

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Análisis de variables operacionales en la dosificación
del *shotcrete* en la rampa 4025, nivel 4000 para la
explotación de la veta Guisela en la Unidad Minera
Chungar - 2021**

Bos Jhonatan Pérez Vera

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



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

ASESOR

Ing. Javier Córdova Blancas

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios, por su iluminación y guía en mi día a día. En segundo lugar, a mis padres, por ser el soporte emocional, sus sabios consejos y apoyo incondicional, a las personas involucradas a la unidad minera Chungar: ingenieros, así como trabajadores quienes fueron el soporte laboral en mi día a día. Asimismo, un agradecimiento especial al Ing. Javier Córdova Blancas por ser el soporte profesional como asesor de la presente tesis.

DEDICATORIA

A mis queridos padres, por ser el soporte emocional y enseñarme con los valores necesarios, por el apoyo incondicional en mi educación, consolidación profesional y hacerme una persona de bien.

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA	I
ASESOR	II
AGRADECIMIENTO	III
DEDICATORIA	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	16
1.1. Planteamiento y formulación del problema	16
1.1.1. Planteamiento del problema	16
1.1.2. Formulación del problema	17
1.2. Objetivos	17
1.2.1. Objetivo general	17
1.2.2. Objetivos específicos	18
1.3. Justificación e importancia	18
1.3.1. Justificación social - práctica	18
1.3.2. Justificación académica	18
1.4. Hipótesis de la investigación	19
1.4.1. Hipótesis general	19
1.4.2. Hipótesis específicas	19
1.5. Identificación de las variables	19
1.5.1. Variable independiente	19
1.5.2. Variables dependientes	19
1.5.3. Matriz de operacionalización de variables	20
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	21
2.1. Antecedentes del problema	21
2.1.1. Antecedentes nacionales	21
2.1.2. Antecedentes internacionales	22

2.2. Generalidades de la minera chungar -----	24
2.2.1. Ubicación -----	24
2.2.2. accesibilidad -----	24
2.3. Geología general -----	25
2.3.1. Geología regional -----	25
2.3.1. Geología local -----	26
2.4. Marco geológico estructural -----	26
2.4.1. Pliegues -----	27
2.4.2. Fallas geológicas -----	28
2.4.3. Buzamiento y rumbo de estratos -----	29
2.4.4. cabalgamiento -----	30
2.5. Mineralización -----	30
2.5.1. Estructuras vetas Chungar -----	31
2.6. Descripción geomecánica – litológica -----	32
2.6.1. Aspectos geomecánicos de chungar -----	32
2.6.2. Aplicaciones de la geomecánica -----	32
2.6.3. Criterios de evaluación geomecánica de Chungar -----	33
2.7. Clasificaciones geomecánicas -----	33
2.7.1. Sostenimiento -----	33
2.8. Bases teóricas del estudio -----	34
2.8.1. Análisis del maciso rocoso de RP025 veta Guisela NV 4000 -----	34
2.8.2. Análisis del fragmento rocoso de veta guísela -----	36
2.9. Caracterización geomecánica de las estructuras mineralizadas del yacimiento -----	37
2.9.1. Evaluación geomecánica veta guisela -----	37
2.10. Evaluación geomecánica roca marga roja -----	37
2.10.1. Análisis del fragmento rocoso de marga roja -----	37
2.10.2. Análisis del macizo rocoso de marga roja: -----	38
2.11. Análisis del macizo rocoso de marga gris -----	39
2.11.1. Evaluación geomecánica roca marga gris -----	39
2.12. Caracterización geomecánica de las rocas y minerales según normas de las internacional Society for Rock Mechanics -----	40

2.12.1. Evaluación geomecánica de rocas del yacimiento	40
2.12.2. Análisis del macizo rocoso de la arenisca	41
2.13. Dosificación del <i>shotcrete</i>	41
2.14. <i>Shotcrete</i> reforzado con fibras	42
2.15. Cálculo de cantidad de materiales de sostenimiento	45
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	50
3.1. Método y alcances de la investigación	50
3.1.1. Método de la investigación	50
3.1.2. Alcances de la investigación	51
3.2. Diseño de la investigación	51
3.3. Población y muestra	51
3.3.1. Población	51
3.3.2. Muestra	51
3.3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	52
3.3.4. Técnicas utilizadas en la recolección de datos	52
3.3.5. Instrumentos utilizados en la recolección de datos	52
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información	53
4.1.1. Análisis del total de horas de labor de <i>shotcrete</i>	53
4.1.2. Análisis de la relación entre horas y m ³ de <i>shotcrete</i> por labor	62
4.1.3. Análisis de pérdida de tiempo entre horas y m ³ de <i>shotcrete</i> por labor en la rampa RP4025	73
CONCLUSIONES	78
RECOMENDACIONES	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
ANEXOS	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de variables	20
Tabla 2. Ruta geográfica	24
Tabla 3. Cálculo de la cantidad de material para shotcrete vía húmeda.....	47
Tabla 4. Cálculo de la cantidad de pernos	49
Tabla 5. Cálculo de la cantidad de malla.....	49
Tabla 6. Total de horas de labor de shotcrete, por labor subterránea, periodo mayo, junio y julio	54
Tabla 7. Total de horas de labor de shotcrete durante el mes de mayo	55
Tabla 8. Total de horas de labor de shotcrete durante el mes de junio	57
Tabla 9. Total de horas de labor de Shotcrete durante el mes de junio	59
Tabla 10. Costo total de horas de lanzamiento de shotcrete, periodo mayo, junio y julio 2021.....	61
Tabla 11. Relación entre horas y m ³ de shotcrete por labor durante los meses de mayo, junio y julio.....	64
Tabla 12. Relación de horas de labor y m ³ de consumo de shotcrete, periodo mayo, rampa RP4025	66
Tabla 13. Relación de horas de labor y m ³ de consumo de shotcrete, periodo junio, rampa RP4025	68
Tabla 14. Relación de horas de labor y m ³ de consumo de shotcrete, periodo julio, rampa RP4025	70
Tabla 15. Relación de horas de labor y m ³ de consumo de shotcrete, periodo mayo, junio y julio, rampa RP4025.	72
Tabla 16. Análisis de tiempo operacional en labor de shotcrete, periodo mayo, junio y julio.	74
Tabla 17. Análisis de costos en labor de shotcrete, periodo mayo, junio y julio, rampa RP4025.....	76
Tabla 18. Matriz de operacionalización de variables.	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la mina	25
Figura 2. Afloramiento de las capas rojas de la formación Casapalca; compuesta por estratos de margas, areniscas y conglomerado.	26
Figura 3. Estratos de marga roja y conglomerados ligeramente plegados.	27
Figura 4. Cerro cometa, parte más alta del anticlinal de Huaron afectado por intrusivos de cuarzo monzonita	28
Figura 5. Falla geológica parte central de la foto	29
Figura 6. Buzamiento y rumbo de estratos en marga roja, flanco W	30
Figura 7: Estructuras litológicas asociadas a cabalgamiento, zona de Quimacocha	30
Figura 8. Soluciones hidrotermales que circulan a lo largo de estas discontinuidades.....	31
Figura 9. Labor amplia de 18 m de ancho, 6 m de altura y buzamiento 45°, controlados con shotcrete e hydrabolt de 7'	32
Figura 10. Mapeo geomecánica de la rampa 4025, veta Guisela, unidad minera Chungar.....	35
Figura 11. Veta Guisela, mineral Zn, Pb y Cu masivo	36
Figura 12. Fragmento de marga roja	38
Figura 13. Fragmento de roca marga gris	39
Figura 14. Fragmentos y testigos de areniscas	41
Figura 15. Diferencia uso de shotcrete con fibras y shotcrete con mallas	43
Figura 16. Diferencia tipos de fibras para shotcrete	44
Figura 17. Diseño de labor subterránea para cálculo de shotcrete.....	45
Figura 18. Diseño de labor subterránea para cálculo de cantidad de pernos	48
Figura 19. Horas de labor de shotcrete de labores subterráneas, en la unidad minera Chungar	54
Figura 20. Horas de labor de shotcrete mes de mayo en las diferentes labores subterráneas.....	56
Figura 21. Horas de labor de shotcrete, mes de junio, en las diferentes labores subterráneas.....	58

Figura 22. Horas de labor de shotcrete, mes de julio, en las diferentes labores subterráneas.....	60
Figura 23. Costo total de labor de shotcrete por labor subterránea, periodo de estudio.....	61
Figura 24. Relación entre horas y m ³ de shotcrete por labor subterránea	64
Figura 25. Relación de horas de labor versus M3 de shotcrete, mes de mayo, rampa RP4025.....	66
Figura 26. Relación de horas de labor versus m ³ de shotcrete, mes de junio, rampa RP4025	68
Figura 27. Relación de horas de labor versus m ³ de shotcrete, mes de junio, rampa RP4025	70
Figura 28. Relación de horas de labor versus m ³ de shotcrete mes de mayo, junio y julio de la rampa RP4025	72
Figura 29. Análisis de tiempos operacionales en labor de shotcrete, rampa RP4025	74
Figura 30. Análisis de costos en labor de shotcrete, rampa RP4025.....	76
Figura 31. Plano geomecánico de la veta Guisela, unidad minera Chungar.....	85
Figura 32. Plano geomecánico de la veta Guisela, RP4025, unidad minera Chungar.....	86
Figura 33. Plano geomecánico de la veta Guisela, SN 500, unidad minera Chungar	87

RESUMEN

La presente tesis tiene el objetivo de analizar las variables operacionales en la dosificación del *shotcrete* en la rampa RP4025, nivel 4000 para la explotación de la veta Guisela en la unidad minera Chungar.

La investigación es de carácter analítico, descriptivo y explicativo, es preexperimental, de tal forma que se observan los resultados del proceso de dosificación del *shotcrete* y su aplicación como sostenimiento en las diferentes labores subterráneas de la operación, incidiendo principalmente en la rampa RP4025. La recolección de información fue la revisión de documentos asociados a la investigación planteada pertenecientes a la unidad minera Chungar.

Se realiza el análisis de las horas de uso de labor de *shotcrete* en las diferentes labores subterráneas asociadas a los tajos, subniveles y rampa, asimismo se analizó su relación con los metros cúbicos utilizados en cada labor, para finalizar en el análisis de la pérdida de tiempo operacional considerado en el presente estudio.

El total de horas de uso de *shotcrete* durante los meses de mayo, junio y julio fueron de 1474.5 horas, donde el mayor consumo se da en los tajos TJ_SN400E y TJ_SN600W con un total de 1260 horas y una incidencia del 85.45 %, los subniveles SN200W y SN100W con un total de 168 horas y una incidencia del 11.39 % y la rampa RP4025 considera un total de 46.5 horas con una incidencia del 3.15 %.

La mayor incidencia de consumo de *shotcrete* en la rampa RP4025 se dio en el mes de julio con un total de 24.42 horas, siendo el de 11.75 y 10.33 horas en los periodos de mayo y julio respectivamente.

El costo total de horas de labor de la rampa RP4025 incide en mayor instancia en el periodo de junio con \$2,384.12, con 24.42 horas, durante el mes de mayo

con \$1147.45 con 11.75 horas y durante el mes de julio con \$1008.52 con 10.33 horas.

La incidencia de horas totales durante los periodos mayo, junio y julio considera tiempos de espera de *mixer*, de espera de robot y tiempos de lanzado de *shotcrete* son de 25.27 % en el mes de mayo, 54.48 % en el mes de junio y de 20.25 % en el mes de julio.

Palabras clave: shotcrete, dosificación, optimización, costos de shotcrete, etc.

ABSTRACT

The present thesis whose objective is to analyze the operational variables in the dosage of shotcrete in the RP4025 ramp, level 4000 for the exploitation of the Guisela vein in the Chungar Mining Unit.

The research is analytical, being descriptive and explanatory, it is pre-experimental, in such a way that the results of the shotcrete dosing process and its application as support in the different underground workings of the operation are observed, mainly affecting the RP4025 ramp. The collection of information was the review of documents associated with the proposed investigation belonging to the Chungar Mining Unit.

The analysis of the hours of use of shotcrete work in the different underground works associated with the pits, sublevels and ramp, likewise, the relationship of hours of use of shotcrete work with the cubic meters used in each work was analyzed. to finish in the analysis of the loss of operational time considered in the present study.

The total hours of shotcrete use during the months of May, June and July were 1474.5 hours, where the highest shotcrete consumption occurs in the TJ_SN400E and TJ_SN600W pits with a total of 1260 hours and an incidence of 85.45 %, the SN200W and SN100W sublevels with a total of 168 hours and an incidence of 11.39 % and the RP4025 ramp considers a total of 46.5 hours with an incidence of 3.15 %.

The highest incidence of shotcrete consumption in Ramp RP4025 occurred in the month of July with a total of 24.42 hours, being 11.75 and 10.33 hours in the periods of May and July respectively.

The total cost of working hours of the RP4025 ramp has a greater incidence in the June period with 2,384.12 US \$, with 24.42 hours, during the month of May

with 1147.45 US \$ with 11.75 hours and during the month of July with 1008.52 US \$ with 10.33 hours.

The incidence of total hours during the periods May, June and July considering mixer waiting times, robot waiting times and shotcrete launch times are 25.27% in the month of May, 54.48% in the month of June and 20.25 % in July.

Keywords: Shotcrete, dosage, optimization, shotcrete costs, etc.

INTRODUCCIÓN

La unidad minera Chungar, perteneciente a la compañía minera Volcan S. A., está conformada por dos operaciones subterráneas Animón e Islay, con una capacidad de planta de 5,500 t p/d., la mineralización está asociada a estructuras mineralizadas de Zn, Pb, Ag y Cu de carácter mesotermal.

La explotación de los niveles profundos en las minas subterráneas permite el uso de diferentes tipos de sostenimiento, el uso del sostenimiento con *shotcrete* permite tener una mayor estabilidad del macizo rocoso permitirá generar una mejor estabilidad de las diferentes labores de avance, preparación y producción en la unidad minera.

La presente tesis desarrolla cuatro capítulos detallando en cada uno de ellos los siguientes ítems: Capítulo I, describe el tema de forma, considerando el planteamiento del problema, objetivo e hipótesis general y específicos relacionados al uso del *shotcrete* en las diferentes labores de tajeo, subniveles y rampa, así mismo se describirá la justificación e identificación de variables del presente trabajo de investigación.

En el Capítulo II, se describe las generalidades de la operación considerando el área de mina, geología, geomecánica y económico de la empresa, también se describe el marco teórico del uso y dosificación del *shotcrete* en las diferentes labores subterráneas de la unidad minera.

En el Capítulo III, se describirá la metodología de investigación, así como el diseño aplicado y el nivel de investigación, describirá y dimensionará la población y muestra aplicada en la presente tesis.

Finalmente, en el capítulo IV se muestra los resultados del trabajo de investigación, considerando las horas de labor de *shotcrete*, la relación de horas de labor versus los M3 de *shotcrete* en labores de tajeo, subnivel y rampa RP4025, finalmente asociar las pérdidas de tiempo operacional en labor de *shotcrete*, asociado a los costos unitarios correspondientes en la unidad minera.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

El uso del *shotcrete* en las diferentes unidades mineras subterráneas es de mayor frecuencia, Volcan Compañía Minera S. A. no es ajeno a ello. El uso de la tecnología de concreto para establecer una adecuada estabilización del macizo rocoso permite el uso de diversos materiales para la dosificación adecuada y por ende el incremento de costos, generando un nivel de seguridad en el sostenimiento subterráneo.

El uso del *shotcrete* vía húmeda permite un adecuado procedimiento en el avance del ciclo de minado y cumplimiento de los planes de producción. Definir la calidad del concreto proyectado y la velocidad de colocación del concreto influye directamente en la tasa de producción. Por lo que, un adecuado uso y dosificación del *shotcrete* permite la mejora de la productividad en el ciclo de minado de labores de avance y producción.

El desarrollo del presente trabajo de investigación permitirá realizar el análisis de las variables operacionales en la dosificación del *shotcrete* en la rampa 4025, nivel 4000 para la explotación de la veta Guisela en la unidad minera Chungar.

Se realiza el análisis de las horas de uso de labor de *shotcrete* en las diferentes labores subterráneas asociadas a los tajos, subniveles y rampa, asimismo se analiza la relación de horas de uso de labor de *shotcrete* con los metros cúbicos utilizados en cada labor, para finalizar en el análisis de la pérdida de tiempo operacional considerado en el presente estudio. Asimismo, se evalúa la incidencia de tiempos de espera de *mixer*, espera de robot y tiempos de lanzamiento de *shotcretem* durante los periodos de mayo, junio y julio.

1.1.2. Formulación del problema

- **Problema general**

¿Cómo influye el análisis de variables operacionales en la dosificación del *shotcrete* en la rampa 4025, nivel 4000 para la explotación de la veta Guisela en la unidad minera Chungar - 2021?

- **Problemas específicos**

¿De qué manera se puede disminuir el tiempo de labor de *shotcrete* en la rampa 4025, nivel 4000 para la explotación de la veta Guisela en la unidad minera Chungar – 2021?

¿Cuál es el costo de labor de *shotcrete* para la mejora del rendimiento de los equipos de *shotcrete* en la rampa 4025, nivel 4000 para la explotación de la veta Guisela en la unidad minera Chungar – 2021?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar en qué medida influye el análisis de variables operacionales en el uso de *shotcrete* en la rampa 4025, nivel 4000 para la explotación de la veta Guisela en la unidad minera Chungar - 2021.

1.2.2. Objetivos específicos

- a) Determinar la disminución de tiempo de lanzado de *shotcrete* en la rampa 4025, nivel 4000 para la explotación de la veta Guisela en la unidad minera Chungar - 2021.

