	100.0	MODULO DE FINEZA	3.74			



*Tomada del área de Geomecánica – U. P. Ticlio*

Anexo 5  
 Plano geomecánico zona Oeste – nivel 13



Tomada del área de Geomecánica – U. P. Ticlio

**Anexo**  
**Formato de reporte de cubicación de shotcrete**

<div style="text-align: center;"> <p><b>REPORTE DE TRABAJOS DE LANZADO DE SHOTCRETE VIA HUMEDA</b></p> <p><b>TICLIO</b></p> </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">DATOS GENERALES</th> <th colspan="2">DATOS DE UBICACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>FECHA</td><td>27-01-22</td> <td>ZONA</td><td>Orsó</td> </tr> <tr> <td>GUARDA</td><td>Noche</td> <td>NIVEL</td><td>13</td> </tr> <tr> <td>EQUIPO LANZADOR</td><td>Alpha 707</td> <td>LABOR</td><td>MC 214-3</td> </tr> <tr> <td>OPERADOR</td><td>Freddy</td> <td>PROGRESIVA</td><td></td> </tr> <tr> <td>SUPERVISOR</td><td>N. Gutierrez</td> <td></td><td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">MEDIDAS DE LABOR</th> <th colspan="2">CUBICACION (m<sup>3</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ALTO</td><td>4.1</td> <td>ESPESOR (cm)</td><td>24</td> </tr> <tr> <td>ANCHO</td><td>4.3</td> <td>M<sup>3</sup> CUBICADOS</td><td>3.91</td> </tr> <tr> <td>LONGITUD</td><td>4.3</td> <td>M<sup>3</sup> LANZADOS</td><td>3.9 M<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td></td><td></td> <td>ADITIVO (Lts)</td><td></td> </tr> </tbody> </table> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>GRAFICO</th> <th>OBSERVACIONES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;"></td> <td>Se lanza hasta 45 cm de radio</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">7/22 SUPERVISOR IRC</p> </div> <div style="width: 45%;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>GRAFICO</th> <th>OBSERVACIONES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;"></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">7/22 SUPERVISOR VOLCAN E. Landa</p> </div> </div>	DATOS GENERALES		DATOS DE UBICACIÓN		FECHA	27-01-22	ZONA	Orsó	GUARDA	Noche	NIVEL	13	EQUIPO LANZADOR	Alpha 707	LABOR	MC 214-3	OPERADOR	Freddy	PROGRESIVA		SUPERVISOR	N. Gutierrez			MEDIDAS DE LABOR		CUBICACION (m <sup>3</sup> )		ALTO	4.1	ESPESOR (cm)	24	ANCHO	4.3	M <sup>3</sup> CUBICADOS	3.91	LONGITUD	4.3	M <sup>3</sup> LANZADOS	3.9 M <sup>3</sup>			ADITIVO (Lts)		GRAFICO	OBSERVACIONES		Se lanza hasta 45 cm de radio	GRAFICO	OBSERVACIONES			<div style="text-align: center;"> <p><b>REPORTE DE TRABAJOS DE LANZADO DE SHOTCRETE VIA HUMEDA</b></p> <p><b>TICLIO</b></p> </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">DATOS GENERALES</th> <th colspan="2">DATOS DE UBICACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>FECHA</td><td>27-01-22</td> <td>ZONA</td><td>Orsó</td> </tr> <tr> <td>GUARDA</td><td>Noche</td> <td>NIVEL</td><td>13</td> </tr> <tr> <td>EQUIPO LANZADOR</td><td>Alpha 707</td> <td>LABOR</td><td>TJ 100 214</td> </tr> <tr> <td>OPERADOR</td><td>Freddy</td> <td>PROGRESIVA</td><td></td> </tr> <tr> <td>SUPERVISOR</td><td>N. Gutierrez</td> <td></td><td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">MEDIDAS DE LABOR</th> <th colspan="2">CUBICACION (m<sup>3</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ALTO (mms)</td><td>5</td> <td>ESPESOR (cm)</td><td>24</td> </tr> <tr> <td>ANCHO (mms)</td><td>4.8</td> <td>M<sup>3</sup> CUBICADOS</td><td>4.08</td> </tr> <tr> <td>LONGITUD (mms)</td><td>2.9</td> <td>M<sup>3</sup> LANZADOS</td><td>4</td> </tr> <tr> <td></td><td></td> <td>ADITIVO (Lts)</td><td></td> </tr> </tbody> </table> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>GRAFICO</th> <th>OBSERVACIONES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;"></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">7/22 SUPERVISOR IRC</p> </div> <div style="width: 45%;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>GRAFICO</th> <th>OBSERVACIONES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;"></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">7/22 SUPERVISOR VOLCAN E. Landa</p> </div> </div>	DATOS GENERALES		DATOS DE UBICACIÓN		FECHA	27-01-22	ZONA	Orsó	GUARDA	Noche	NIVEL	13	EQUIPO LANZADOR	Alpha 707	LABOR	TJ 100 214	OPERADOR	Freddy	PROGRESIVA		SUPERVISOR	N. Gutierrez			MEDIDAS DE LABOR		CUBICACION (m <sup>3</sup> )		ALTO (mms)	5	ESPESOR (cm)	24	ANCHO (mms)	4.8	M <sup>3</sup> CUBICADOS	4.08	LONGITUD (mms)	2.9	M <sup>3</sup> LANZADOS	4			ADITIVO (Lts)		GRAFICO	OBSERVACIONES			GRAFICO	OBSERVACIONES		
DATOS GENERALES		DATOS DE UBICACIÓN																																																																																																							
FECHA	27-01-22	ZONA	Orsó																																																																																																						
GUARDA	Noche	NIVEL	13																																																																																																						
EQUIPO LANZADOR	Alpha 707	LABOR	MC 214-3																																																																																																						
OPERADOR	Freddy	PROGRESIVA																																																																																																							
SUPERVISOR	N. Gutierrez																																																																																																								
MEDIDAS DE LABOR		CUBICACION (m <sup>3</sup> )																																																																																																							
