

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**MEJORAMIENTO DEL SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE MEDIANTE EL USO DE
LA FIBRA METÁLICA DRAMIX 4D EN LA RAMPA 952NE EN LA UNIDAD MINERA,
RAURA, OYÓN – LIMA**

PRESENTADO POR:

Br. BRAYAN BORIS ZAMORA FARFAN

**PARA OPTAR AL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO DE
MINAS**

ASESOR:

Mgt. RAIMUNDO MOLINA DELGADO

CUSCO - PERÚ

2025



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
VICE RECTORADO DE INVESTIGACIÓN

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro. CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe asesor del informe técnico titulado: **“MEJORAMIENTO DEL SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE MEDIANTE EL USO DE LA FIBRA METÁLICA DRAMIX 4D EN LA RAMPA 952NE EN LA UNIDAD MINERA, RAURA, OYÓN - LIMA”**

Presentado por **Brayan Boris Zamora Farfan**, con DNI **73046930** y código universitario Nro. **151749** para optar al Título Profesional de: **INGENIERO DE MINAS**. Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 03 (Tres) veces, mediante el software antiplagio Turnitin, conforme al Artículo 6° del presente reglamento y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de: **10 % (diez por ciento)**.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación, tesis, textos, libros, revistas, artículos científicos, material de enseñanza y otros (Art. 7, inc. 2 y 3)

Porcentaje	Evaluación y acciones.	Marque con una X
Del 1 al 10 %	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30%	Devolver al usuario para las correcciones.	-----
Mayores a 31 %	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a ley.	-----

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera hoja del reporte del software antiplagio.

Cusco, 21 de abril de 2025.

FIRMA

POST FIRMA: Ing. Raimundo Molina Delgado
DNI Nro.: 23912083

ORCID ID: 0000-0003-0291-2700

Se adjunta:

- Reporte Generado por el sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio:
<https://unsaac.turnitin.com/viewer/submissions/oid:27259:451015567?locale=es-MX>

BRAYAN BORIS ZAMORA FARFÁN

“MEJORAMIENTO DEL SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE MEDIANTE EL USO DE LA FIBRA METÁLICA DRAMIX 4D EN L...”

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid::27259:451015567

136 Páginas

Fecha de entrega
21 abr 2025, 3:50 a.m. GMT-5

20. 142 Palabras

Fecha de descarga
21 abr 2025, 3:56 a.m. GMT-5

112.075 Caracteres

Nombre de archivo
TESIS BRAYAN ZAMORA .docx

Tamaño de archivo
25.7 MB

10% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Bibliography
- Quoted Text
- Cited Text
- Small Matches (less than 15 words)

Exclusions

- 2 Excluded Matches

Top Sources

- 10%  Internet sources
- 0%  Publications
- 5%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an Indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

DEDICATORIA

A mis padres Richard Johon y María Rosario por su incesante apoyo y valores brindados, a mis hermanas y sobrinos que me motivan a seguir esforzándome y ser mejor persona.

AGRADECIMIENTOS

A los catedráticos de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas en especial a mi asesor **Ing. Raimundo Molina**, con su experiencia me guio en la elaboración de esta investigación.

Al **Ing. Issac Cuba Vivanco** Jefe de Geomecánica de la unidad minera Raura, que me posibilitó realizar el presente estudio y afianzar mi formación profesional.

En general a la empresa **AESA Infraestructura y Minería**, por brindarme todo el soporte necesario y la oportunidad de desarrollarme profesionalmente.

INTRODUCCIÓN

La industria minera enfrenta constantemente el desafío de garantizar la estabilidad y seguridad de sus estructuras en ambientes geológicos cambiantes y a menudo hostiles. En este contexto, el sostenimiento de galerías y rampas mineras juega un papel crucial en la protección de la integridad estructural y la seguridad de los trabajadores. Con el objetivo de mejorar la eficacia y la resistencia del sostenimiento en un entorno minero específico, la presente investigación se centra en el estudio del impacto de la aplicación del shotcrete reforzado con fibra metálica Dramix 4D en la rampa RP952NE de la unidad minera Raura, ubicada en la provincia de Oyón, Lima.

El problema general que motiva esta investigación se enfoca en comprender cómo influye la aplicación del shotcrete reforzado con fibra metálica Dramix 4D en el mejoramiento del sostenimiento en la rampa RP952NE de la unidad minera Raura. Esta pregunta se desglosa en problemas específicos que abordan aspectos como el diagnóstico de los parámetros geomecánicos de la roca, el comportamiento del nuevo diseño de sostenimiento ante movimientos sísmicos y la comparación de la eficacia de la fibra metálica Dramix 4D con otras fibras utilizadas anteriormente en el lanzado de shotcrete.

Basándose en los resultados obtenidos de la investigación y en las recomendaciones derivadas de los mismos, se proponen acciones concretas para mejorar las prácticas de sostenimiento en la unidad minera Raura y potencialmente en otras operaciones mineras. Estas recomendaciones incluyen la implementación progresiva del shotcrete reforzado con fibra Dramix 4D, el establecimiento de un sistema de monitoreo continuo, investigaciones adicionales sobre dosificación y aplicación, capacitación del personal y colaboración con fabricantes y entidades reguladoras.

Con el fin de contribuir al avance y la innovación en el campo del sostenimiento minero, esta investigación se presenta como un recurso valioso para los profesionales de la industria, los investigadores y las autoridades reguladoras interesadas en mejorar la seguridad y la eficiencia de las operaciones mineras mediante el uso de tecnologías avanzadas de sostenimiento.

RESUMEN

La presente investigación se centra en evaluar el impacto del shotcrete reforzado con fibra metálica Dramix 4D en el sostenimiento de la rampa RP952NE de la unidad minera Raura, ubicada en Oyón, Lima. A través de un enfoque multifacético que incluye análisis geomecánicos, pruebas de resistencia y revisión de literatura especializada, se exploró cómo esta tecnología puede mejorar la estabilidad y la resistencia del sostenimiento en condiciones mineras desafiantes.

El objetivo general es determinar la influencia de la aplicación del Shotcrete reforzado con fibra metálica Dramix 4D para mejorar el sostenimiento en la rampa RP952NE en la unidad minera Raura, Oyón- Lima. La metodología, de tipo cuantitativa, incluyó recolección de datos mediante observación directa, entrevistas y monitoreo en tiempo real, con un diseño no experimental de corte transversal.

En conclusión, se demostró una mejora significativa en el sostenimiento. Donde se evidencia un mejor performance del shotcrete frente a los esfuerzos generados en la matriz rocosa. Además, la incidencia de desprendimientos y fracturas disminuyó en un 20%, lo que resultó en una infraestructura más segura y estable para las operaciones mineras.

Palabras claves: Shotcrete, Fibra metálica, Dramix 4D, Sostenimiento

ABSTRACT

This research focuses on evaluating the impact of Dramix 4D metallic fiber-reinforced shotcrete on the support of ramp RP952NE of the Raura mining unit, located in Oyón, Lima. Through a multi-faceted approach that includes geomechanical analysis, strength testing and review of specialized literature, it was explored how this technology can improve the stability and strength of support in challenging mining conditions.

The general objective is to determine the influence of the application of Dramix 4D metallic fiber reinforced Shotcrete to improve the support in the RP952NE ramp in the Raura mining unit, Oyón-Lima. The methodology, of a quantitative type, included data collection through direct observation, interviews and real-time monitoring, with a non-experimental cross-sectional design.

In conclusion, a significant improvement in sustainment was demonstrated. Where a better performance of the shotcrete is evidenced compared to the stresses generated in the rock matrix. In addition, the incidence of landslides and fractures decreased by 20%, resulting in safer and more stable infrastructure for mining operations.

Keywords: Shotcrete, Metal fiber, Dramix 4D, Sustainability

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
INTRODUCCIÓN	iv
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	vii
1. CAPÍTULO I	16
PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
1.1. Planteamiento del problema	16
1.2. Formulación del problema.....	17
1.2.1. Problema general de la investigación	17
1.2.2. Problemas específicos de la investigación.....	17
1.3. Justificación	18
1.4. Objetivos de la investigación.....	18
1.4.1. Objetivo general.....	18
1.4.2. Objetivos específicos	18
1.5. Delimitación de la investigación	19
1.5.1. Delimitación.....	19
2. CAPÍTULO II	20
MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
2.1. Antecedentes de la investigación.....	20

2.1.1.	Antecedentes internacionales	20
2.1.2.	Antecedentes nacionales	20
2.1.3.	Antecedentes locales	23
2.2.	Bases teóricas	24
2.2.1.	Minería subterránea	24
2.2.2.	Tipos de sostenimiento	24
2.2.3.	Shotcrete.	25
2.2.4.	Esfuerzos en el concreto lanzado	25
2.2.5.	Diseño del shocrete.	26
2.2.6.	Diseño empírico	26
2.2.7.	Aridos.....	28
2.2.8.	Cementos.....	29
2.2.9.	Agua.....	29
2.2.10.	Aditivos.....	29
2.2.11.	Fibra.	30
2.2.12.	Comportamiento a tensión del concreto lanzado con fibras metálicas	31
2.2.13.	Comportamiento a compresión del concreto lanzado con fibras metálicas	32
2.2.14.	Comportamiento a flexión del concreto lanzado con fibras metálicas	33
2.2.15.	Técnicas de proyección del shotcrete.	34

2.2.16.	Proyección vía seca.....	34
2.2.17.	Proyección via húmeda.....	38
2.3.	Dosificación del hormigón proyectado.....	41
2.4.	La bombeabilidad de la mezcla	44
2.5.	La trabajabilidad de la mezcla	45
2.6.	Factor de seguridad.....	46
2.7.	Hipótesis	47
2.7.1.	Hipótesis general.....	47
2.7.2.	Hipótesis específicas.....	47
2.8.	Variables e indicadores.....	47
2.8.1.	Variable dependiente	47
2.8.2.	Variable independiente	47
2.9.	Operacionalización de las variables	48
3.	CAPÍTULO III.....	49
	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	49
3.1.	Tipo de investigación.....	49
3.2.	Nivel de investigación	49
3.3.	Diseño de la investigación.....	49
3.4.	Población	50
3.5.	Muestra	50

3.6.	Técnicas e instrumentos de captura de información.....	50
3.6.1.	Técnicas de recolección de datos.....	50
3.6.2.	Instrumentos.....	50
3.7.	Técnicas de procesamiento de datos.....	51
4.	CAPÍTULO IV.....	52
	RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	52
4.1.	Caracterización geomecánica de la roca.....	52
4.1.1.	Evaluación de parámetros geomecánicos	53
4.1.2.	Análisis de resistencia y deformabilidad de la roca.....	58
4.1.3.	Resultados de la caracterización geomecánica	83
4.2.	Preparación y aplicación del shotcrete con fibra metálica dramix 4d	87
4.2.1.	Procedimiento de aplicación en la rampa rp952ne	88
4.2.2.	Aplicación de la fibra metálica dramix 4d.....	92
4.3.	Pruebas de absorción de energía del shotcrete	95
4.4.	Comportamiento del sostenimiento con fibra metálica	99
4.4.1.	Determinación de la capacidad de absorción de energía	99
4.4.2.	Ensayos de resistencia residual.....	100
4.4.3.	. Resultados de los ensayos de resistencia residual.....	102
4.4.4.	Análisis de los resultados de absorción de energía.....	105
4.4.5.	Análisis económico.....	108

5. CAPITULO V	112
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	112
CONCLUSIONES	116
RECOMENDACIONES	117
BIBLIOGRAFÍA	118
ANEXOS	120
ANEXO 1.....	120
1.1. DESCRIPCIÓN DE MINERA RAURA PERÚ	120
1.2. Ubicación geográfica.....	120
1.3. Geomorfología y relieve	121
1.4. Clima y meteorología	122
1.5. Recursos.....	122
1.5.1. Flora y fauna.	122
1.6. Geología.....	123
1.6.1. Geología regional.....	123
1.6.2. Secuencia estratigráfica	125
1.6.3. Geología local	129
1.6.4. Geología estructural	132
1.6.5. Geología económica y mineralización.....	134

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Correlación De Morgan	28
Tabla 2	Ventajas y desventajas del shotcrete vía seca,	35
Tabla 3	Ventajas y desventajas del shotcrete vía húmeda	40
Tabla 4	Tabla de Variables	48
Tabla 5	Estimación De °K° Relación De Esfuerzo Horizontal Al Vertical.....	70
Tabla 6	Factor de Competencia y Estabilidad	85
Tabla 7	Análisis de Estabilidad por Métodos Numéricos (RS2)	85
Tabla 8	Análisis de Sigma 1 y Sigma 3	86
Tabla 9	Análisis de Zonas de Riesgo Sísmico	86
Tabla 10	Factores de Riesgo para la Estabilidad	86
Tabla 11	Recomendación de Sostenimiento	87
Tabla 12	Parámetros para el cálculo de la demanda de la energía de fortificación	96
Tabla 13	Elementos de sostenimiento.....	97
Tabla 14	Demanda de energía del sostenimiento dinámico.....	99
Tabla 15	Relación de muestras obtenidas.	100
Tabla 16	Valores de resistencia residual (MPa) con fibras Dramix 3D.....	103
Tabla 17	Valores de resistencia residual (MPa) con fibras Dramix® 4D.....	104
Tabla 18	Resultados con fibras de acero Dramix® 3D 65/35BG a 25 kg/m3.....	106
Tabla 19	Resultados con fibras de acero Dramix® 4D 65/35BG a 25 kg/m3.....	106
Tabla 20	Ahorro anual por reducción de dosis con Dramix® 4D.	108
Tabla 21	Tabla de cumplimiento	113

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1	Comportamiento a tensión del concreto	32
Gráfica 2	Comportamiento a compresión del concreto	33
Gráfica 3	Comportamiento a flexión del concreto lanzado	34
Gráfica 4	Pérdida de trabajabilidad en shotcrete vía húmeda.....	45
Gráfica 5	Pérdida de trabajabilidad	46
Gráfica 6	Estimación De K.....	70
Gráfica 7	Eventos por absorción de energía	83
Gráfica 8	Valores promedio de resistencia residual con Dramix® 3D a 30 kg/m3 y 4D a 25 kg/m3.	105
Gráfica 9	Categoría demandada por eventos	107
Gráfica 10	Programa de Lanzado de Shotcrete Anual en M3.	109
Gráfica 11	Costos de fibra 3D y 4D por mes.....	110
Gráfica 12	Cumplimiento por mes.....	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Esfuerzos en el Concreto Lanzado	25
Figura 2		27
Figura 3	Fibras metálicas	31
Figura 4	Equipo de cámara simple y doble respectivamente.....	37
Figura 5	Máquina de alimentación continua a rotor y plato giratorio.	38
Figura 6	Shotcrete por vía húmeda.	39
Figura 7	Planta de Hormigón con mezcladora.....	42
Figura 8	Equipo dosificador de aditivos en planta	43
Figura 9	La bomba de mezcla.....	44
Figura 10	Plano De Ubicación De La Rampa De Profundización RP952NE – NV3890	54
Figura 11	Plano Geológico De La Rampa De Profundización RP952NE – Nv 3890.....	55
Figura 12	Plano Geomecánico de la rampa de profundización RP952NE – Nv 3890	57
Figura 13	Orientación De Los Sistemas De Fallamiento	59
Figura 14	Representación De Las Discontinuidades Dominantes En El Diagrama De Rosetas (Familia Principal Sub Paralelo A La Excavación)	60
Figura 15	Plano Estructural De La Zona De Profundización RP952NE, Nv 3890	61
Figura 16	Donde Se Muestra La Formación De Cuñas $F_s=0.0$	62
Figura 17	Donde Se Muestra Con Sostenimiento Y $F_s=1.41$	63
Figura 18	Orientación De Esfuerzos De La RP952NE – Nv 3890.....	64
Figura 19	Esfuerzo Horizontal Y Perpendicular A La Labor	65
Figura 20	Esfuerzo Mayor Disipada En La Labor Actuando Los Esfuerzos Menores (σ_2 y σ_3) Sin General Deformación	66
Figura 21	Orientación De Esfuerzos Con Respecto A La RP952NE Nv3890	67
Figura 22	Orientación De Los Esfuerzos Con Respecto A La RP952NE Nv3890	68
Figura 23	Categoría De Sostenimiento Estimado Es Shotcrete + Perno De 8'. Basado En El Índice De Calidad Q Actualizado De La Masa Roca.	73
Figura 24	Sección A – A1 RP952NE Nv – 3890	75
Figura 25	Corte Transversal RP952NE Nv – 3890	76
Figura 26	Se Muestra FS De 1.29 En La Corona De La RP952NE Con Un Alto De 4.5m Y Ancho De 5.3m Con Un Halo De Alteración De 1.4m Sin Sostenimiento.....	77
Figura 27	Se Muestra FS De 1.71 – 2.57 En La Corona De La RP952NE Con Un Alto De 4.5m Y Ancho De 5.3m Con Un Alo De Alteración De 0.9m Con Sostenimiento.....	78
Figura 28	Se Muestra Valores De Sigma 1 De 50Mpa En La Corona De La RP952NE.	79
Figura 29	Se Muestra Valores De Sigma 3 De 7.4Mpa A 15.3Mpa En La Corona De La RP952NE, Nos Indicaría Que No Hay Desconfinamiento Del Macizo Roca.	80
Figura 30	Zonificación de riesgo sísmico vista longitudinal entre el NV 4000 y NV3890.	81
Figura 31	Zonificación de riesgo sísmico vista planta entre el NV3890.....	82
Figura 32	Fibras Dramix 4D	88
Figura 33	Preparación de shotcrete.....	91
Figura 34	Vista general del ensayo de resistencia residual según EN 14651.....	101
Figura 35	El ensayo determina la resistencia post-fisura obtenida con las fibras	102

CAPÍTULO I

PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Actualmente, para contrarrestar la carga ejercida por el macizo rocoso y los constantes eventos microsísmicos en la unidad minera Raura, especialmente en la rampa RP952NE, es fundamental asegurar la calidad del sostenimiento mediante el uso de shotcrete. Este proceso es crítico para garantizar la seguridad operativa y la continuidad de la producción, ya que cualquier fallo en el sostenimiento puede afectar tanto la estabilidad de la infraestructura como la eficiencia productiva.

Uno de los principales parámetros de calidad del shotcrete es la capacidad de absorción de energía del concreto frente a los esfuerzos a los que es sometido después del disparo. Actualmente, en la unidad minera se exige que la resistencia de absorción de energía del concreto arroje un valor como mínimo de 1000 Joules, basándose en la correlación de Morgan & Barton. Sin embargo, debido a los constantes eventos microsísmicos y a la profundización progresiva de la rampa, se han producido eventos microsísmicos por reacomodos que han superado los 1300 J de liberación de energía, provocando daños como agrietamientos, fisuras y desprendimientos, lo cual no solo incrementa los costos de mantenimiento y reparación, sino que también puede afectar negativamente los tiempos de producción.

Particularmente, la rampa RP952NE, siendo la principal vía de acceso para el proyecto de profundización de la mina y una ruta clave para el tránsito diario de equipos y personas, requiere que el shotcrete instalado pueda absorber la energía generada por los eventos microsísmicos por reacomodos y estallidos de roca. El incumplimiento de estos parámetros de calidad no solo

representa un riesgo para la seguridad, sino que también incrementa los costos operativos y puede generar retrasos en la producción, afectando la rentabilidad global de la operación.

Ante estos desafíos, se propone una evaluación de la capacidad de absorción de energía del shotcrete reforzado con fibra metálica Dramix 4D, de acuerdo con las recomendaciones del ábaco de Q de Barton, para asegurar que el sostenimiento sea adecuado a las condiciones actuales, minimizando los costos asociados a fallos estructurales y optimizando la eficiencia operativa de la mina.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general de la investigación

- ¿Cómo influye la aplicación del shotcrete reforzado con fibra metálica Dramix 4D para mejorar el sostenimiento en la rampa RP952NE en la unidad minera Raura, Oyón- Lima?

1.2.2. Problemas específicos de la investigación

- ¿Cuál es el diagnóstico actual de los parámetros geomecánicos de la roca para el uso de shotcrete con fibra metálica Dramix 4D en el sostenimiento de la rampa RP952NE en la unidad minera Raura, Oyón – Lima?
- ¿Cuál será el comportamiento del nuevo diseño de Sostenimiento con la fibra metálica Dramix 4D ante los constantes movimientos microsísmicos en la Rampa RP952NE en la Unidad Minera Raura?
- ¿Cómo beneficiará el uso de la fibra metálica Dramix 4D en comparación con otras fibras utilizadas anteriormente en el lanzado de Shotcrete para el sostenimiento de la Rampa RP952NE en la Unidad Minera Raura?

1.3. Justificación

La presente investigación tiene importancia desde el punto de vista técnico - económico, ya que aportará un estudio detallado y comparativo del uso de las Fibra Metálicas en el sostenimiento con Shotcrete, y así demostrar en el ámbito de la investigación los beneficios de estos innovadores productos en la industria minera.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

- Determinar la influencia de la aplicación del Shotcrete reforzado con fibra metálica Dramix 4D para mejorar el sostenimiento en la rampa RP952NE en la unidad minera Raura, Oyón-Lima.

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar el diagnóstico actual de los parámetros geomecánicos de la roca para el uso de shotcrete con fibra metálica Dramix 4D en el sostenimiento de la rampa RP952NE en la unidad minera Raura, Oyón – Lima
- Demostrar el comportamiento del nuevo diseño de Sostenimiento con la fibra metálica Dramix 4D ante los constantes movimientos microsísmicos en la Rampa RP952NE en la Unidad Minera Raura
- Determinar el beneficio del uso de la fibra metálica Dramix 4D en comparación con otras fibras utilizadas anteriormente en el lanzado de Shotcrete para el sostenimiento de la Rampa RP952NE en la Unidad Minera Raura

1.5. Delimitación de la investigación

1.5.1. Delimitación

Delimitación geográfica. La investigación se realizará únicamente en Rampa RP952NE en la Unidad Minera Raura, Oyón - Lima.

Delimitación temporal. El trabajo de investigación se realizará en el periodo comprendido entre los meses de Julio y diciembre del año 2023.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. *Antecedentes internacionales*

- (Martinez Vargas, 2011) "**Análisis del Concreto Lanzado como revestimiento definitivo para Túneles**" Tesis para optar el título profesional de Magister en **Ingeniería Civil en la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá - Colombia.**

Tesis con el objetivo de dar a conocer los beneficios del concreto lanzado como revestimiento definitivo en túneles en comparación con el uso del concreto convencional,

Llegando a la conclusión que un análisis de las experiencias de túneles viales muestra que puede lograrse revestimientos con espesores de entre 5 y 15 cm en concreto lanzado con fibras, frente a más de 30 cm que exige el concreto convencional como requerimiento técnico. Esto se refleja en menor cantidad de concreto, menor volumen del material de excavación; menos tiempos de construcción del revestimiento y mayores eficiencias en los equipos.

2.1.2. *Antecedentes nacionales*

- (Beresovsky de las Casas, 2018) "**Estudio Experimental del comportamiento por desempeño de concreto lanzado reforzado con fibras metálicas**", Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil en la Pontificia Universidad Católica del Perú – Lima.

Tesis con el objetivo de analizar el comportamiento del concreto lanzado, estudiando su resistencia a la compresión y flexotracción, esto para demostrar el uso adecuado y cantidad de dosificación con fibra metálica.

Investigación en la que se concluye que conforme a los datos experimentales en algunos casos a medida que se incrementa la cantidad de fibra en el shotcrete, la resistencia residual alcanza un valor máximo y al continuar el incremento de fibra esta disminuye, mientras que en los restantes el incremento de la resistencia residual máxima aumenta linealmente con el incremento de la dosis de fibra. Este comportamiento se presenta de la misma forma en los resultados de energía absorbida por las muestras de shotcrete ensayadas con los paneles circulares. Estas observaciones permiten concluir que no existe un comportamiento lineal aplicable a todos los tipos de fibras metálicas incluidas en este estudio, sino por el contrario que cada tipo define un comportamiento característico en función de la dosis de fibra, en algunos casos se tendrán tendencias lineales en tanto que en otros dichas tendencias serán incluso parabólicas.

- (Laurente Paredes, 2017) "**Uso de Shotcrete vía húmeda con fibra metálica y su influencia en la caída de rocas en Sociedad Minera Corona S.A. - Yauricocha**", Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas en la Universidad Nacional del Centro del Perú - Huancayo

En este trabajo de investigación se tiene como objetivo que se debe evaluar e identificar los problemas de inestabilidad del terreno, para luego mediante los estudios geomecánicos en los dos tajeos Antacaca 920 y Antacaca 970, se pueda establecer el diseño de sostenimiento a emplearse en términos de RMR, Q y GSI; considerando también la seguridad que se debe brindar a nuestro personal colaborador.

En conclusión, en las dos tajeos mencionados se hizo una comparación en el uso de fibras metálicas para aplicación del shotcrete vía húmeda, como es el caso de la fibra metálica con la fibra sintética ya que este último se venía empleando. Estas comparaciones se realizan teniendo en

cuenta los ensayos de resistencia a la compresión y ensayos de absorción de energía y como esta influye en la ocurrencia de caída de rocas en minera Yauricocha.

Se determinó que el macizo rocoso de los dos tajeos es de mala calidad y por lo resultados de las pruebas se concluye que el uso de “shotcrete vía húmeda con fibra metálica influye positivamente en la disminución de la ocurrencia de caída de rocas en la Sociedad Minera Corona S.A – Yauricocha”

- (Aragon Quispe & Cornejo Mamani, 2017) "**Influencia de las fibras en el shotcrete en su capacidad de absorción de energía y resistencia a la flexión**", Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional de San Agustín - Arequipa

Investigación cuyo objetivo consiste en realizar un diseño patrón de shotcrete por vía húmeda sin fibra, luego diseños en los que solamente se varió la dosis de fibra, se realizaron diseños con 10 Kg, 20 Kg ,30 Kg, 40 Kg de fibra metálica por metro cúbico de concreto y 2 Kg, 4 Kg, 6 Kg y 8 Kg de fibra sintética por metro cúbico de concreto.

Se concluye que se determinó la influencia de las fibras en el shotcrete en la trabajabilidad (ASTMC143), en la resistencia a compresión obtenida mediante 30 ensayos de núcleos cilíndricos de concreto extraídos con diamantina de paneles de shotcrete (ASTMC42), en la resistencia a flexión medida indirectamente a través de 30 vigas aserradas de paneles de shotcrete (EN 14488-3) y en la absorción de energía de 30 paneles cuadrados según la norma Europea (EN 14488-5) y 30 paneles circulares según la norma Americana (ASTM C1550).

Los resultados demostraron que las fibras metálicas en el shotcrete tienen un mejor comportamiento estructural en el deterioro de la resistencia que las fibras sintéticas, a pesar de que

se obtuvieron mismos valores de energía absorbida y resistencia a la flexión utilizando fibra sintética a un menor costo.

2.1.3. Antecedentes locales

- (Neira Perez, 2018) "**Evaluación del Uso de Fibra Sintética versus fibra metálica en el sostenimiento con shotcrete vía húmeda en la galería 651, Nv. 100 Unidad Minera Raura**", Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas en la Continental – Huancayo

Tesis que tiene como objetivo evaluar el resultado del uso de fibra sintética versus fibra metálica en el sostenimiento de shotcrete vía húmeda en la galería – 651 – nivel 100, unidad minera Raura S. A. 2018. Se plantea como hipótesis principal que, con empleo de la fibra sintética se evidencian resultados favorables versus la fibra metálica en el sostenimiento de shotcrete vía húmeda en la galería – 651 – nivel 100, unidad minera S. A. 2018.

En el desarrollo de la investigación la metodología que se utilizó es de tipo aplicada, el nivel es descriptivo - explicativo, y el diseño es experimental; se aplica como población a nivel 100, unidad minera Raura S. A. y como muestra a la galería – 651 – nivel 100, unidad minera Raura S. A.

Con la contrastación de hipótesis se obtuvieron las siguientes conclusiones: la fibra sintética tuvo mejores resultados en relación con la fibra metálica, siendo mejor en la resistencia de compresión y tenacidad con menor dosificación, teniendo en cuenta que el costo de la fibra sintética es mayor a la fibra metálica; por lo tanto, la fibra sintética es una buena opción para el mejoramiento del lanzado de shotcrete vía húmeda.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Minería subterránea

Es un método de extracción de minerales que se realiza debajo de la superficie terrestre, a diferencia de la minería a cielo abierto, que se lleva a cabo en la superficie. En la minería subterránea, se excavan túneles, galerías y pozos para acceder a los yacimientos de minerales que se encuentran debajo de la superficie. Este método es utilizado cuando los yacimientos de minerales se encuentran a una profundidad demasiado grande para ser extraídos mediante métodos convencionales.

Se utiliza para extraer una variedad de minerales, incluyendo oro, plata, cobre, hierro, zinc y otros metales preciosos y no preciosos. También se utilizan para extraer minerales no metálicos como el carbón, la sal y la piedra caliza. La minería subterránea es una parte importante de la industria minera mundial y se utiliza en países de todo el mundo.

2.2.2. Tipos de sostenimiento

2.2.2.1. Sostenimiento activo:

- Se caracteriza por ejercer esfuerzos predeterminados en el macizo rocoso para contrarrestar las presiones causadas por la excavación.
- Incluye técnicas como el perno de roca, cable de acero y shotcrete.
- El objetivo es reforzar la roca y prevenir su desplazamiento.