- b) Determinar el costo de labor de *shotcrete* para la mejora del rendimiento de los equipos de *shotcrete* en la rampa 4025, nivel 4000 para la explotación de la veta Guisela en la unidad minera Chungar - 2021.

1.3. Justificación e importancia

Con el desarrollo de la presente investigación se pretende emplear la aplicación del uso de *shotcrete* para la reducción de costos en sostenimiento en el desarrollo de la rampa 4025, nivel 4000 para la explotación de la veta Guisela en la unidad minera Chungar - 2021.

Con la aplicación de este trabajo de investigación, la empresa Volcan Compañía Minera S. A. A. logrará reducir significativamente los tiempos y costos en sostenimiento aplicando variables operacionales y económicas.

1.3.1. Justificación social - práctica

La investigación brindará grandes aportes al sector minero, brindará conocimiento del uso del *shotcrete* mediante el análisis técnico y económico en la unidad minera Chungar de Volcan Compañía Minera S. A. A.

Asimismo, reducir los costos y tiempo en el uso del *shotcrete* como un elemento de sostenimiento para una adecuada estabilidad del macizo rocoso en las diferentes labores de desarrollo, preparación y producción en Volcan Compañía Minera S. A. A.

1.3.2. Justificación académica

La investigación remarcará modelos a ejecutar para mejorar la rentabilidad económica de la empresa incorporando modelos numéricos para el uso del *shotcrete* en el sostenimiento de labores subterráneas, generando mayor eficiencia, menor tiempo de aplicación y reduciendo costos en el ciclo de minado. Asimismo, se buscará cumplir normas del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional, tipificado en el Decreto Supremo N° - 024 – 2016. E.M. y su modificatoria D.S. N°023-2017 EM.

1.4. Hipótesis de la investigación

1.4.1. Hipótesis general

El análisis de variables operacionales en la dosificación del *shotcrete* en la rampa 4025, nivel 4000 influye positivamente en la explotación de la veta Guisela en la unidad minera Chungar – 2021.

1.4.2. Hipótesis específicas

- a) El análisis de las variables operacionales influye positivamente en la disminución del tiempo de labor de *shotcrete* en la rampa 4025, nivel 4000 para la explotación de la veta Guisela en la unidad minera Chungar – 2021.

- b) El análisis de costos de labor de *shotcrete* influye positivamente en mejorar el rendimiento de los equipos de *shotcrete* en la rampa 4025, nivel 4000 para la explotación de la veta Guisela en la unidad minera Chungar – 2021.

1.5. Identificación de las variables

1.5.1. Variable independiente

- Variable independiente: aplicación del *shotcrete*

1.5.2. Variables dependientes

- Variable Dependiente: variables operacionales

1.5.3. Matriz de operacionalización de variables

Tabla 1. *Tabla de variables*

Variables	Definición	Definición operacional		
	Conceptual	Dimensiones	Subdimensiones	Indicadores
VI: Aplicación del shotcrete.	Es un método de sostenimiento que estabiliza el macizo rocoso en labores de desarrollo, preparación y explotación subterráneas.	<ul style="list-style-type: none"> • Factores geomecánicos • Factores dosificación. 	Variables geológicas del yacimiento Variables geomecánicas Variables de insumos asociados al shotcrete	Propiedades del macizo rocoso Características de insumos presentes en el shotcrete
VD: Análisis variables operacionales del shotcrete.	Se describe el análisis de las variables operacionales del consumo de shotcrete en las diferentes labores subterráneas.	<ul style="list-style-type: none"> • Variables operacionales 	Valoración de consumo de shotcrete Valoración de pérdida de tiempo de labor de shotcrete Valoración Económica	Horas de labor y consumo de shotcrete. Tiempo espera mixer. Tiempo espera de robot. Costos de shotcrete.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes nacionales

- a) Tesis titulada “*Modelamiento numérico aplicado al shotcrete fibro reforzado orientado a la optimización de las operaciones de minado en CMHSA*”. Los autores de la investigación concluyen que para las operaciones de CMHSA fue fundamental la no utilización de la malla electro soldada, aplicación que responde a un análisis técnico de las bondades del *shotcrete* reforzado con fibras en cuanto a su ductilidad y tenacidad, lo que se traduce en contribuir a aminorar el riesgo de exposición del personal en las zonas de intersección. Además, la eliminación del uso de la malla electrosoldada en todas nuestras fases de minado (avances y producción) es el resultado de haber implementado tipos de shotcrete en función al RMR y nivel de daño generado por los explosivos utilizados. (1)
- b) Tesis titulada “*Aplicación del método de deformación controlada en la ejecución de labores de avance en CMHSA*”. La investigación concluye que, producto de la investigación, la malla electro soldada a nivel de sostenimiento en conjunto con el *shotcrete* reforzado con fibras no tiene aporte estructural significativo, por lo que mediante pruebas de campo y validaciones a nivel de laboratorio

determinan que para relaciones de aspecto de la fibra $45 < l/\varnothing \leq 65$, y para dosificaciones de fibra entre 30 kg/m^3 y 40 kg/m^3 , se obtienen energías de absorción entre $744 \leq E \leq 1463$ (Joules), que permiten controlar las deformaciones del macizo rocoso y así operar la mina de manera eficiente. (2)

2.1.2. Antecedentes internacionales

a) Tesis doctoral titulada "*Estudio de las distribuciones tensionales y de las resistencias de los rellenos de pasta de la mina subterránea de aguas teñidas (Huelva)*" desarrollada en la Universidad Politécnica de Madrid. En el trabajo de investigación se considera, que, para usar relleno de pasta para el sostenimiento en minería subterránea hay que tener en cuenta el cálculo de parámetros de diseño, optimización de la mezcla, cualidades de bombeo y la operación de transporte al interior de la mina. Los gastos de esta operación minera son importantes ya que pueden representar hasta el 20%. (3)

En cuanto al uso del relleno de pasta, indica, es un componente importante en las operaciones en la minería subterránea y se está convirtiendo en una práctica habitual para su uso en muchos de ellas en el mundo. El material de relleno se coloca en cámaras previamente extraídas para proporcionar una plataforma estable para el trabajo y de soporte en las paredes adyacentes. Aparte de ofrecer un sostenimiento para muros y pilares, también ayuda a prevenir la caída del techo, y permite la recuperación del pilar, lo que aumenta la productividad. (3)

Adicionalmente, menciona el estudio de las barricadas para el relleno de los tajos, considera en su trabajo de investigación, que, para usar relleno de pasta para el sostenimiento en minería subterránea hay que tener en cuenta el cálculo de parámetros de diseño, optimización de la mezcla, cualidades de bombeo y la operación de transporte al interior de la mina. Los gastos de esta operación minera son importantes ya que pueden representar hasta el 20%. (3)

b) Informe de Ingeniería titulado "*Relleno en pasta utilizado en la mina Iscaycruz*", desarrollado en la Universidad Nacional de Ingeniería. El relleno en pasta se

basa en el empleo de relaves, cemento, agua, y un químico floculante (este ayuda a separar el líquido de las partículas del relave y le da una consistencia pastosa). los cuales son dosificados y mezclados en una Planta y luego transportados por una línea de tuberías hacia los niveles de la mina. (4)

Este tipo de relleno permite tener una buena recuperación del mineral, a un bajo costo por las cantidades de cemento que se emplean. Para mantener el tipo de relleno acorde con las necesidades del método de explotación utilizado se realiza un riguroso control de calidad. Llegando a la conclusión de: Esta nueva alternativa de relleno es una tecnología de última generación que nos brinda una mayor eficiencia en los trabajos de relleno, permite una mayor vida a los depósitos de relave, minimiza el uso de equipos en la operación y reduce costos operativos. (4)

Los desafíos actuales y futuros es construir y mejorar el ambiente minero, haciendo un sistema funcional y viable en la entrega del relleno a los tajos en las proporciones y calidades requeridas, para poder mantener una producción adecuada y al menor costo posible. En cuanto a la contracción de volumen, se observa en probeta una contracción de 3% con respecto a las probetas sin aditivo que presentan una contracción del 10%. Este aspecto es importante porque en interior mina con volúmenes mayores se presentan fisuras verticales por donde fallaría el relleno. (4)

c) Artículo de investigación titulado "*Análisis de estabilidad de barricadas de roca residual diseñadas para retener el relleno de pasta*" publicado en la International Journal of Geomechanics. El relleno de pasta cementada (CPB) se aplica ampliamente en las minas subterráneas de todo el mundo. Antes de rellenar el tajo, las barricadas se necesitan para construirse en bordes cercanos a los puntos de extracción para retener el relleno. Varias fallas de barricadas informadas han demostrado que la estabilidad de la barricada es crítica. Para garantizar la aplicación exitosa y segura del relleno. Las barricadas generalmente están hechas de materiales de alta resistencia como ladrillos,

concreto bloques o hormigón armado. Alternativamente, las barricadas hechas de rocas de desecho se están volviendo populares debido a su construcción simple y de bajo costo. (5)

Propuso una solución simple para dimensionar barricadas de roca de desecho (WRB) considerando el equilibrio límite de un tridimensional Bloque rectangular (3D). Más recientemente, los autores modificaron esta solución al considerar la estabilidad global de las barricadas trapezoidales, pero La estabilidad local no se tuvo en cuenta. En consecuencia, el tamaño de la cresta puede subestimarse, lo que lleva a un diseño no conservador. En esto en el documento, se propone una solución más completa, teniendo en cuenta la estabilidad global y local de los WRB trapezoidales. La solución analítica fue calibrado y validado mediante modelado numérico. La flexibilidad y la validez de la solución propuesta se probaron con complementarias simulaciones. (5)

2.2. Generalidades de la minera Chungar

2.2.1. Ubicación

La unidad minera Chungar es un yacimiento polimetálico de Zn, Pb, Ag y Cu, cuyo propietario es la empresa administradora Chungar S. A. C., se ubica al oeste de los andes centrales del Perú. Ubicado en el departamento de Pasco, provincia de Cerro de Pasco, distrito de Huayllay con una altura promedio de 4,600 m s. n. m. con una distancia de 46 km al sureste desde la ciudad de Cerro de Pasco. Pertenece a las coordenadas U.T.M.: N 8'780,728 y E 344,654, ubicada en la hoja 23K – Hoja de Ondores.

2.2.2. Accesibilidad

La mina es accesible por tres vías:

Tabla 2. Ruta geográfica

Ruta	Kilómetros
Lima – Oroya – Cerro de Pasco - Chungar	+/- 304 Km
Lima – Huaral – Chungar	+/- 225 Km
Lima – Canta - Chungar	+/- 219 Km

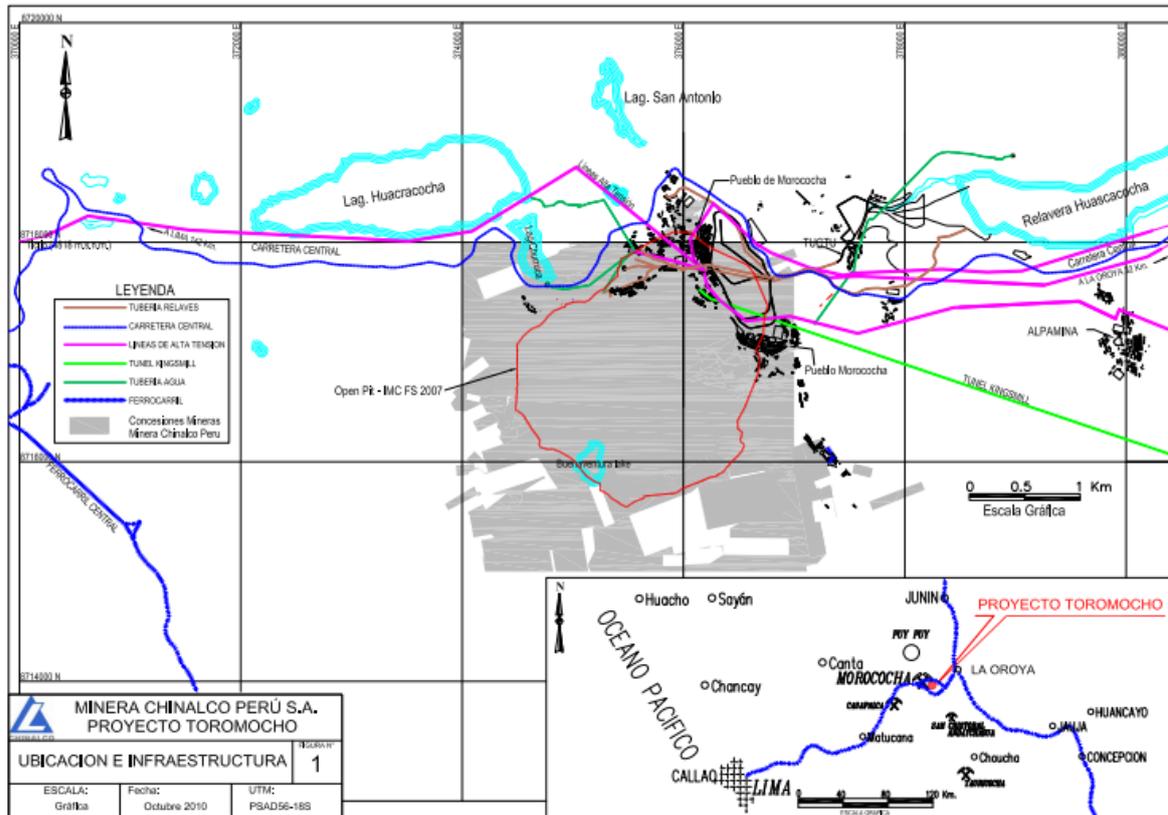


Figura 1. Ubicación de la mina
Tomado del Departamento de Geología

2.3. Geología general

2.3.1. Geología regional

La litología asociada al proyecto minero son las rocas sedimentarias, consideradas como capas rojas y rocas intrusivas hipabisales. En el área del proyecto minero, estas capas rojas están asociadas al grupo Casapalca, el cual está asociado y se desarrolla a lo largo de la cordillera Occidental, compuesta principalmente por margas, areniscas y arcillas de color rojizo o verde grisáceo, con algunos estratos de conglomerados y esporádicos horizontes de calizas y areniscas grises, Se le asocia un grosor de 2.385 metros, considerados con una edad del cretáceo superior terciario inferior (Eoceno).

Completan el marco geológico-geomorfológico una posterior erosión glacial en el Pleistoceno que fue muy importante en la región. Producto de esta actividad glacial se generaron las subsidencias y formación de grandes lagunas. Ver foto.



Figura 2. Afloramiento de las capas rojas de la formación Casapalca; compuesta por estratos de margas, areniscas y conglomerado.

2.3.1. Geología local

Las capas rojas presentes en el yacimiento Chungar, se asocia dos ciclos de sedimentación, siendo el más antiguo con una potencia de 1400 a 1500 metros y el ciclo de menor tiempo de sedimentación asociado a potencias de 800 a 900 metros. Una de las características de esta estratigrafía es que se asocia a conglomerados y areniscas y en los niveles superiores de esta estratigrafía se asocia a conglomerados con volcánico – clásticos. La orientación de los clastos, asocian su origen desde el este, cuyo origen actual es la cordillera Oriental de Los Andes.

2.4. Marco geológico estructural

El yacimiento de Chungar está constituido por una diversidad de estructuras geológicas, las cuales varían desde estructuras de dimensiones medianas como, por ejemplo, el anticlinal de Huarón, hasta elementos pequeños como un plano de estratificación en un fragmento de roca que pueda sostenerse en la mano. Chungar está asociado a rocas sedimentarias como marga gris, marga roja, areniscas, conglomerados y un intrusivo de cuarzo monzonita en la parte externa.

Para un mejor detalle se describen estructuras geológicas presentes en el área de estudio:

2.4.1. Pliegues

Están asociadas principalmente al anticlinal de Huarón, los cuales son estructuras plegadas, producto de los sistemas compresivos asociados por movimientos laterales. Este proceso compresivo generó diversas fallas geológicas transversales al plegamiento, los cuales han servido como zonas de debilidad para la circulación de soluciones mineralizantes en Chungar. El plegamiento es una de las causas de las discontinuidades en las rocas.



Figura 3. Estratos de marga roja y conglomerados ligeramente plegados.

Estas discontinuidades generan zonas de debilidad para la circulación de soluciones mineralizantes e hidrotermales, para la formación de diferentes estructuras mineralizadas.



Figura 4. Cerro cometa, parte más alta del anticlinal de Huarón afectado por intrusivos de cuarzo monzonita

La circulación de soluciones hidrotermales, generó alteraciones hidrotermales tipo seritización, caolinización y fuerte piritización.

2.4.2. Fallas geológicas

Las principales fallas en orden de magnitud son grandes, pequeñas y micro falla. Estas fallas están relacionadas a estructuras principales, con frecuencia son paralelas. El desplazamiento de las fallas, generan material brechado los cuales son fáciles de observar en superficie.

Las fallas se asocian a dos familias, fallas transversales de dirección E – W, buzamiento 70° a 80°N, ubicado en el sector sur y medio del distrito y fallas longitudinales de dirección N – S, buzamiento 80° a 90° S ubicado en el sector norte del distrito y en el sector sur oeste, las estructuras mineralizadas presente en este sector tiene un buzamiento de 55°- 65°S.



Figura 5. Falla geológica parte central de la foto

Las fallas geológicas post-minerales han sido de mucho menor magnitud que los pre-minerales y que generalmente están asociadas en forma concordante con las fallas pre-minerales.

2.4.3. Buzamiento y rumbo de estratos

El rumbo y buzamiento de los estratos está asociado a una tendencia NS y buzamiento sub horizontales en la parte central. El rumbo y buzamiento en las capas rojas está asociado a una tendencia N25°W y buzan al E.



Figura 6. Buzamiento y rumbo de estratos en marga roja, flanco W

2.4.4. Cabalgamiento

Está asociada a la inversión litológica (estratigráfica), que se asocia con un pliegue y falla.