ALTO	4.1	ESPESOR (cm)	24																																																																																																						
ANCHO	4.3	M <sup>3</sup> CUBICADOS	3.91																																																																																																						
LONGITUD	4.3	M <sup>3</sup> LANZADOS	3.9 M <sup>3</sup>																																																																																																						
		ADITIVO (Lts)																																																																																																							
GRAFICO	OBSERVACIONES																																																																																																								
	Se lanza hasta 45 cm de radio																																																																																																								
GRAFICO	OBSERVACIONES																																																																																																								
DATOS GENERALES		DATOS DE UBICACIÓN																																																																																																							
FECHA	27-01-22	ZONA	Orsó																																																																																																						
GUARDA	Noche	NIVEL	13																																																																																																						
EQUIPO LANZADOR	Alpha 707	LABOR	TJ 100 214																																																																																																						
OPERADOR	Freddy	PROGRESIVA																																																																																																							
SUPERVISOR	N. Gutierrez																																																																																																								
MEDIDAS DE LABOR		CUBICACION (m <sup>3</sup> )																																																																																																							
ALTO (mms)	5	ESPESOR (cm)	24																																																																																																						
ANCHO (mms)	4.8	M <sup>3</sup> CUBICADOS	4.08																																																																																																						
LONGITUD (mms)	2.9	M <sup>3</sup> LANZADOS	4																																																																																																						
		ADITIVO (Lts)																																																																																																							
GRAFICO	OBSERVACIONES																																																																																																								
GRAFICO	OBSERVACIONES																																																																																																								
<div style="text-align: center;"> <p><b>REPORTE DE TRABAJOS DE LANZADO DE SHOTCRETE VIA HUMEDA</b></p> <p><b>TICLIO</b></p> </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">DATOS GENERALES</th> <th colspan="2">DATOS DE UBICACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>FECHA</td><td>27-01-22</td> <td>ZONA</td><td>Orsó</td> </tr> <tr> <td>GUARDA</td><td>Noche</td> <td>NIVEL</td><td>13</td> </tr> <tr> <td>EQUIPO LANZADOR</td><td>Alpha 707</td> <td>LABOR</td><td>CR 252</td> </tr> <tr> <td>OPERADOR</td><td>Freddy</td> <td>PROGRESIVA</td><td></td> </tr> <tr> <td>SUPERVISOR</td><td>N. Gutierrez</td> <td></td><td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">MEDIDAS DE LABOR</th> <th colspan="2">CUBICACION (m<sup>3</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ALTO</td><td>4.1</td> <td>ESPESOR (cm)</td><td>24</td> </tr> <tr> <td>ANCHO</td><td>4</td> <td>M<sup>3</sup> CUBICADOS</td><td>4.02</td> </tr> <tr> <td>LONGITUD</td><td>3.5</td> <td>M<sup>3</sup> LANZADOS</td><td>4 M<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td></td><td></td> <td>ADITIVO (Lts)</td><td></td> </tr> </tbody> </table> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>GRAFICO</th> <th>OBSERVACIONES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;"></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">7/22 SUPERVISOR IRC</p> </div> <div style="width: 45%;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>GRAFICO</th> <th>OBSERVACIONES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;"></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">7/22 SUPERVISOR VOLCAN E. Landa</p> </div> </div>	DATOS GENERALES		DATOS DE UBICACIÓN		FECHA	27-01-22	ZONA	Orsó	GUARDA	Noche	NIVEL	13	EQUIPO LANZADOR	Alpha 707	LABOR	CR 252	OPERADOR	Freddy	PROGRESIVA		SUPERVISOR	N. Gutierrez			MEDIDAS DE LABOR		CUBICACION (m <sup>3</sup> )		ALTO	4.1	ESPESOR (cm)	24	ANCHO	4	M <sup>3</sup> CUBICADOS	4.02	LONGITUD	3.5	M <sup>3</sup> LANZADOS	4 M <sup>3</sup>			ADITIVO (Lts)		GRAFICO	OBSERVACIONES			GRAFICO	OBSERVACIONES			<div style="text-align: center;"> <p><b>REPORTE DE TRABAJOS DE LANZADO DE SHOTCRETE VIA HUMEDA</b></p> <p><b>TICLIO</b></p> </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">DATOS GENERALES</th> <th colspan="2">DATOS DE UBICACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>FECHA</td><td>27-01-22</td> <td>ZONA</td><td>Orsó</td> </tr> <tr> <td>GUARDA</td><td>Noche</td> <td>NIVEL</td><td>13</td> </tr> <tr> <td>EQUIPO LANZADOR</td><td>Alpha 707</td> <td>LABOR</td><td>TJ 100 