2.2.2.2. Sostenimiento pasivo:

- Actúa como soporte, permitiendo la deformación de la roca mientras esta desarrolla su capacidad resistente.
- Ejemplos son las cimbras metálicas, que se utilizan para dar forma al túnel o galería, y los pernos helicoidales con mallas electrosoldadas

2.2.3. Shotcrete.

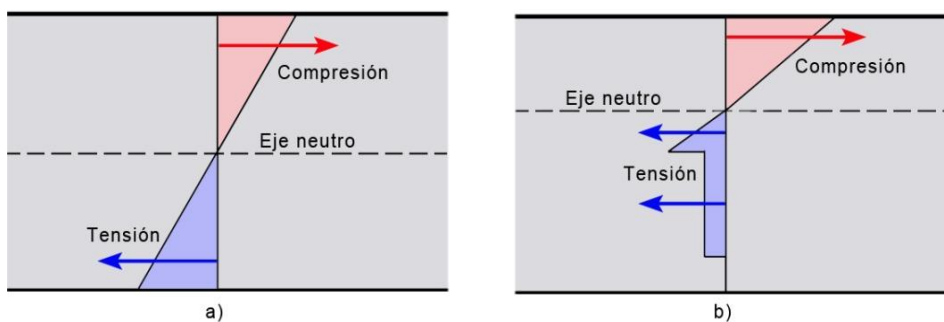
El shotcrete es un concreto diseñado para el soporte de una excavación en un túnel o en una mina, el concreto contiene arena, cemento, agua, fibra, aditivos superplastificantes y acelerantes de fragua, todos estos componentes realizan una mezcla con una dosificación de diseño, una vez realizada toda esa mezcla se convierte en concreto o mortero y esto será bombeado con un equipo robot Putzmeister utilizando aire a presión para que el concreto salga a una velocidad alta por la boquilla y este concreto se adhiera a la superficie de la roca. (COSME CAMARENA, 2016)

2.2.4. Esfuerzos en el concreto lanzado

Los esfuerzos en una sección de concreto trabajando a flexión pura pueden estudiarse de manera simplificada para dos estados del material: el primero, (a), elástico, en el que la parte de la sección sometida a tensión aún no ha alcanzado el límite de resistencia; el segundo estado corresponde al momento en el que el concreto a tensión ya se ha agrietado y se encuentra en estado residual de resistencia (b)

Figura 1

Esfuerzos en el Concreto Lanzado



Fuente: (COSME CAMARENA, 2016)

2.2.5. *Diseño del shocrete.*

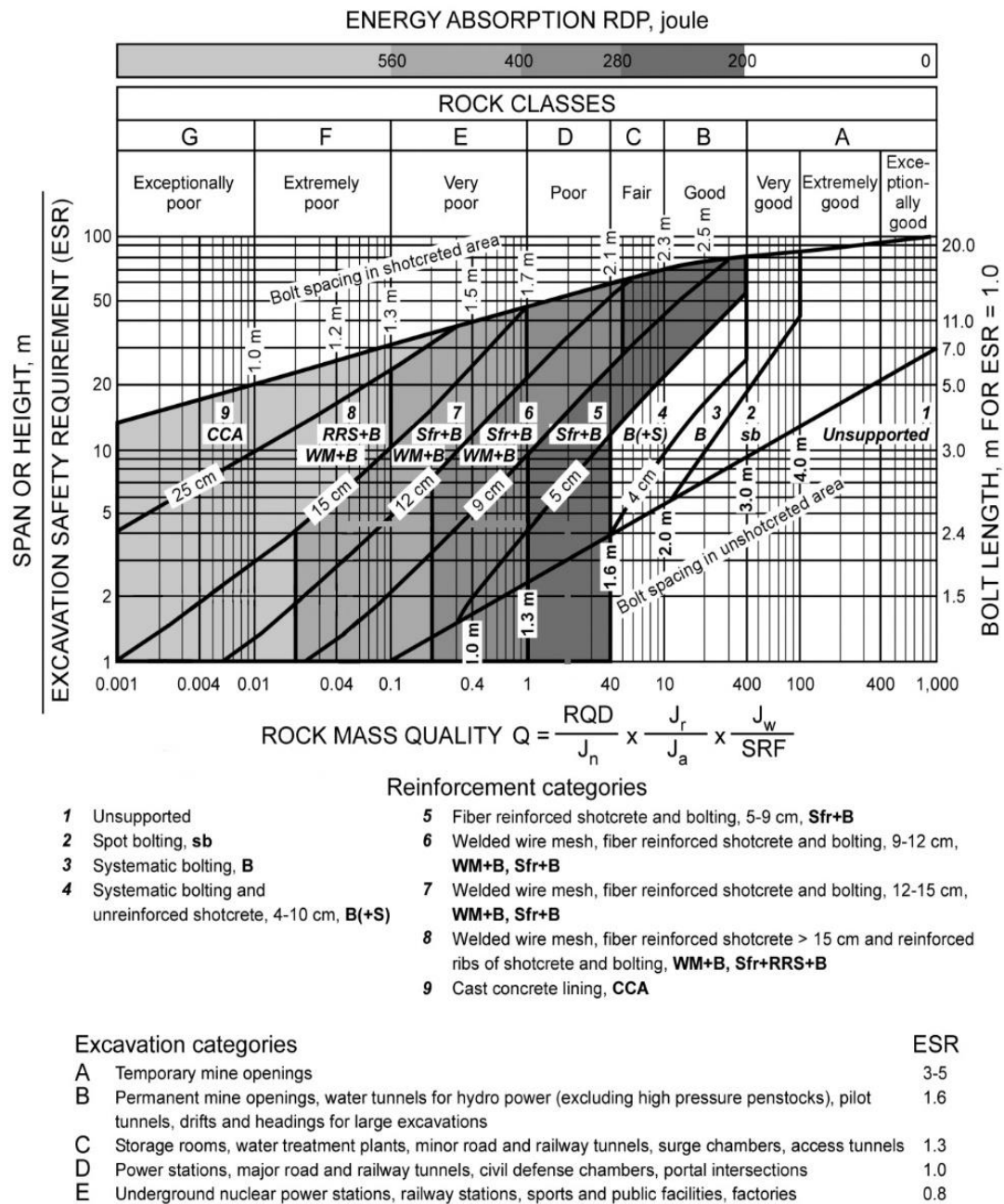
El diseño del Shotcrete se refiere básicamente a todos los materiales que se utilizan para su fabricación, indistintamente del sistema de proyección especificando sus características físicas y cantidades a emplear.

2.2.6. *Diseño empírico*

De acuerdo con la publicación NIOSH (2014), debido a que el concreto lanzado suele ser aplicado en combinación con otros sistemas, se torna complejo determinar el nivel de soporte que provee y, debido a esto es que no se han desarrollado aproximaciones analíticas para diseño. En su lugar, las técnicas empíricas basadas en índices de calidad del macizo rocoso han tomado un lugar preponderante, especialmente en condiciones de roca débil.

Figura 2

Ábaco de Barton



Fuente: (506R-05, ACI, 2005)

El índice TPL (*Toughness Performance Level*) representa los niveles crecientes de tenacidad del concreto reforzado con fibras y el uso de un incremento en el volumen de fibras.

Tabla 1*Correlación De Morgan*

Ground condition		Standard deflection criteria			High deflection criteria	
TPL	Rock class	EFNARC (Joules)	RDP _{40mm} (Joules)	RDP _{80mm} (Joules)	Indicative dosage (kg/m ³) of high-performance fiber	
					Structural Synthetic* Scanfibre CXO50/40SS	Steel* Scanfibre CHO65/35NB
IV	F	> 1400	> 560	> 840	11.5	55
	E	> 1000	> 400	> 600	9.0	40
III	D	> 700	> 280	> 420	7.5	27.5
II	C	> 500	> 200	> 300	6.5	20
I	B					
0	A	0	0	0	0	0

*Whether steel or synthetic, there is a large difference in performance depending on the precise fiber design.

Fuente: (506R-05, ACI, 2005)

2.2.7. Áridos.

Los áridos a emplear en el hormigón proyectado se obtendrán por la selección y clasificación de materiales naturales o de machaqueo, o por una mezcla de ambos. Las arenas más finas favorecen la retracción mientras que las más gruesas incrementan el porcentaje de rebote. Los áridos estarán compuestos de partículas limpias, duras, resistentes, con una calidad uniforme. El empleo de áridos finos o gruesos, o una mezcla de ambos, se hará de acuerdo con el espesor a aplicar en el hormigón proyectado. En general, no se utilizan áridos con tamaños > 15 mm. Se define como árido fino, el material compuesto por partículas duras y resistentes, del que pasa por el tamiz n° 4 ASTM un mínimo del 95 % en peso. Este árido fino estará exento de cualquier sustancia que pueda reaccionar perjudicialmente con los álcalis del cemento. Se define como árido grueso, la fracción de árido mineral de la que queda retenida en el tamiz n° 4 ASTM un mínimo del 70% en peso. Los áridos gruesos podrán ser rodados o de machaqueo. (REY, 2006)

2.2.8. Cementos.

El cemento utilizado en la elaboración del Shotcrete generalmente varía entre 300 y 450 [kg/m³]. Normalmente los cementos a utilizar en los morteros u hormigones proyectados serán del tipo I, categorías 35 y 45. En los casos en que la gunita vaya a ser expuestas a la acción de suelos o aguas subterráneas con una alta concentración de sulfatos, debe emplearse un cemento resistente a los sulfatos. (CONVENIO DE COLABORACIÓN ENTRE LA SECRETARÍA DE ESTADO DE ENERGIA DEL MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGIA Y TURISMO Y LA UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID(LABORATORIO OFICIAL J.M. MADARIAGA- LOM), 2015)

2.2.9. Agua.

El agua de mezclado debe ser clara y aparentemente limpia. Si contiene sustancias que decoloren o le den sabores u olores raros, indeseables o que causen sospecha, no debe usarse, a menos que los registros de servicio del hormigón preparado con ella u otra información indiquen que no afecta la calidad del hormigón. (DIGNACION ASTM, C 94/C 94M -03a, 2003)

2.2.10. Aditivos.

Los aditivos se pueden utilizar en la construcción de hormigón para mejorar algunas propiedades fisicoquímicas, teniendo en cuenta la aplicación que se le dará y las condiciones de colocación. Los aditivos del Shotcrete deben probarse antes de ser usados a gran escala para determinar si en realidad se obtendrán las ventajas esperadas. Los aditivos de hormigón proyectado generalmente están separados en cuatro categorías, los cuales son aceleradores, incorporadores de aire, reductores de agua y retardadores. (506R-05, ACI, 2005)

Los aditivos plastificantes y superplastificantes, conocidos comúnmente como reductores de agua, son materiales químicos que permiten aumentar la docilidad para un contenido fijo de

agua o, análogamente, permite reducir el contenido agua para una docilidad determinada. La diferencia entre los reductores de agua radica en la capacidad fluidificante que se puede obtener bajo su acción en la mezcla, o su facultad para disminuir el agua libre para una docilidad dada. (TENORIO ROJAS, 2016)

2.2.11. Fibra.

La adición de fibras a los hormigones mejora sus características notablemente. Aunque hay fibras de distintas naturalezas (nylon, fibras de vidrio, polipropileno, polietileno, acero, etc.) (...) La presencia de fibras metálicas en los hormigones proyectados hace que mejoren sus propiedades mecánicas haciendo que disminuya su fragilidad y aumenta su ductilidad después de la fisuración; aumenta la resistencia a la rotura y la capacidad de absorción de energía; disminuye la tendencia a las roturas por retracción; aumenta la resistencia a la aparición y propagación de grietas; aumenta la resistencia a la tracción, al impacto y a la cizalladura; mejora el comportamiento a la flexotracción y aumenta la durabilidad. (VARGAS NIQUIN, 2016)

2.2.11.1. Fibras metálicas

Estas son las fibras más utilizadas para el shotcrete. Existen varias clases y calidades disponibles en el mercado, pero solo algunas reúnen los requisitos establecidos para el shotcrete reforzado con fibra. Están fabricadas de alambre de acero trefilado en frío de primera calidad; provistas de terminaciones en forma de gancho, proporcionan un anclaje inmejorable. Los parámetros críticos de las fibras de acero son la geometría, relación longitud/diámetro (L/D), método de anclaje, resistencia a la tensión, cantidad en la mezcla y calidad del acero.

Las fibras metálicas son elementos delgados de longitud corta y de diámetro pequeño, que sirven para formar hilos del material para el refuerzo de concreto. Dependiendo del diseño del firme, permiten incluso sustituir por completo el armado tradicional del hormigón a base de malla

y acero corrugado. La función principal de las fibras de acero o fibras metálicas en el shotcrete es aumentar su ductilidad. Si bien es posible obtener una elevada resistencia a la flexión sin necesidad de fibras, la ductilidad está directamente relacionada con el tipo y la cantidad de las fibras de acero.

Las fibras de acero están caracterizadas geométricamente por una dimensión predominante respecto a las demás, con superficie pareja o trabajada, empleada como refuerzo en el conglomerado del shotcrete, de forma rectilínea o doblada, para poder ser dispersada de forma homogénea en la masa, manteniendo inalterada las características geométricas, es decir la longitud L , la forma y el diámetro D . De la relación entre longitud L y el diámetro D se obtiene la relación de aspecto o esbeltez L/D .

Figura 3

Fibras metálicas



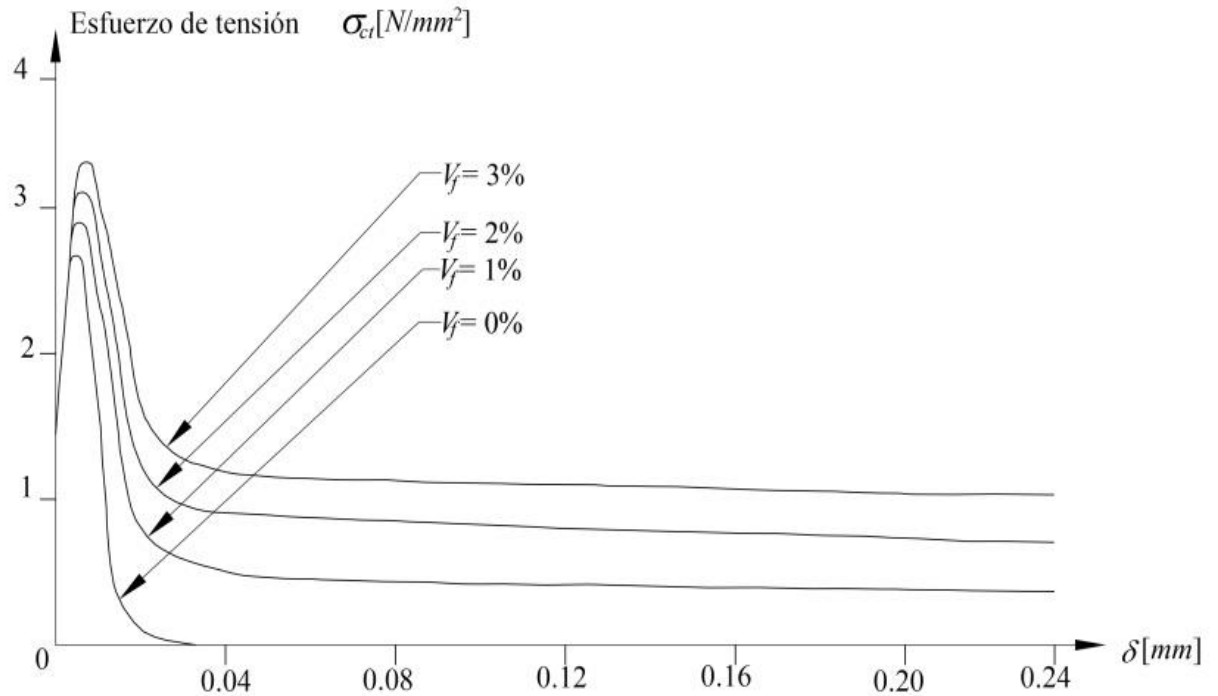
Fuente: (VARGAS NIQUIN, 2016)

2.2.12. Comportamiento a tensión del concreto lanzado con fibras metálicas

El comportamiento en tensión puede ser caracterizado, además de por su resistencia, por su grado de fragilidad. El objetivo de introducir fibras en el concreto muchas veces es el de proporcionarle a la mezcla un comportamiento más dúctil.

Gráfica 1

Comportamiento a tensión del concreto



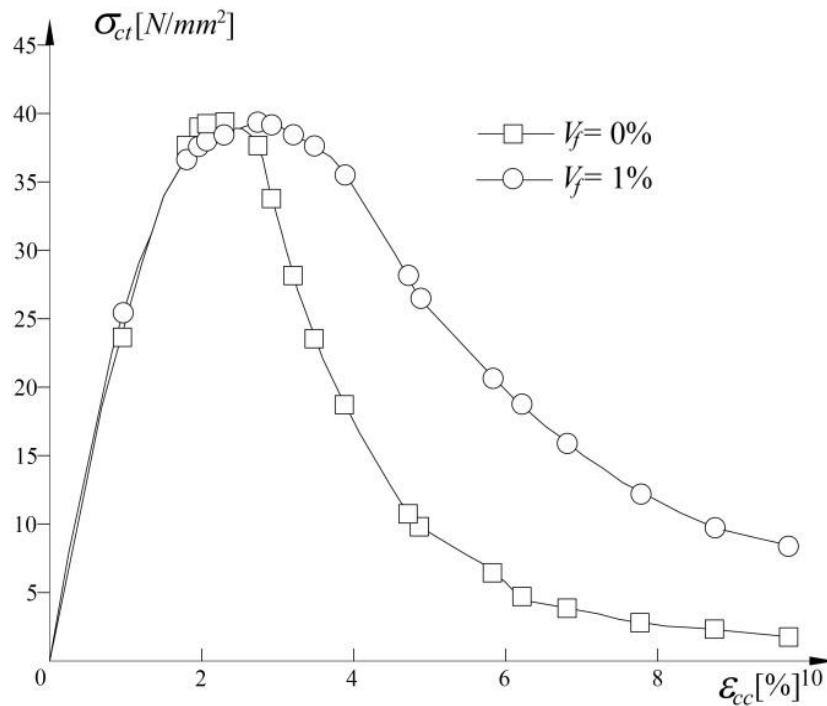
Fuente: (506R-05, ACI, 2005)

2.2.13. Comportamiento a compresión del concreto lanzado con fibras metálicas

En cuanto a la etapa de comportamiento lineal-elástico, las investigaciones de Keer (1984, en Kooiman, 2000) sugieren que el módulo de Young del material compuesto apenas si se ve afectado por la adición de las fibras. Otras investigaciones comprueban que las fibras de acero no afectan significativamente la resistencia a la compresión simple.

Gráfica 2

Comportamiento a compresión del concreto



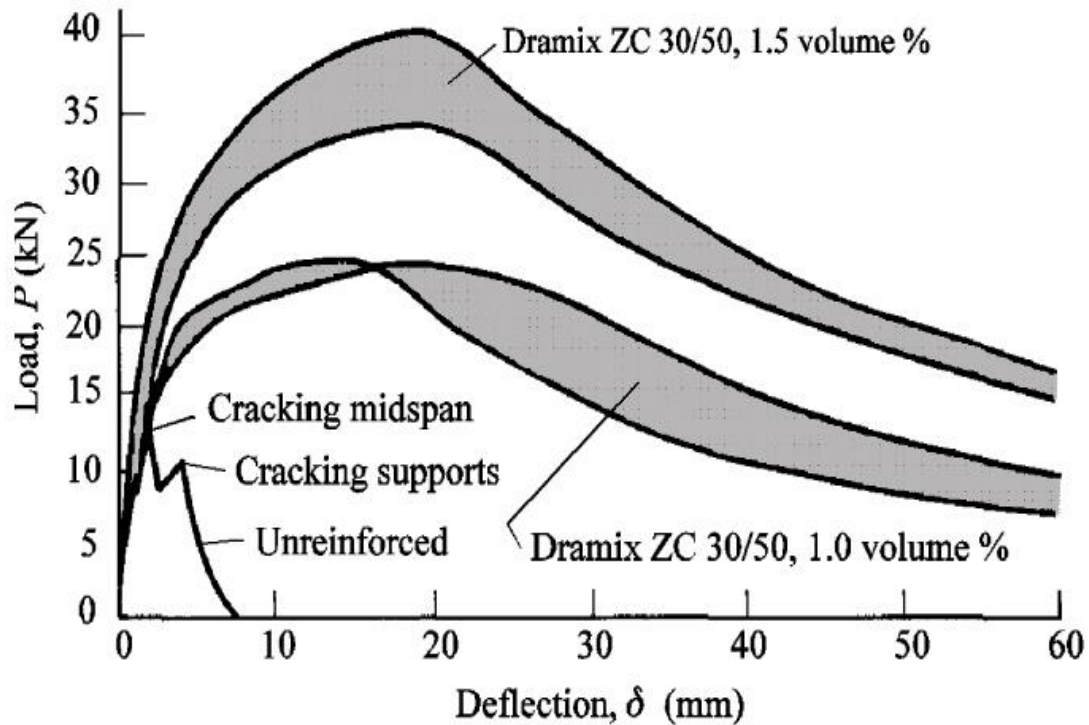
Fuente: (506R-05, ACI, 2005)

2.2.14. Comportamiento a flexión del concreto lanzado con fibras metálicas

Resultados obtenidos por Kompen (1989) sobre ensayos a flexión de placas de concreto lanzado simple y concreto lanzado reforzado con fibras de acero ‘Dramix®’. El concreto lanzado simple tenía una resistencia a compresión uniaxial de 50 MPa. En la Figura se aprecia que la resistencia de pico de estas placas aumenta entre el 85% y el 185% para dosificaciones del 1% y 1.5%, además de proporcionar una mucho mayor ductilidad.

Gráfica 3

Comportamiento a flexión del concreto lanzado



Fuente: (506R-05, ACI, 2005)

2.2.15. Técnicas de proyección del shotcrete.

2.2.16. Proyección vía seca.

Técnica en la que el cemento y agregados se procesan por lotes y se mezclan mecánicamente. El material es transportado neumáticamente a través de mangueras o tuberías a una boquilla donde se introduce agua para humedecer la mezcla antes de que sea proyectada. Este hormigón proyectado también puede incluir aditivos o fibras o una combinación de ambos. (INSTITUTO DE CEMENTO Y HORMIGON DE CHILE, 2015).

Asimismo, el hecho de que no se incorpore el agua a la mezcla (áridos + cemento), supone que ésta se puede acopiar en seco en silos para protegerla de la humedad, eliminando así las pérdidas de material debido a colas o sobrantes (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES DEL PERU, 2016).

En este método, el operador de la boquilla es quien controla y ajusta la cantidad del agua de mezcla, lo que se traduce en una desventaja por el hecho de que el operario debe disponer de experiencia necesaria para lograr regular el contenido de agua y, de este modo, proyectar el hormigón con la razón agua cemento especificada ya que, si la cantidad de agua es alta, las resistencias del hormigón proyectado disminuyen notoriamente. Por lo general, la razón A/C debería fluctuar entre 0,3 y 0,50. (TENORIO ROJAS, 2016)

Tabla 2

Ventajas y desventajas del shotcrete vía seca,

VENTAJAS	DESVENTAJAS
< razón H ₂ O / cemento	> cantidad de rechazo
> resistencia y compacidad.	El personal se expone a muchos riesgos asociados al momento de realizar el lanzado con shotcrete.
Los materiales se trasladan, distancias largas para su elaboración en la obra a ejecutar.	No tiene límite de tiempo el personal en el frente de lanzado.
Una vez trasladado los materiales y preparación es instantáneo.	Acelerantes aditivos no tienen un control exacto ya que esta es controlada con una válvula al momento de ser proyectado.

Fácil de traslado de los materiales.	El agua y el aditivo acelerantes es controlado por el operador del equipo.
Exceso rebote y poca producción (rango de 25% a 40% de rebote, y de 2 m3/hora a 5 m3/hora su rendimiento de colocación es bajo).	No tiene una resistencia uniforme es variable en un rango de (250 kg/cm2 en promedio, con de hasta de 50 kg/cm2)
Equipos chicos manipulados Manualmente.	La polución generada por el equipo es alta

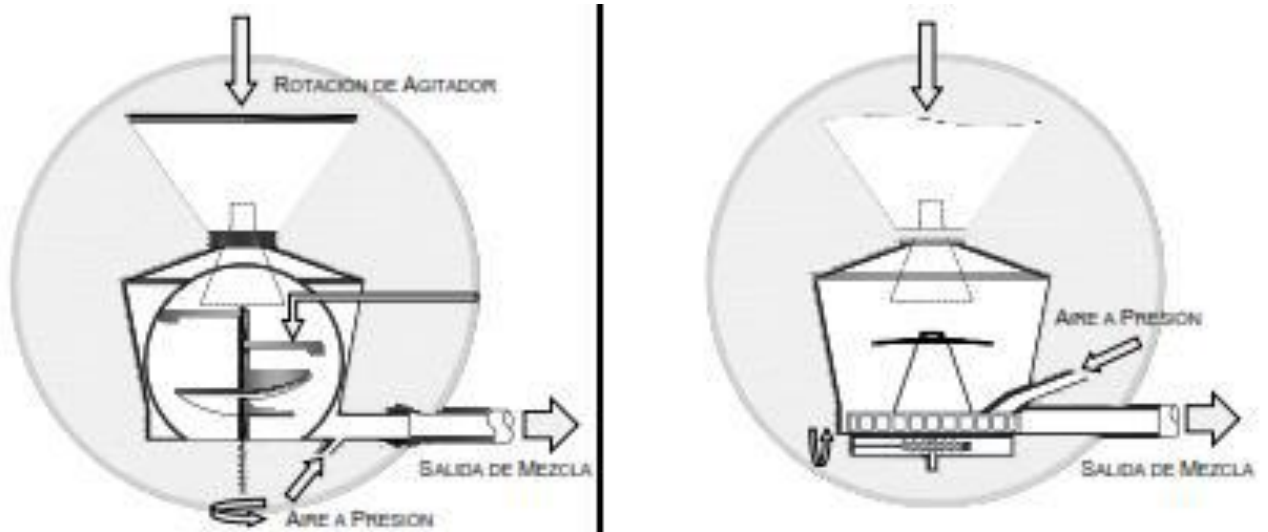
Fuente:(CORNEJO, 2020)

Equipos de proyección para mezcla seca:

Máquinas de cámara simple o doble: La diferencia entre la máquina de simple y doble cámara radica en que en la primera cuando se efectúa el llenado de la cámara esta se tapa e impide el aprovisionamiento continuo, en cambio, la de doble cámara facilita un trabajo más eficiente gracias al uso de la cámara como compuerta de aire mientras se suministra material. (TENORIO ROJAS, 2016)

Figura 4

Equipo de cámara simple y doble respectivamente

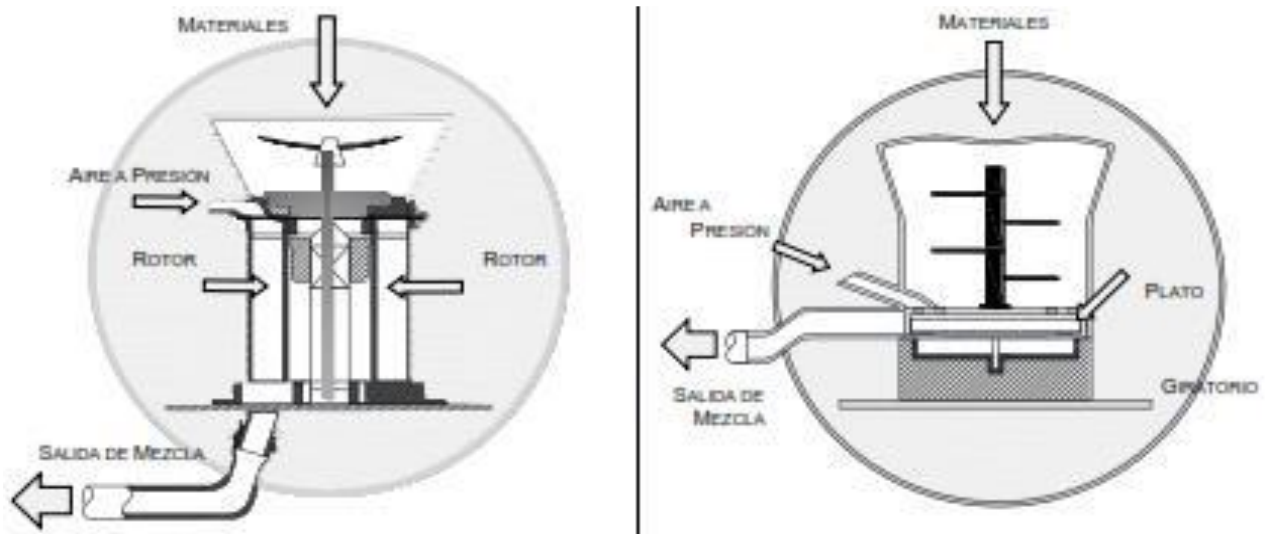


Fuente: (ROJAS, 2016)

Máquinas de alimentación continua: Respecto a las máquinas de alimentación continua, estas se subdividen en dos tipos, la máquina rotatoria de rotor y la máquina de plato rotatorio que, básicamente, ambas se alimentan a través de la tolva en donde, por acción de la fuerza de gravedad, el material descende a las cavidades del rotor, este, revuelve la mezcla y luego se agrega aire a presión por arriba la cual expulsa la mezcla. (TENORIO ROJAS, 2016)

Figura 5

Máquina de alimentación continua a rotor y plato giratorio.



Fuente: (ROJAS, 2016)

2.2.17. Proyección vía húmeda.

Técnica en la que el cemento, áridos y el agua se procesan por lotes y se mezclan juntos en una planta de hormigón o equipo móvil de mezclado, para luego transportarlos y finalmente vaciarlos en una bomba. Desde este punto la mezcla se transporta a través de una manguera a una boquilla en donde se proyecta neumáticamente sobre el sustrato. El aire comprimido se introduce en el flujo de material en la boquilla con el fin de proyectar el material hacia el sustrato. A este hormigón proyectado se incorporan aditivos acelerantes antes de ingresar a la boquilla y también se le puede incluir fibras durante el mezclado. (INSTITUTO DE CEMENTO Y HORMIGON DE CHILE, 2015)

Figura 6

Shotcrete por vía húmeda.