Figura 7: Estructuras litológicas asociadas a cabalgamiento, zona de Quimacocha

2.5. Mineralización

Posterior a la formación de las fallas geológicas preminerales, iniciados en la zona central del distrito, las soluciones mineralizantes circularon a temperaturas altas. La secuencia paragenética es cuarzo lechoso, pirita, enargita y tetraedrita,

siendo la segunda etapa de mineralización asociada a cuarzo lechoso, pirita, marmatita y galena.

Las estructuras mineralizadas están asociadas a la precipitación abundante y continua de carbonatos, compuesta por siderita y se asocian gradualmente a dolomita, rodocrosita y calcita. Esta mineralogía está presente en estructuras principales como la bolsonada Lourdes, veta Principal, veta Marthita, veta Nor Este, veta Andalucía, etc.

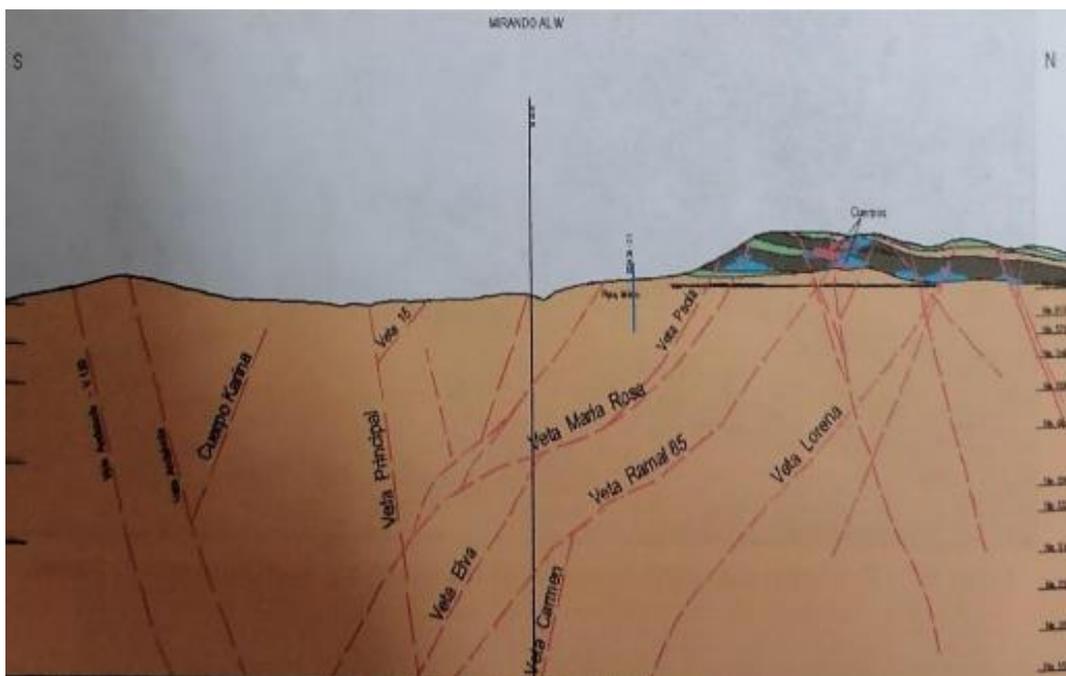


Figura 8. Soluciones hidrotermales que circulan a lo largo de estas discontinuidades

2.5.1. Estructuras vetas Chungar

Las estructuras mineralizadas están asociadas a minerales de Zn, Pb, y Cu. Las principales vetas en el yacimiento de Chungar son más de 20. El dimensionamiento de las estructuras, van desde pocos metros como la veta Noreste y con longitudes que van desde 300 a 1,800 metros como la veta Principal y veta Precaución, cuyo reconocimiento geológico van desde superficie a 500 metros de profundidad (Nivel 150).

2.6. Descripción geomecánica – litológica

Las características geomecánicas están asociadas a rocas sedimentarias muy fragmentadas y alteradas por el comportamiento tectónico en el sector de estudio, siendo estas asociadas al desarrollo de labores subterráneas bajo 450 metros, considerando el uso del *shotcrete* para la estabilidad del macizo rocoso.

2.6.1. Aspectos geomecánicos de Chungar

En el sector de estudio de la unidad minera Chungar, está asociada a una calidad de roca de muy mala calidad, siendo de carácter muy incompetente, generando en algunos sectores de caída de rocas, derrumbes y/o asentamientos de diferentes magnitudes. Las juntas están en el orden de 0.05 a 0.30 m, considerando la resistencia < 15 MPa en las cajas y < 60 Mpa en la estructura mineralizada. La intensidad de alteración hidrotermal es intensa en la roca caja y de alteración moderada en la estructura mineralizada, las fisuras son rellenadas por arcillas y limpia, la presencia de agua es bajo o en goteo en las cajas y en mayores flujos en la estructura mineralizada. Para la estabilización del macizo rocoso se usa una capa de 2" de *shotcrete*, asociado a pernos de 7 pies.

2.6.2. Aplicaciones de la geomecánica

La aplicación de la geomecánica en minería se asocia a diversos principios y metodologías de la mecánica de rocas para un adecuado diseño.



Figura 9. Labor amplia de 18 m de ancho, 6 m de altura y buzamiento 45°, controlados con *shotcrete* e *hydrabolt* de 7'

2.6.3. Criterios de evaluación geomecánica de Chungar

Los criterios de evaluación geomecánica en Chungar se asoció a la evaluación de:

- Las propiedades físicas del macizo rocoso
- Las propiedades geológicas del yacimiento
- La clasificación geomecánica del macizo rocoso

2.7. Clasificaciones geomecánicas

Se considera la clasificación geomecánica siendo las características asociadas a:

- a) Definir los diferentes dominios geomecánicos, en función al comportamiento estructural.
- b) Definir las propiedades físicas en los diferentes dominios geológicos y geomecánicos en base a estudios cualitativos para su clasificación.
- c) La clasificación del macizo rocoso está asociado a las clasificaciones de: Terzaghi, Rebcewicz, Protodyakonov y Lauffer, Deere, RSR de Wickman, Tiedemann y Skinner, Bieniawski, Barton, Hoek y Brown, Laubscher y GSI.

2.7.1. Sostenimiento

El tipo de sostenimiento aplicado en la mina Chungar, está asociado a sus diferentes propiedades físicas del macizo rocoso:

- Shotcrete
- Pernos de Compresión y fricción axial (Hydrabolt)
- Malla electrosoldada.
- Cimbras metálicas tipo H.
- Jack Pot.

El tiempo de autoaporte mínimo, así como, la abertura máxima permisible sin soporte, está relacionado con el índice Q según la siguiente relación:

$$Abertura\ máxima = 2(ESR)Q^{0.4}$$

2.8. Bases teóricas del estudio

Los factores que contribuyen a la dosificación de *shotcrete* son la temperatura en interior mina, vigencia de los aditivos, densidad de la arena, granulometría de la arena, humedad de la arena y vigencia del cemento.

El análisis de las variables de dosificación del *shotcrete* en la rampa 4025, nivel 4000 de la veta Guisela en la unidad minera Chungar, permitirá analizar el tiempo de lanzado, tiempo de espera del mixer y el tiempo de espera del robot.

2.8.1. Análisis del maciso rocoso de RP025 veta Guisela NV 4000

- Discontinuidades: la discontinuidad, presente con relleno de panizo es de 0.15 m de espesor
- Persistencia de discontinuidad: longitudes > 20 m, las diaclasas tienen una persistencia entre 1m a 3 m
- Espaciamiento de discontinuidades: es medio entre 5 a 200 mm
- Separación de las superficies de discontinuidades: extremadamente estrecha a cerrada entre 1 a 0 mm
- Rugosidad: suave a lisa
- Relleno de discontinuidades: asociado a relleno de calcita, pirita, carbonatos, venillas de mineral y en algunos casos es limpia.
- Humedad y permeabilidad del relleno: poca humedad y permeabilidad secundaria.

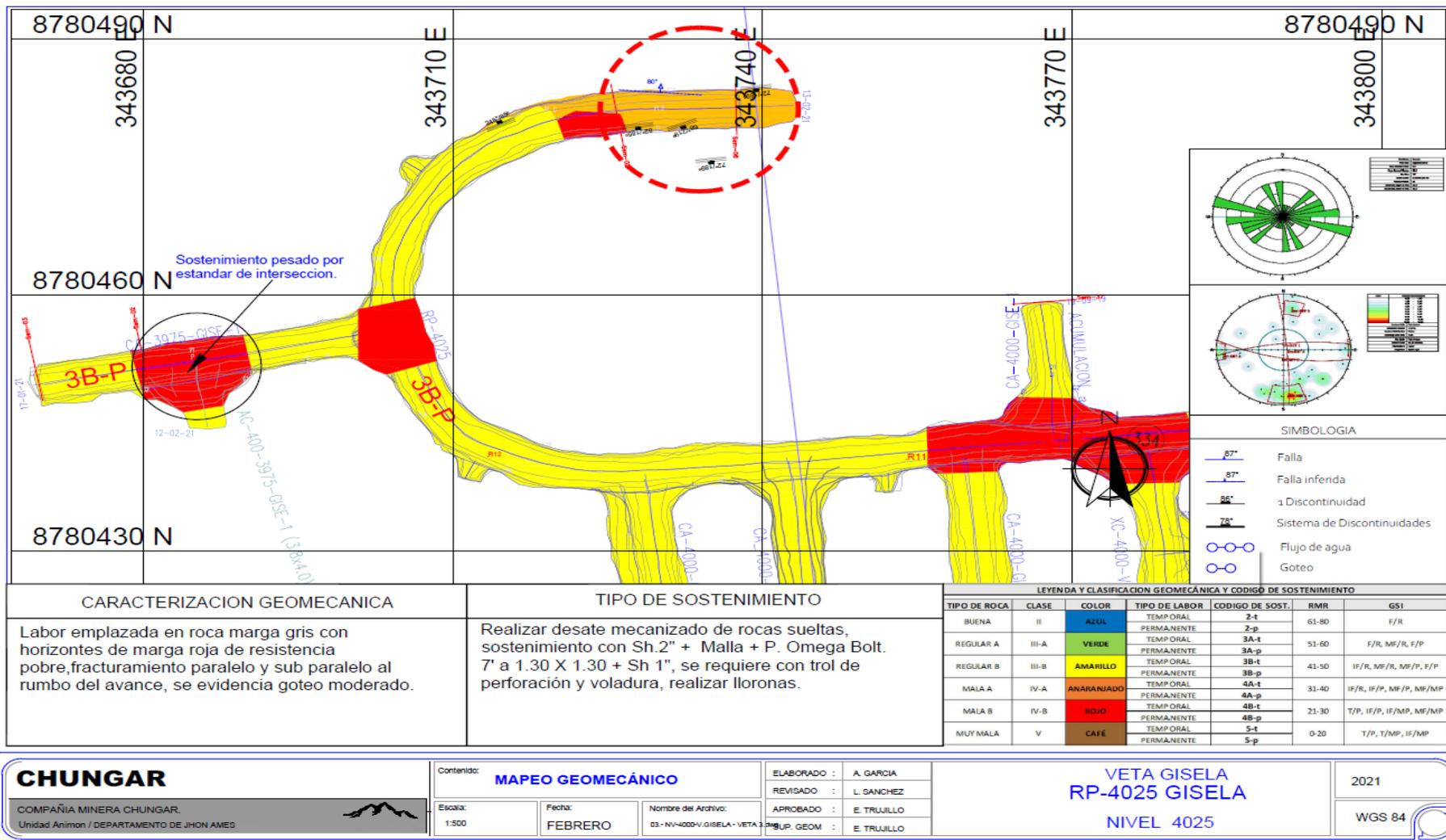


Figura 10. Mapeo geomecánica de la rampa 4025, veta Guisela, unidad minera Chungar. Tomado del Departamento de Geomecánica



Figura 11. Veta Guísela, mineral Zn, Pb y Cu masivo

2.8.2. Análisis del fragmento rocoso de veta Guísela

Está asociada a una roca sedimentaria, considerada como marga gris, el cual se originó por la alteración de la marga roja.

- Color: gris verdoso claro a gris blanquecino por la alteración
- Dimensiones de granos componentes de la roca: limo a arcilla
- Textura: en capas y estratificada
- Meteorización: el fragmento de roca presenta de ligera a alta
- Relleno de discontinuidad: relleno de calcita, patinas de óxidos, limpia y carbonatos.
- Humedad y permeabilidad del relleno: poca humedad y la permeabilidad es primaria.
- Aguas subterráneas: es por goteo y esporádicamente en flujos pequeños.
- Grado de alteración: en la arenisca es insipiente a ligera con una decoloración rojiza.
- Número de familias de discontinuidades: se asocia de 3 a 4 sistemas de discontinuidad, paralelas a la estructura mineralizada.
- Tamaño de bloques y la resistencia al cizallamiento: tiene la forma cubica a romboedros.

- Grado de fracturamiento y tamaño de los bloques: la arenisca es fracturado (F) a muy Fracturado (MF), con una densidad > 15 diaclasas por m³.

2.9. Caracterización geomecánica de las estructuras mineralizadas del yacimiento

2.9.1. Evaluación geomecánica veta Guisela

Evaluación y análisis geomecánico de la veta Guisela para un conocimiento detallado de sus características. La veta principal se explota en una longitud de 1.5 km con ancho de minado variables que varían de 0.80 m hasta más de 8.0 m; con sistema de explotación corte y relleno ascendente. Hacia el extremo "E" de acuerdo con la evaluación geomecánica se tiene una longitud de 200mts.

2.10. Evaluación geomecánica roca marga roja

2.10.1. Análisis del fragmento rocoso de marga roja

A continuación, se describe las principales características:

- Génesis: marga roja, de tipo sedimentario
- Color: de color rojo grisáceo claro a rojo violáceo claro
- Dimensiones de granos componentes de la roca: limo - arcilla calcáreo
- Textura: fino a hojuelas sub horizontales
- Meteorización: no presenta meteorización
- Resistencia: roca de bajo debilitamiento al ser sumergida al agua.
- Porosidad: es porosa
- Permeabilidad: primaria, impermeable
- Densidad seca: 2.70gr/cm³
- Densidad húmeda: 2.73gr./ cm
- Grado de fracturamiento: moderadamente fracturado a muy fracturado, fragmentos pequeños a medianos



Figura 12. Fragmento de marga roja

2.10.2. Análisis del macizo rocoso de marga roja:

- Discontinuidades: presente diaclasa longitudinales y transversales al rumbo de la mineralización.
- Persistencia de discontinuidad: persistencia es alta si se presenta fallas altas con longitudes > 20 metros y diaclasas tiene una persistencia muy baja < de 0.30 metros.
- Espaciamiento de discontinuidades: está entre 0.03 a 0.25 metros.
- Separación de las superficies de discontinuidades: estrecha a cerrada entre 2 a 0.0 mm.
- Rugosidad: en las diaclasas es suave a lisa ondulante y áspera a rugosa ondulante en el contacto litológico.
- Relleno de discontinuidad: asociada a calcita, patinas de arcillas, limpia y carbonatos.
- Humedad y permeabilidad del relleno: rellenos humedecidos y la permeabilidad es secundaria.
- Aguas subterráneas: es por goteo
- Relleno de discontinuidad: asociado como relleno a la calcita, pirita, carbonatos y en algunos casos es limpia.

2.11. Análisis del macizo rocoso de marga gris

- Discontinuidades: diaclasas transversales al rumbo de la mineralización.
- Persistencia de discontinuidad: contacto falla es muy alta, longitudes > 20 metros, con persistencia muy baja en diaclasas < 0.10 metros.
- Espaciamiento de discontinuidades: está entre 0.03 a 0.30 metros.
- Separación de las superficies de discontinuidades: es estrecho a cerrado entre 5 a 0 milímetros.
- Rugosidad: en la brecha de falla es suave a liza ondulante y de áspera a rugosa ondulante en las diaclasas.



Figura 13. Fragmento de roca marga gris

2.11.1. Evaluación geomecánica roca marga gris

A) ANÁLISIS DEL FRAGMENTO ROCOSO DE MARGA GRIS:

- Génesis: marga gris
- Color: gris verdoso claro
- Textura: grano fino, equigranulares estratificada
- Meteorización: intensa meteorización en la caja techo, y en los planos de discontinuidades de alta decoloración
- Resistencia: poco resistente, se raya con la uña y se fragmenta con la mano
- Durabilidad: alto debilitamiento y desintegración al ser sumergida al agua

- Porosidad: alta porosidad y poco permeable.
- Permeabilidad: primaria por poros
- Densidad seca: 2.64 gr/cm³
- Densidad húmeda: 2067 gr/cm³
- Durabilidad. la prueba de duración que se realizó a los especímenes nos indica que es una roca que no presenta debilitamiento al ser sumergido al agua
- Densidad seca: 2.73 gr/cm³
- Densidad húmeda: 2.74 gr/cm³

2.12. Caracterización geomecánica de las rocas y minerales de las labores mineras según normas de las Internacional Society for Rock Mechanics

Las labores mineras de explotación están en rocas cajas sedimentarias de naturaleza calcárea descritas líneas arriba y las vetas son estructuras tabulares de mineral polimetálico; las cuales describiremos y caracterizaremos desde el punto de vista geomecánica a continuación:

2.12.1. Evaluación geomecánica de rocas del yacimiento

La mina Chungar está emplazado principalmente en rocas sedimentarias, entre ellas tenemos a la marga roja, marga gris, conglomerados, areniscas y las estructuras mineralizadas.