214</td> </tr> <tr> <td>OPERADOR</td><td>Freddy</td> <td>PROGRESIVA</td><td></td> </tr> <tr> <td>SUPERVISOR</td><td>N. Gutierrez</td> <td></td><td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">MEDIDAS DE LABOR</th> <th colspan="2">CUBICACION (m<sup>3</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ALTO</td><td>5</td> <td>ESPESOR (cm)</td><td>1</td> </tr> <tr> <td>ANCHO</td><td>4.5</td> <td>M<sup>3</sup> CUBICADOS</td><td>3.95</td> </tr> <tr> <td>LONGITUD</td><td></td> <td>M<sup>3</sup> LANZADOS</td><td></td> </tr> <tr> <td></td><td></td> <td>ADITIVO (Lts)</td><td></td> </tr> </tbody> </table> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>GRAFICO</th> <th>OBSERVACIONES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;"></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">7/22 SUPERVISOR IRC</p> </div> <div style="width: 45%;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>GRAFICO</th> <th>OBSERVACIONES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;"></td> <td>Se lanza 3-25 m<sup>2</sup> sobre malla 3 Puntos se pega</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">7/22 SUPERVISOR VOLCAN E. Landa</p> </div> </div>	DATOS GENERALES		DATOS DE UBICACIÓN		FECHA	27-01-22	ZONA	Orsó	GUARDA	Noche	NIVEL	13	EQUIPO LANZADOR	Alpha 707	LABOR	TJ 100 214	OPERADOR	Freddy	PROGRESIVA		SUPERVISOR	N. Gutierrez			MEDIDAS DE LABOR		CUBICACION (m <sup>3</sup> )		ALTO	5	ESPESOR (cm)	1	ANCHO	4.5	M <sup>3</sup> CUBICADOS	3.95	LONGITUD		M <sup>3</sup> LANZADOS				ADITIVO (Lts)		GRAFICO	OBSERVACIONES			GRAFICO	OBSERVACIONES		Se lanza 3-25 m <sup>2</sup> sobre malla 3 Puntos se pega
DATOS GENERALES		DATOS DE UBICACIÓN																																																																																																							
FECHA	27-01-22	ZONA	Orsó																																																																																																						
GUARDA	Noche	NIVEL	13																																																																																																						
EQUIPO LANZADOR	Alpha 707	LABOR	CR 252																																																																																																						
OPERADOR	Freddy	PROGRESIVA																																																																																																							
SUPERVISOR	N. Gutierrez																																																																																																								
MEDIDAS DE LABOR		CUBICACION (m <sup>3</sup> )																																																																																																							
ALTO	4.1	ESPESOR (cm)	24																																																																																																						
ANCHO	4	M <sup>3</sup> CUBICADOS	4.02																																																																																																						
LONGITUD	3.5	M <sup>3</sup> LANZADOS	4 M <sup>3</sup>																																																																																																						
		ADITIVO (Lts)																																																																																																							
GRAFICO	OBSERVACIONES																																																																																																								
GRAFICO	OBSERVACIONES																																																																																																								
DATOS GENERALES		DATOS DE UBICACIÓN																																																																																																							
FECHA	27-01-22	ZONA	Orsó																																																																																																						
GUARDA	Noche	NIVEL	13																																																																																																						
EQUIPO LANZADOR	Alpha 707	LABOR	TJ 100 214																																																																																																						
OPERADOR	Freddy	PROGRESIVA																																																																																																							
SUPERVISOR	N. Gutierrez																																																																																																								
MEDIDAS DE LABOR		CUBICACION (m <sup>3</sup> )																																																																																																							
ALTO	5	ESPESOR (cm)	1																																																																																																						
ANCHO	4.5	M <sup>3</sup> CUBICADOS	3.95																																																																																																						
LONGITUD		M <sup>3</sup> LANZADOS																																																																																																							
		ADITIVO (Lts)																																																																																																							
GRAFICO	OBSERVACIONES																																																																																																								
GRAFICO	OBSERVACIONES																																																																																																								
	Se lanza 3-25 m <sup>2</sup> sobre malla 3 Puntos se pega																																																																																																								

*Tomada del Área de Geomecánica – U. P. Ticlio*