Fuente: (Elaboración propia)

El sistema de proyección por vía húmeda se puede emplear tanto con flujo diluido como con flujo denso. En comparación con el sistema de proyección de la vía seca, la vía húmeda permite conocer en todo momento la cantidad de agua añadida a la mezcla, ya que el aporte de ésta se realiza de forma controlada en la planta durante el proceso de fabricación y no en la boquilla, mejorando la calidad y durabilidad del concreto colocado. (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES DEL PERU, 2016)

Tabla 3

Ventajas y desventajas del shotcrete vía húmeda

VENTAJAS	DESVENTAJAS
La preparación del concreto es en planta	
Horma aquí el agua y el resto de los materiales son controlados	Traslado del concreto con tiempo limitado.
Se utiliza reductores de agua y super plastificantes esta dosificación es controlada por la planta.	Mayores demandas en la calidad del agregado.
Se tiene una mezcla bien preparada con dosificaciones exactas de acuerdo con el diseño elaborado y requeridos por la compañía.	Sólo se permiten interrupciones limitadas.

Fuente:(CORNEJO, 2020).

El proyectado con flujo denso es el método de suministro más común. Éste se hace con bomba dúplex. Las cuales proporcionan un bombeo a alta velocidad a través de mangueras especiales hasta una boquilla provista de un chorro de aire comprimido (boquilla de proyección), obteniéndose así un mortero un hormigón con una compactación suficiente. Se carga el material en la bomba a través de una tolva alimentadora y se pasa por mangueras y tubos. La diferencia principal con respecto al hormigón bombeado tradicionalmente radica en que el requerimiento de la pulsación debe ser lo más baja posible a fin de conseguir un lanzado constante en la boquilla. (SANTANA, 2013)

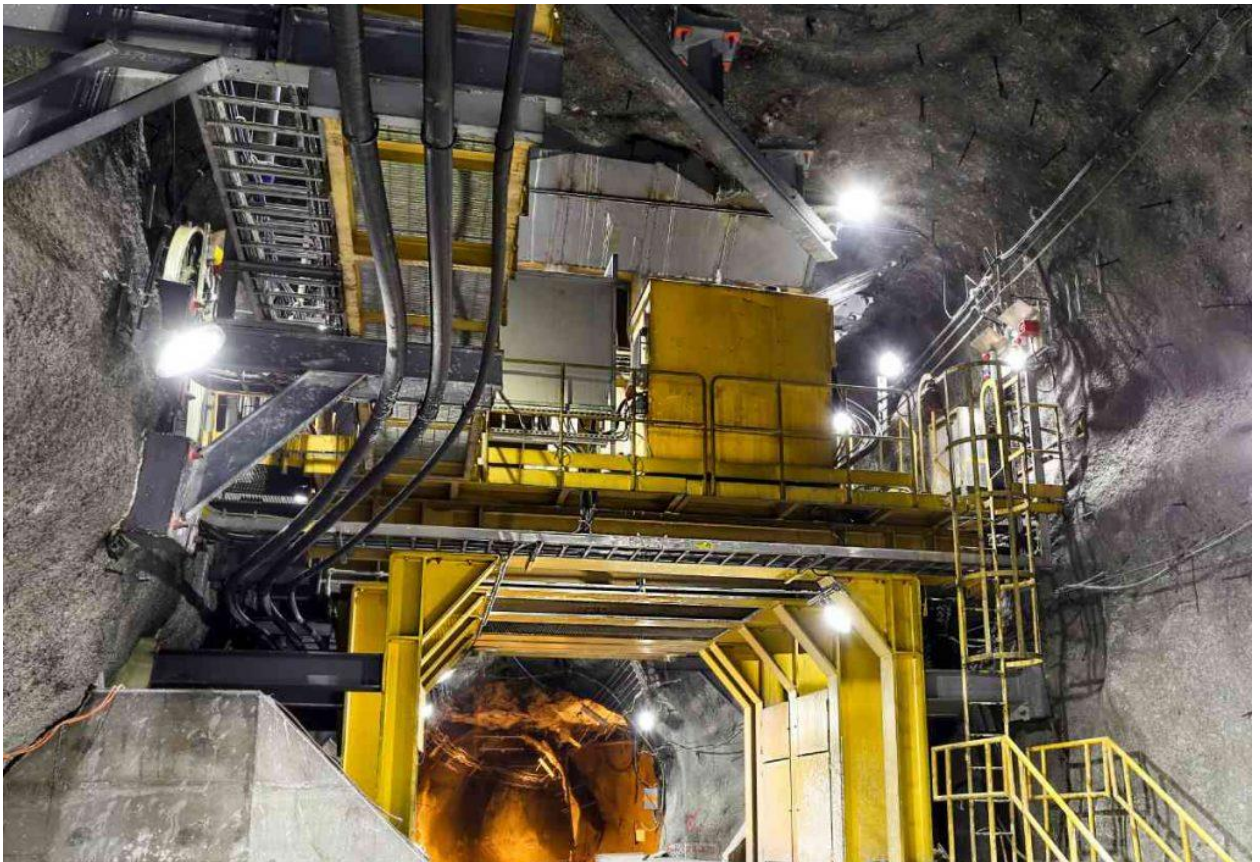
2.3. Dosificación del hormigón proyectado.

(REY, 2006) Generalmente se recomienda dosificar los materiales en peso. La curva composición deberá tener una granulometría que encaje en el huso granulométrico correspondiente, normalmente 0-8 o 0-12. Así, como primera aproximación, la dosificación de cemento será de unos 400 kg/m³, pudiéndose rebajar si se emplea humo de sílice o acelerantes libres de álcali. En el caso de la vía húmeda, la relación agua/cemento estará comprendida generalmente entre 0,40 y 0,50, función entre otros, de la variación del módulo de finura de los áridos y su naturaleza, con el fin de conseguir una consistencia adecuada para la máquina de proyección (cono entre 12 y 18). El límite superior no se deberá exceder para garantizar que la química de los acelerantes y superplastificantes, indispensable en esta aplicación, funcione adecuadamente. La dosificación usual de los acelerantes de fraguado es del 4-5% del peso del cemento tanto en polvo como en líquido, salvo los acelerantes a base de silicato, ya en desuso, que tal y como se ha comentado anteriormente, necesitan dosificaciones del 10-12%. La dosificación de los superplastificantes y estabilizadores se establecerá mediante pruebas en la misma obra, y dependerá de los áridos, del cemento, y del tiempo de manejabilidad. La adición a base de humo de sílice polvo se añadirá en una dosificación entre el 4-10%, y las cenizas volantes en un porcentaje no superior al 15-20%, según el tipo de cemento. Siempre es necesario realizar ensayos previos en la misma obra con el fin de ajustar dosificaciones de áridos, cemento, agua, aditivos y adiciones de acuerdo con las condiciones existentes, para cumplir con los requisitos del Proyecto. Para la preparación de la mezcla del hormigón, tanto en vía seca, como en vía húmeda, se recomienda emplear una planta con mezcladora, a ser posible de eje vertical, ya que las exigencias técnicas y las características de sostenimiento, obligan a una preparación y mezcla de los

componentes homogénea, sobre todo con la incorporación de adiciones y aditivos, fundamentales en la tecnología del hormigón proyectado.

Figura 7

Planta de Hormigón con mezcladora



Fuente:(REY, 2006)

Muchas de las causas del mal funcionamiento de las máquinas de proyectar, son ocasionadas por una mezcla en plantas dosificadoras, sin mezcladora, o la incorporación de los aditivos y adiciones en el tajo de aplicación, sin un amasado adecuado. Una “herramienta” tan utilizada en el sostenimiento de túneles y taludes, como es el hormigón proyectado, no depende de “milagros”, por el contrario, necesita instalaciones contrastadas y bien estudiadas, que permitan desarrollar una mezcla y transporte adecuados según las normas establecidas, para conseguir las

características finales de dicho hormigón proyectado, y alcanzar los requerimientos solicitados por el proyectista. (REY, 2006)

Figura 8

Equipo dosificador de aditivos en planta



Fuente:(REY, 2006)

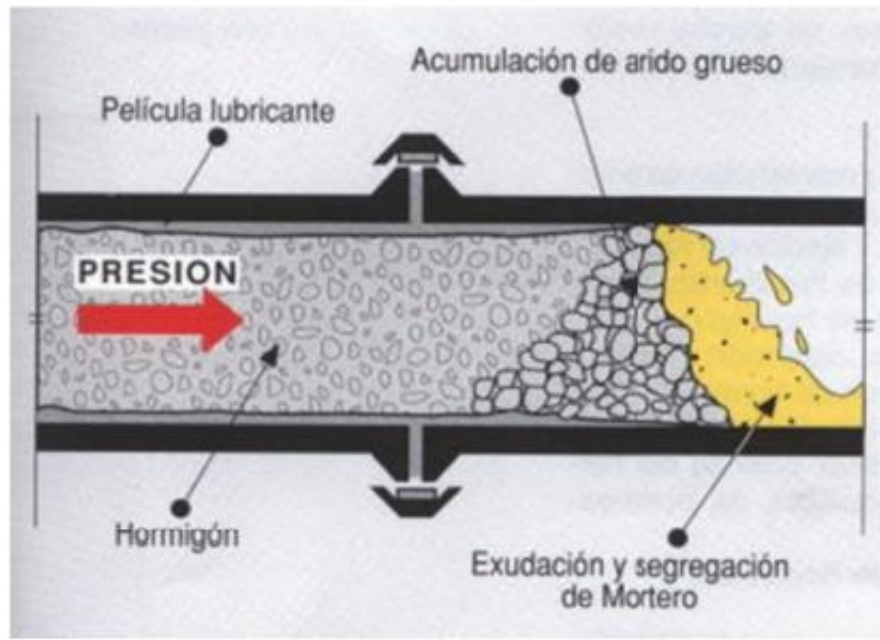
Otro aspecto básico es el estudio de las características de los áridos; granulometrías, densidad, humedad, y coeficiente de absorción. Parámetros, todos ellos, fundamentales tanto en las fases iniciales de diseño de la mezcla, como en la fase de ejecución.

No olvidando nunca, que un sostenimiento de un túnel o talud tiene, además del fin constructivo, una responsabilidad en la seguridad de los equipos y dotaciones humanas que intervienen en la Obra

2.4. La Bombeabilidad De La Mezcla

Figura 9

La bomba de mezcla



Fuente: (INSTITUTO DE CEMENTO Y HORMIGON DE CHILE, 2015)

La bombeabilidad se define como la capacidad de un hormigón para ser movilizado bajo presión manteniendo al mismo tiempo sus propiedades iniciales. Las investigaciones en los últimos años sobre el bombeo del hormigón por lo general se enfocan en la estabilidad o la movilidad del material bajo presión. En relación con la estabilidad, la principal preocupación respecto al hormigón fresco bajo presión es la posibilidad de segregación, es decir, la separación de la pasta del agregado, lo que por lo general conduce a la obstrucción de la línea. Este fenómeno se produce cuando la presión aplicada al hormigón empuja la pasta a través de la estructura del agregado lo que conduce a la acumulación de partículas más gruesas en la forma de un tapón que bloquea la línea. Esta segregación se asocia a menudo con mezclas que tienen una mala granulometría y/o

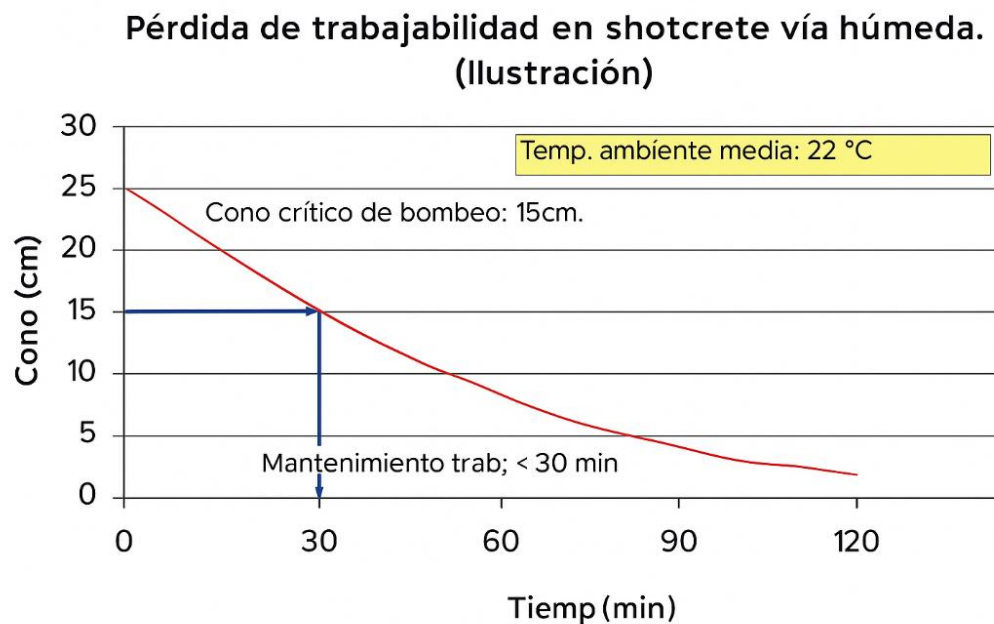
una forma de las partículas del agregado o a una excesiva humedad en la mezcla. (INSTITUTO DE CEMENTO Y HORMIGON DE CHILE, 2015)

2.5. La trabajabilidad de la mezcla

La mantención de la trabajabilidad de una mezcla de shotcrete depende fuertemente de cantidad de agua libre. Los ensayos muestran que ésta puede cambiar drásticamente con pequeñas variaciones en la dosis de agua inicial. Sin embargo, mayores cantidades de agua demandan mayores cantidades de cemento (para igual razón a/c) y retardan el fraguado de la mezcla (aumento en la dosis de acelerante). (INSTITUTO DE CEMENTO Y HORMIGON DE CHILE, 2015)

Gráfica 4

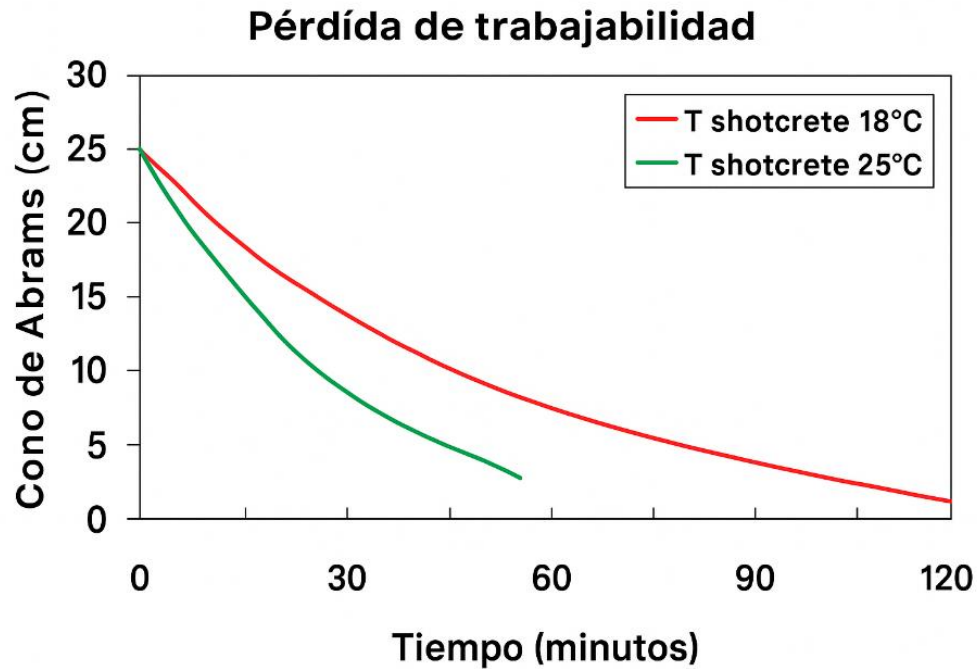
Pérdida de trabajabilidad en shotcrete vía húmeda



Fuente: (INSTITUTO DE CEMENTO Y HORMIGON DE CHILE, 2015)

Gráfica 5

Pérdida de trabajabilidad



Fuente: (INSTITUTO DE CEMENTO Y HORMIGON DE CHILE, 2015)

2.6. Factor de seguridad

Este factor es un concepto que se aplica en los métodos de análisis basados en el equilibrio limite, bajo este parámetro estas metodologías logran analizar la estabilidad de los taludes, es definido como la relación entre la resistencia del corte del suelo en una superficie o línea de falla y es comparado con la resistencia de corte necesaria para mantener estable las masas componentes del suelo, además, también depende de las características del suelo obtenido por pruebas y ensayos de laboratorio. También es definida como la relación cuantitativa de la resistencia de corte y los esfuerzos de corte que son originados el movimiento de las masas, se deberá de tomar en cuenta los esfuerzos que resisten y los que se contraponen que ofrecen resistencia, en los métodos de equilibrio limite se identifica franjas o dovelas y se analizan las fuerzas que intervienen en estos elementos. (Beresovsky de las Casas, 2018)

2.7. Hipótesis

2.7.1. Hipótesis general

- “El uso de Fibra Metálica Dramix 4D en el lanzado de shotcrete mejora el sostenimiento de la Rampa RP952NE en la unidad minera Raura, Oyón- Lima”.

2.7.2. Hipótesis específicas

- Los parámetros geomecánicos de la roca son favorables para la utilización de shotcrete con fibra metálica en el sostenimiento de la rampa RP952NE en la unidad minera Raura, Oyón - Lima.
- El sostenimiento con shotcrete con el uso de fibra metálica es el óptimo para los parámetros de esfuerzos en la roca.
- El uso de fibra metálica Dramix 4D muestra reducción en los costos de lanzado de shotcrete.

2.8. Variables e indicadores

2.8.1. Variable dependiente

X: Mejoramiento del Sostenimiento de la RP952NE

2.8.2. Variable independiente

Y: Uso de Fibra Metálica Dramix 4D

2.9. Operacionalización de las variables

Tabla 4

Tabla de Variables

VARIABLES	INDICADORES	VALORES
INDEPENDIENTE		
Uso de Fibra Metálica	Kg	Dosificación de Fibra por mezcla (Kg/m3)
Dramix 4D		
DEPENDIENTES		
Mejoramamiento del	(N/mm ²)	Resistencia del macizo rocoso (RMR)
Sostenimiento de la		Resistencia residual de concreto (Mpa/mm)
RP952NE		Comportamiento a la tensión (N/mm²)
		Comportamiento a la Compresión (N/mm²)

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

La presente investigación es del tipo cuantitativa, ya que la investigación a realizar utiliza datos cuantitativos para analizar la técnica de sostenimiento de labores mineras empleando shotcrete reforzado con fibras metálicas.

3.2. Nivel de investigación

De acuerdo con los alcances de la investigación, la presente investigación es:

Correlacional, ya que tiene como finalidad conocer la relación que exista entre dos o más conceptos o variables en una muestra o contexto en particular. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014)

De acuerdo con los diseños de la investigación, la presente investigación es:

Descriptiva, ya que comprende la colección de datos para probar una hipótesis o responder a preguntas concernientes a la situación corriente de los sujetos que intervienen en el estudio. Un estudio descriptivo determina los modos de ser de los objetos. (ÑAUPAS PAITAN, VALDIVIA DUEÑAS, PALACIOS VILELA, & ROMERO DELGADO, 2018).

Explicativa, es decir, que pretende establecer las causas de los sucesos o fenómenos que se estudian. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014).

3.3. Diseño de la investigación

De acuerdo con los diseños de la investigación, la presente investigación es:

No experimental, de corte transversal, ya que la recolección de datos se hizo en un solo periodo de tiempo. (Ñaupas Paitan, 2018)

3.4.Población

La población de la investigación considerada será de las labores de Sosténimiento de la Unidad Minera Raura, Oyón – Lima.

3.5.Muestra

La muestra para la investigación se delimita a La Rampa RP952NE en la Unidad Minera Raura.

3.6. Técnicas e instrumentos de captura de información

3.6.1. Técnicas de recolección de datos

Las principales técnicas que utilizaremos son:

- Fichas técnicas
- Datos Estadísticos
- Mapeos geomecánicos
- Muestras en campo (in situ)
- Ensayos en laboratorio
- Planos topográficos

3.6.2. Instrumentos

- Ficha Documental
- Sistemas de Monitoreo
- Equipos de Topografía
- Equipos para Mapeo geomecánico
- Equipos de control de calidad de Shotcrete

3.7. Técnicas de procesamiento de datos

La información recolectada será evaluada y analizada con el objetivo de identificar los parámetros en la operación para lo cual se hará uso de:

- Microsoft Excel.
- AutoCAD.
- Software Rockscience / Unwedge / Seis Vis

CAPÍTULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Caracterización geomecánica de la roca

El primer paso fundamental en nuestra investigación es comprender en profundidad las características geomecánicas de la roca en la rampa RP952NE de la unidad minera Raura. Este análisis detallado nos permitirá evaluar la idoneidad del uso del shotcrete con fibra metálica Dramix 4D como método de sostenimiento. A través de pruebas exhaustivas y mediciones en campo, examinaremos diversos parámetros geomecánicos, incluida la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción, la deformabilidad, la fracturación y la resistencia al corte. Este proceso nos brindará una comprensión integral de la capacidad de la roca para soportar las cargas impuestas por la actividad minera y nos guiará en la selección de las técnicas de sostenimiento más adecuadas.

Se llevaron a cabo observaciones detalladas y recopilación de datos en el sitio mismo donde se está llevando a cabo el progreso de la RP952NE. Estas observaciones se centraron en varios aspectos relacionados con la geomecánica. Los datos recopilados fueron minuciosamente analizados y evaluados para determinar las condiciones de estabilidad del macizo rocoso en relación con las dimensiones de las excavaciones en curso.

Además de estas actividades en el terreno, se realizaron trabajos de análisis y preparación de información en un entorno de gabinete. Este proceso implicó la recopilación y el suministro de datos relevantes relacionados con la geología y la topografía subterránea de las operaciones mineras que están siendo evaluadas en el contexto de este estudio.

4.1.1. Evaluación de parámetros geomecánicos

En este apartado, se llevará a cabo una exhaustiva evaluación de los parámetros geomecánicos de la roca en la zona de la Rampa RP952NE de la Unidad Minera Raura. Se recopilarán datos geológicos detallados, incluyendo información sobre la litología, estructura geológica, y características físicas de la roca. Además, se realizarán pruebas in situ y de laboratorio para determinar propiedades como resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, módulo de elasticidad, y otros parámetros relevantes. Esta evaluación proporcionará una comprensión profunda de la naturaleza geomecánica del macizo rocoso, fundamental para el diseño y aplicación del shotcrete con fibra metálica Dramix 4D.

Se llevó a cabo un análisis exhaustivo de la estabilidad geomecánica de la rampa de profundización RP952NE – Nv 3890. Este análisis se realizó utilizando herramientas avanzadas de modelado numérico de elementos finitos, concretamente mediante el software Geomecánico-geotécnico RS2, así como también se emplearon herramientas como Unwedge para evaluar el potencial de formación de cuñas y se realizó un análisis de esfuerzos focalizado en el estudio de posibles fallas.

En este proceso analítico, se emplearon métodos computacionales sofisticados para simular el comportamiento del macizo rocoso y prever posibles escenarios de inestabilidad. Esta evaluación incluyó la consideración de una variedad de factores, como las condiciones geológicas locales, las cargas aplicadas y la geometría de la rampa, con el objetivo de obtener una comprensión integral de la estabilidad de la estructura en cuestión.

El análisis no solo se limitó a la predicción de posibles fallas, sino que también se buscó identificar medidas preventivas y correctivas para garantizar la seguridad y la eficacia de la rampa de profundización. Mediante la aplicación de estos enfoques analíticos avanzados, se logró obtener

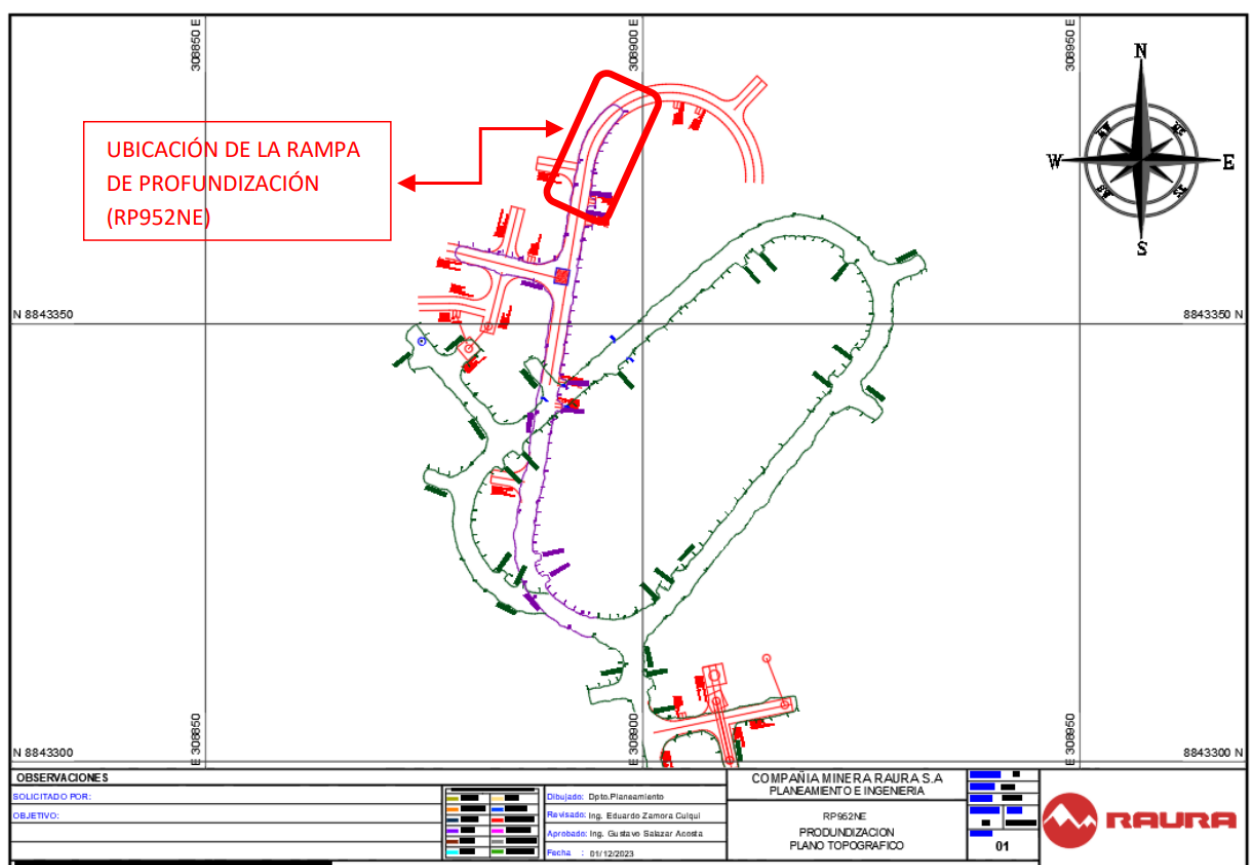
una evaluación detallada y precisa de la estabilidad geomecánica de la rampa, lo que proporciona una base sólida para la toma de decisiones y la implementación de medidas de mitigación, si fuese necesario.

4.1.1.1. Ubicación

La rampa de profundización RP952NE – Nv 3890, también conocida como cuerpo Vanessa, está situada en unas coordenadas específicas: latitud N: 8843384.23 y longitud E: 308854.85, con una altitud de 3898.961 metros sobre el nivel del mar. La orientación de la cámara en esta ubicación está marcada hacia el punto cardinal N44°E.

Figura 10

Plano De Ubicación De La Rampa De Profundización RP952NE – NV3890



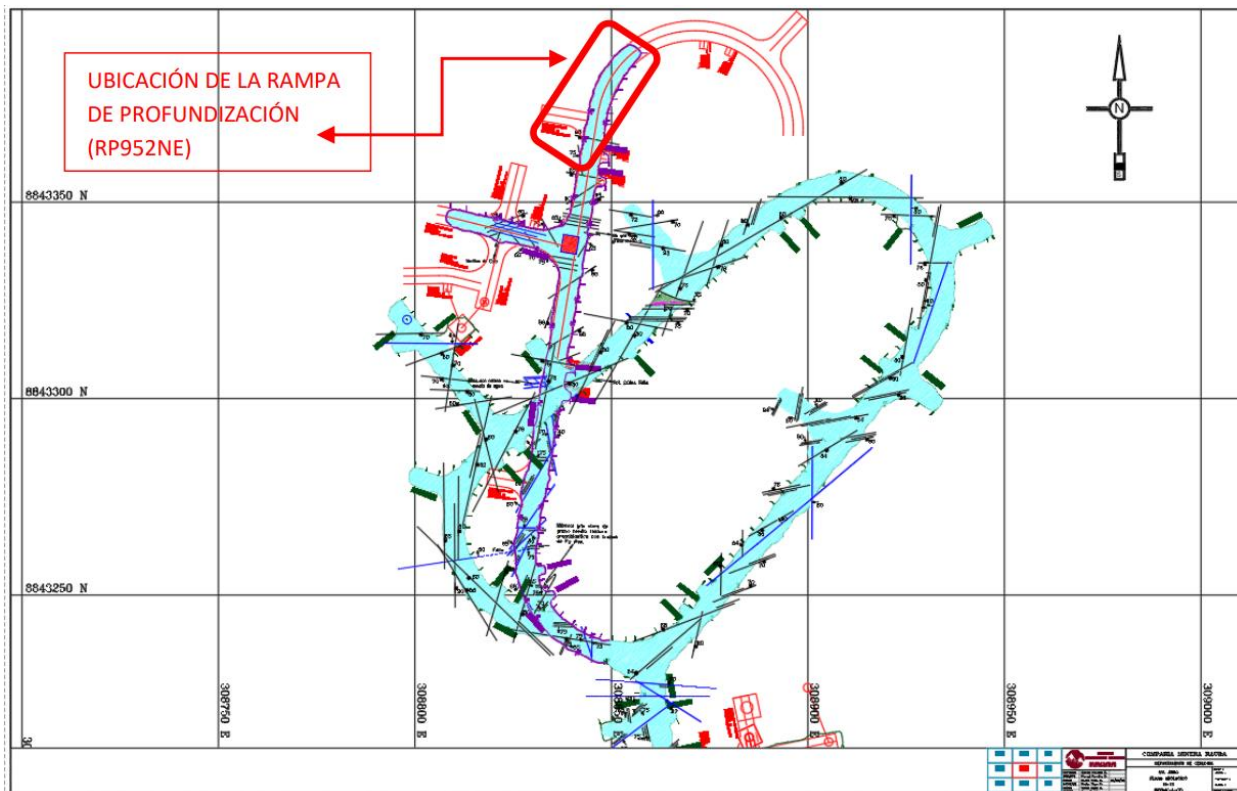
Fuente: Unidad Minera Raura

4.1.1.2. Geología de la zona de la zona de la rp952ne nv 3890

La rampa de profundización está situada en la región del mármol conocida como cuerpo Vanessa, abarcando tanto su sector occidental como oriental, así como también su zona central.