Figura 14. Fragmentos y testigos de areniscas

2.12.2. Análisis del macizo rocoso de la arenisca

- Discontinuidades: presenta planos de estratificación y fracturas continuas.
- Persistencia de discontinuidad: la persistencia es alta en presencia de fallas geológicas con longitudes > 10 metros, paralelos al rumbo de la falla; la persistencia es baja < 0.30 metros en diaclasas.
- Espaciamiento de discontinuidades: está entre 0.05 a 0.30 metros.
- Separación de las superficies de discontinuidades: asociada de estrecha a cerrada de 2 a 0.0 milímetros.
- Rugosidad: diaclasas y el contacto de tipo moderado a rugosa.

2.13. Dosificación del *shotcrete*

Es un método muy utilizado para el sostenimiento de labores en la unidad minera Chungar el concreto es lanzado a presión, el cual permite fortalecer en mejor medida las labores, considerando la dosificación por cada tipo de roca.

El tipo de sostenimiento se aplica de acuerdo al tipo de roca, clasificando desde rocas Muy Mala (tipo V) hasta Muy Buena (tipo I).

El sostenimiento con *shotcrete* emplea equipos para el lanzamiento de la mezcla. La dosificación de la mezcla está en función del tipo de labor desarrollado en la unidad minera, considerando si son temporales o permanentes, siendo estos analizados por cada m³ se usará:

a) Labores temporales: considera tajo y subniveles se usará;

- ✓ 400 kg de cemento
- ✓ 1595 kg de arena
- ✓ 178 lt de agua
- ✓ 25 kg de fibra
- ✓ 2.5 lt de aditivo
- ✓ Slump de 9"

b) Labores permanentes: considera rampas, cruceros, by pass y cámaras

- ✓ 440 kg de cemento
- ✓ 1567 kg de arena
- ✓ 156 l de agua
- ✓ 25 kg de fibra
- ✓ 2.7 l de aditivo
- ✓ Slump de 8.5"

Asimismo, se considera que para mezcla normal se realiza las combinaciones de 25 kg de fibra y para mezcla especial es de 45 kg de fibra.

2.14. Shotcrete reforzado con fibras

Uno de los objetivos en el sostenimiento con *shotcrete* es hacer que exista mayor longevidad, siendo la fisuración del macizo rocoso uno de los problemas a ser controlado, donde el uso del *shotcrete* reforzado con fibras se viene aplicando durante los últimos 40 años para controlar este problema.

a) Propiedades del *shotcrete* reforzado con fibras

El uso del *shotcrete* reforzado con fibras demuestra una mayor ductilidad el cual permite deformarse manteniendo una buena resistencia, así como permite oponerse a la propagación de la fisura en el macizo rocoso, generando una mayor durabilidad o vida del sostenimiento.

La diferencia con el uso de mallas, el uso de *shotcrete* reforzado con fibras ofrece otros beneficios como:

- ✓ Mejor distribución del refuerzo sobre el terreno.
- ✓ Adecuada adaptación al perfil irregular del macizo rocoso.
- ✓ Logística simple
- ✓ Reduce el efecto de rebote
- ✓ Mejora la compactación.



Figura 15. Diferencia uso de shotcrete con fibras y shotcrete con mallas

b) Tipos de fibras para *shotcrete*

El uso de fibras para *shotcrete* se diferencia por su función, tamaño y/o material.

- ✓ Según su tamaño:
 - Microfibras (< 0.3 mm diámetro): minimizan las fisuras del hormigón en estado fresco, mejora la durabilidad, dosificación habitual de 1 – 3 kg/m³.

- Macrofibras (> 0.3 mm diámetro): aumento de la ductibilidad y tenacidad de las fibras de acero y macro fibras sintéticas, limita la propagación de la fisura cuando el hormigón se haya endurecido, la dosificación está entre 25 – 60 kg/m³ en fibras de acero y de 4.5 – 9 kg/m³ en macro fibras sintéticas.

✓ Según el material:

- Fibras metálicas.
- Fibras sintéticas.
- Fibras de vidrio.
- Combinadas.

La forma de la fibra, condiciona la adherencia entre el hormigón y la fibra.



Figura 16. Diferencia tipos de fibras para shotcrete

c) Dosificación y bombeo de fibras

La dosificación de fibras con el *shotcrete* es al final del mezclado del hormigón y no al inicio, se realiza en forma paulatina evitando así las aglomeraciones o atascos. La mezcla se realiza generalmente en planta, también lo hacen directamente en la hormigonera.

El bombeo con fibras debe considerar, que su longitud no debe ser mayor al 60% del diámetro de la tubería, considerando que las fibras disminuyen la trabajabilidad del hormigón, por lo que es importante el uso de plastificantes.

2.15. Cálculo de cantidad de materiales de sostenimiento

Los cálculos para determinar la cantidad de materiales de sostenimiento utilizando *shotcrete* estará dividido en cálculo de *shotcrete*, cálculo de cantidad de pernos y cálculo de malla.

a) Cálculo del *shotcrete*

Considera las dimensiones de la labor subterránea para aplicar el *shotcrete*.

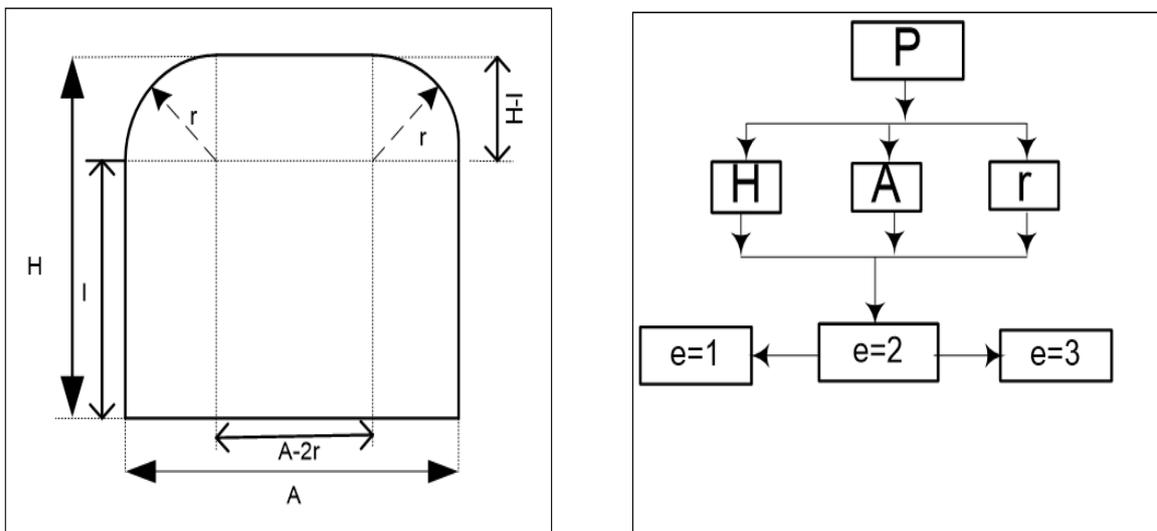


Figura 17. Diseño de labor subterránea para cálculo de *shotcrete*

a.1 Cálculo del volumen de *shotcrete*:

Fórmula general:

$$V = (P \cdot L) \cdot \%Rg \cdot \%Rb \cdot \%C \cdot Cp \cdot e$$

✓ Cálculo del perímetro:

$$P = 2H - r(4 - \pi) + A$$

Donde:

P = Perímetro(m)

H = Altura(m)

R = Radio(m)

A = Ancho(m)

$\pi = 3.1416$

✓ Cálculo de la cantidad para vía húmeda (TK)

Cantidad buscada 1= (P*L) * %Rg

Donde:

Rg = Rugosidad (30%)

Rb= Rebote (14%)

C = Cuba (2%)

Cp = Compactación (6%)

Para un espesor = 1" (0.0254m)

cantidad buscada 2 = Cantidad buscada 1*0.0254*1.1

Para un espesor = 2" (0.0508m)

cantidad buscada 2 = Cantidad buscada 1*0.0508*1.1

Para un espesor = 3" (0.0762m)

cantidad buscada 2 = Cantidad buscada 1*0.0762*1.1

Tabla 3. Cálculo de la cantidad de material para shotcrete vía húmeda

CÁLCULO DE LA CANTIDAD PARA VÍA HÚMEDA (TK)

Introducir Datos			Datos Fijos					Resultados	
Seccion	Avance	Espesor	%Rg	%Rb	%C	%Cp	Perímetro	SH sacrificio	V=Volumen (m3)
4.5 *	4	0.0254			1.10		54.60	0.20	1.73
4.5 *	4.2	0.0508			1.10		52.80	0.20	3.15
4.4 *	3.9	0.0762			1.10		48.26	0.20	4.25

b) Cálculo de cantidad de pernos

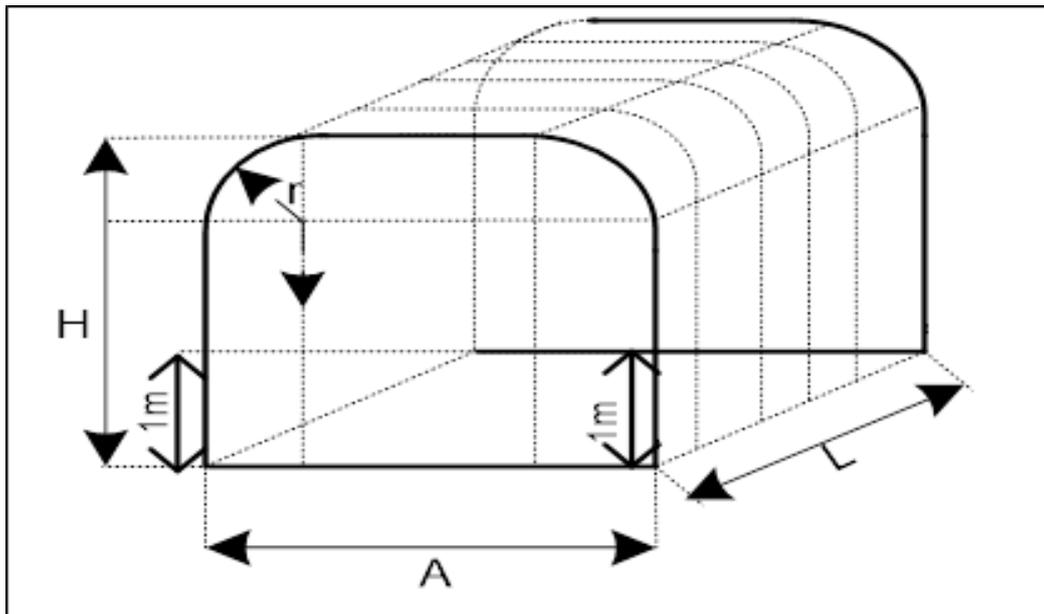


Figura 18. Diseño de labor subterránea para cálculo de cantidad de pernos

b.1 Cantidad de pernos

$$C = ((\text{Longitud}-1) / \text{Espaciamiento}) * (((\text{Perímetro} - 2) / (\text{Espaciamiento}) + 1)$$

✓ Perímetro

$$P = 2H - r(4 - \pi) + A$$

Donde:

P = Perímetro (m)

S = Espaciamiento(m)

L = Longitud de avance

✓ Para espaciamento de 1m, 1.2 m y 1.5 m

$$A = (\text{Longitud} - 1) / \text{Espaciamiento}$$

$$B = ((\text{Perímetro} - 2) / \text{Espaciamiento}) + 1$$

$$C = (A * B)$$

Tabla 4. Cálculo de la cantidad de pernos

CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE PERNOS

Introducir datos			Datos Fijos			Resultados
Seccion	Avance	Espaciamiento	Perímetro			C=Numero de pernos
3.5 * 3.5	3	1.2	9.64	1.67	7.37	12
4.5 * 4.2	6	1.5	12.34	3.33	7.89	26

c) Cálculo de cantidad de mallas

Cantidad buscada = (Longitud * Perímetro)

$$P = 2H - r(4-\pi) + A$$

$$A = \text{Perímetro} - 2$$

$$\text{Perímetro} - 2 = (A * 1.150)$$

Tabla 5. Cálculo de la cantidad de malla

CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE MALLA

Introducir Datos			Datos Fijos		Resultados
Seccion	Avance	Factor Traslape	Factor Tenzado	Perímetro	Cantidad de malla(m2)
3.5 * 3.5	3	0.3	1.05	7.94	25.02
4.5 * 4.2	3	0.3	1.05	10.34	26.28
3.5 * 3.5	5	0.3	1.05	7.94	31.19

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Método y alcances de la investigación

3.1.1. Método de la investigación

Se aplica en la presente tesis el método de investigación científico, el cual permitirá reunir, procesar y analizar la información relacionada al estudio en forma ordenada, sistemática y asociando procedimientos para solucionar el problema planteado.

A. Método general

El estudio aplica el método deductivo - inductivo. Este método observará e investigará los parámetros técnicos y económicos, que influye directamente asociado a l tema de investigación. El análisis de los parámetros operacionales, ayudará a determinar el mecanismo o forma de mejorar la productividad en el uso del *shotcrete* para el sostenimiento subterráneo.

B. Métodos específicos

A continuación, se describe el procedimiento de recolección y procesamiento de información, siendo el siguiente procedimiento:

- **Recopilación de informes anteriores.** Para el análisis de la información en periodos anteriores asociadas a las áreas de geología, geomecánica, operación mina, etc., de la unidad minera.

- **Trabajo de campo.** Se realizará las observaciones pertinentes de mapeo y monitoreo, estudio de tiempo y costos asociados al uso del *shotcrete*.
- **Trabajo de gabinete.** Se analiza la información asociada al uso del *shotcrete*, relacionando a los tiempos asociados y su costeo respectivo.
- **Resultados.** Se analizará e interpretará las diferentes variables operacionales del uso del *shotcrete* y dar respuesta a los problemas planteados en la presente tesis.

3.1.2. Alcances de la investigación

El alcance de la investigación de la presente tesis se realizará en el área de *shotcrete* en la rampa 4025, nivel 4000 en la unidad minera Chungar.

3.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es descriptivo longitudinal, el cual permitirá la evaluación y la descripción del comportamiento de una variable. En este caso, aplicación del *shotcrete*, esta descripción implica la observación sistemática del diseño de estudio.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

Está conformado por la labor en estudio, rampa 4025, nivel 4000, veta Guisela en la unidad minera Chungar, mediante el uso del *shotcrete*.

3.3.2. Muestra

Está conformada por la labor subterránea en estudio mediante el uso del *shotcrete* como sostenimiento para el análisis de las variables operacionales.

3.3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La investigación científica de la presente tesis permitirá, el uso de una diversidad de técnicas e instrumentos de recolección de datos, en función al método y tipo de investigación a realizar.

3.3.4. Técnicas utilizadas en la recolección de datos

- Análisis y observación de la información de *shotcrete* recolectada
- Revisión de la información bibliográfica referente al tema de investigación
- Recopilación de información de campo

3.3.5. Instrumentos utilizados en la recolección de datos

- ✓ Libros
- ✓ Información de internet
- ✓ Plantillas de Microsoft Excel 2010
- ✓ Uso de computadora
- ✓ Uso de softwares estadísticos
- ✓ Otros

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

A continuación, se presentan los resultados del análisis de variables operacionales en la dosificación del shotcrete en la rampa 4025, nivel 4000 para la explotación de la veta Guisela en la unidad minera Chungar - 2021.

4.1.1. Análisis del total de horas de labor de *shotcrete*

Durante el periodo de mayo, junio y julio del 2021, se realizaron diferentes evaluaciones del uso del shotcrete en la rampa 4025 del nivel 4000, para la explotación de la veta Guisela.

El total de horas de uso de *shotcrete* durante los meses de mayo, junio y julio fueron en total de 1474.5 horas, los que consideran las labores subterráneas de Rp4025, SN100W, SN200W, TJ_SN400E y TJ_SN600W.

La mayor incidencia de horas de labor de *shotcrete* considera en mayor porcentaje las labores TJ_SN400E y TJ_SN600W en 48.02% y 37.44 % respectivamente, las labores que generan menores horas son SN200W, SN100W y Rp4025 con 9.77 %, 1.63 % y 3.15 % respectivamente.

Tabla 6. Total de horas de labor de shotcrete, por labor subterránea, periodo mayo, junio y julio

TOTAL DE HORAS DE LABOR SHOTCRETE						
PERIODO	RP_4025	SN_(-)100 W	SN_(-)200 W	TJ_SN (-)400 E	TJ_SN (-)600 W	Total Hrs
May	11.75	8	48	236	184	487.75
Jun	24.42	8	48	236	184	500.42
Jul	10.33	8	48	236	184	486.33
Total	46.5	24	144	708	552	1474.5
Incidencia	3.15%	1.63%	9.77%	48.02%	37.44%	100%

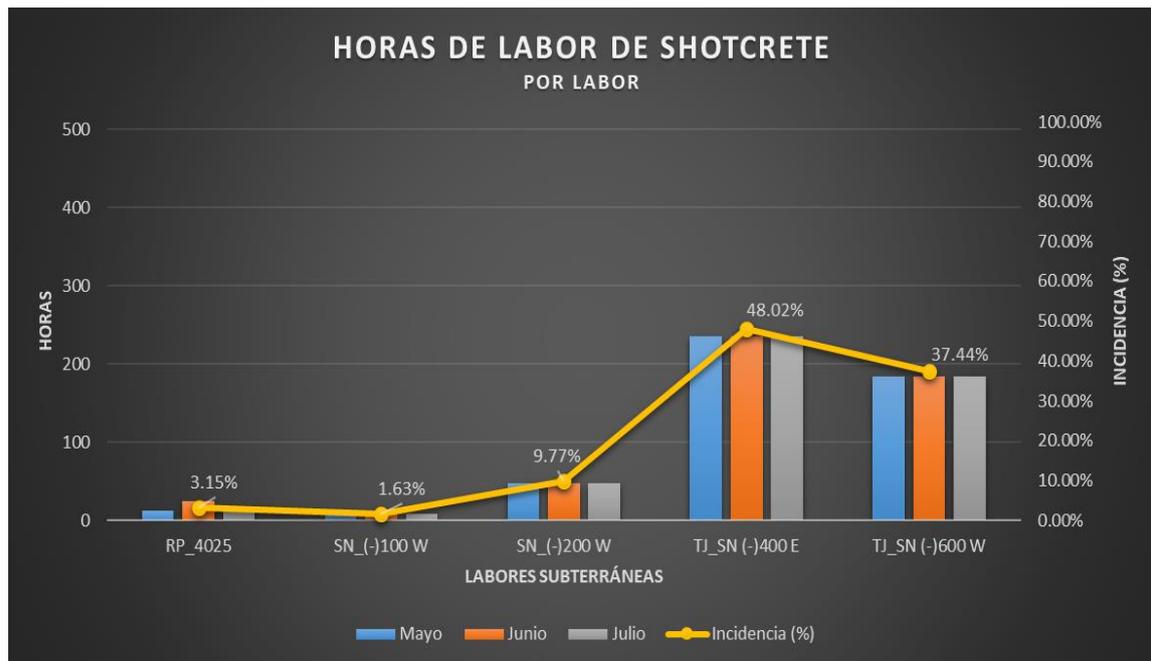


Figura 19. Horas de labor de shotcrete de labores subterráneas, en la Unidad Minera Chungar

Las labores que generan mayor consumo de *shotcrete* son los tajos TJ_SN400E y TJ_SN600W con un total de 1260 horas y una incidencia del 85.45 %, los subniveles SN200W y SN100W con un total de 168 horas y una incidencia del 11.39 %, la rampa RP4025 considera un total de 46.5 horas con una incidencia del 3.15 % durante el periodo mayo, junio y julio del 2021.

La mayor incidencia de consumo de *shotcrete* en la rampa RP4025 se dio en el mes de Julio con un total de 24.42 horas, siendo el de 11.75 y 10.33 horas en los periodos de mayo y julio respectivamente.

La labor que generó mayor consumo en horas de *shotcrete* fue el de tajo TJ_SN400E con 708 horas de labor de concreto.

Mes de mayo:

Tabla 7. Total de horas de labor de shotcrete durante el mes de mayo

TOTAL DE HORAS DE LABOR DE SHOTCRETE - MAYO						
MAYO	RP4025	SN_(-)100 W	SN_(-)200 W	TJ_SN (-)400 E	TJ_SN (-)600 W	TOTAL (HRS)
3-May				30.00	10.00	40.00
4-May	3.17		12.00	16.00	12.00	43.17
5-May		2.00				2.00
6-May				5.00	5.00	10.00
7-May	4.17			5.00	5.00	14.17
8-May				3.00	14.00	17.00
9-May				30.00	10.00	40.00
10-May			12.00	16.00	12.00	40.00
11-May		2.00				2.00
12-May	0.67			5.00	5.00	10.67
13-May				5.00	5.00	10.00
14-May				3.00	14.00	17.00
15-May				30.00	10.00	40.00
16-May			12.00	16.00	12.00	40.00
17-May	0.83	2.00				2.83
18-May				5.00	5.00	10.00
19-May				5.00	5.00	10.00
20-May					6.00	6.00
21-May	0.67			3.00		3.67
22-May					8.00	8.00
23-May				30.00	10.00	40.00
24-May	0.83			10.00		10.83
25-May			12.00	6.00	12.00	30.00
26-May		2.00		5.00		7.00
27-May	0.83				10.00	10.83
28-May				5.00	3.00	8.00
29-May	0.58			3.00	3.00	6.58
30-May					8.00	8.00
TOTAL	11.75	8.00	48.00	236.00	184.00	487.75
INCIDENCIA (%)	2.41%	1.64%	9.84%	48.39%	37.72%	100.00%

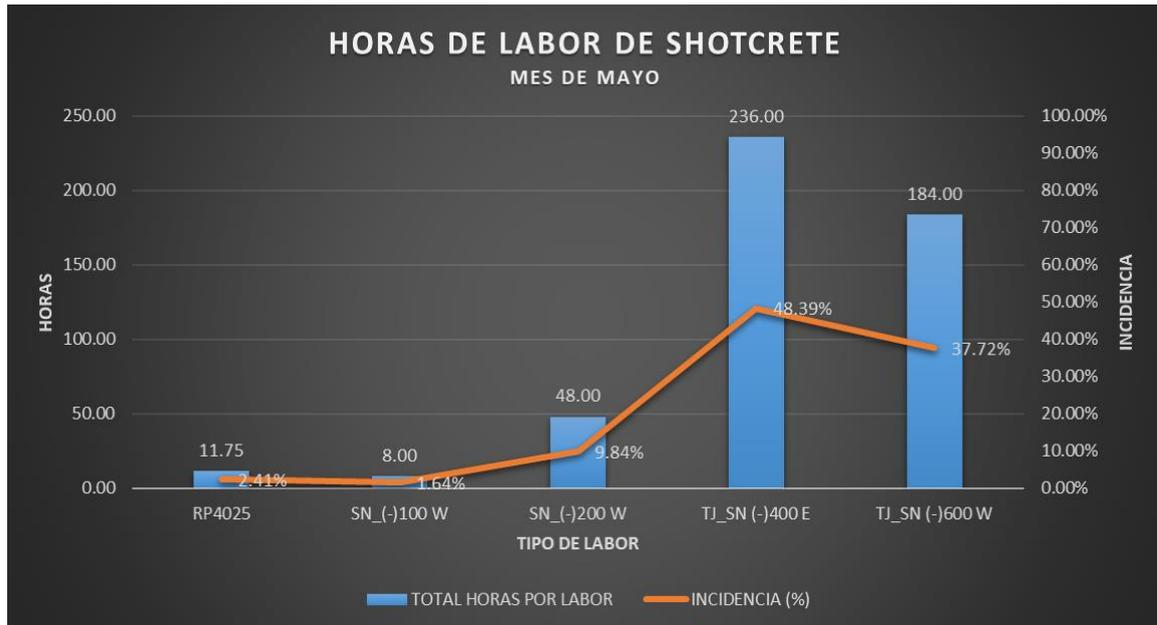


Figura 20. Horas de labor de shotcrete mes de mayo en las diferentes labores subterráneas

Durante el mes de mayo las horas de labor de *shotcrete* en mayor incidencia se realizaron en el TJ_SN400E con 236 horas y el de menor incidencia se realizó en el SN100W con 8 horas.

La incidencia de las horas de labor de *shotcrete* de todas las labores sin considerar la rampa 4025 fue de 476 horas con una incidencia del 97.59%. Así mismo las horas de labor de *shotcrete* en la rampa RP4025 fue de 11.75 horas, considerando una incidencia el 2.41% del total de horas del mes de mayo.

Mes de junio:

El análisis de las variables de horas de labor de *shotcrete* durante el mes de junio se considerará las horas de *shotcrete* y su incidencia en cada una de las labores en el periodo de junio, considerando la diferencia con la labor de estudio rampa RP4025.

Tabla 8. Total de horas de labor de shotcrete durante el mes de junio

TOTAL DE HORAS DE LABOR DE SHOTCRETE - JUNIO						
JUNIO	RP4025	SN_(-)100 W	SN_(-)200 W	TJ_SN (-)400 E	TJ_SN (-)600 W	TOTAL (HRS)
1-Jun				30.00	10.00	40.00
2-Jun	1.08		12.00	16.00	12.00	41.08
3-Jun		2.00				2.00
4-Jun	1.58			5.00	5.00	11.58
5-Jun				5.00	5.00	10.00
6-Jun					6.00	6.00
7-Jun	3.67			3.00		6.67
8-Jun					8.00	8.00
9-Jun	2.67			30.00	10.00	42.67
10-Jun			12.00	16.00	12.00	40.00
11-Jun	1.25	2.00				3.25
12-Jun				5.00	5.00	10.00
13-Jun				5.00	5.00	10.00
14-Jun				3.00	14.00	17.00
15-Jun	2.33			30.00	10.00	42.33
16-Jun			12.00	16.00	12.00	40.00
17-Jun		2.00				2.00
18-Jun	0.42			5.00	5.00	10.42
19-Jun				5.00	5.00	10.00
20-Jun					6.00	6.00
21-Jun	3.67			3.00		6.67
22-Jun					8.00	8.00
23-Jun				30.00	10.00	40.00
24-Jun	1.67			10.00		11.67
25-Jun			12.00	6.00	12.00	30.00
26-Jun	2.83	2.00		5.00		9.83
27-Jun					10.00	10.00
28-Jun	2.25			5.00	3.00	10.25
29-Jun				3.00	3.00	6.00
30-Jun	1.00				8.00	9.00
TOTAL (HRS)	24.42	8.00	48.00	236.00	184.00	500.42
INCIDENCIA (%)	4.88%	1.60%	9.59%	47.16%	36.77%	100%



Figura 21. Horas de labor de shotcrete, mes de junio, en las diferentes labores subterráneas

Durante el mes de junio las horas de labor de *shotcrete* en mayor incidencia se realizaron en el TJ_SN400E con 236 horas y el de menor incidencia se realizó en el SN100W con 8 horas.

La incidencia de las horas de labor de *shotcrete* de todas las labores sin considerar la rampa 4025 fue de 476 horas con una incidencia del 97.12%. Así mismo las horas de labor de *shotcrete* en la rampa RP4025 fue de 24.42 horas, considerando una incidencia el 4.88% del total de horas del mes de junio.

Mes de julio:

El análisis de las variables de horas de labor de *shotcrete* durante el mes de julio se considerará las horas de *shotcrete* y su incidencia en cada una de las labores en el periodo de Julio, considerando la diferencia con la labor de estudio rampa RP4025.

Tabla 9. Total de horas de labor de Shotcrete durante el mes de junio

TOTAL DE HORAS DE LABOR DE SHOTCRETE - JULIO						
JULIO	RP4025	SN_(-)100 W	SN_(-)200 W	TJ_SN (-)400 E	TJ_SN (-)600 W	TOTAL (HRS)
1-Jul				30.00	10.00	40.00
2-Jul	0.33		12.00	16.00	12.00	40.33
3-Jul		2.00				2.00
4-Jul				5.00	5.00	10.00
5-Jul	0.42			5.00	5.00	10.42
6-Jul					6.00	6.00
7-Jul				3.00		3.00
8-Jul	0.42				8.00	8.42
9-Jul				30.00	10.00	40.00
10-Jul			12.00	16.00	12.00	40.00
11-Jul		2.00				2.00
12-Jul	0.50			5.00	5.00	10.50
13-Jul				5.00	5.00	10.00
14-Jul	1.00			3.00	14.00	18.00
15-Jul				30.00	10.00	40.00
16-Jul			12.00	16.00	12.00	40.00
17-Jul	0.92	2.00				2.92
18-Jul				5.00	5.00	10.00
19-Jul	1.33			5.00	5.00	11.33
20-Jul					6.00	6.00
21-Jul	1.00			3.00		4.00
22-Jul					8.00	8.00
23-Jul	1.83			30.00	10.00	41.83
24-Jul				10.00		10.00
25-Jul			12.00	6.00	12.00	30.00
26-Jul		2.00		5.00		7.00
27-Jul	1.08				10.00	11.08
28-Jul				5.00	3.00	8.00
29-Jul				3.00	3.00	6.00
30-Jul	1.50				8.00	9.50
TOTAL	10.33	8.00	48.00	236.00	184.00	486.33
INCIDENCIA (%)	2.12%	1.64%	9.87%	48.53%	37.83%	100%

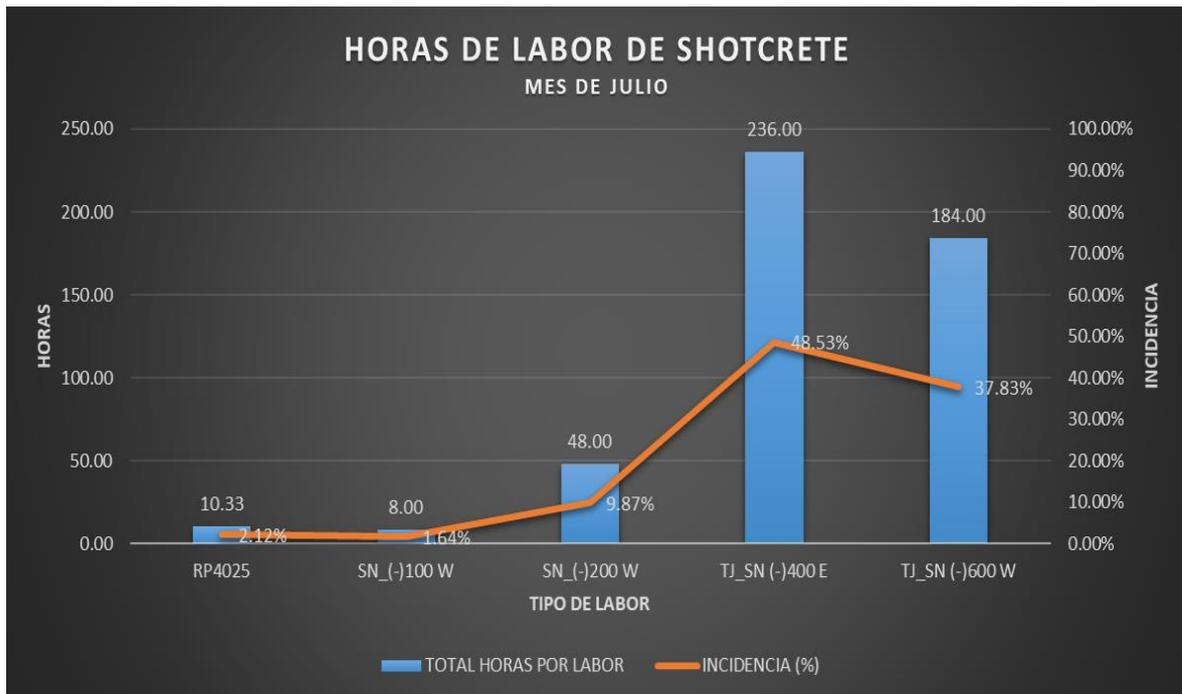


Figura 22. Horas de labor de shotcrete, mes de julio, en las diferentes labores subterráneas

Durante el mes de julio las horas de labor de *shotcrete* en mayor incidencia se realizaron en el TJ_SN400E con 236 horas y el de menor incidencia se realizó en el SN100W con 8 horas.

La incidencia de las horas de labor de *shotcrete* de todas las labores sin considerar la rampa 4025 fue de 486 horas con una incidencia del 97.88%. Así mismo las horas de labor de *shotcrete* en la rampa RP4025 fue de 10.33 horas, considerando una incidencia el 2.12% del total de horas del mes de julio.

Costos totales de labor de *shotcrete*:

El análisis del costo total de horas de labor de *shotcrete* durante el periodo de estudio considerará los costos de las horas de *shotcrete* en las diferentes labores subterráneas, incidiendo los costos asociados a la labor de estudio en la rampa RP4025, considerando un costo total de \$143,955.44 durante el periodo de estudio.

Tabla 10. Costo total de horas de lanzado de shotcrete, periodo mayo, junio y julio 2021.

TOTAL DE COSTO TOTAL DE HORAS DE LANZADO DE SHOTCRETE												
PERIODO	RP_4025	Costo (US\$)	SN_(-)100 W	Costo (US\$)	SN_(-)200 W	Costo (US\$)	TJ_SN (-)400 E	Costo (US\$)	TJ_SN (-)600 W	Costo (US\$)	Total Hrs	Costo Total (US\$)
May	11.75	1,147.15	8	781.04	48	4,686.24	236	23,040.68	184	17,963.92	487.75	47,619.03
Jun	24.42	2,384.12	8	781.04	48	4,686.24	236	23,040.68	184	17,963.92	500.42	48,856.00
Jul	10.33	1,008.52	8	781.04	48	4,686.24	236	23,040.68	184	17,963.92	486.33	47,480.40
Total	46.5	4,539.80	24	2,343.12	144	14,058.72	708	69,122.04	552	53,891.76	1474.5	143,955.44

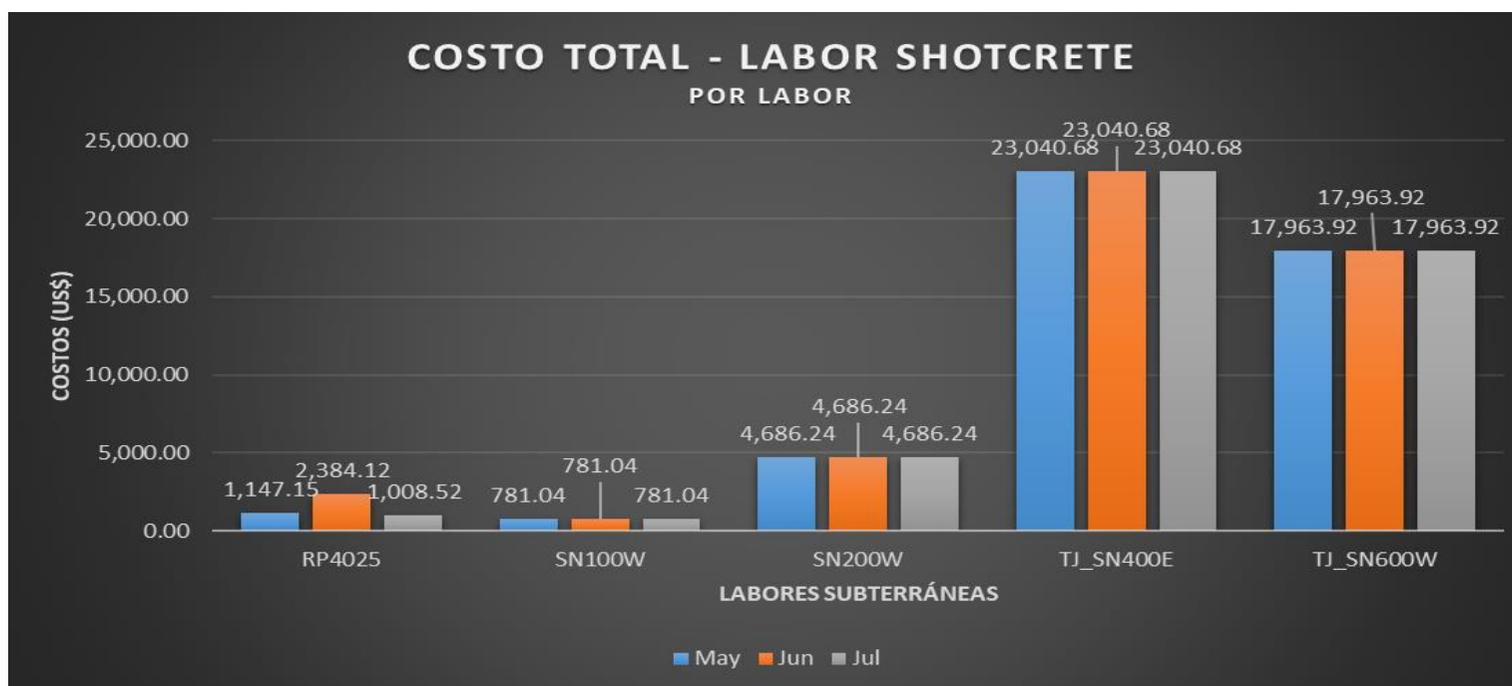


Figura 23. Costo total de labor de shotcrete por labor subterránea, periodo de estudio

El costo total de horas de labor de *shotcrete* durante el periodo de mayo, junio y julio fueron de 1474.5 horas, con un costo de US \$ 143,955.44, se considera un costo de 97.63 \$/h.