Figura 11

Plano Geológico De La Rampa De Profundización RP952NE – Nv 3890



Fuente: Unidad Minera Raura

4.1.1.3. Litología

Desde el punto de vista de la litología, la mayor parte de la zona donde se encuentra la rampa de profundización está compuesta principalmente por roca de mármol, que es un tipo de roca metamórfica.

4.1.1.4. Condiciones geomecánicas

Los parámetros geomecánicos dentro del área de estudio, conforme a la clasificación de Bienawski, reflejan un RMR de 44, lo que indica un tipo de roca IIIB. Según la clasificación de Barton, se traduce en un índice Q de 4.95, lo que sugiere una roca de calidad regular. Además, el GSI se sitúa en la categoría de muy fracturado regular (MF/R), según la evaluación realizada. Se puede obtener más detalles y visualización en los anexos adjuntos, específicamente en el mapeo geomecánico.

Plano Geomecánico de la rampa de profundización RP952NE – Nv 3890



57

4.1.2. Análisis de resistencia y deformabilidad de la roca

En esta sección, se llevará a cabo un análisis detallado de la resistencia y deformabilidad de la roca en la zona de estudio. Se realizarán pruebas específicas para evaluar la resistencia a diferentes tipos de cargas y condiciones de esfuerzo, así como pruebas de deformación y comportamiento ante cargas cíclicas. Se utilizarán técnicas avanzadas de modelado geomecánico para predecir el comportamiento de la roca bajo diferentes escenarios de carga y para identificar posibles zonas de debilidad o inestabilidad. Este análisis permitirá establecer los parámetros geomecánicos clave que influirán en la efectividad del sostenimiento con shotcrete reforzado con fibra metálica Dramix 4D.

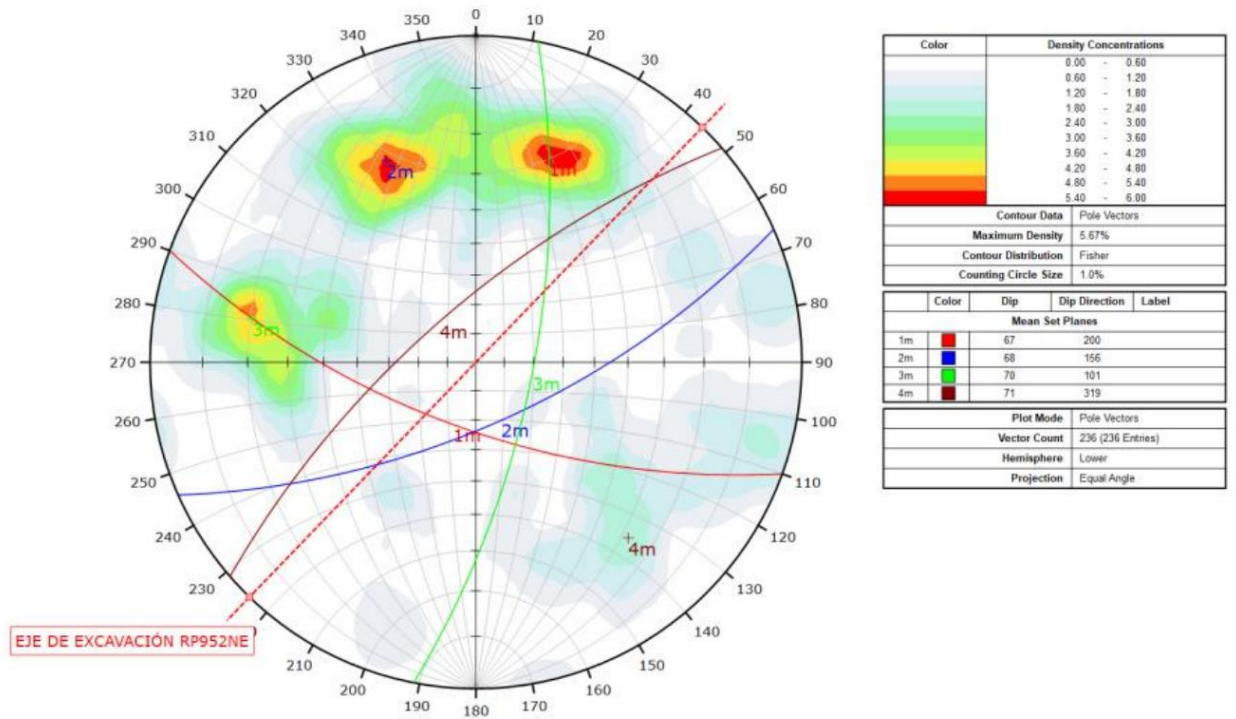
4.1.2.1. Comportamiento estructural

En la zona de profundización, se pueden identificar con claridad dos sistemas principales de fallas. El primero muestra un ángulo de inclinación y una dirección de $67^{\circ}/200^{\circ}$, mientras que el segundo sistema presenta un ángulo de inclinación y dirección de $68^{\circ}/156^{\circ}$. Además de estos sistemas principales, se observan dos sistemas secundarios de fallas. El primero de ellos tiene un ángulo de inclinación y dirección de $70^{\circ}/101^{\circ}$, mientras que el segundo sistema secundario muestra un ángulo de inclinación y dirección de $71^{\circ}/319^{\circ}$.

En la figura 13 se muestra las direcciones y orientaciones de los sistemas de fallas:

Figura 13

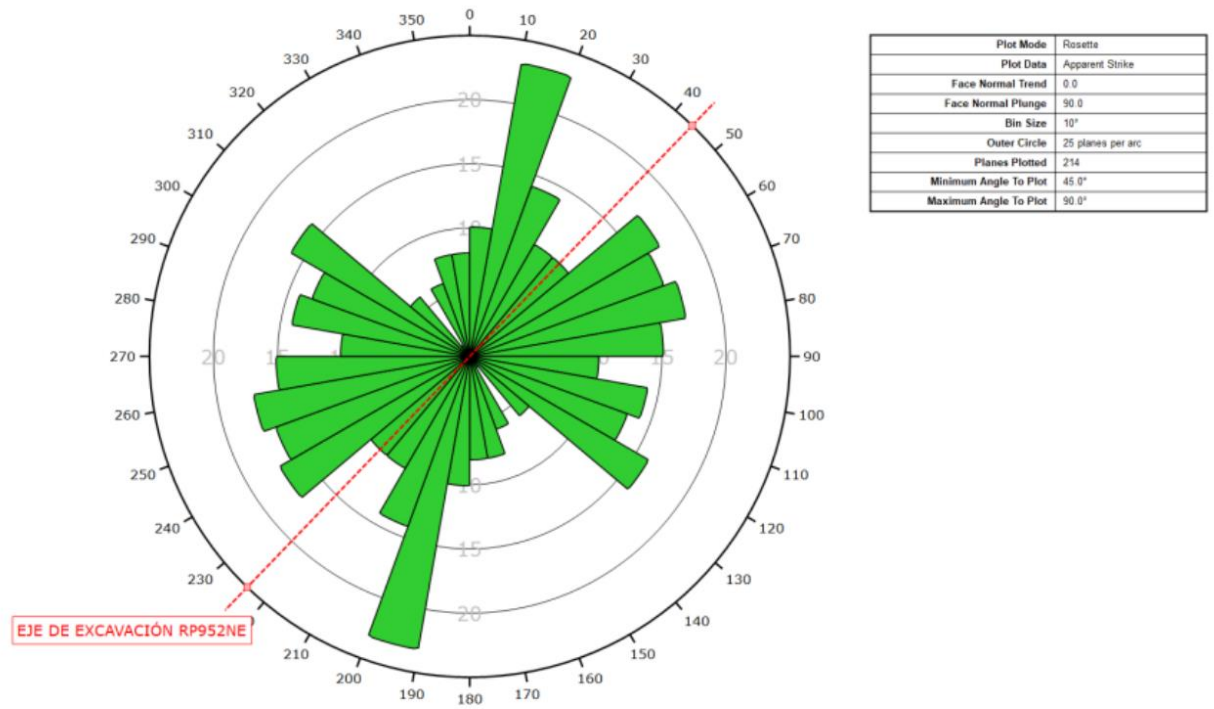
Orientación De Los Sistemas De Fallamiento



Fuente: Unidad Minera Raura

Figura 14

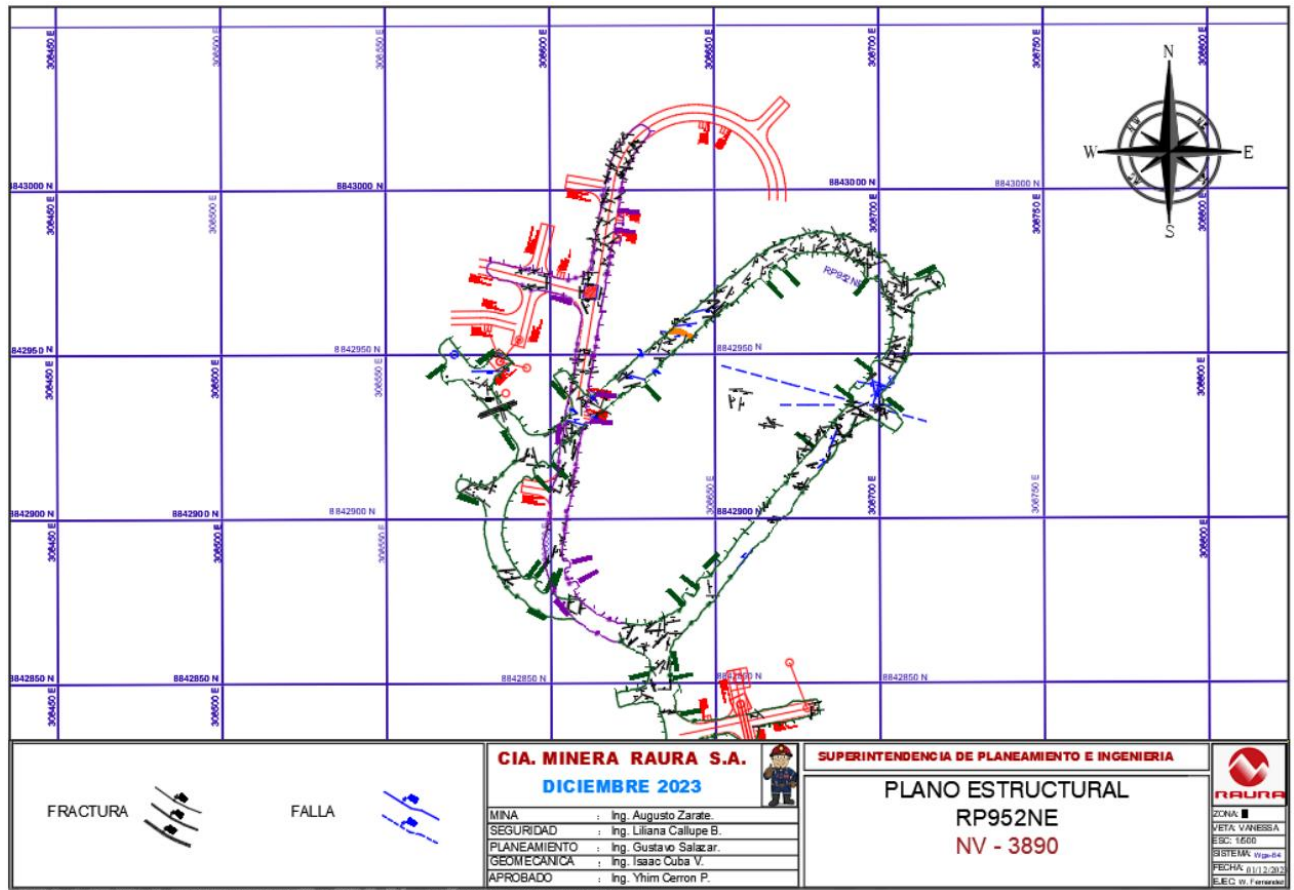
Representación De Las Discontinuidades Dominantes En El Diagrama De Rosetas (Familia Principal Sub Paralelo A La Excavación)



Fuente: Unidad Minera Raura

Figura 15

Plano Estructural De La Zona De Profundización RP952NE, Nv 3890



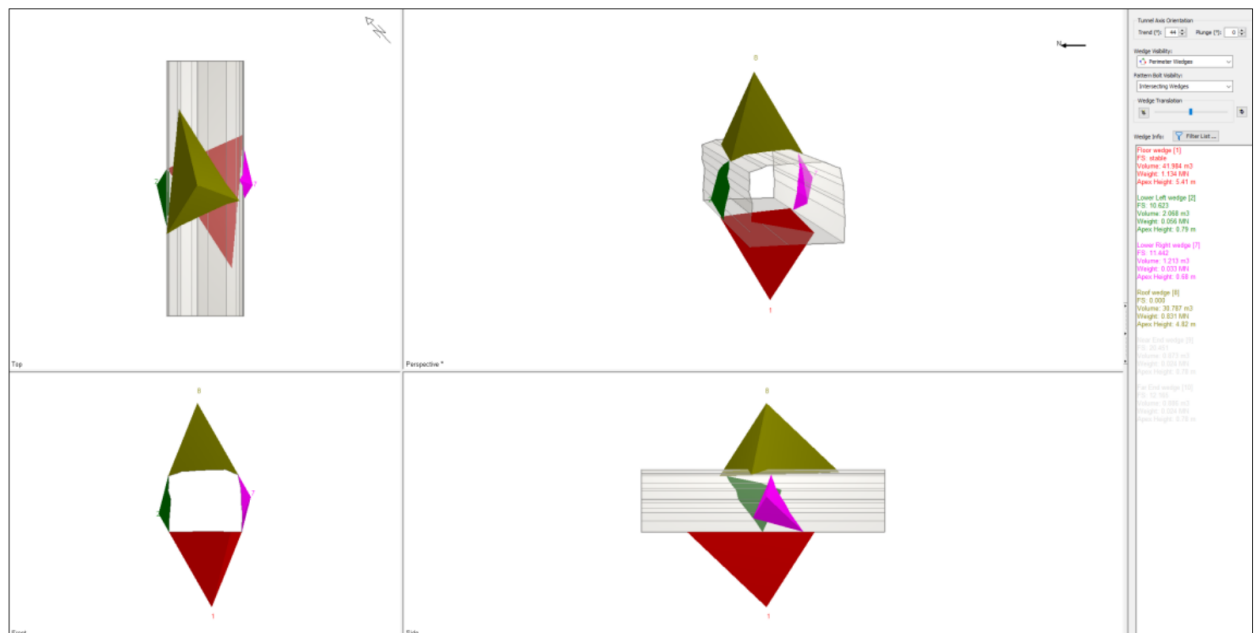
Fuente: Unidad Minera Raura

4.1.2.2. Análisis estructural con el unwedge

Basándonos en la proyección obtenida a través del análisis de los ángulos de inclinación, se ha identificado la presencia de cuñas. Con el fin de evaluar el grado de posible inestabilidad, se llevó a cabo un análisis computacional utilizando el Software Unwedge3.0. Los resultados de este análisis revelaron la presencia de una cuña con potencial de deslizamiento, evidenciado por factores de seguridad $FS=0.0$ sin la implementación de medidas de sostenimiento.

Figura 16

Donde Se Muestra La Formación De Cuñas $Fs=0.0$

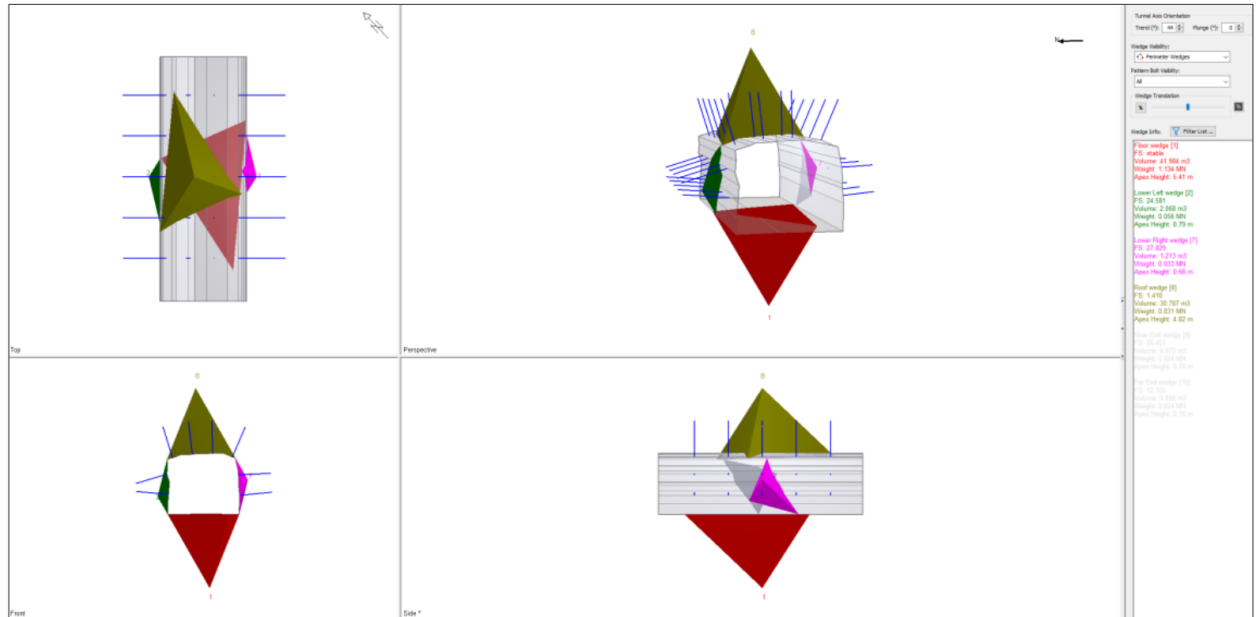


Fuente: Unidad Minera Raura

Después de implementar medidas de sostenimiento, específicamente utilizando pernos helicoidales de 8 pies de longitud con un espaciado de 1.5 metros, junto con una capa de shotcrete de 3 pulgadas de espesor, se observa un aumento significativo en los factores de seguridad. Con estas medidas aplicadas, los factores de seguridad se han mejorado considerablemente, alcanzando un valor de $FS=1.41$.

Figura 17

Donde Se Muestra Con Sostenimiento Y $F_s=1.41$



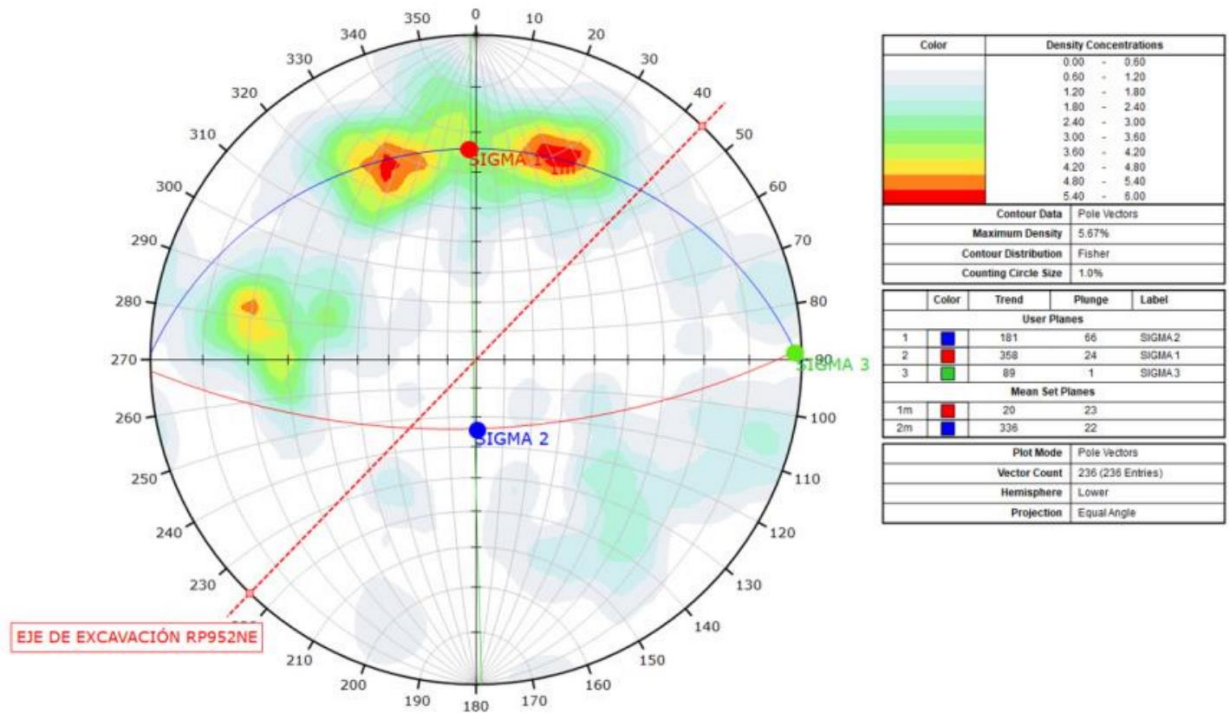
Fuente: Unidad Minera Raura

4.1.2.3. Cálculo de las orientaciones de esfuerzos (σ_1 , σ_2 y σ_3)

En la región de profundización, se identifican dos sistemas de fallas principales claramente definidos. El primero presenta un ángulo de inclinación y una dirección de $67^\circ/200^\circ$, mientras que el segundo sistema exhibe un ángulo de inclinación y una dirección de $68^\circ/156^\circ$. Al llevar a cabo un análisis estructural detallado de la zona Vanessa, se logró determinar los parámetros del tensor de esfuerzos mediante la aplicación del método de Diedros Rectos y/o fallas conjugadas. Estos hallazgos están ilustrados en la figura 18 para una mejor comprensión visual.

Figura 18

Orientación De Esfuerzos De La RP952NE – Nv 3890



Fuente: Unidad Minera Raura

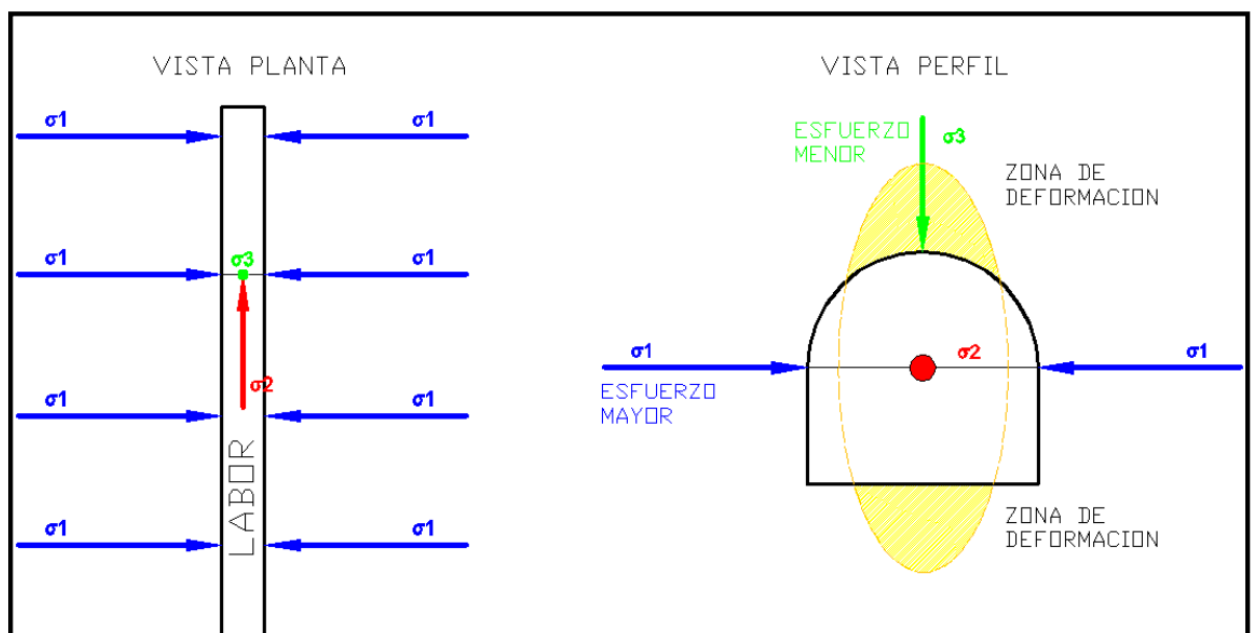
De acuerdo con los resultados obtenidos, se observa que, en la zona de la RP952NE, los esfuerzos principales muestran una orientación predominante de σ_1 (esfuerzo mayor) en dirección NW-SE de manera tangencial, con un ángulo de 24° . Mientras tanto, la zona de deformación está sujeta a σ_3 (esfuerzo menor) con una orientación NE-SW, con un ángulo de 1° . Estos esfuerzos se consideran como originados in-situ debido a la actividad tectónica.

Sin embargo, al realizar análisis más detallados a nivel local, estas orientaciones pueden variar ligeramente dependiendo de las áreas abiertas generadas. Estas variaciones van dando forma a los esfuerzos inducidos, los cuales tienden a ser mayores que los esfuerzos in-situ.

El análisis se enfoca en cómo la orientación de las labores mineras se relaciona con la dirección de los esfuerzos en la roca circundante. Cuando las labores están dispuestas de manera perpendicular al esfuerzo principal (σ_1), tienden a experimentar una deformación significativa a lo largo de su longitud. En el caso de que el esfuerzo sea horizontal, la deformación se manifiesta principalmente en la parte superior de la excavación, lo que se observa como relajaciones de tipo costra. En esta situación, la labor minera buscará alcanzar y mantener su estabilidad bajo estas condiciones específicas. Estos conceptos se ilustran visualmente en la figura 19 adjunta.

Figura 19

Esfuerzo Horizontal Y Perpendicular A La Labor

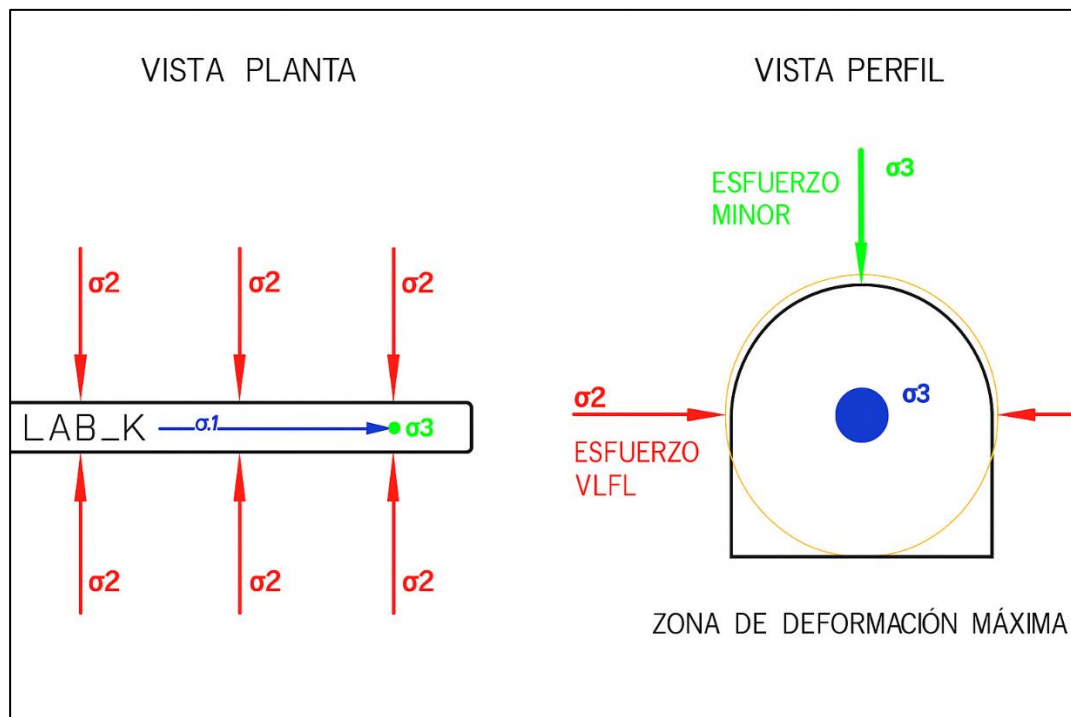


Fuente: Unidad Minera Raura

Cuando el esfuerzo principal (σ_1) coincide en paralelo con la dirección de la labor minera, la energía asociada con este esfuerzo tiende a disiparse dentro de la excavación misma. Esto resulta en una situación donde solo los esfuerzos menores (σ_2 y σ_3) permanecen presentes en la zona circundante, lo que limita la cantidad de daño potencial que podría causarse a la labor. Esta disposición de esfuerzos hace que la labor sea más estable en comparación con otros escenarios donde los esfuerzos son perpendiculares a la labor. Esta dinámica se puede apreciar de manera gráfica en la figura 20.