De total de horas de labor de *shotcrete* considera en labores tipo tajo TJ_SN400E y TJ_SN600W con un total de 1260 horas y un costo total de 123,013.80 US \$, los subniveles SN200W y SN100W con un total de 168 horas y un costo total de 16,401.84 US \$ y la rampa RP4025 con un total de 46.5 horas y un costo total de 4,539.80 US \$.

El costo total de la rampa RP4025 incide en mayor instancia en el periodo de junio con 2384.12 US \$, con 24.42 horas, durante el mes de mayo con 1147.45 US \$ con 11.75 horas y durante el mes de julio con 1008.52 US \$ con 10.33 horas.

4.1.2. Análisis de la relación entre horas y m³ de shotcrete por labor

Para entender las horas de labor de *shotcrete* durante el periodo de estudio se relacionó con los metros cúbicos (m³) de *shotcrete* usados en cada labor subterránea. Incidiendo principalmente en la rampa 4025 del nivel 4000, para la explotación de la veta Guisela.

Durante el periodo mayo, junio y julio se consideraron un total de 1,474.50 horas se aplicaron un total de 1,055.02 m³ de *shotcrete*, considerando las labores subterráneas de rampa RP4025, subniveles SN100W, SN200W y tajos TJ_SN400E y TJ_SN600W.

El mayor consumo de *shotcrete* se realizó en las labores de tajo TJ_SN400E y TJ_SN600W con 1260 horas y 816 m³ de *shotcrete*, las labores de subnivel SN100W y SN200W con 168 horas y 144 m³ y la rampa RP4025 con 46.50 horas y 95.02 m³.

La mayor incidencia de consumo de *shotcrete* en labores subterráneas se consideró a los tajos TJ_SN400E y TJ_SN600W en 44.36 % y 32.99 % respectivamente, las labores que generan menores horas son SN200W y SN100W con incidencias de 7.96 % y 5.69 %.

La incidencia de consumo de *shotcrete* en la rampa Rp4025 es de 9.01%.

Tabla 11. Relación entre horas y m³ de shotcrete por labor durante los meses de mayo, junio y julio

HORAS DE LANZADO DE SHOTCRETE							M3 DE SHOTCRETE					
MES	RP4025	SN_(-)100 W	SN_(-)200 W	TJ_SN (-)400 E	TJ_SN (-)600 W	TOTAL HRS	RP4025	SN_(-)100 W	SN_(-)200 W	TJ_SN (-)400 E	TJ_SN (-)600 W	TOTAL M3
May	11.75	8.00	48.00	236.00	184.00	487.75	25.31	28.00	20.00	156.00	116.00	345.31
Jun	24.42	8.00	48.00	236.00	184.00	500.42	35.30	28.00	20.00	156.00	116.00	355.30
Jul	10.33	8.00	48.00	236.00	184.00	486.33	34.41	28.00	20.00	156.00	116.00	354.41
TOTAL	46.50	24.00	144.00	708.00	552.00	1,474.50	95.02	84.00	60.00	468.00	348.00	1,055.02
INCIDENCIA (%)	3.15%	1.63%	9.77%	48.02%	37.44%	100.00%	9.01%	7.96%	5.69%	44.36%	32.99%	100.00%



Figura 24. Relación entre horas y m³ de shotcrete por labor subterránea

El mayor consumo de shotcrete durante el periodo de estudio se dio en el tajo TJ_SN400E con 468 m³, el cual representa el 44.36 % y el de menor consumo en el subnivel SN100W con 84 m³, el que representa el 7.96 %.

El tajo TJ_SN600W representa un consumo de 348 m³, con una incidencia del 32.99 %.

El subnivel SN100W representa un consumo de 84 m³, con una incidencia del 7.96 %.

El subnivel SN200W representa un consumo de 60 m³, con una incidencia del 5.69%.

La rampa RP4025 generó un consumo de 95.02 M3, siendo el mes de junio con mayor incidencia con 35.30 M3, el mes de julio con 34.41 m³ y el mes de mayo con 25.31 m³.

La incidencia de m³ de concreto en la rampa RP4025 representa el 9.01 % de consumo de *shotcrete*, de todas las labores subterráneas analizadas.

Mes de mayo – rp4025:

El análisis de la relación entre horas y m³ de *shotcrete* en la rampa RP4025, durante el mes de mayo considera 11.75 horas y 25.31 m³ de *shotcrete*.

La relación entre horas de labor y m³ de *shotcrete* para el mes de mayo considera la relación de 0.46 a 1, el cual considera que por cada 0.46 horas se realiza 1 m³ de *shotcrete*.

El promedio de horas de labor durante el mes de mayo es de 1.47 horas, el promedio de m³ durante el mismo periodo es de 3.16 m³ y la relación promedio de horas: m³ es de 0.48.

Hay una distorsión durante los días 4 y 7 de mayo, considerando mayor tiempo de horas operacionales, producto de mayor tiempo de espera de mixer y mayor tiempo de espera de robot.

Tabla 12. Relación de horas de labor y m³ de consumo de shotcrete, periodo mayo, rampa RP4025

RELACIÓN DE HORAS VS M3 DE SHOTCRETE					
LABOR RP4025 - MES MAYO					
MES	HORAS	INCIDENCIA	M3	INCIDENCIA	RELACIÓN HRS:M3
4-May	3.17	26.98%	3.27	12.92%	0.97
7-May	4.17	35.49%	2.86	11.30%	1.46
12-May	0.67	5.70%	3.16	12.49%	0.21
17-May	0.83	7.06%	3.25	12.84%	0.26
21-May	0.67	5.70%	2.82	11.14%	0.24
24-May	0.83	7.06%	3.28	12.96%	0.25
27-May	0.83	7.06%	3.17	12.52%	0.26
29-May	0.58	4.94%	3.50	13.83%	0.17
TOTAL	11.75	100%	25.31	100%	0.46
PROMEDIO	1.47		3.16		0.48

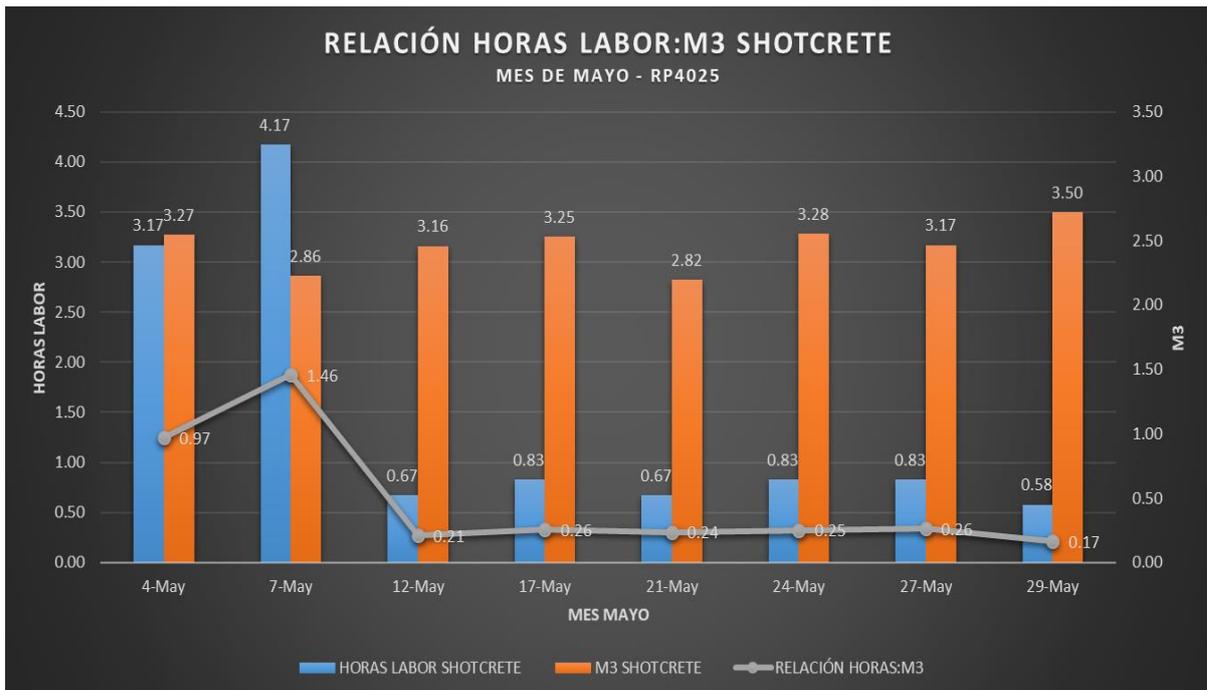


Figura 25. Relación de horas de labor versus M3 de shotcrete, mes de mayo, rampa RP4025

El mayor consumo de horas durante el mes de mayo se realizó durante los días 4 y 7 de mayo con 3.17 y 4.17 horas, realizando 3.27 y 2.86 M3 de consumo de *shotcrete*.

Este mayor consumo de horas de labor considera pérdidas de tiempo como horas de espera de mixer y horas de espera de robot, los que generan mayor pérdida de tiempo operacional y mayores costos unitarios de *shotcrete*.

La relación horas: m³ de *shotcrete* se incrementaron durante estos periodos, entre 3.17 y 4.17 horas a 1 m³ de consumo de concreto, generando un mayor costo de lanzado de *shotcrete*.

Mes de junio – rp4025:

El análisis de la relación entre horas y m³ de *shotcrete* en la rampa RP4025, durante el mes de junio considera 24.42 horas y 35.30 M3 de *shotcrete*.

La relación entre horas de labor y m³ de *shotcrete* para el mes de junio considera la relación de 0.69 a 1, el cual considera que por cada 0.69 horas se consume 1 M3 de *shotcrete*.

El promedio de horas de labor durante el mes de mayo es de 2.04 horas, el promedio de m³ durante el mismo periodo es de 2.94 m³ y la relación promedio de horas: m³ es de 0.68

Durante el mes de junio hay una mayor distorsión durante los días 7, 9, 21, 26 y 28 de junio, producto de una mayor pérdida de tiempo operacionales, considerando un mayor tiempo de espera de mixer y mayor tiempo de espera de robot.

Tabla 13. Relación de horas de labor y m³ de consumo de shotcrete, periodo junio, rampa RP4025

RELACIÓN DE HORAS VS M3 DE SHOTCRETE					
LABOR RP4025 - MES DE JUNIO					
JUNIO	HORAS	INCIDENCIA (%)	M3	INCIDENCIA (%)	RELACIÓN HRS:M3
2-Jun	1.08	4.42%	2.60	7.37%	0.42
4-Jun	1.58	6.47%	2.93	8.30%	0.54
7-Jun	3.67	15.03%	3.11	8.81%	1.18
9-Jun	2.67	10.93%	3.35	9.49%	0.80
11-Jun	1.25	5.12%	2.50	7.08%	0.50
15-Jun	2.33	9.54%	2.91	8.24%	0.80
18-Jun	0.42	1.72%	3.27	9.26%	0.13
21-Jun	3.67	15.03%	3.60	10.20%	1.02
24-Jun	1.67	6.84%	3.17	8.98%	0.53
26-Jun	2.83	11.59%	3.06	8.67%	0.92
28-Jun	2.25	9.21%	2.50	7.08%	0.90
30-Jun	1.00	4.10%	2.30	6.52%	0.43
TOTAL	24.42	100.00%	35.30	100.00%	0.69
PROMEDIO	2.04		2.94		0.68

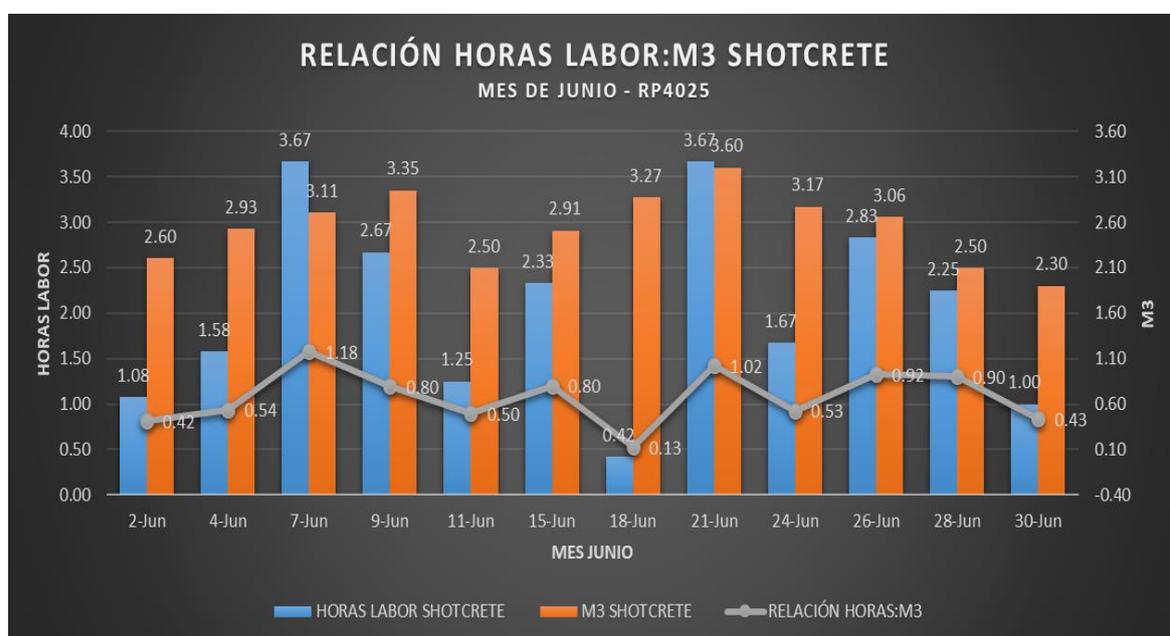


Figura 26. Relación de horas de labor versus m³ de shotcrete, mes de junio, rampa RP4025

El mayor consumo de horas durante el mes de junio se realizó durante los días 7, 9, 21, 26 y 28 de junio con 3.67, 2.67, 3.67, 2.83 y 2.25 horas, realizando 3.11, 3.35, 3.60, 3.06 y 2.50 m³ de consumo de shotcrete.

Este mayor consumo de horas de labor, considera pérdidas de tiempo como horas de espera de mixer y horas de espera de robot, los que generan mayor pérdida de tiempo operacional y mayores costos unitarios de *shotcrete*.

La relación horas: m³ de *shotcrete* se incrementaron durante estos periodos, entre 2.25 y 3.18 horas a 1 m³ de consumo de concreto, generando un mayor costo de lanzado de *shotcrete*.

Mes de julio – rp4025:

El análisis de la relación entre horas y m³ de *shotcrete* en la rampa RP4025, durante el mes de julio considera 10.33 horas y 34.41 m³ de *shotcrete*.

La relación entre horas de labor y m³ de *shotcrete* para el mes de junio considera la relación de 0.30 a 1, el cual considera que por cada 0.30 horas se consume 1 m³ de *shotcrete*.

El promedio de horas de labor durante el mes de mayo es de 0.94 horas, el promedio de m³ durante el mismo periodo es de 3.13 M3 y la relación promedio de horas: m³ es de 0.31

Durante el mes de julio hay una mayor distorsión durante los días 14, 19, 21, 23, 27 y 30 de julio, producto de una mayor pérdida de tiempo operacional, considerando un mayor tiempo de espera de mixer y mayor tiempo de espera de robot.

Tabla 14. Relación de horas de labor y m³ de consumo de shotcrete, periodo julio, rampa RP4025

RELACIÓN DE HORAS VS M3 DE SHOTCRETE					
LABOR RP4025 - MES DE JULIO					
MES	HORAS	INCIDENCIA	M3	INCIDENCIA	RELACIÓN HRS:M3
2-Jul	0.33	3.19%	2.87	8.34%	0.11
5-Jul	0.42	4.07%	3.48	10.11%	0.12
8-Jul	0.42	4.07%	3.33	9.68%	0.13
12-Jul	0.50	4.84%	3.23	9.39%	0.15
14-Jul	1.00	9.68%	3.01	8.75%	0.33
17-Jul	0.92	8.91%	3.50	10.17%	0.26
19-Jul	1.33	12.88%	3.30	9.59%	0.40
21-Jul	1.00	9.68%	2.64	7.67%	0.38
23-Jul	1.83	17.72%	2.62	7.61%	0.70
27-Jul	1.08	10.45%	3.03	8.81%	0.36
30-Jul	1.50	14.52%	3.40	9.88%	0.44
TOTAL	10.33	100.00%	34.41	100.00%	0.30
PROMEDIO	0.94		3.13		0.31

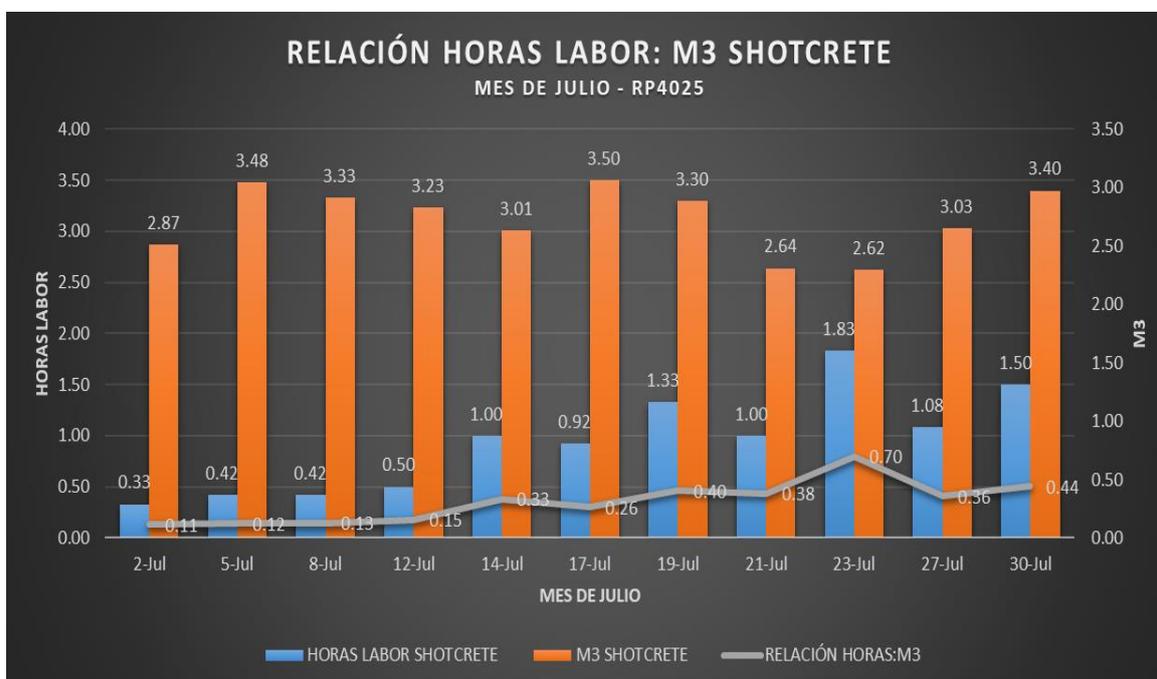


Figura 27. Relación de horas de labor versus m³ de shotcrete, mes de julio, rampa RP4025

El mayor consumo de horas durante el mes de julio se realizó durante los días 14, 19, 21, 23, 27 y 30 de julio, con 1.0, 1.33, 1.0, 1.83, 1.08 y 1.50 horas, realizando 3.01, 3.30, 2.64, 2.62, 3.03 y 3.40 m³ de consumo de shotcrete.

Este mayor consumo de horas de labor considera pérdidas de tiempo como horas de espera de mixer y horas de espera de robot, los que generan mayor pérdida de tiempo operacional y mayores costos unitarios de *shotcrete*.

La relación horas: m³ de *shotcrete* se incrementaron durante estos periodos, entre 1.0 y 1.5 horas a 1 m³ de consumo de concreto, generando un mayor costo de lanzado de *shotcrete*.

Horas versus m³ de *shotcrete* – rp4025:

El análisis de la relación entre horas y m³ de *shotcrete* en la rampa RP4025, durante los meses de mayo, junio y julio considera 46.50 horas y 95.02 M3 de *shotcrete*.

La relación entre horas de labor y m³ de *shotcrete* para la rampa RP4025 durante los meses de mayo, junio y julio considera la relación de 0.49 a 1, el cual considera que por cada 0.49 horas se consume 1 M3 de *shotcrete*.

El promedio de horas de labor durante los meses de mayo, junio y julio es de 15.50 horas, el promedio de m³ durante el mismo periodo es de 31.67 m³ y la relación promedio de horas: m³ es de 0.49

Durante el mes de junio hay una mayor distorsión de horas de labor de *shotcrete*, producto de una mayor pérdida de tiempo operacional, considerando un mayor tiempo de espera de mixer y mayor tiempo de espera de robot.

Tabla 15. Relación de horas de labor y m³ de consumo de shotcrete, periodo mayo, junio y julio, rampa RP4025.

RELACIÓN DE HORAS VS M3 SHOTCRETE					
LABOR RP4025					
MES	HORAS	INCIDENCIA (%)	M3	INCIDENCIA (%)	RELACIÓN (HRS:M3)
May	11.75	25.27%	25.31	26.64%	0.46
Jun	24.42	52.52%	35.30	37.15%	0.69
Jul	10.33	22.22%	34.41	36.21%	0.30
TOTAL	46.50	100%	95.02	100.00%	0.49
PROMEDIO	15.50		31.67		0.49

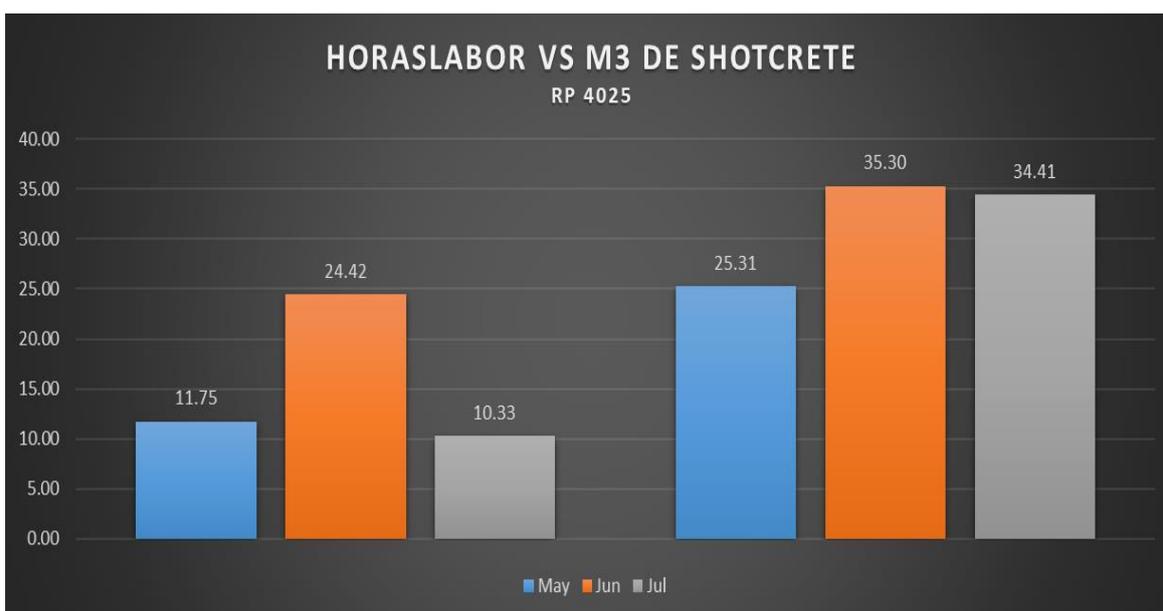


Figura 28. Relación de horas de labor versus m³ de shotcrete mes de mayo, junio y julio de la rampa RP4025

El mayor consumo de horas durante el periodo de estudio se consideró junio con un total de 24.42 horas de labor y un consumo de 35.30 m³ de *shotcrete*, siendo el mes de mayo en segundo orden de incidencia de consumo de horas de labor con 11.75 horas de labor y 25.31 m³, y el que genera menor incidencia en el mes de julio con 10.33 horas y 34.41 m³ de *shotcrete*.

Este mayor consumo de horas de labor, considera pérdidas de tiempo como horas de espera de mixer y horas de espera de robot, los que generan mayor pérdida de tiempo operacional y mayores costos unitarios de *shotcrete*.

La relación horas: m³ de *shotcrete* durante el mes de mayo, junio y julio son de 0.46, 0.69 y 0.30 respectivamente, considerando un mayor costo de consumo de *shotcrete* durante el mes de junio.

4.1.3. Análisis de pérdida de tiempo entre horas y m3 de shotcrete por labor en la rampa RP4025

El análisis de pérdida de tiempo de labor de *shotcrete* durante los periodos mayo, junio y julio, está asociado principalmente a horas de espera de equipos como el mixer y el robot de *shotcrete*.

El análisis de tiempo en labor de *shotcrete* considera los siguientes ítems: tiempos de espera de mixer, tiempos de espera de robot y tiempo de lanzado de *shotcrete*.

La incidencia de tiempos durante los meses de mayo, junio y julio en total de horas de labor de *shotcrete* de acuerdo a la categoría de tiempos se consideran en 22.17 % a la espera del mixer, 47.06 % a la espera de robot y 30.77 % a lanzado de *shotcrete*.

El total de horas de labor de *shotcrete* en la rampa RP4025 considera un total de 46.50 horas, considerando la mayor incidencia durante el mes de junio con 25.33 horas, durante el mes de mayo con 11.75 horas y durante el mes de julio con 9.42 horas.

La incidencia de horas totales durante los periodos mayo, junio y julio considerando tiempos de espera de mixer, tiempos de espera de robot y tiempos de lanzado de *shotcrete* es de 25.27 % en el mes de mayo, 54.48% en el mes de junio y de 20.25 % en el mes de julio.

Tabla 16. Análisis de tiempo operacional en labor de shotcrete, periodo mayo, junio y julio.

ANÁLISIS DE TIEMPOS - RP4025							
PERIODO	PÉRDIDA TIEMPO OPERACIONAL				TIEMPO OPERACIONAL		TOTAL
MES	ESPERA MIXER (HRS)	INCIDENCIA (%)	ESPERA ROBOT (HRS)	INCIDENCIA (%)	LANZADO (HRS)	INCIDENCIA	HORAS LABOR (HRS)
May	1.58	13.48%	6.67	56.74%	3.50	29.79%	11.75
Jun	7.83	30.92%	11.75	46.38%	5.75	22.70%	25.33
Jul	2.08	22.12%	3.58	38.05%	3.75	39.82%	9.42
TOTAL PÉRDIDA	11.50		22.00		13.00		46.50

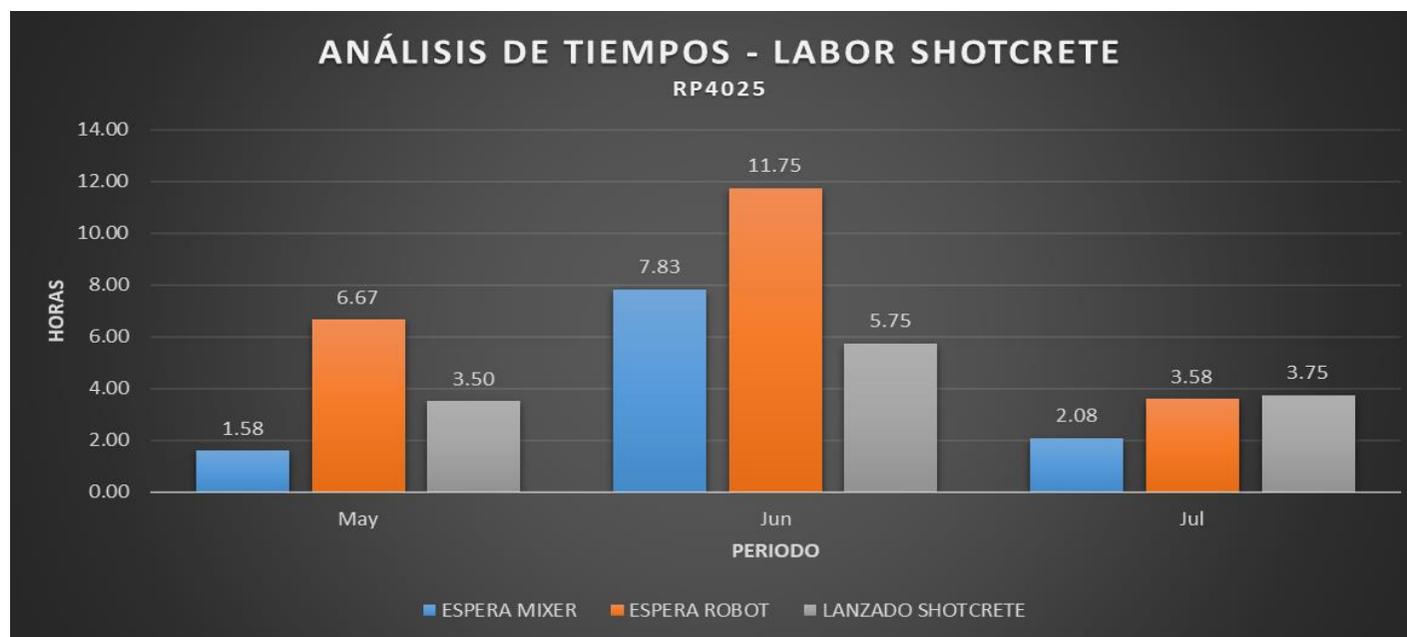


Figura 29. Análisis de tiempos operacionales en labor de shotcrete, rampa RP4025

El análisis de tiempo de labor de shotcrete durante el mes de mayo, considera una pérdida de tiempo operacional de 8.25 horas, siendo 1.58 horas en tiempo de espera del mixer con una incidencia del 13.48% y 6.67 horas en tiempo de espera de robot con una incidencia del 56.74%.

El análisis de tiempo de labor de shotcrete durante el mes de junio, considera una pérdida de tiempo operacional de 19.58 horas, siendo 7.83 horas en tiempo de espera del mixer con una incidencia del 30.92% y 11.75 horas en tiempo de espera de robot con una incidencia del 46.38%.

El análisis de tiempo de labor de shotcrete durante el mes de julio, considera una pérdida de tiempo operacional de 5.67 horas, siendo 2.08 horas en tiempo de espera del mixer con una incidencia del 22.12% y 3.58 horas en tiempo de espera de robot con una incidencia del 38.05%.

COSTOS DE LABOR DE SHOTCRETE – RP4025:

Los costos operacionales asociados a la rampa RP4025, considerando la pérdida de tiempo en espera de mixer, pérdida de tiempo en espera de robot y tiempo de lanzado de shotcrete es de 4,539.80 US\$ durante los periodos de mayo, junio y julio.

Los costos de labor de shotcrete durante el mes de mayo considera un total de 1,147.15 US\$ con una incidencia del 25.27% del periodo de estudio (mayo, junio y julio).

Los costos de labor de shotcrete durante el mes de junio considera un total de 2,473.29 US\$ con una incidencia del 54.48% del periodo de estudio.

Los costos de labor de shotcrete durante el mes de julio considera un total de 919.35 US\$ con una incidencia del 20.25% del periodo de estudio.

Tabla 17. Análisis de costos en labor de shotcrete, periodo mayo, junio y julio, rampa RP4025.

ANÁLISIS DE COSTOS - RP4025							
PERIODO	PÉRDIDA TIEMPO OPERACIONAL				TIEMPO OPERACIONAL		
MES	ESPERA MIXER (HRS)	COSTOS	ESPERA ROBOT (HRS)	COSTOS	LANZADO (HRS)	COSTOS	TOTAL HORAS LABOR (HRS)
May	1.58	154.58	6.67	650.87	3.50	341.71	11.75
Jun	7.83	764.77	11.75	1,147.15	5.75	561.37	25.33
Jul	2.08	203.40	3.58	349.84	3.75	366.11	9.42
TOTAL PÉRDIDA	11.50		22.00		13.00		46.50



Figura 30. Análisis de costos en labor de shotcrete, rampa RP4025

El tiempo de pérdida operacional en tiempo de espera de mixer y tiempo de espera de robot son de 11.50 y 22.00 horas respectivamente. Los costos asociados a estas pérdidas de tiempo operacional son de 1,122.75 US\$ para tiempo de espera de mixer y de 2,147.86 US\$ para tiempo de espera de robot.

La pérdida de tiempo operacional en el ítem de espera de mixer considera 1.58 horas durante el mes de mayo, 7.83 horas durante el mes de junio y de 2.08 horas durante el mes de julio.

Los costos asociados a la espera del mixer son de 154.58 US\$ durante el mes de mayo, 764.77 US\$ durante el mes de junio y 203.40 US \$ durante el mes de julio.

La pérdida de tiempo operacional en el ítem de espera de robot considera 6.67 horas durante el mes de mayo, 11.75 horas durante el mes de junio y de 3.58 horas durante el mes de julio.

Los costos asociados a la espera del robot son de 650.87 US\$ durante el mes de mayo, 1,147.15 US\$ durante el mes de junio y 349.84 US\$ durante el mes de julio.