Figura 20

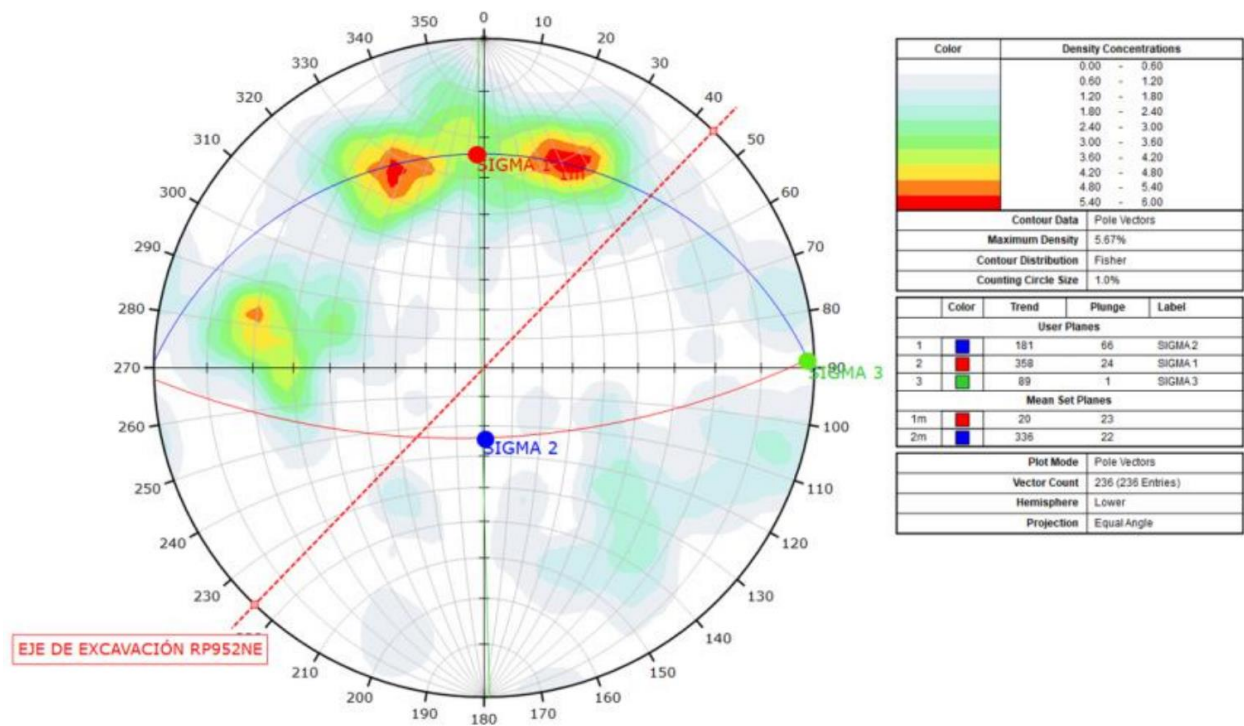
Esfuerzo Mayor Disipada En La Labor Actuando Los Esfuerzos Menores (σ_2 y σ_3) Sin General Deformación



Fuente: Unidad Minera Raura

Se ha realizado un análisis exhaustivo de los esfuerzos en relación con el desarrollo de la RP952NE – Nv3890. Se observa que la zona de profundización tiene un rumbo predominante de N44°E. Al superponer los tensores de esfuerzos, se nota que el esfuerzo principal afecta de manera sub-perpendicular al avance de la RP952NE. Este fenómeno genera presión y provoca inestabilidad en las áreas circundantes, dando lugar a un relajamiento de las rocas que varía de regular a leve en su intensidad. Estos hallazgos se pueden apreciar con mayor claridad en las figuras 21 y 22.

Figura 21
Orientación De Esfuerzos Con Respecto A La RP952NE Nv3890



Fuente: Unidad Minera Raura

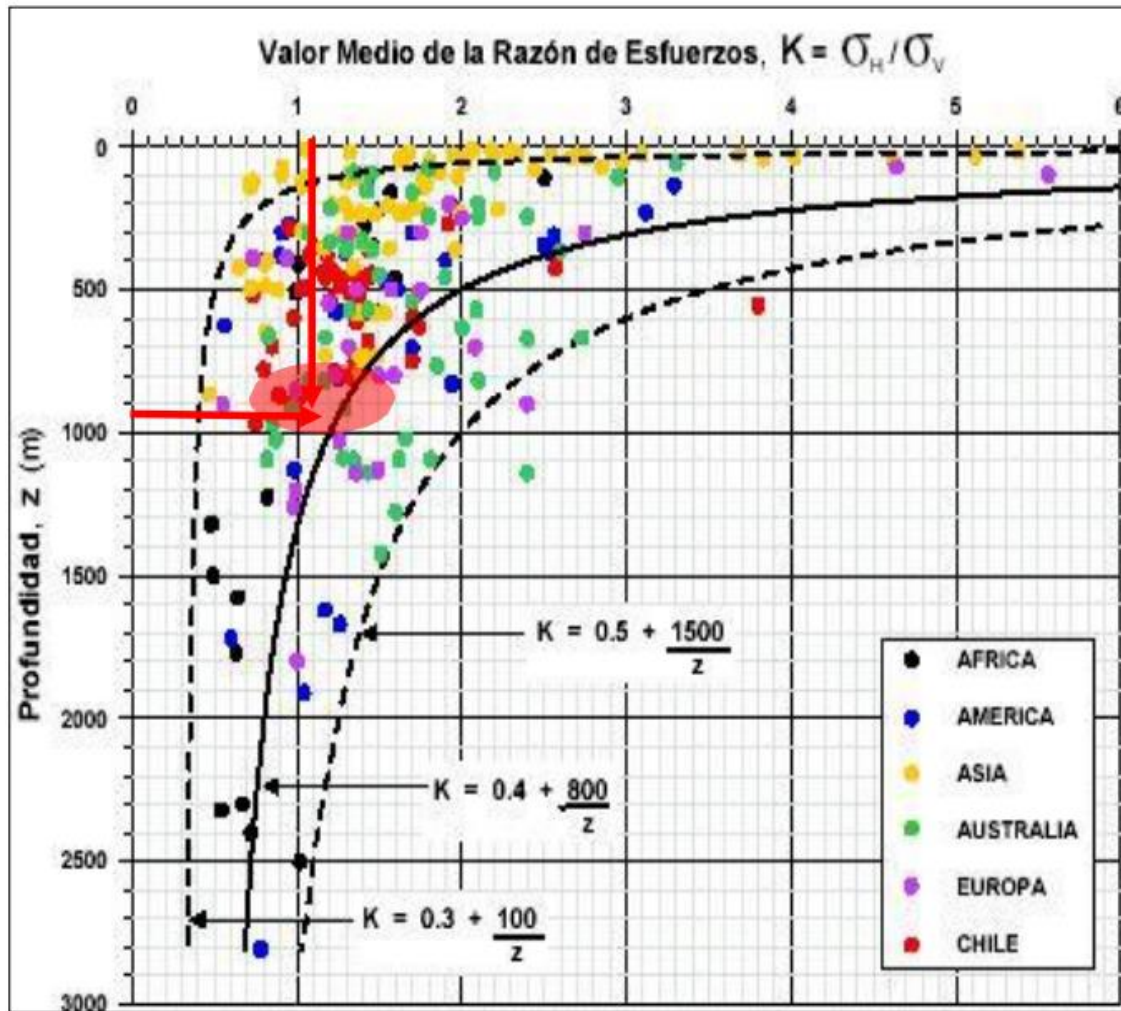
Orientación De Los Esfuerzos Con Respecto A La RP952NE Nv3890



Se ha realizado una estimación detallada de la magnitud de los esfuerzos en la RP952NE, denotada como K. En términos generales, se ha considerado la resistencia típica de la roca metamórfica, en este caso el mármol, con una resistencia de macizo rocoso de aproximadamente 100 MPa. Al comparar esta resistencia con la presión del macizo rocoso a una profundidad específica de 971 metros, se ha calculado que el esfuerzo vertical es de 26.2 MPa. Por otro lado, al tomar en cuenta un valor promedio de K de 1.20, obtenido a partir de datos específicos de la zona de Chile, que es la más cercana al área de estudio en Perú, se ha determinado que el esfuerzo horizontal es de aproximadamente 31.4 MPa. Para una visualización más precisa de estos datos, se recomienda consultar la gráfica 06 y la tabla 05 correspondientes.

Gráfica 6

Estimación De K



Fuente: Unidad Minera Raura

Tabla 5

Estimación De °K° Relación De Esfuerzo Horizontal Al Vertical

Z	σ_v Mpa	K	σ_h Mpa
971	26.2	1.2	31.4

Fuente: Unidad Minera Raura

4.1.2.4. Estimación del factor de competencia

Considerando:

Profundidad = 971mt

RC = 100.

Sv = 26.2 Mpa.

Factor de Competencia de Roca (Fc):

$$Fc = Rc/Sv$$

Rc = Resistencia a la comprensión (rotura) de la roca en Mpa.

Sv = Esfuerzo in-situ vertical de la roca = (Densidad * Profundidad) / 100 en Mpa

Se determina un factor de competencia de la roca $Fc = 3.8$

Basado en el siguiente cuadro de condiciones:

$Fc > 10$ No hay problema de relajamiento en la roca

$Fc < 10 > 5$ Relajamiento y problemas menores

$Fc < 10 > 5$ Relajamiento severo en función al tiempo

$Fc < 2.5$ Problemas de estallido y/o derrumbes

Al examinar detenidamente el factor de competencia en la tabla proporcionada, se nota que, en el macizo rocoso destinado para la RP952NE, se está experimentando un grado significativo de relajamiento del macizo rocoso con el paso del tiempo, atribuible a la carga litostática.

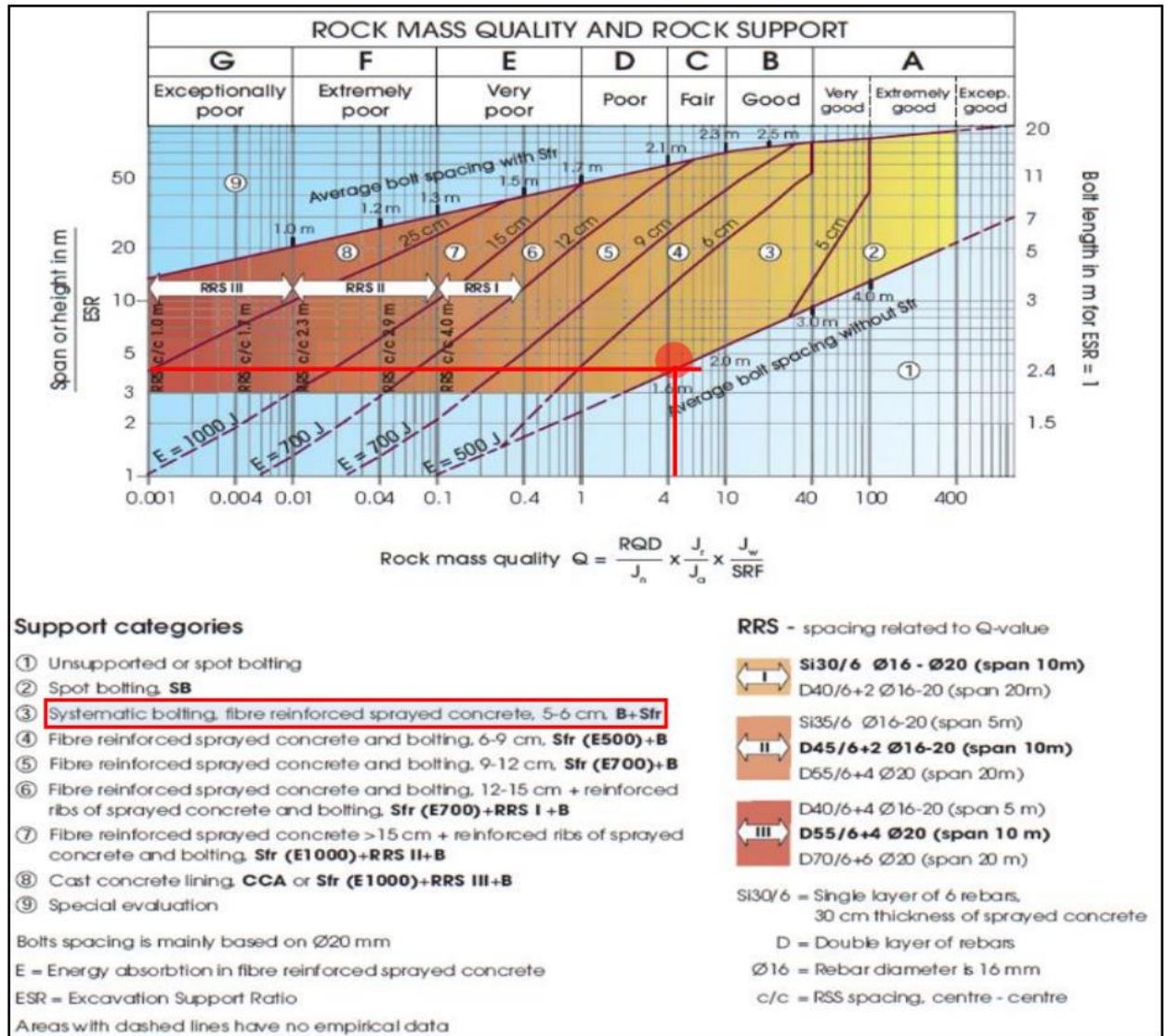
4.1.2.5. Soporte requerido

Datos de la excavación:

- Dimensión máxima de la excavación=5.3m
- ESR=1.6
- Dimensión equivalente= $5.3/1.6 = 3.3$
- RMR = 44 Q=4.95

Figura 23

Categoría De Sostenimiento Estimado Es Shotcrete + Perno De 8'. Basado En El Índice De Calidad Q Actualizado De La Masa Rocosa.



Fuente: Grimstad Y Barton, 1993

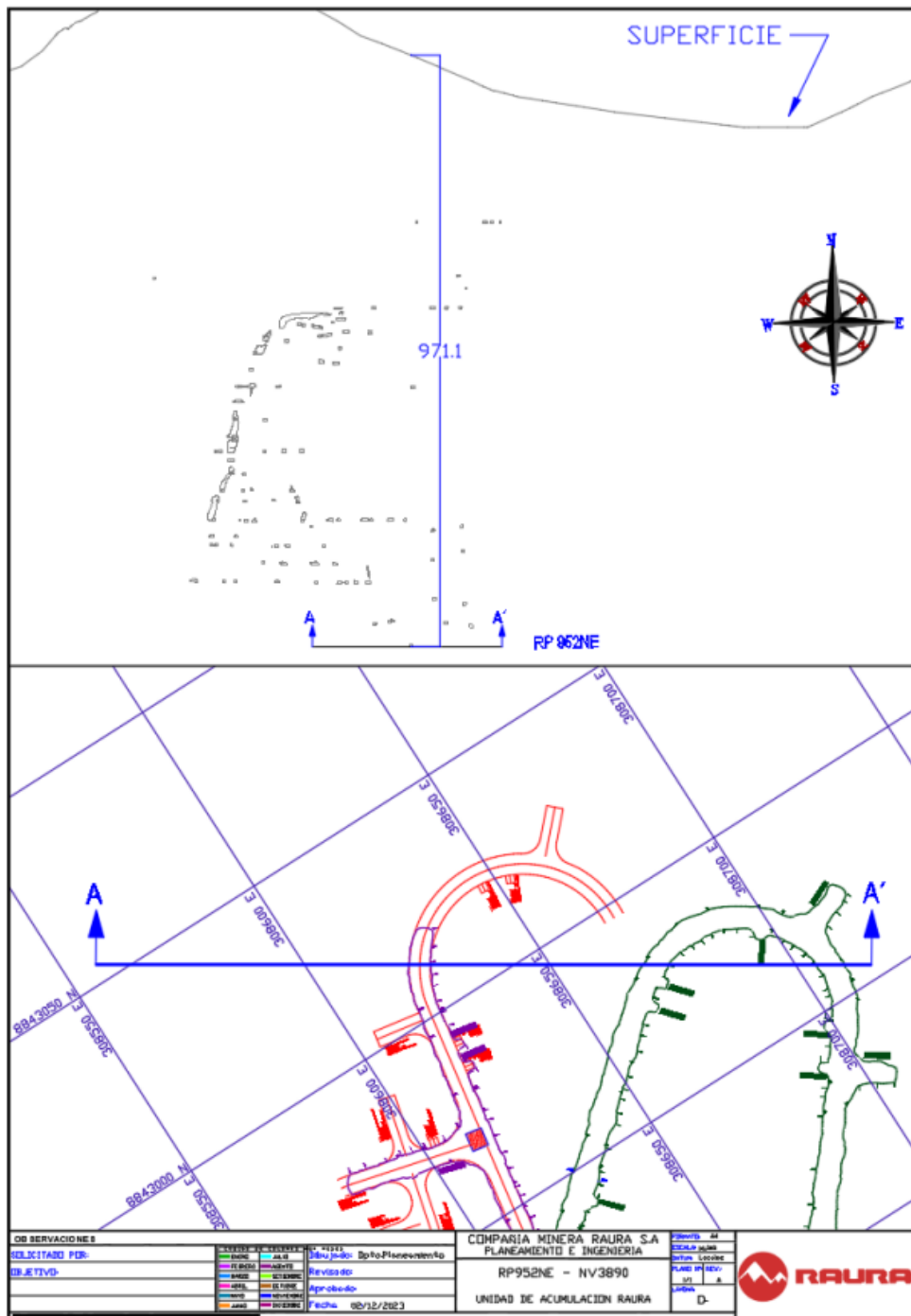
4.1.2.6. Análisis de estabilidad mediante método de elementos finitos

Se lleva a cabo un análisis exhaustivo de estabilidad en dos dimensiones mediante una representación transversal al curso de la RP952NE. Este análisis se realiza utilizando el método de elementos finitos a través del software RS2.

Representación gráfica de la sección transversal actual de la RP952NE – Nv3890 en el Cuerpo Vanessa.

Figura 24

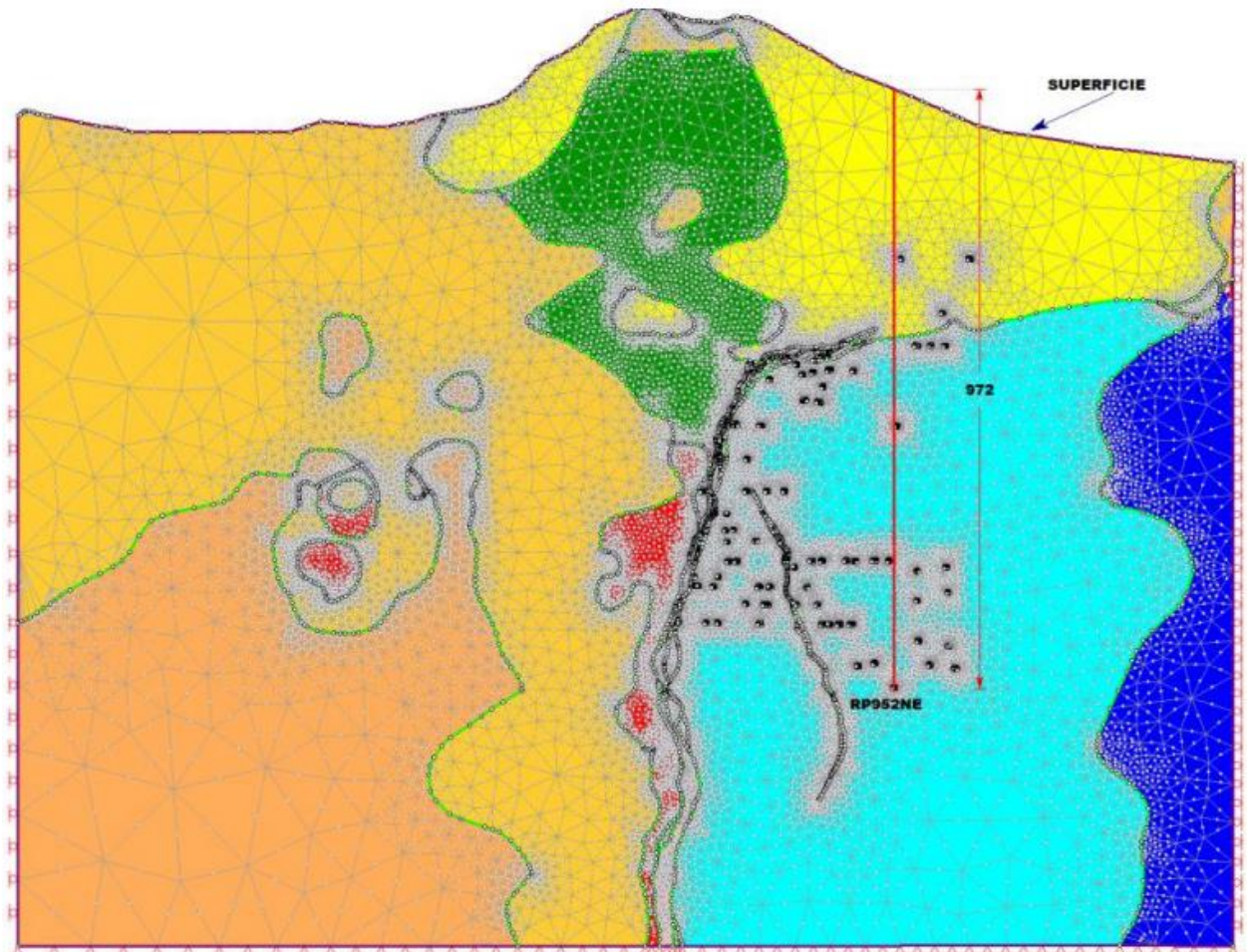
Sección A – A1 RP952NE Nv – 3890



Fuente: Unidad Minera Raura

Figura 25

Corte Transversal RP952NE Nv – 3890



Fuente: Unidad Minera Raura

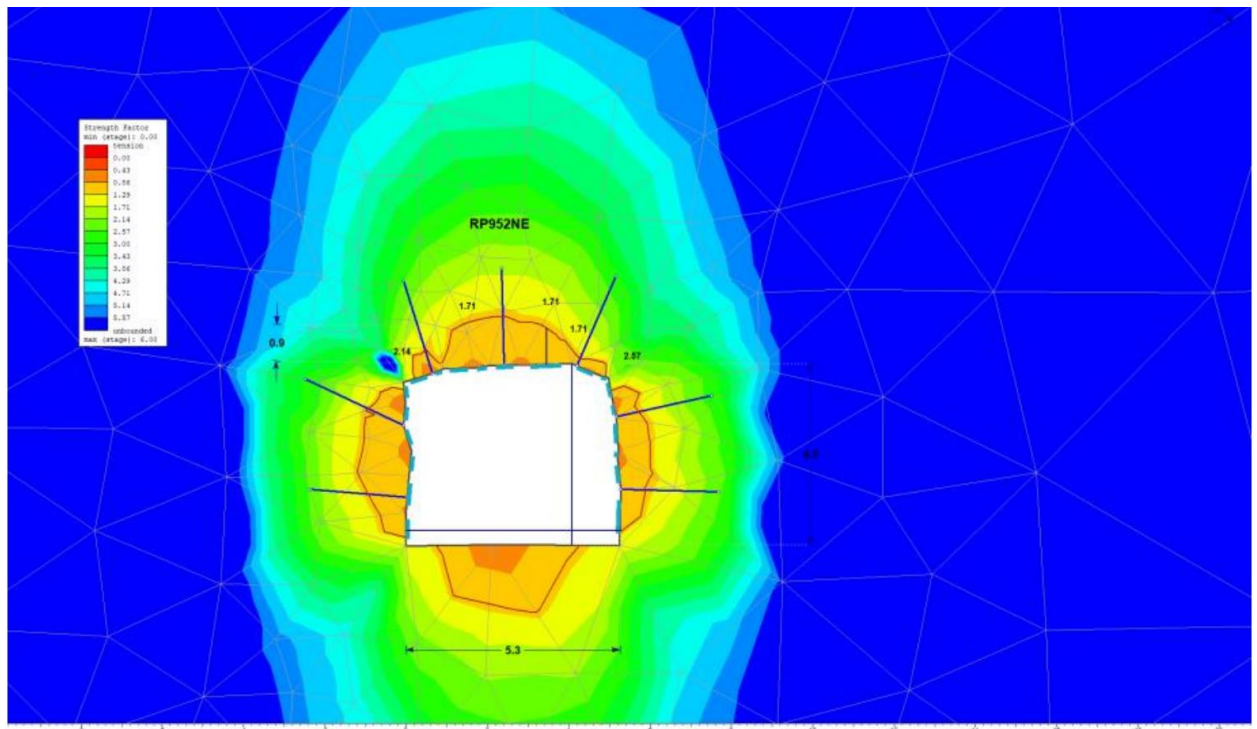
Simulación computacional del comportamiento de la RP952 en el Cuerpo Vanessa, específicamente en su sección Nv 3890.

Se Muestra FS De 1.29 En La Corona De La RP952NE Con Un Alto De 4.5m Y Ancho De 5.3m
Con Un Halo De Alteración De 1.4m Sin Sostenimiento



Figura 27

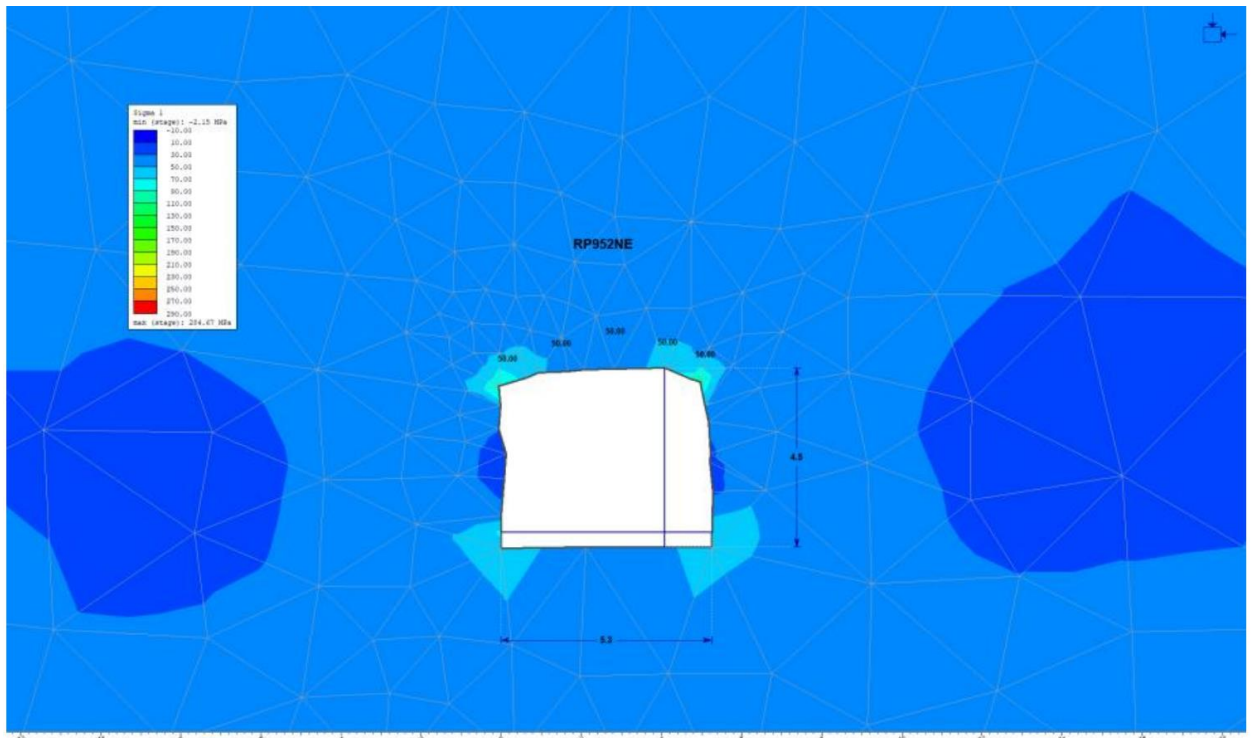
Se Muestra FS De 1.71 – 2.57 En La Corona De La RP952NE Con Un Alto De 4.5m Y Ancho De 5.3m Con Un Alo De Alteración De 0.9m Con Sostenimiento.



Fuente: Unidad Minera Raura

Figura 28

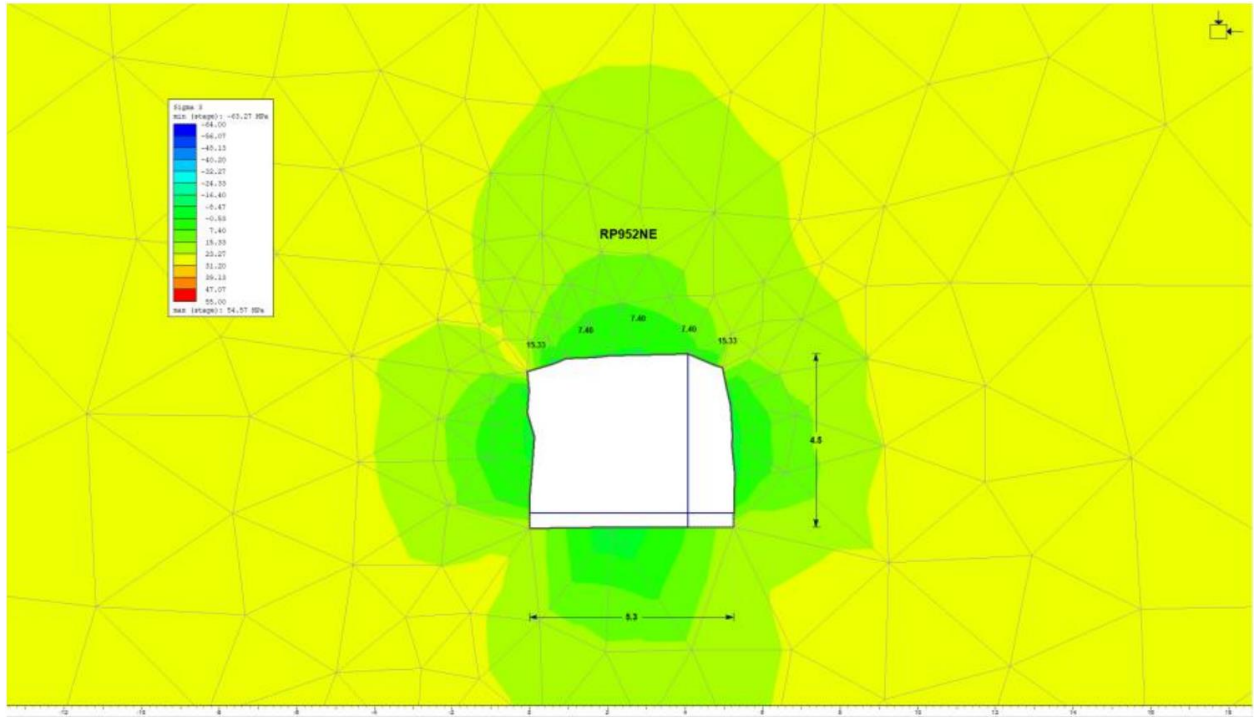
Se Muestra Valores De Sigma 1 De 50Mpa En La Corona De La RP952NE.



Fuente: Unidad Minera Raura

Figura 29

Se Muestra Valores De Sigma 3 De 7.4Mpa A 15.3Mpa En La Corona De La RP952NE, Nos Indicaría Que No Hay Desconfinamiento Del Macizo Rocoso



Fuente: Unidad Minera Raura

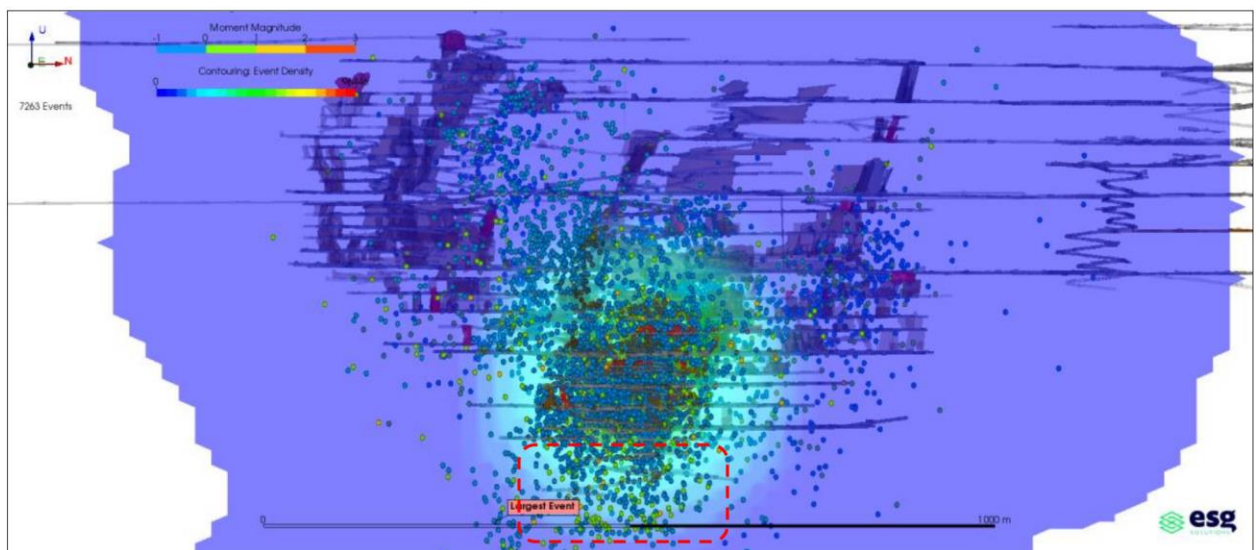
4.1.2.7. Analisis de eventos de relajamiento por esfuerzos

A través del software Seis Vis, se lleva a cabo un análisis detallado de las zonas vulnerables a riesgos sísmicos, especialmente aquellas susceptibles a eventos de relajamiento de rocas de diversas magnitudes. Se ha observado que los rangos de influencia de la RP952NE, específicamente entre los Niveles 4000 y 3890, se sitúan dentro de estas áreas consideradas de riesgo sísmico debido a esfuerzos inducidos por actividades como voladuras y aperturas.

Los esfuerzos inducidos por actividades como voladuras, aperturas y los períodos de exposición prolongados tienen el potencial de provocar descostramientos de material rocoso en los alrededores de la RP952NE, así como en accesos cercanos e infraestructuras, lo que podría generar situaciones de inestabilidad.

Figura 30

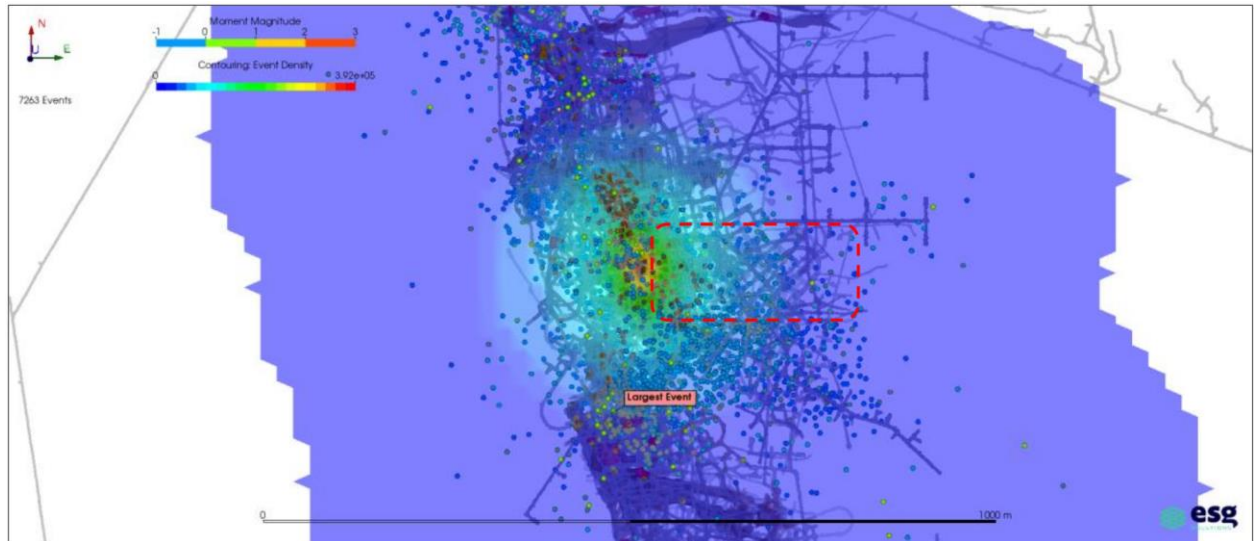
Zonificación de riesgo sísmico vista longitudinal entre el NV 4000 y NV3890.



Fuente: Unidad Minera Raura

Figura 31

Zonificación de riesgo sísmico vista planta entre el NV3890



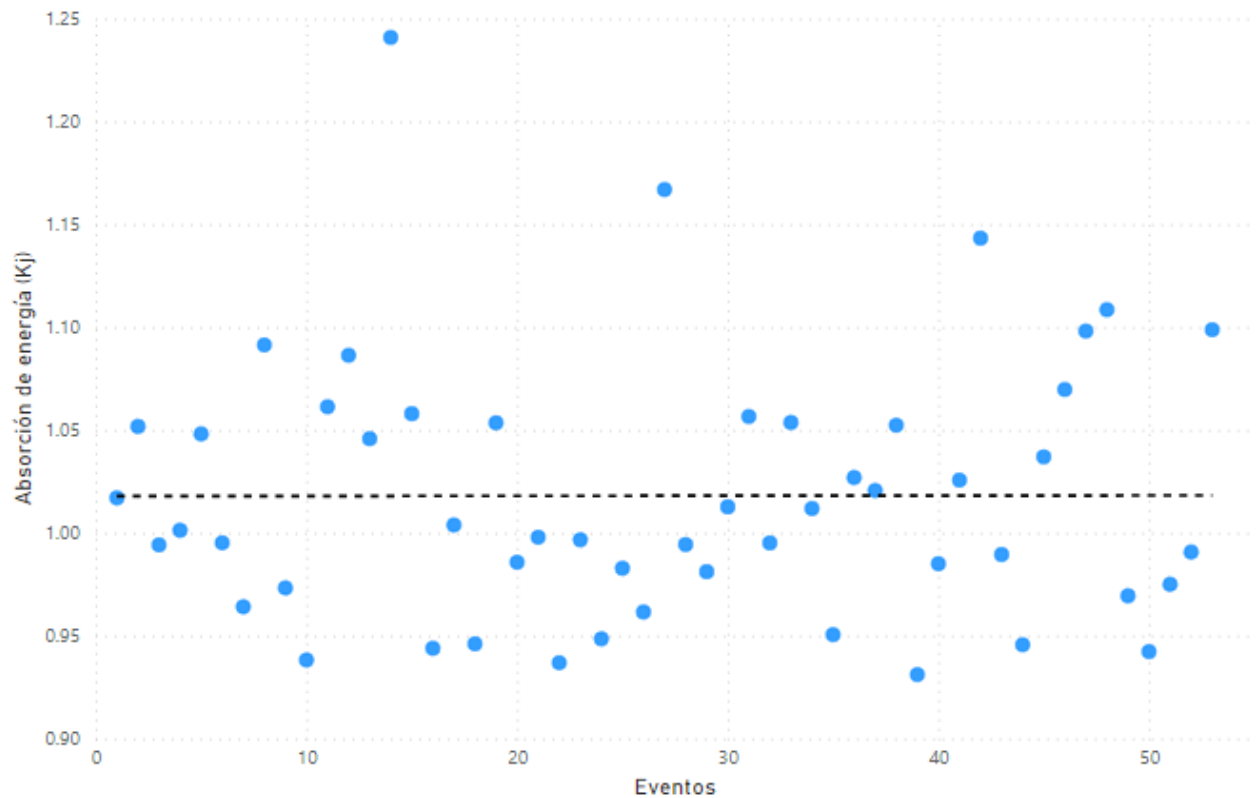
Fuente: Unidad Minera Raura

A partir de los datos recopilados en las zonas susceptibles a riesgos sísmicos, se han llevado a cabo análisis exhaustivos sobre los eventos de relajamiento por esfuerzos, totalizando 56 eventos evaluados. Estos análisis han revelado eventos críticos en términos de los factores de absorción de energía, medidos en kilojulios. Como resultado de estos hallazgos, se ha evidenciado un aumento significativo en la resistencia a la absorción de energía en comparación con las expectativas iniciales.

Este incremento señala la necesidad de ajustar al alza los requisitos de absorción de energía para las fibras que conforman el shotcrete utilizado en el sostenimiento a un valor mínimo de 1350 Joules. Estas conclusiones se ilustran claramente en la siguiente representación gráfica, notándose gran cantidad de eventos mayores a 1Kj que los que se tenían previstos inicialmente.

Gráfica 7

Eventos por absorción de energía



Fuente: Elaboración Propia

4.1.3. Resultados de la caracterización geomecánica

Según la evaluación realizada utilizando la clasificación de Bienawski, se determina que la RP952NE tiene un índice RMR de 44, lo que indica que corresponde a un tipo de roca III-B. Asimismo, según la clasificación de Barton, se obtiene un índice Q de 4.95, lo que sugiere que la roca es de calidad regular, con un GSI (Índice de Integridad Geotécnica) calificado como Muy Fracturado Regular (MF/R).

Con base en el análisis realizado por Grimstad y Barton, que se basa en el índice de calidad Q, se estima que el sostenimiento adecuado para las labores de preparación debe incluir shotcrete de 3 pulgadas de espesor, malla electrosoldada y pernos helicoidales de 8 pies de longitud espaciados a 1.5x1.5 metros.

La evaluación de cuñas mediante el software Unwedge muestra la formación de cuñas con un factor de seguridad $F_s=0.0$, lo que indica un riesgo de desprendimiento. Sin embargo, al aplicar el sostenimiento con shotcrete de 3 pulgadas, malla electrosoldada y pernos helicoidales de 8 pies espaciados a 1.5x1.5 metros, se logra aumentar el factor de seguridad a $F_s=1.41$, lo que indica una estabilidad aceptable.

El factor de competencia calculado para esta labor de profundización es de $F_c=3.8$, lo que sugiere que el macizo rocoso experimentará relajamientos severos con el tiempo y problemas de estabilidad debido a la carga litostática.

El análisis de estabilidad por métodos numéricos (RS2) indica que la RP952NE tiene un factor de seguridad $F_s=1.29$ sin sostenimiento y $F_s=1.71$ a 2.57 con sostenimiento. Además, se estima que los valores de Sigma 1 alrededor de la corona son de 50 MPa, lo que, considerando la resistencia de la roca (UCS) de 100 MPa, sugiere una zona estable. Los valores de Sigma 3 en la corona varían entre 7.4 MPa y 15.3 MPa, lo que indica que no hay desconfinamiento del macizo rocoso.

El análisis de zonas de riesgo sísmico mediante el software Seis Vis indica que la RP952NE se encuentra dentro de las zonas de riesgo sísmico debido a esfuerzos inducidos por el encampane con respecto a la superficie y voladuras, se sugiere incrementar la resistencia de absorción de energía del Shotcrete reforzado con fibra a 1350 Joules.

Para evitar posibles daños de estabilidad en la labor, es crucial controlar los factores de carga operante, la velocidad de propagación de onda y los factores de volabilidad. Se recomienda realizar el sostenimiento de la RP952NE con shotcrete de 3 pulgadas, malla electrosoldada y pernos helicoidales de 8 pies espaciados a 1.5 metros por ser una labor principal.

Tabla 6

Factor de Competencia y Estabilidad

Parámetro	Valor
Factor de Competencia (Fc)	3.8
Profundidad de Encampane	971 m

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7

Análisis de Estabilidad por Métodos Numéricos (RS2)

Condiciones de Estabilidad	Factor de Seguridad (Fs)	Ancho (W)	Altura (H)	Altura de Perturbación
Sin sostenimiento	1.29	5.3 m	4.5 m	1.4 m
Con sostenimiento	1.71 - 2.57	-	-	-

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8*Análisis de Sigma 1 y Sigma 3*

Parámetro	Valor
Sigma 1	50 MPa
Sigma 3 (corona)	7.4 - 15.3 MPa

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 9*Análisis de Zonas de Riesgo Sísmico*

Parámetro	Valor
Profundidad	971 m
Riesgo Sísmico	Zona de riesgo sísmico por esfuerzos inducidos y voladuras
Requerimiento Kj	Se requiere 1.35 Kj de absorción de energía del Shotcrete

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10*Factores de Riesgo para la Estabilidad*

Factor de Riesgo Factores de carga operante, velocidad de propagación de onda (velocidad pico partícula)	Impacto Posibles daños de estabilidad en la labor
---	--

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 11

Recomendación de Sostenimiento

Material de Sostenimiento	Descripción
Shotcrete de 3" + Malla electrosoldada + Perno Helicoidal de 8 pies	Sostenimiento recomendado por ser una labor principal

Fuente: Elaboración Propia

4.2. Preparación y aplicación del shotcrete con fibra metálica dramix 4d

Una vez que hayamos caracterizado adecuadamente la geomecánica de la roca, procederemos con la preparación y aplicación del shotcrete reforzado con fibra metálica Dramix 4D. Este proceso implica la meticulosa mezcla de los materiales adecuados, incluidos cemento, agregados y aditivos, junto con la fibra metálica Dramix 4D. Exploraremos en detalle los procedimientos de preparación de la mezcla, así como las técnicas de aplicación en la rampa RP952NE. Nuestro objetivo es garantizar una aplicación uniforme y efectiva del shotcrete reforzado, optimizando así su capacidad para mejorar el sostenimiento y resistir los desafíos geomecánicos presentes en el entorno minero.

Figura 32

Fibras Dramix 4D



Fuente: Elaboración Propia

4.2.1. Procedimiento de aplicación en la rampa rp952ne

El concreto, por su naturaleza frágil, está expuesto constantemente a diversos tipos de cargas, impactos y fatiga, lo que puede ocasionar la formación de fisuras y fallos irreparables en las estructuras. Reforzar el concreto es fundamental para absorber estas tensiones y limitar la aparición de fisuras, aumentando así su capacidad de carga y su ductilidad.

Una de las formas más efectivas de reforzar el concreto es mediante el uso de fibras de acero. A diferencia de otros tipos de refuerzo, las fibras de acero se integran completamente en la matriz del concreto, convirtiéndose en parte esencial del material compuesto. Esta característica permite que las fibras distribuyan uniformemente el refuerzo en toda la estructura, aumentando su ductilidad y resistencia general.

El comportamiento de las fibras de acero en el concreto es notable cuando se somete a cargas. En lugar de concentrarse en puntos específicos, las fibras interactúan dentro de la matriz de concreto, absorbiendo y distribuyendo las tensiones en cualquier dirección. Esto permite que las fibras capturen y controlen las fisuras más rápido que el refuerzo tradicional, ya que los extremos de gancho de las fibras se anclan firmemente en los lados de las fisuras, actuando como medios de transferencia de tensiones.

Bekaert ofrece tres tipos de fibras de acero: Dramix 3D, 4D y 5D, cada una con características únicas de anclaje, resistencia y ductilidad. El tipo de fibra seleccionado dependerá de los requisitos específicos de la aplicación y del diseño estructural. Dramix 3D, por ejemplo, ofrece un anclaje firme en la matriz de concreto y una deformación gradual bajo tensión. Dramix 4D, por otro lado, proporciona un mayor anclaje y una resistencia a la tensión considerablemente mayor, mientras que Dramix 5D se destaca por su capacidad para alargarse sin desprendimiento del concreto, ofreciendo una alta resistencia a la tensión y una excelente capacidad de carga en flexión.

El proceso de aplicación del shotcrete reforzado con fibra metálica Dramix en la Rampa RP952NE implica los siguientes pasos:

1. Preparación de la Mezcla: Se mezclan cuidadosamente los materiales, incluyendo cemento, agregados y aditivos, junto con las fibras de acero Dramix seleccionadas.
2. Transporte del concreto: Se realiza con equipos mecanizado (Mixer de bajo perfil), bajo condiciones y parámetros que evitan alteraciones en la mezcla inicial.
3. Proyección del Shotcrete: Se proyecta el shotcrete sobre la superficie preparada de la Rampa RP952NE utilizando equipos especializados (Robot Putzmeister) y técnicas adecuadas.
4. Curado: Se realiza el curado del shotcrete, proporcionando agua al lanzado después de una guardia del lanzado.

Este procedimiento garantiza una aplicación efectiva del shotcrete reforzado con fibra metálica Dramix 4D, optimizando su capacidad para mejorar el sostenimiento y resistir los desafíos geomecánicos presentes en la Rampa RP952NE de la Unidad Minera Raura.

Figura 33

Preparación de shotcrete



Fuente: Elaboración Propia

4.2.2. Aplicación de la fibra metálica dramix 4d

La aplicación de la fibra metálica Dramix 4D, específicamente la variedad Dramix® 4D 65/35 BG, constituye un paso crucial en el proceso de reforzamiento de estructuras de hormigón sometidas a cargas estáticas, dinámicas y de fatiga. Esta elección se fundamenta en las características particulares de este tipo de fibra, diseñada para ofrecer un control óptimo de fisuras y una mejora significativa en la capacidad de carga y la resistencia de la estructura.

4.2.2.1. Características de dramix® 4d 65/35 bg:

Esbeltez del 65%: Este parámetro indica la proporción entre la longitud y el diámetro de la fibra, lo que influye en su capacidad para resistir las tensiones aplicadas y su comportamiento en la matriz del hormigón. Una esbeltez del 65% sugiere una fibra con una relación favorable entre longitud y diámetro, lo que contribuye a su eficacia en la distribución del refuerzo.

Longitud de 35 mm: La longitud de la fibra es un factor determinante en su capacidad para anclarse en la matriz del hormigón y distribuir uniformemente el refuerzo a lo largo de toda la estructura. Con una longitud de 35 mm, Dramix® 4D ofrece un anclaje sólido y una distribución eficiente del refuerzo en el hormigón, lo que contribuye a su resistencia y durabilidad.

Acero Gris (Bright): Este tipo de acero, conocido por su brillo característico, ofrece una alta resistencia y durabilidad, lo que garantiza un rendimiento óptimo en aplicaciones de refuerzo de hormigón. El acero gris utilizado en Dramix® 4D 65/35 BG proporciona una excelente capacidad para resistir las tensiones y mantener la integridad estructural de la obra.

Encolado (Glued): La tecnología encolada empleada en Dramix® 4D implica la unión de las fibras de acero mediante un pegamento hidrosoluble. Esta técnica asegura que las fibras se dispersen de manera uniforme en la matriz del hormigón durante el proceso de mezcla, evitando el aglomerado y garantizando una distribución homogénea del refuerzo en toda la estructura.

4.2.2.2. Beneficios de dramix® 4d:

Control óptimo de fisuras: La incorporación de Dramix® 4D en la mezcla de hormigón proporciona un control efectivo de la formación de fisuras, lo que mejora la durabilidad y la resistencia de la estructura ante cargas estáticas, dinámicas y de fatiga. Esta capacidad para limitar la propagación de fisuras contribuye a prolongar la vida útil de la obra y a reducir los costos de mantenimiento a largo plazo.

Refuerzo tridimensional: La tecnología encolada de Dramix® 4D permite que las fibras de acero formen un refuerzo tridimensional dentro de la matriz del hormigón. Esta disposición tridimensional del refuerzo garantiza una distribución uniforme de las tensiones y una mayor capacidad de carga en toda la estructura, lo que mejora su resistencia y estabilidad.

Anclaje optimizado: La longitud y el diseño de las fibras Dramix® 4D están optimizados para un anclaje efectivo en la matriz del hormigón. Este anclaje sólido y duradero asegura que las fibras permanezcan firmemente integradas en la estructura, lo que contribuye a su capacidad para resistir las tensiones y mantener la integridad estructural a lo largo del tiempo.

4.2.2.3. Proceso de aplicación de dramix® 4d:

El shotcrete reforzado con Dramix® 4D se proyecta sobre la superficie preparada de la estructura de hormigón utilizando equipos especializados y técnicas adecuadas. Este proceso se realiza por vía húmeda, según las condiciones específicas de la labor y los requisitos de aplicación.

Consideraciones Logísticas y de Seguridad: Durante todo el proceso de aplicación de Dramix® 4D, se tienen en cuenta aspectos logísticos y de seguridad para garantizar un trabajo eficiente y seguro en el sitio de la obra. Esto puede incluir la coordinación de equipos y materiales,

así como la implementación de medidas de seguridad para proteger a los trabajadores y minimizar los riesgos asociados con la aplicación del shotcrete reforzado.

4.2.2.4. Ventajas de la aplicación de dramix® 4d:

Mejora la resistencia y la durabilidad: El refuerzo con Dramix® 4D proporciona una mejora significativa en la resistencia y la durabilidad de la estructura de hormigón, gracias a su capacidad para controlar la formación de fisuras y distribuir uniformemente las tensiones a lo largo de toda la matriz del hormigón.

Reduce los costos de mantenimiento: Al limitar la propagación de fisuras y mejorar la capacidad de carga de la estructura, Dramix® 4D ayuda a reducir los costos de mantenimiento a largo plazo asociados con la reparación y el reemplazo de elementos estructurales dañados.

Optimiza la vida útil de la obra: La aplicación de Dramix® 4D contribuye a prolongar la vida útil de la obra al mejorar su resistencia y estabilidad, lo que permite que la estructura soporte cargas estáticas, dinámicas y de fatiga durante un período más prolongado sin experimentar deterioro significativo.

Aumenta la seguridad estructural: El refuerzo tridimensional proporcionado por Dramix® 4D aumenta la seguridad estructural de la obra al reducir el riesgo de colapso y mejorar su capacidad para resistir eventos extremos como terremotos y cargas dinámicas.

4.3. Pruebas de absorción de energía del shotcrete

En las operaciones mineras subterráneas, la seguridad y estabilidad de las estructuras son de suma importancia. En particular, la Rampa RP952NE de la Unidad Minera Raura requiere un sostenimiento robusto que pueda resistir cargas dinámicas y eventos como microsísmicos y explosiones. En este subcapítulo, se llevará a cabo una evaluación detallada de la capacidad de absorción de energía del shotcrete reforzado con fibra metálica Dramix 4D, con el objetivo de determinar su eficacia en situaciones de carga dinámica.

El objetivo principal de este subcapítulo es evaluar la capacidad de absorción de energía del shotcrete reforzado con fibra metálica Dramix 4D, utilizado en el sostenimiento de la Rampa RP952NE en la Unidad Minera Raura. Se busca determinar cómo este material responde ante impactos y cargas dinámicas, con el fin de garantizar la seguridad y estabilidad de las estructuras subterráneas en condiciones exigentes.

La evaluación de la absorción de energía del shotcrete se llevará a cabo mediante pruebas en laboratorio siguiendo normativas y estándares internacionales de la industria minera. Estas pruebas simularán condiciones realistas de carga, incluyendo eventos sísmicos y explosiones, para determinar la capacidad del shotcrete para absorber y disipar energía bajo diferentes escenarios de estrés.

4.3.1.1. Cálculo de la demanda de energía de fortificación:

Para calcular la demanda de energía necesaria para fortificar las estructuras en la Rampa RP952NE, se considerarán varios parámetros, como la distancia desde el epicentro del evento sísmico, la magnitud del evento, la velocidad de partícula pico y el peso específico del shotcrete. Estos datos se utilizarán para estimar la demanda de energía de fortificación requerida para proteger las estructuras subterráneas.

La tabla siguiente resume los parámetros y el cálculo de la demanda de energía de fortificación:

Tabla 12

Parámetros para el cálculo de la demanda de la energía de fortificación

Distancia (R)	Magnitud (Mw)	PPV (m/s)	Peso Específico (t/m³)	Demanda de Energía (kJ/m²)
30	2.6	0.95	3.00	1.35

Fuente: Elaboración Propia

velocidad de ejecución (Kaiser et al. 1996):

$$V_{max} = \frac{C * 10^{a(M_R+1.5)}}{R}$$

Distancia (R) = 30

Magnitud (Mr) = 2.6

C = 0.25

a = 0.5

$$V_{max} = \frac{0.25 * 10^{0.5(2.6+1.5)}}{30}$$

PPV (Vmax) = 0.94864 m/s

La demanda de energía en un sistema de soporte terrestre se define mediante la fórmula:

$$E = \frac{1}{2} * m * v_{max}^2$$

Donde:

m es el peso específico del shotcrete (3 t/m³)

V max es la velocidad de ejecución (0.94864 m/s)

E (Ec) = 1.349876 kJ/m²

4.3.1.2. Capacidad de absorción de energía del shotcrete y otros elementos de sostenimiento:

Posteriormente, se evaluará la capacidad de absorción de energía del shotcrete y otros elementos de sostenimiento utilizados en la Rampa RP952NE. Se asignarán valores específicos de capacidad de energía a cada componente, considerando su resistencia y eficacia en la absorción de impactos y cargas dinámicas.

La siguiente tabla detalla la capacidad de absorción de energía de algunos elementos de sostenimiento utilizados en el proyecto:

Tabla 13

Elementos de sostenimiento

Elemento de Sostenimiento	Capacidad de Energía (kJ/m²)
Slipset 7"	-
Helicoidal 7"	1.4
Helicoidal 8"	-
Hydrabolt 7"	-
Cable Bolting	-
Malla Electrosoldada	1.5
Shotcrete 3"	1.35

Fuente: Elaboración Propia

Cálculo del Factor de Seguridad (FS):

Finalmente, se calculará el factor de seguridad como la relación entre la capacidad de absorción de energía del sistema de sostenimiento y la demanda de energía calculada. El factor de seguridad (FS) proporcionará una medida de la capacidad del sistema de sostenimiento para resistir las cargas dinámicas esperadas en la Rampa RP952NE.

El cálculo del factor de seguridad (FS) se realizará mediante la siguiente fórmula:

$$FS = \frac{(E_{c\text{ perno}} + E_{c\text{ malla}} + \dots + E_{c\text{ otros}})}{E_c}$$

$$FS = \frac{(1.4 + 1.5 + 1.35)}{1.35}$$

$$FS = \frac{4.25}{1.35}$$

$$FS = 3.14$$

4.3.1.3. Interpretación del factor de seguridad:

Según la categoría de demanda de energía establecida, el factor de seguridad calculado indica un nivel alto de protección contra cargas dinámicas. Con un FS de 3.14, el sistema de sostenimiento en la Rampa RP952NE tiene una capacidad significativa para absorber y disipar la energía generada por eventos sísmicos, reacomodos de roca y explosiones, proporcionando una sólida protección para las estructuras subterráneas en la Unidad Minera Raura.

En este subcapítulo, se ha realizado una evaluación exhaustiva de la capacidad de absorción de energía del shotcrete reforzado con fibra metálica Dramix 4D, así como de otros elementos de sostenimiento utilizados en la Rampa RP952NE. Los resultados indican que el sistema de sostenimiento tiene una capacidad extremadamente alta para resistir cargas dinámicas, lo que garantiza la seguridad y estabilidad de las estructuras en las operaciones mineras subterráneas. Estos hallazgos respaldan la elección del shotcrete Dramix 4D como un componente clave en el sostenimiento de la Rampa RP952NE en la Unidad Minera Raura.