CONCLUSIONES

1. El total de horas de uso de *shotcrete* durante los meses de mayo, junio y julio fueron en total de 1474.5 horas, siendo las labores que generan mayor consumo de *shotcrete* son los tajos TJ_SN400E y TJ_SN600W con un total de 1260 horas y una incidencia del 85.45%, los subniveles SN200W y SN100W con un total de 168 horas y una incidencia del 11.39% y la rampa RP4025 considera un total de 46.5 horas con una incidencia del 3.15%.
2. La mayor incidencia de consumo de *shotcrete* en la rampa RP4025 se dio en el mes de julio con un total de 24.42 horas, siendo el de 11.75 y 10.33 horas en los periodos de mayo y julio respectivamente.
3. El análisis del costo total de horas de labor de *shotcrete* durante el periodo de estudio considerará los costos de las horas de *shotcrete* en las diferentes labores subterráneas, considerando un costo total de 143,955.44 US\$.
4. El costo total de horas de labor de la rampa RP4025 incide en mayor instancia en el periodo de junio con 2,384.12 US\$, con 24.42 horas, durante el mes de mayo con 1147.45 US\$ con 11.75 horas y durante el mes de julio con 1008.52 US\$ con 10.33 horas.
5. Durante el periodo mayo, junio y julio se consideró un total de 1,055.02 m³ de *shotcrete*, donde el mayor consumo de *shotcrete* se realizó en las labores de tajo TJ_SN400E y TJ_SN600W con 1260 horas y 816 m³ de *shotcrete*, las labores de subnivel SN100W y SN200W con 168 horas y 144 M3 y la rampa RP4025 con 46.50 horas y 95.02 m³.
6. La rampa RP4025 generó un consumo de 95.02 m³, siendo el mes de junio con mayor consumo en 35.30 m³, el consumo en el mes de julio con 34.41 m³ y el consumo en el mes de mayo con 25.31 m³, siendo la incidencia de m³ de *shotcrete* en la rampa RP4025 de 9.01%.

7. Durante el mes de junio hay una mayor distorsión durante los días 7, 9, 21, 26 y 28 de junio, producto de una mayor pérdida de tiempo operacionales, considerando un mayor tiempo de espera de mixer y mayor tiempo de espera de robot.
8. La relación entre horas de labor y m³ de *shotcrete* para el mes de junio considera la relación de 0.69 a 1, el cual considera que por cada 0.69 horas se consume 1 m³ de *shotcrete*.
9. El análisis de pérdida de tiempo de labor de *shotcrete* durante los periodos mayo, junio y julio, está asociado principalmente a horas de espera de equipos como el mixer y el robot de *shotcrete*.
10. La incidencia de horas totales durante los periodos mayo, junio y julio considerando tiempos de espera de mixer, tiempos de espera de robot y tiempos de lanzado de *shotcrete* es de 25.27 % en el mes de mayo, 54.48 % en el mes de junio y de 20.25 % en el mes de julio.
11. Los costos operacionales asociados a la rampa RP4025, considerando la pérdida de tiempo en espera de mixer, pérdida de tiempo en espera de robot y tiempo de lanzado de *shotcrete* es de 4,539.80 US\$ durante los periodos de mayo, junio y julio.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar un análisis detallado del rendimiento de los equipos asociados al área de *shotcrete*, determinando la utilización y disponibilidad.
2. Se recomienda realizar un estudio detallado de tiempos asociado al área de *shotcrete*, para determinar en detalle la pérdida de tiempo operacional mediante la herramienta de Pareto.
3. Se recomienda analizar el consumo de *shotcrete* en los distintos frentes de avance, para determinar la pérdida de tiempo operacional.
4. Se recomienda correlacionar el consumo de *shotcrete* asociado a su vida operacional de sostenimiento y costearlo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SANDOVAL, Otto y GUILLÉN, Hanry. Modelamiento numérico aplicado al shotcrete fibroreforzado orientado a la optimización de las operaciones de minado en CMHSA. [En línea]. Consorcio Minero Horizonte S.A.C.,2014. [Fecha de consulta: 11 de julio de 2021]. Disponible en: https://www.academia.edu/32893785/MODELAMIENTO_NUM%C3%89RICO_APLICADO_AL_SHOTCRETE_FIBROREFORZADO_ORIENTADO_A_LA_OPTIMIZACION_DE_LAS_OPERACIONES_DE_MINADO_EN_CMHSA
2. GUILLÉN, Hanry. Aplicación del método de deformación controlada en la ejecución de labores de avance en CMHSA. [En línea]. Perumin 31 Conversión Minera, 2013. [Fecha de consulta: 13 de julio de 2021]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/248662346/PERUMIN-Aplicacion-Del-Metodo-de-Deformacion-Controlada-en-La-Ejecucion-de-Labores-de-Avance-en-CMHSA>
3. LAIN, Carlos. Estudio de las distribuciones tensionales y de las resistencias de los rellenos de pasta de la mina subterránea de aguas teñidas. Tesis doctoral. España: Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2015, 358 pp.
4. VILLEGAS, Luis. Relleno en pasta utilizado en la mina Iscaycruz. Informe de Ingeniería (Ingeniero de Minas). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2006, 36 pp.
5. PENGYU, Yang. Stability analyses of waste rock barricades designed to retain paste backfill. [En línea]. International Journal of Geomechanics, 2016. [Fecha de consulta: 10 de julio de 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/307856058_Stability_Analyses_of_Waste_Rock_Barricades_Designed_to_Retain_Paste_Backfill

ANEXOS

Anexo 1

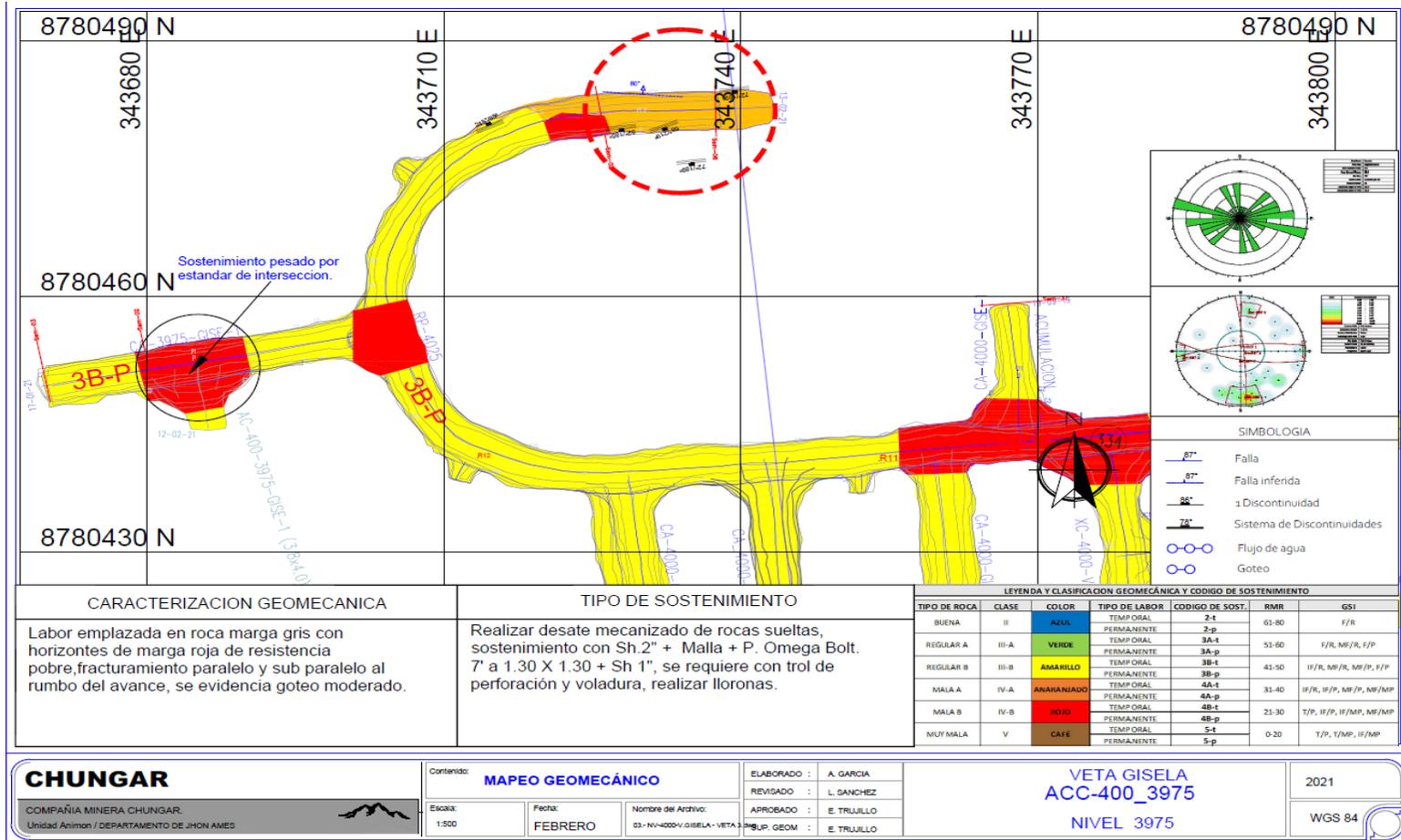
Matriz de operacionalización de variables

Tabla 18. Matriz de operacionalización de variables.

Variables	Definición		Definición operacional	
	Conceptual	Dimensiones	Subdimensiones	Indicadores
VI: Aplicación del shotcrete.	Es un método de sostenimiento que estabiliza el macizo rocoso en labores de desarrollo, preparación y explotación subterráneas.	<ul style="list-style-type: none"> • Factores geomecánicos • Factores dosificación. 	Variables geológicas del yacimiento Variables geomecánicas Variables de insumos asociados al shotcrete	Propiedades del macizo rocoso Características de insumos presentes en el shotcrete
VD: Análisis variables operacionales del shotcrete.	Se describe el análisis de las variables operacionales del consumo de shotcrete en las diferentes labores subterráneas.	<ul style="list-style-type: none"> • Variables operacionales 	Valoración de consumo de shotcrete Valoración de pérdida de tiempo de labor de shotcrete Valoración Económica	Horas de labor y consumo de shotcrete. Tiempo espera mixer. Tiempo espera de robot. Costos de shotcrete.

Anexo 2

Planos en sección planta y transversal



**Figura 31. Plano geomecánico de la veta Guisela, unidad minera Chungar
 Tomado del Departamento Geomecánico**

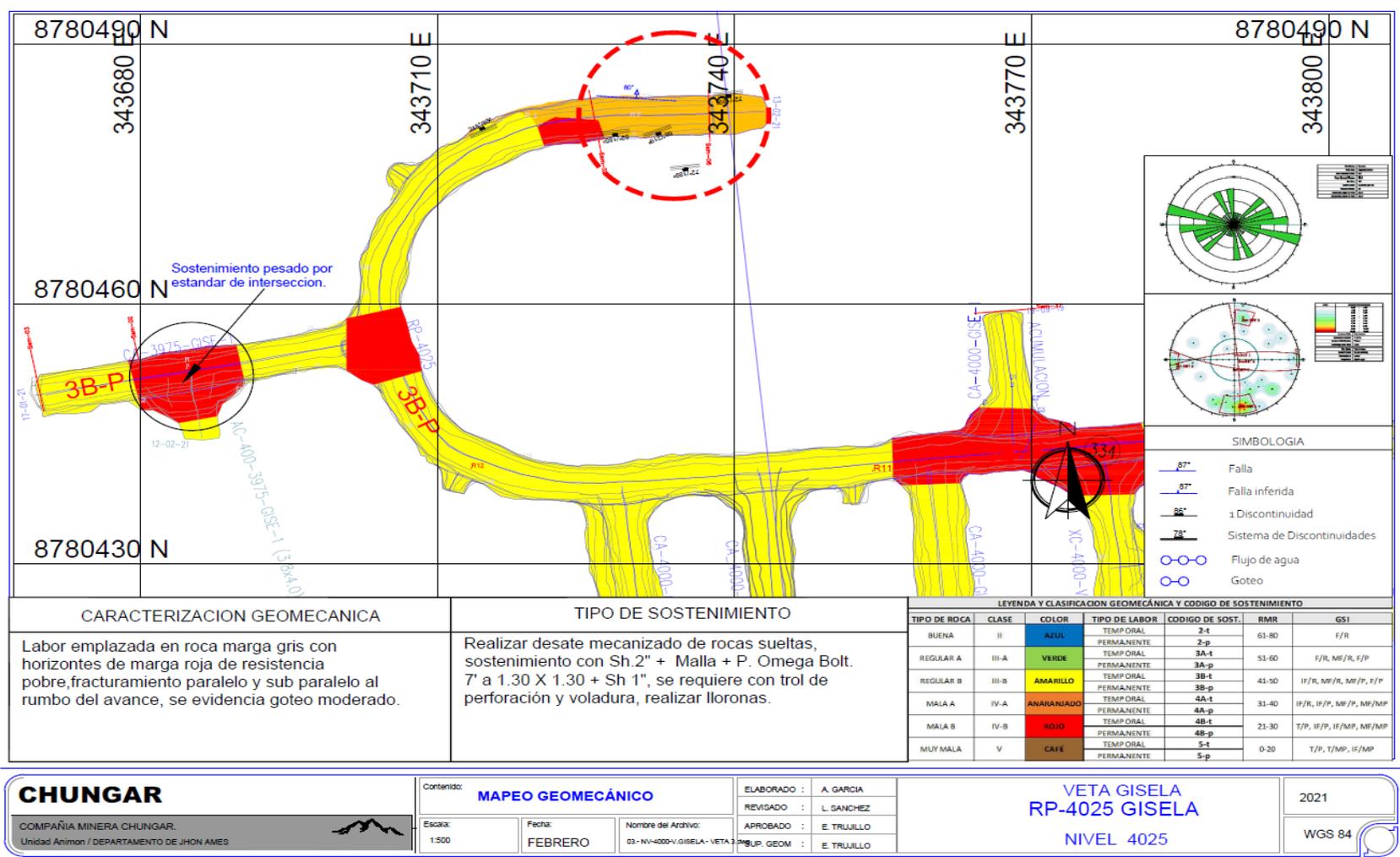


Figura 32. Plano geomecánico de la veta Guisela, RP4025, unidad minera Chungar
Tomado del Departamento Geomecánico

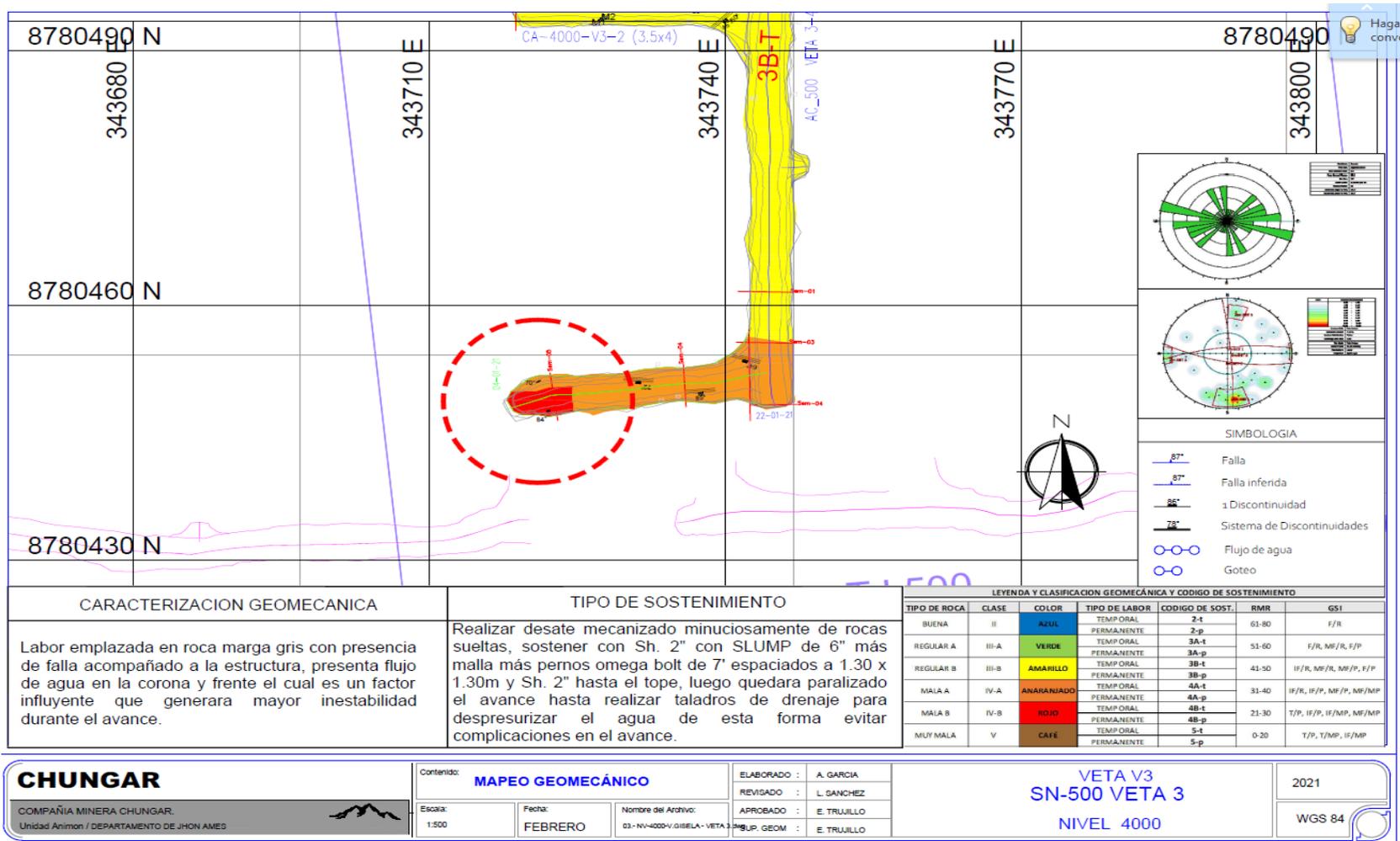


Figura 33. Plano geomecánico de la veta Guisela, SN 500, unidad minera Chungar
 Tomado del Departamento Geomecánico