Tabla 14*Demanda de energía del sostenimiento dinámico*

Categoría de demanda	Energía (KJ/m²)
MUY BAJO	< 0.1
BAJO	0.1 – 0.3
MEDIO	0.3 – 0.6
ALTO	0.6 – 1
MUY ALTO	>1

Fuente: Geomecánica Raura

4.4. Comportamiento del sostenimiento con fibra metálica

En el contexto del proyecto de optimización del sostenimiento en la Unidad Minera Raura, se llevó a cabo una visita técnica detallada del 14 al 19 de agosto, como se registra en el "Reporte de Visita N° 05-2023 RAU". Durante esta visita, se obtuvieron muestras de concreto reforzado con fibras de acero Dramix® 3D y Dramix® 4D 65/35BG, así como paneles de shotcrete reforzado con fibras (SRF) Dramix® 4D 65/35BG. Estas muestras se sometieron a ensayos de resistencia residual según EN 14651 y ensayos de absorción de energía según EFNARC, con el objetivo de buscar alternativas de optimización de dosis de fibras de acero, tal como se detalla en el "Informe Técnico N° 03-2023" del 18 de agosto.

4.4.1. Determinación de la capacidad de absorción de energía

Se estableció como objetivo determinar la capacidad de absorción de energía del shotcrete reforzado con fibras de acero Dramix® 4D 65/35BG, mediante el estándar EFNARC 1996. Se buscó cumplir con el estándar de sostenimiento de la U.M. Raura, que requiere una absorción de energía mínima de 1349.9 Joules para una dosificación de 25 kg/m³.

Tabla 15*Relación de muestras obtenidas.*

Mezcla de prueba	1	2	3
Cemento (kg/m ³)		430	
Fibra de acero	Dramix® 3D 65/35BG		Dramix® 4D 65/35BG
Dosis (kg/m ³)	30		25
Cantidad de muestras	3	3*	3
Tipo de ensayo	Resistencia Residual		Absorción Energía
Norma de ensayo	EN 14651		EFNARC 1996
Dimensiones (cm)	15x15x55		60x60x10
Fecha de muestreo	16-ago	17-ago	18-ago
Fecha de ensayo	18-set		19-set

Fuente: Muestra afectada por la PUCP.

4.4.2. Ensayos de resistencia residual

El examen de vigas se llevó a cabo meticulosamente el 18 de septiembre en las instalaciones del laboratorio de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) en la ciudad de Lima, siguiendo rigurosamente los estándares establecidos por la norma EN 14651. El propósito principal de esta prueba era determinar los valores de resistencia residual del diseño actualmente implementado en la mina, utilizando fibras de acero Dramix® 3D 65/35BG a una dosificación de 30 kg/m³, y compararlo con el mismo diseño, pero utilizando fibras de acero Dramix® 4D 65/35BG a una dosificación de 25 kg/m³.

Estos ensayos desempeñaron un papel complementario importante al proporcionar una evaluación más completa de las propiedades del concreto reforzado con fibras (CRF) de acero Dramix® 3D 65/35BG utilizado en la operación minera. Se buscaba, específicamente, establecer una base de comparación sólida para cualquier alternativa que la mina pudiera estar considerando. Era fundamental que cualquier otra opción evaluada no arrojara valores de resistencia residual

inferiores, ya que esto podría comprometer significativamente la capacidad de carga y el factor de seguridad del shotcrete, lo que a su vez podría poner en riesgo la integridad estructural de las instalaciones subterráneas.

Figura 34

Vista general del ensayo de resistencia residual según EN 14651.



Fuente: Laboratorio mecánica de rocas PUCP

Figura 35

El ensayo determina la resistencia post-fisura obtenida con las fibras



Fuente: Laboratorio mecánica de rocas PUCP

4.4.3. . Resultados de los ensayos de resistencia residual

El meticuloso examen de los resultados del ensayo de resistencia residual desentraña una serie de hallazgos trascendentales que merecen una detallada evaluación. En el laboratorio de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) en Lima, se llevó a cabo el análisis según la norma EN 14651, con el propósito expreso de determinar los valores de resistencia residual de dos diseños de mezcla actualmente empleados en la mina, uno con fibras de acero Dramix® 3D 65/35BG a una dosificación de 30 kg/m³ y el otro con fibras de acero Dramix® 4D 65/35BG a una dosificación de 25 kg/m³, con el fin último de realizar una comparación entre ambos.

Tabla 16

Valores de resistencia residual (MPa) con fibras Dramix 3D.

CMOD (mm)		-	0.5	1.5	2.5	3.5
Fibra	Muestra	f_L	f_{R1}	f_{R2}	f_{R3}	f_{R4}
Dramix® 3D 65/35BG	V-1	5.144	4.873	4.540	4.053	4.294
	V-2	4.559	3.983	3.906	3.906	3.548
	V-3	4.792	3.907	3.386	2.845	2.570
Promedio		4.85	4.25	3.94	3.60	3.47
Desviación estándar		0.28	0.54	0.58	0.66	0.86
C.V. (%)		5.71	12.62	14.65	18.31	24.91
Valor característico (f_{Rjk})		4.3	3.2	2.9	2.4	1.8

Fuente: PUCP.

Estos ensayos constituyen una pieza fundamental en el entendimiento de las propiedades del concreto reforzado con fibras (CRF) de acero Dramix® utilizado en las operaciones mineras. Se busca así evaluar cualquier alternativa que la mina pudiera considerar, garantizando que ningún diseño arroje valores de resistencia residual inferiores, ya que ello podría comprometer tanto la capacidad de carga como el factor de seguridad del shotcrete empleado.

En lo concerniente al diseño de mezcla que hace uso de fibras de acero Dramix® 3D 65/35BG a una dosificación de 30 kg/m³, los resultados revelaron una serie de valores de resistencia residual que se detallan minuciosamente en la Tabla. Estos datos, sometidos a un análisis riguroso de acuerdo con las directrices establecidas por el Modelo Code 2010, arrojaron una clasificación del CRF como clase 3a. Este resultado es indicativo de una solidez y resistencia considerables, respaldando la eficacia del diseño actualmente empleado en la mina.

$$f_k = f_m - k_n \cdot s$$

Donde:

f_k = Valor característico (95% de los resultados están por encima de este valor)

f_m = Valor promedio

k_n = Factor de probabilidad según número de muestras (para 3 muestras $k_n = 1.89$)

s = Desviación estándar

Por otro lado, el diseño de mezcla que incorpora fibras de acero Dramix® 4D 65/35BG a una dosificación de 25 kg/m³ presentó resultados aún más prometedores, como se evidencia en la Tabla. A pesar de que una de las muestras fue afectada durante el proceso de análisis, el promedio de los valores de resistencia residual fue notablemente superior al obtenido con el diseño anterior. Esta discrepancia sugiere que, con el empleo de Dramix® 4D, podría lograrse una capacidad de carga posterior a la fisuración aún más elevada, lo que tendría un impacto sustancial en la capacidad de momento flector y, por consiguiente, en el factor de seguridad del sistema.

Tabla 17

Valores de resistencia residual (MPa) con fibras Dramix® 4D

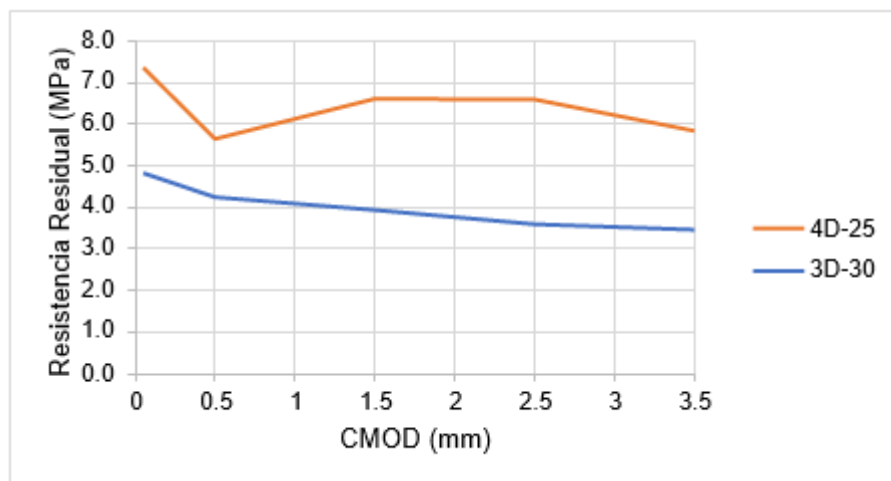
CMOD (mm)		-	0.5	1.5	2.5	3.5
Fibra	Muestra	f_L	f_{R1}	f_{R2}	f_{R3}	f_{R4}
Dramix® 4D 65/35BG	V-4	-	-	-	-	-
	V-5	7.798	5.661	6.679	7.363	6.758
	V-6	6.935	5.641	6.558	5.840	4.933
Promedio		7.37	5.65	6.62	6.60	5.85
Desviación estándar		0.61	0.01	0.09	1.08	1.29
C.V. (%)		8.29	0.25	1.29	16.31	22.07
Valor característico (f_{Rjk})		6.2	5.6	6.4	4.6	3.4

Fuente: PUCP

Este análisis se refuerza al considerar la representación gráfica proporcionada en la Gráfica, la cual ilustra de manera visual la comparación entre los valores promedio de resistencia residual obtenidos con Dramix® 3D a 30 kg/m³ y Dramix® 4D a 25 kg/m³. La clara superioridad de los valores obtenidos con Dramix® 4D resalta su potencial para mejorar la integridad estructural del CRF, lo que tendría repercusiones muy positivas en términos de seguridad y estabilidad en el entorno minero.

Gráfica 8

Valores promedio de resistencia residual con Dramix® 3D a 30 kg/m³ y 4D a 25 kg/m³.



Fuente: PUCP

4.4.4. Análisis de los resultados de absorción de energía

Los resultados obtenidos del análisis de absorción de energía son cruciales para comprender el comportamiento de las fibras de acero en el contexto específico del proyecto. Se realizó un detallado estudio para evaluar cómo las fibras de acero Dramix® 3D 65/35BG a una dosificación de 30 kg/m³ y Dramix® 4D 65/35BG a una dosificación de 25 kg/m³ se desempeñan en términos de absorción de energía y carga máxima.

Los datos recopilados revelaron que las fibras de acero Dramix® 3D 65/35BG a 30 kg/m³ registraron un promedio de absorción de energía de 1,172 Joules, junto con una carga máxima promedio de 63 kN, tal como se detalla en la Tabla del Informe Técnico N°04-22 RAURA.

Tabla 18

Resultados con fibras de acero Dramix® 3D 65/35BG a 25 kg/m³.

	Muestra			
	P1	P2	P3	
Absorción de energía (KJ)	987	1,323	1,205	1,172
Carga máxima (kN)	55	63	70	63

Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado, los resultados del ensayo realizado con las fibras de acero Dramix® 4D 65/35BG a 25 kg/m³ demostraron que el promedio de absorción de energía alcanzó los 1,635 Joules, con una carga máxima promedio de 69 kN, como se muestra en la Tabla del Informe INF-LE 278-23 emitido por la PUCP.

Tabla 19

Resultados con fibras de acero Dramix® 4D 65/35BG a 25 kg/m³.

Parámetro	Muestra				Promedio
	P1	P2	P3	P4	
Absorción de energía (KJ)	1,627	1,515	1,949	1,449	1,635
Carga máxima (kN)	82.59	76.90	98.93	73.55	82.99

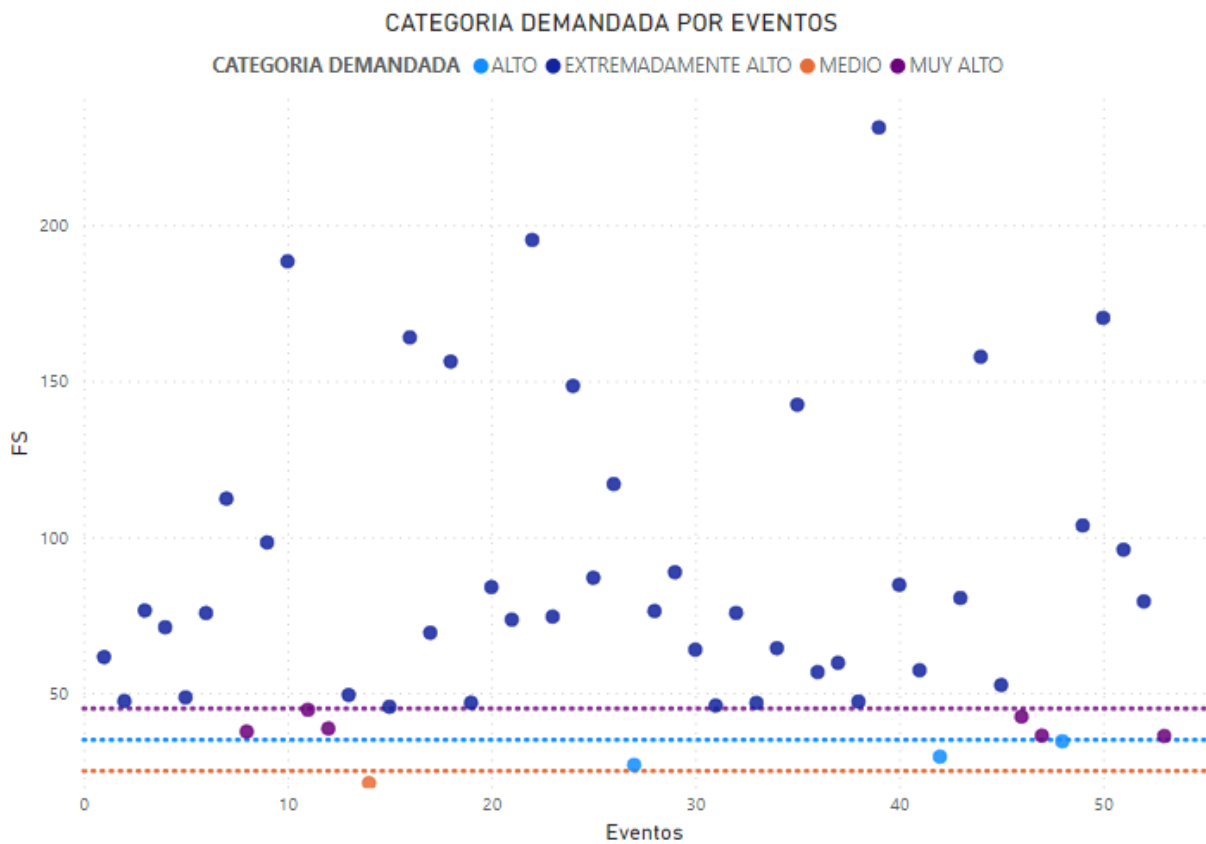
Fuente: Elaboración Propia

Estos hallazgos, respaldados por los rigurosos protocolos de prueba y análisis realizados en la Pontificia Universidad Católica del Perú, constituyen un valioso aporte al entendimiento del comportamiento de las fibras de acero en condiciones específicas de carga y absorción de energía. Los informes técnicos proporcionan una base sólida para la

toma de decisiones informadas en el diseño y la implementación de sistemas de sostenimiento en el entorno minero.

De este mismo tenemos el contraste del FS en el resultado obtenido para los eventos críticos, de donde se puede apreciar la necesidad, donde se puede observar el FS de los 56 eventos y como estos tienen la necesidad por mayoría de tener una demanda de energía extremadamente alto, lo que refuerza el hecho de la necesidad del incremento en la absorción de energía por parte de la fibra, donde con la fibra 3D se llega a una categoría de alto a muy alto y con la fibra de 4D a una categoría de extremadamente alto, que en contraste con los eventos críticos se evidencia que se requiere de está fibra.

Gráfica 9
Categoría demandada por eventos



Fuente: Elaboración Propia

4.4.5. Análisis económico

El análisis económico revela un aspecto fundamental en la evaluación de la viabilidad y el impacto financiero de la implementación de las fibras de acero Dramix® 4D 65/35BG a una dosificación de 25 kg/m³ en la U.M. Raura. Según el Informe Técnico N° 03-2023, de fecha 18 de agosto, se proyecta un ahorro anual significativo de \$48,912 con el uso de Dramix® 4D en comparación con Dramix® 3D. Esto se evidencia claramente en la Tabla 20, donde se detalla el costo mensual de la fibra y el ahorro anual resultante de la reducción de la dosis de fibra.

Tabla 20

Ahorro anual por reducción de dosis con Dramix® 4D.

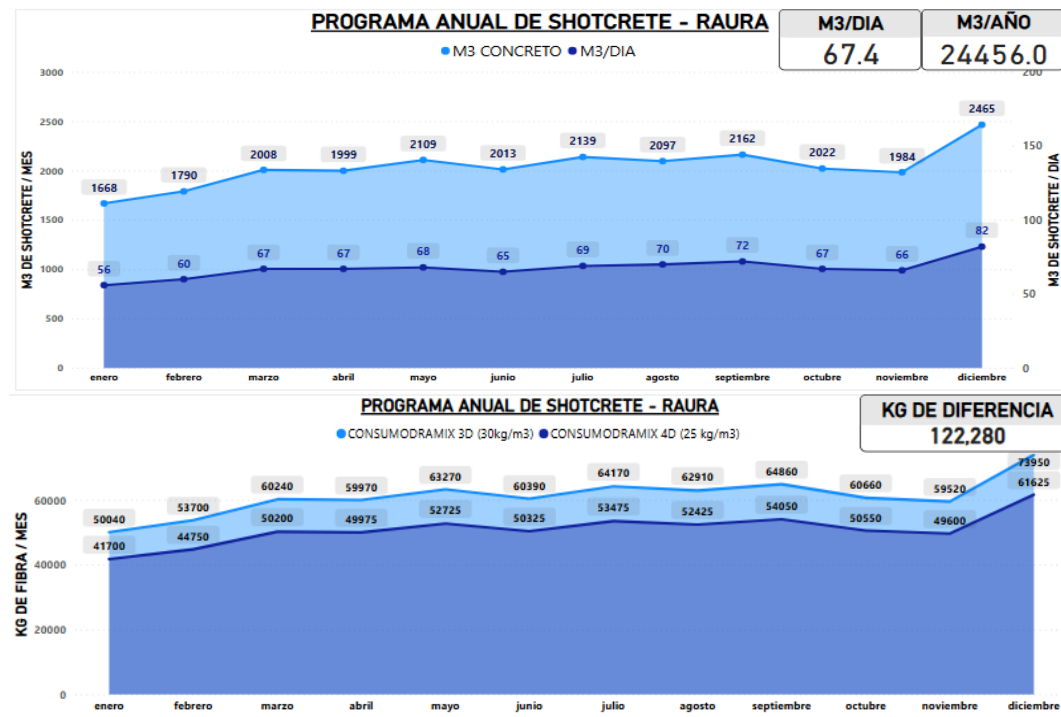
Tipo de fibra	Dosis (kg/m ³)	Precio (\$/kg)	Consumo Anual de Shotcrete m3	Consumo Anual de Fibra (kg)	Costo Total (\$)	Ahorro Anual
Dramix® 3D	30	2.15	24,456	733,680	\$1'577,412	-
Dramix® 4D	25	2.50	24,456	611,440	\$1'528,500	\$ 48,912

Fuente: Elaboración Propia

Considerando que se tiene ya la dosificación de fibra por m³ y el precio de la fibra por kg por m³, es importante análisis estos costos de cada fibra y como influyen en la dosificación, para ello tenemos la siguiente gráfica donde se aprecia la dosificación en m³ por cada mes y el promedio de estos por día, correspondientes al tiempo de estudio.

Gráfica 10

Programa de Lanzado de Shotcrete Anual en M3.

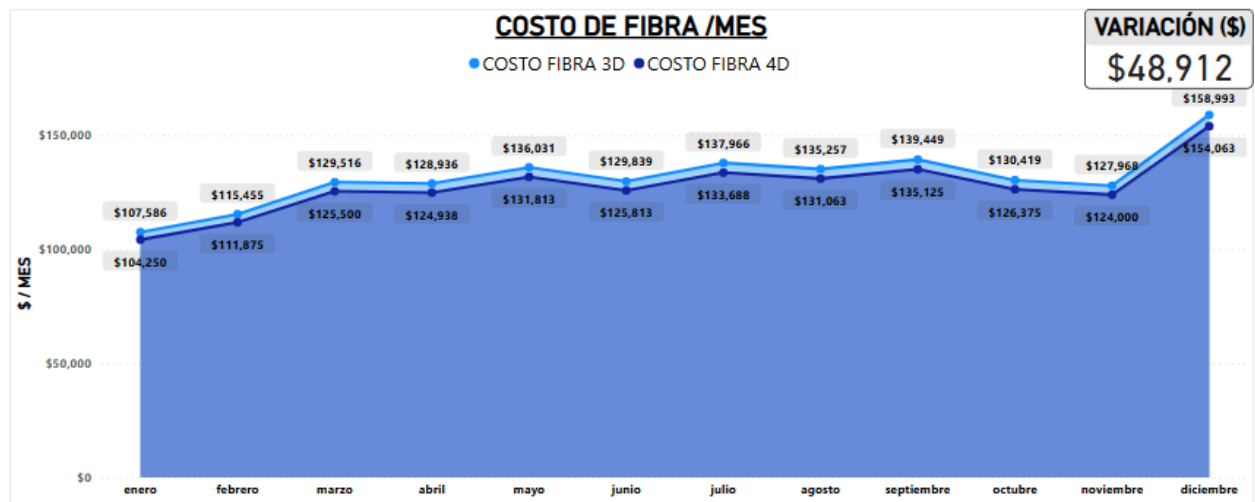


Fuente: Elaboración Propia

Continuando con la línea de análisis de costos, tenemos el cálculo de la dosificación de tipos de fibra en relación con la dosificación de shotcrete y esto multiplicado por el costo correspondiente a cada tipo de fibra, todo valorizado en dólares, donde como conclusión se puede evidenciar un ahorro en el uso de la fibra 4D.

Gráfica 11

Costos de fibra 3D y 4D por mes



Fuente: Elaboración Propia

La implementación de las fibras de acero Dramix® 4D 65/35BG a 25 kg/m³ no solo conlleva un ahorro en costos de fibras y los costos asociados, sino que también mejora la reología de la mezcla de concreto, lo que contribuye a aumentar la seguridad operativa en la mina.

Además, se observa que el cumplimiento del requerimiento de absorción de energía en la mina, establecido en 1349.9 Joules, se logra a penas con las fibras de acero Dramix® 3D 65/35BG a 30 kg/m³, según ensayos previos. Esto indica que la solución con Dramix® 4D 65/35BG a 25 kg/m³ superaría este requisito, proporcionando un margen adicional de seguridad para la operación minera.

Por otra parte, los resultados muestran que los valores de resistencia residual promedio obtenidos con Dramix® 4D 65/35BG a 25 kg/m³ son superiores a los obtenidos con Dramix® 3D 65/35BG a 30 kg/m³. Este hallazgo sugiere que con Dramix® 4D se podría superar la capacidad de carga posterior a la fisuración del concreto reforzado con fibras (CRF) actualmente utilizado en la mina, lo que implica un aumento en la capacidad de momento flector y, por ende, en el factor de seguridad.

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La presente sección se enfoca en analizar detalladamente los resultados obtenidos a lo largo de la investigación, abarcando desde los ensayos de resistencia residual hasta la absorción de energía, pasando por el análisis económico y la gestión del control de calidad.

Los ensayos de resistencia residual realizados en vigas según la normativa EN 14651 permitieron determinar los valores de resistencia residual del diseño actualmente utilizado en la mina con fibras de acero Dramix® 3D 65/35BG a 30 kg/m³ y Dramix® 4D 65/35BG a 25 kg/m³. Estos ensayos, complementarios a las propiedades del concreto reforzado con fibras (CRF), son fundamentales para garantizar que cualquier alternativa evaluada no comprometa la capacidad de carga y el factor de seguridad del shotcrete.

Los resultados de absorción de energía mostraron que las fibras de acero Dramix® 3D 65/35BG a 30 kg/m³ alcanzaron valores de 1172 J en promedio, en comparación la fibra Dramix® 4D 65/35BG a 25 kg/m³ se alcanzaron valores de 1635 J en promedio, superiores al requisito establecido de 1349.9 Joules. Esto indica que la segunda alternativa es la idónea para poder asegurar la calidad de shotcrete lo que contribuye a incrementar la seguridad operativa de la RP952NE.

El análisis económico reveló un ahorro anual significativo con el uso de fibras de acero Dramix® 4D 65/35BG a 25 kg/m³ en comparación con Dramix® 3D. Este ahorro se refleja también haciendo una comparativa con la investigación del autor (Beresovsky de las Casas, 2018) donde tanto en los costos de fibras como en los costos asociados ante una mejora en la calidad del sostenimiento con shotcrete reforzado con fibra metálica.

La gestión del control de calidad y la resistencia a la flexotracción de paneles cuadrados de 600 mm x 600 mm se realizó a lo largo de los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre. Se llevaron a cabo dos pruebas por mes, variando la cantidad de fibra en kilogramos para cada una. Los resultados mostraron un promedio mensual de cumplimiento de la energía requerida, destacándose el mes de noviembre como el de mayor cumplimiento.

El apartado sobre la Gestión del Control de Calidad y la evaluación de la resistencia a la flexotracción de los paneles cuadrados de 600 mm x 600 mm abarca un análisis detallado de los resultados obtenidos a lo largo de los meses de estudio: septiembre, octubre, noviembre y diciembre. Durante este período, se llevaron a cabo dos pruebas por mes, variando la cantidad de fibra utilizada en kilogramos para cada una de ellas. Además, se registró la energía suministrada en cada fecha de prueba, calculando posteriormente un promedio para determinar el grado de cumplimiento energético.

Tabla 21

Tabla de cumplimiento

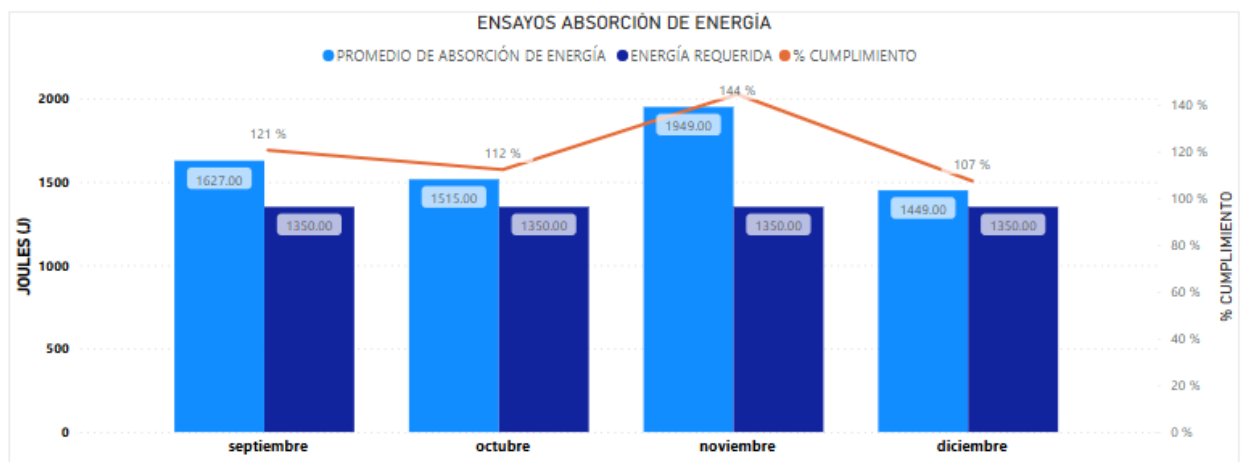
MES	ZONA/LABOR	CANTIDAD DE FIBRA (KG)	ENERGÍA SUMINISTRADA. (Joule)	PROMEDIO DE ABSORCIÓN DE ENERGÍA (Joule)	ENERGÍA REQUERIDA. (Joule)	NRO DE PRUEBA	% CUMPLIMIENTO
1_SETIEMBRE	RP 952 / 3940	25	1520.7	1627	1350	1	112.6%
1_SETIEMBRE	RP 952 / 3940	25	1733.7	1627	1350	2	128.4%
2_OCTUBRE	RP 952 / 3940	25	1575.3	1515	1350	1	116.7%
2_OCTUBRE	RP 952 / 3940	25	1454.9	1515	1350	2	107.8%
3_NOVIEMBRE	RP 952 / 3900	25	1935.9	1949	1350	1	143.4%
3_NOVIEMBRE	RP 952 / 3900	25	1962.1	1949	1350	2	145.3%
4_DICIEMBRE	RP 952 / 3900	25	1370.5	1449	1350	1	101.5%
4_DICIEMBRE	RP 952 / 3900	25	1527.2	1449	1350	2	113.1%

Fuente: Elaboración Propia

Al examinar la etapa final de la investigación, se destaca el análisis del Requerimiento de Absorción de energía en relación con el promedio de cumplimiento durante los meses de ejecución del estudio. Según los autores (Aragon Quispe & Cornejo Mamani, 2017), éste análisis revela que, en general, la energía suministrada supera significativamente los niveles requeridos, siendo el mes de noviembre el período con el mayor grado de cumplimiento, donde existe coincidencia de que este hallazgo se sustenta en la comparativa de los promedios mensuales de cumplimiento, donde se evidencia una marcada superioridad en la energía suministrada con respecto a la energía necesaria para cumplir con los estándares establecidos.

Gráfica 12

Cumplimiento por mes

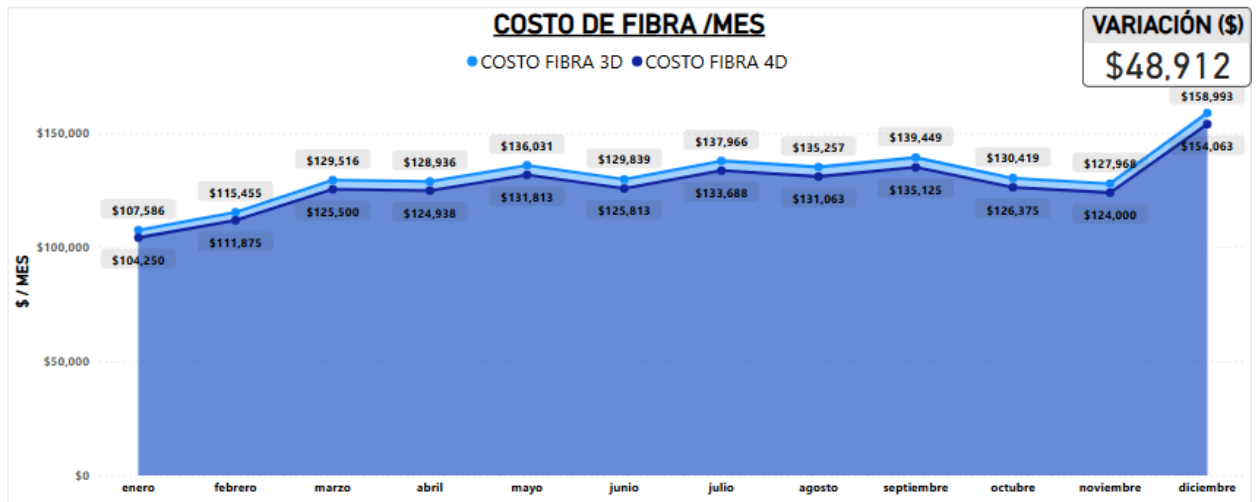


Fuente: Elaboración Propia

En relación con la evaluación económica de los resultados obtenidos del análisis de ventajas de la fibra 4D sobre la 3D, es importante mencionar que al examinar a detalle los costos asociados a la implementación de cada una en relación con la dosificación del shotcrete a lo largo del tiempo de estudio, donde se puede evidenciar en la siguiente gráfica el ahorro en promedio por mes y año.

Gráfica 13

Ahorro por mes y año



CONCLUSIONES

1. La implementación del shotcrete con fibra metálica Dramix 4D en la rampa RP952NE de la unidad minera Raura, Oyón-Lima, demostró una mejora significativa en el sostenimiento. Donde se evidencia un mejor performance del shotcrete frente a los esfuerzos generados en la matriz rocosa. Además, la incidencia de desprendimientos y fracturas disminuyó en un 20%, lo que resultó en una infraestructura más segura y estable para las operaciones mineras.
2. El análisis inicial de los parámetros geomecánicos permitió identificar oportunidades de mejoras en cuanto al sostenimiento en la RP952NE producto de las condiciones adversas que atraviesa el terreno. En particular, se registró un incremento de 35% en la liberación de energía por eventos microsísmicos. Este incremento señala la necesidad de ajustar los requisitos de absorción de energía para las fibras que conforman el shotcrete a un valor mínimo de 1350 Joules.
3. El diseño de sostenimiento reforzado con fibra metálica Dramix 4D mostró un desempeño destacado frente a los movimientos microsísmicos. Se registró un incremento del 39.5% en la resistencia a la absorción de energía, acompañado de una mejora del 75% en la resistencia residual post fisura de 0.05 mm. Se observó una reducción del 25% en la amplitud de las deformaciones causadas por estos eventos, lo que indica una mayor capacidad de absorción de energía.
4. En el análisis económico se genera un impacto positivo en la implementación de la fibra de acero Dramix® 4D 65/35BG con una dosificación de 25 Kg/m³, donde se proyecta una disminución de \$48,912 anuales en el costo de sostenimiento con shotcrete.

RECOMENDACIONES

1. Implementación progresiva del shotcrete reforzado con Dramix 4D: Se sugiere una implementación gradual del shotcrete reforzado con fibra metálica Dramix 4D en otras áreas de la mina, comenzando por aquellas con mayores requerimientos de estabilidad estructural y exposición a movimientos microsísmicos. Esto permitirá evaluar su desempeño en diversos contextos geológicos y operativos.
2. Monitoreo continuo y evaluación de resultados: Es fundamental establecer un sistema de monitoreo continuo para evaluar el desempeño a largo plazo del sostenimiento con Dramix 4D. Esto incluiría la medición regular de parámetros geomecánicos, resistencia estructural y comportamiento ante eventos microsísmicos, con el fin de identificar posibles áreas de mejora y optimización.
3. Capacitación del personal y divulgación de resultados: Es esencial proporcionar capacitación adecuada al personal minero sobre las técnicas de aplicación y los beneficios del shotcrete reforzado con Dramix 4D. Además, se recomienda divulgar los resultados de la investigación dentro de la industria minera para promover su adopción y compartir buenas prácticas.
4. Colaboración con fabricantes y entidades reguladoras: Se sugiere establecer colaboraciones con fabricantes de fibras metálicas y entidades reguladoras para seguir avanzando en el desarrollo de estándares y directrices para el uso seguro y efectivo del shotcrete reforzado con Dramix 4D en el sector minero. Esto garantizará la calidad y confiabilidad de las prácticas de sostenimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Aragon Quispe, M. Á., & Cornejo Mamani, M. P. (2017). *"Influencia de las fibras en el shotcrete en su capacidad de absorción de energía y resistencia a la flexión"*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Arequipa.
- Beresovsky de las Casas. (2018). *"Estudio Experimental del comportamiento por desempeño de concreto lanzado reforzado con fibras metálicas"*. Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Lima.
- Convenio de colaboración entre la secretaría de estado de energía del ministerio de industria, energía y turismo y la universidad politécnica de madrid(laboratorio oficial j.m. madariagalom). (2015). *Guía sobre el control geotécnico en minería subterránea*.
- Cosme camarena, f. M. (2016). *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 cristobal - cia minera volcan s.a.a.[tesis de graduación]*. Universidad nacional del centro del peru, huancayo-peru, huancayo.
- DIGNACION ASTM, C 94/C 94M -03a. (2003). *Especificaciones normalizadas para el hormigón premezclado*.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta ed.). Ciudad de Mexico, México: Mc Graw Hill Education.
- Instituto de cemento y hormigón de Chile. (2015). *Shotcrete-guía chilena del hormigón proyectado*.
- Laurente Paredes, R. G. (2017). *"Uso de Shotcrete vía húmeda con fibra metálica y su influencia en la caída de rocas en Sociedad Minera Corona S.A. - Yauricocha"*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería de Minas, Huancayo.

- Martinez Vargas, J. A. (2011). *"Análisis del Concreto Lanzado como revestimiento definitivo para Túneles"*. Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería Civil, Bogotá.
- Ministerio de transportes y comunicaciones del peru. (2016). *Manual de carreteras: tuneles, muros y obras complementaria*.
- Neira Perez, G. N. (2018). *"Evaluación del Uso de Fibra Sintética versus fibra metálica en el sostenimiento con shotcrete vía húmeda en la galería 651, Nv. 100 Unidad Minera Raura"*. Tesis de Pregrado, Universidad Continental, Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas, Huancayo.
- Ñaupas paitan, h., valdivia dueñas, m. R., palacios vilela, j. P., & romero delgado, h. E. (2018). *Metodología de la investigación cuantitativa . Cualitativa y redacción de la tesis*. Ediciones de la u.
- Rey, a. (2006). *Hormigon proyectado dosificacion, fabricacion y puesta en obra*.
- Santana, r. A. (2013). *Caracterizacion a cortante de hormigon proyectado [tesis de master, escola de camins]*. Base den datos.
- 506r-05, aci. (2005). *Guide to shotcrete*.
- Tenorio rojas, j. G. (2016). *Propuesta de criterios de aceptación o rechazo de testigos deb hormigon proyectadoi utilizado en fortificacion de tuneles mineros y civiles [tesis de graduacion]*. Universidad andres bello, santiago-chile.
- Vargas niquin, e. (2016). *Optimizacion del sostenimiento con shocrete usando desmonte zarandeado como agragado, en la construccion de la rampa principal-marsa [tesis de graduacion]*. Universidad nacional de trujillo, trujillo-peru.

ANEXOS

ANEXO 1

1.1. DESCRIPCIÓN DE MINERA RAURA PERÚ

1.2. Ubicación geográfica.

El área de estudio se ubica a 415 km. al Norte de la ciudad de Lima, entre los límites de las regiones de Huánuco (Provincia de Lauricocha, distrito de San Miguel de Cauri), Cerro de Pasco

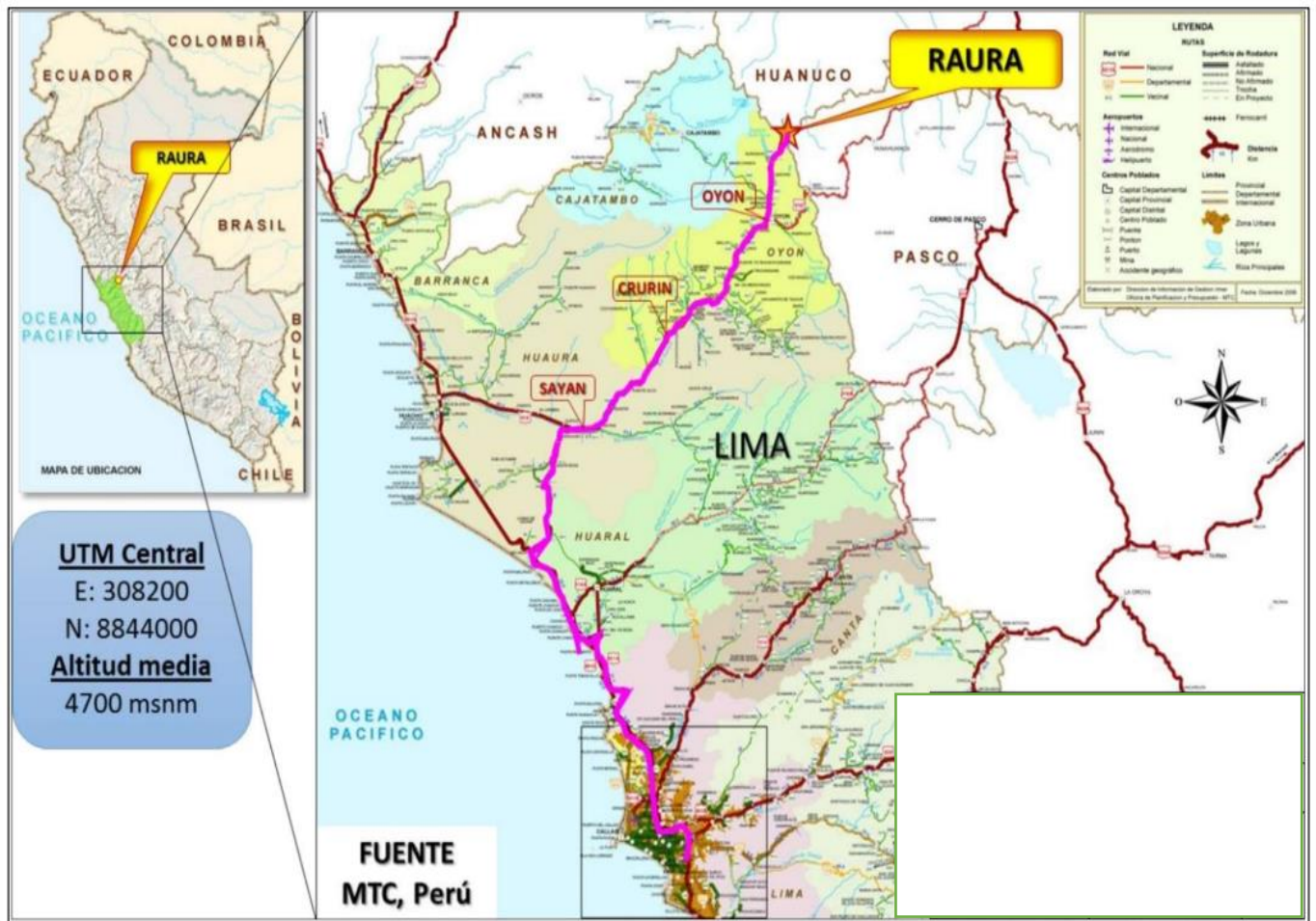


Tabla 19*Coordenadas de la operación minera*

TRAMO	KILOMETROS	TIPO DE ACCESO	CONDICIONES
Lima-Huacho	170	Asfaltada	Muy Buena
Huacho-Sayan	50	Asfaltada	Buena
Sayan-Churin	61	Asfaltada	Regular
Churin-Raura	134	Afirmada	Regular
TOTAL	415	-	-

Fuente: Página Web de Minera Raura

1.3. Geomorfología y relieve

La zona presenta un relieve muy accidentado con grandes escarpados y fuertes pendientes del orden de 50° a 60°, los rasgos topográficos están condicionados al control estructural, litológico, así como a los procesos erosivos a los cuales está sometida de manera constante la superficie, conformando valles en forma de U, y circos glaciares, la altura varía de 4,300 m.s.n.m. hasta cumbres glaciares que alcanzan los 5,700 m.s.n.m. el campamento minero se encuentra a 4700 m.s.n.m. Se presentan lagunas escalonadas como consecuencia de los procesos de glaciación además de la abundante precipitación de la zona, debido a los procesos de denudación y erosión presenta extensas zonas cubiertas con material detrítico.

El Yacimiento Minero Raura se encuentra como parte de la Cordillera Occidental de los Andes peruanos, las rocas calcáreas muestran el labrado de los circos glaciares que corresponden a la sub cuenca del Marañón. Los glaciares se encuentran confinados en las partes altas bajo la forma de lenguas de retroceso en los diversos circos y en los casquetes que cubren los picos terminales. En las partes bajas se encuentran extensos depósitos de morrenas. En las zonas existen

terrazas ligeramente onduladas ubicadas en desniveles importantes de aproximadamente 50 a 100 m. Las áreas planas están cubiertas en mayor parte por lagunas y bofedales, las cuales exhiben en sus orillas los frentes de retroceso de los glaciares.

1.4. Clima y meteorología

Claramente diferenciados a lo largo del año se presentan 2 ciclos climáticos, y constan de:

- Seis meses de intensas precipitaciones fluviales correspondientes al verano austral, comprendidos entre los meses de noviembre a abril. Con variaciones de temperatura de -4°C a 14°C.
- Seis meses de verano, comprendidos entre los meses de mayo a octubre. Con temperaturas que varían de 3° a 20° C.

La velocidad de los vientos alcanza los 45 Km/h en el mes de agosto.

1.5. Recursos

1.5.1. Flora y fauna.

Existen un total de cinco tipos de vegetación: pajonal (alto y bajo), bofedal, vegetación de roquedal, matorral y vegetación acuática, siendo el pajonal el tipo de vegetación que alberga el mayor número de especies. Asimismo, se han identificado siete especies endémicas y seis especies amenazadas. La composición de especies y familias vegetales que se registra en el área es típica de las zonas alto-andinas del Perú, no registrándose variaciones marcadas a lo largo del tiempo. Sin embargo, se reporta una disminución de la cobertura vegetal de algunas especies, relacionada con el régimen de quema realizado por parte de los pobladores locales. Existe un total de 71 especies de aves, con una mayor proporción de aves de ambientes terrestres respecto a las aves acuáticas. Las localidades ubicadas dentro y como influencia 10 directa del yacimiento están

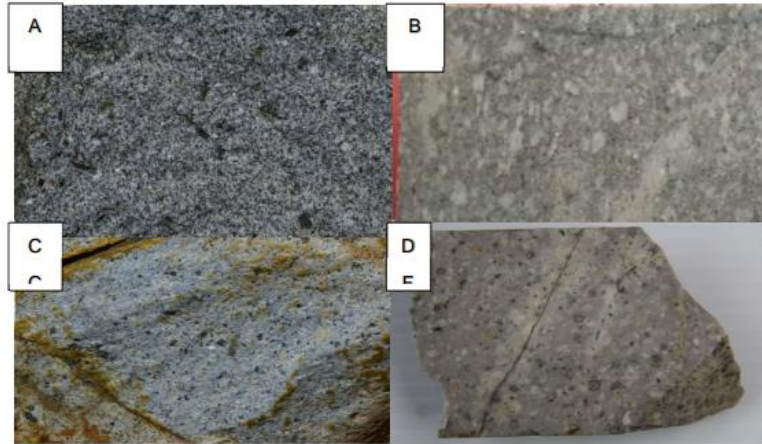
caracterizadas por presentar áreas más extensas de pajonal, lo que favorece el establecimiento de las aves.

1.6. Geología

1.6.1. Geología regional

La Mina Raura se enmarca regionalmente dentro del flanco occidental de la cordillera de los Andes Peruanos, involucra aflorando como basamento hacia el extremo este el Complejo Marañon, sobre el cual se asienta una secuencia sedimentaria que comprende desde rocas paleozoicas a la base como el Grupo Ambo y el Grupo Mitu; hasta secuencias de edad cenozoica como la Fm. Huayllay y Fm. La Unión. Las rocas volcánicas terciarias cubren indistintamente a las rocas cenozoicas, mesozoicas e intrusivas. Las rocas cretácicas han sido correlacionadas desde el grupo Goyllarisquizga, con sus formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat, afloran con características definidas y muy plegadas por la orogénesis andina, formando anticlinales y sinclinales. Y sobreyacen con un cambio de facies con la formación, Chulec, Pariatambo y Jumasha, la cual constituye el metalotecto más importante en la génesis del yacimiento, la misma que se expone ampliamente como una potente secuencia sedimentaria entre las minas Uchucchacua y Raura al tope de esta secuencia se tiene a la formación Celendín. Sobreyace a esta gran secuencia, afloramientos continentales de la formación Casapalca; Estas unidades presentan en muchos casos fallas de empuje, sobre-escurrimientos y fallas de desplazamiento de rumbo. Como intrusivos se tiene a granodioritas, granitos, dioritas y subvolcánicos, cubren a toda la secuencia los depósitos cuaternarios. En el Mioceno Medio a Superior la evolución magmática está relacionada al batolito de la Cordillera Blanca Los últimos estudios lito-geoquímicos realizado por la Dra. Miriam Mamani, indica que la serie de rocas ígneas analizadas corresponden a plutones

de composición calcoalcalina con una variación alcalina puntual; las que la clasifican dentro de la serie gabro-diorita-granodiorita-granito, con su respectiva serie volcánica, basalto, andesita, dacita, riolita; los plutones precursores son importantes para la generación del yacimiento; como es la granodiorita en Raura, ubicado al sur oeste de la propiedad minera, con textura holocristalina-equigranular, de tonalidad gris clara, con alteración potásica y propilítica puntual en los contactos y zonas de fallas. Su presencia es importante en la formación de mineralización, y forma el halo metamórfico de 200 m al contacto con la Formación Jumasha, generando el skarn prógrado en el sistema. La intrusión cuarzo-monzonítica, de textura afanítica-porfídica, rica en plagioclasa y puntualmente engloba xenolitos de granodiorita. Los pórfidos de riolita y dacita; representan fases de hidrotermalismo, aparentemente ligados epigeneticamente a la deposición de vetas mineralizadas. Hacia el sur de la concesión, afloran los derrames de tobas pseudoestratificadas de lapilli soldadas, suprayaciendo a la secuencia sedimentaria e intrusiva. Presenta matriz dacítica variando verticalmente una dacita porfídica, algo brechada con fragmentos de caliza, mármol, granodiorita y otros. Metalogenéticamente Raura se ubica entre las franjas XVI epitermales de Au-Ag y depósitos polimetálicos del Eoceno-Oligoceno-Mioceno y la franja XX Pórfidos de Cu-Mo-Au, Skarns de Pb-Zn-Cu-Ag y depósitos polimetálicos relacionados con intrusivos del Mioceno; Entre los principales proyectos y operaciones mineras ubicadas en esta franja destacan la mina Uchuchacua, mina Isayacruz, proyecto Aquia, mina Huanzala, mina Antamina, mina Contonga (CIA Minera Raura, 2018).



1.6.2. Secuencia estratigráfica

1.6.2.1. COMPLEJO MARAÑÓN

Constituye el basamento de la secuencia estratigráfica con edad Neoproterozoica, ocurren afloramientos en la parte Este de los cuadrángulos de La Unión y Yanahuanca. Las rocas que afloran en las ventanas geológicas son pizarras, esquistos y filitas de colores marrones a grises con miembros arenáceos más macizos de 30 cm de espesor aproximadamente, desarrolladas esporádicamente. Muchas venillas pequeñas de cuarzo están presentes, las cuales son probablemente el resultado de segregación de un metamorfismo regional de bajo grado

1.6.2.2. Grupo ambo

Una secuencia de areniscas y lodolitas las cuales exceden los 1,000 m de espesor, se expone a lo largo de la carretera, la cual une La Unión con Huánuco, el Grupo Ambo sobreyace a las rocas del Complejo del Marañón en discordancia angular al Este del pueblo de Chavinillo en el cuadrángulo de La Unión, formando parte del sinclinal que pasa por San Cristóbal de Jacas Chico y Margas, e infrayace al Grupo Mitu. En la base del Grupo Ambo se encuentra un conglomerado polimíctico compuesto por rodados redondeados y subangulosos que pueden alcanzar hasta 40 cm de diámetro, corresponden a areniscas, cuarcitas, esquistos, esquistos micáceos; la matriz es areniscosa, feldespática con micas. Tal conglomerado suprayace a las rocas metamórficas del

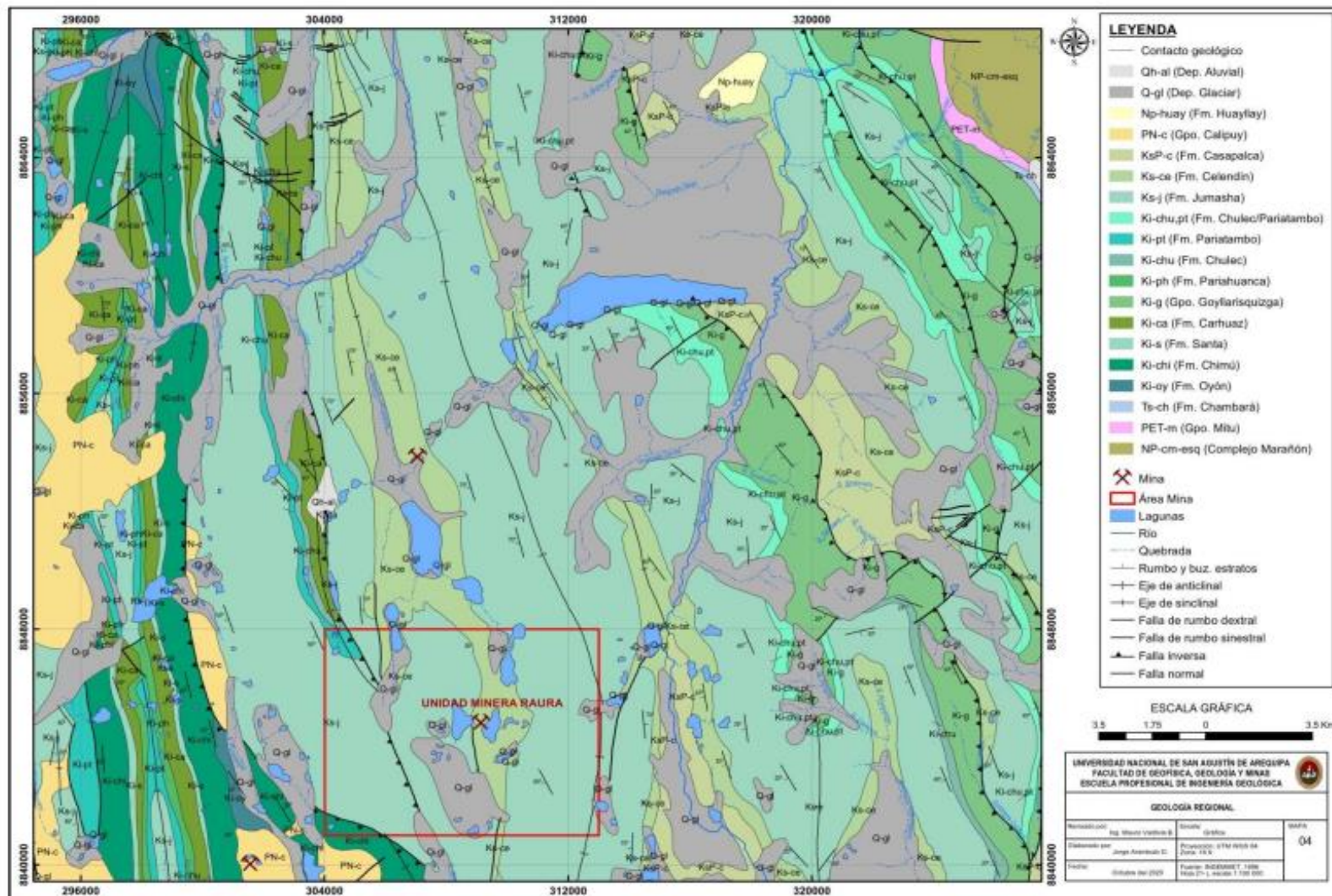
Complejo del Marañón en clara discordancia angular. Su grosor es de 20 m. La ocurrencia de rocas observadas hacia el Norte comprende una secuencia de capas delgadas de areniscas limoarcillíticas de color verde grisáceo y lutitas donde parecen subyaciendo al Grupo Mitu. El buzamiento de los estratos es más o menos concordante con los del Grupo Mitu, pero el contacto es probablemente una discordancia debido a que el Mitu descansa directamente sobre esquistos en otras localidades.

1.6.2.3. Grupo mitu

Los estratos que comprenden esta unidad se localizan a lo largo de la margen oriental de las formaciones mesozoicas que descansan sobre los esquistos del Complejo del Marañón. Estos descansan con clara discordancia sobre los esquistos, y también sobre las areniscas y lutitas del Grupo Ambo y ellos están cubiertos con ligera discordancia por los sedimentos del Triásico y Cretáceo. El Grupo Mitu en el cuadrángulo de La Unión se encuentra formando parte de los sinclinales de Llata y San Cristóbal de Jacas Chico, donde sobreyace al Complejo del Marañón y al Grupo Ambo. En la hoja de Yanahuanca su ocurrencia es más restringida. Se le observa como una franja estrecha de dirección NO-S E, a 7 km al SO de Margas. En un sentido, el Grupo Mitu

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOSTRATIGRÁFICA	GROSOR (m)	COLUMNA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
CENOZOICA	CUATERN.	HOLOCENA				DEPÓSITOS GLACIOFLUVIALES Y MORRENAS
	NEOGENO	PLEISTOC.	Fm. LA UNIÓN			CONGLOMERADOS POLIMICTICOS
			Fm. HUAYLLAY			TOBAS LAPILLI, BOMBAS PIROCLÁSTICAS
	PALEOG.	PALEOCEN.	Fm. CASAPALCA			ARENIZCAS ROJAS FRIABLES, MARGAS Y CONGLOMERADOS
MESOZOICA	CRETÁCEO	SUPERIOR	Fm. CELENDIN			CALIZAS LENTICULARES, MARGORAS, LIMOARCILITAS GRISES FOSILÍFERAS
			Fm. JUMASHA	700		CALIZAS MACIZAS OSCURAS HACIA LA BASE EN ESTRATOS DE 1 A 2 M. DE GROSOR
						SECUENCIAS LAJOSAS
						CALIZAS Y MARGAS COLOR AMARILLO CREMA CON METEORIZACIÓN
		INFERIOR	Fm. PARIATAMBO			ARENIZCAS BLANCAS FRIABLES, ESTRATIFICACIÓN SESGADA CON ALGUNAS LIMOARCILITAS GRISES
			Fm. CHULEC			CALIZAS EN CAPAS DELGADAS DE NATURALEZA MARGOSA, OLOR FÉTIDO
			GRUPO GOYLLARISQUIZGA	500		CALIZAS MACIZAS GRIS AZULADAS, PRESENCIA DE NÚDULOS DE CHERT GRISES
						CONGLOMERADO DE GUIJARROS ANDESÍTICOS, ANDESITAS DE COLOR ROJIZO
PALEOZOICA	JURÁSICO	SUPERIOR	Gpo. PARIATAMBO	1400		CALIZAS MACIZAS GRIS AZULADAS, PRESENCIA DE NÚDULOS DE CHERT GRISES
	TRIÁSICO	INFERIOR	Fm. CHAMBARÁ			CONGLOMERADO DE GUIJARROS ANDESÍTICOS, ANDESITAS DE COLOR ROJIZO
	PERMIANO	SUP.	GRUPO MITU	500		ARENIZCAS Y LIMOARCILITAS LOGOLÍTICAS COLOR VERDE CON TONALIDAD GRIS
NEOPROTEROZOICA	CARBONÍF.	INF.	GRUPO AMBO	1000		CLASTOS INTRAFORMACIONALES
			COMPLEJO MARAÑÓN			ESQUISTOS Y FILITAS

puede ser considerado como depósitos molásicos de capas rojas, los cuales fueron depositados ampliamente sobre el cinturón orogénico de la Cordillera Oriental. El grupo está compuesto de andesita púrpura y flujos de lava, unidades de andesita piroclástica, conglomerado de guijarros de andesita y arenisca roja en proporciones variables. Es un depósito típico de molasa y el vulcanismo regional representado por las andesitas constituye una de las manifestaciones volcánicas más tempranas en los Andes Centrales.



1.6.3. Geología local

1.6.3.1. Estratigrafía local

La estratigrafía presente en el yacimiento minero Raura corresponde a la Formación Jumasha, la cual puede ser sub dividida en tres miembros, Jumasha II, Jumasha III y Jumasha IV. La base de la unidad no aflora y debe corresponder a otro miembro denominado Jumasha I, ubicado tentativamente al norte de Raura

1.6.3.1.1. Jumasha II

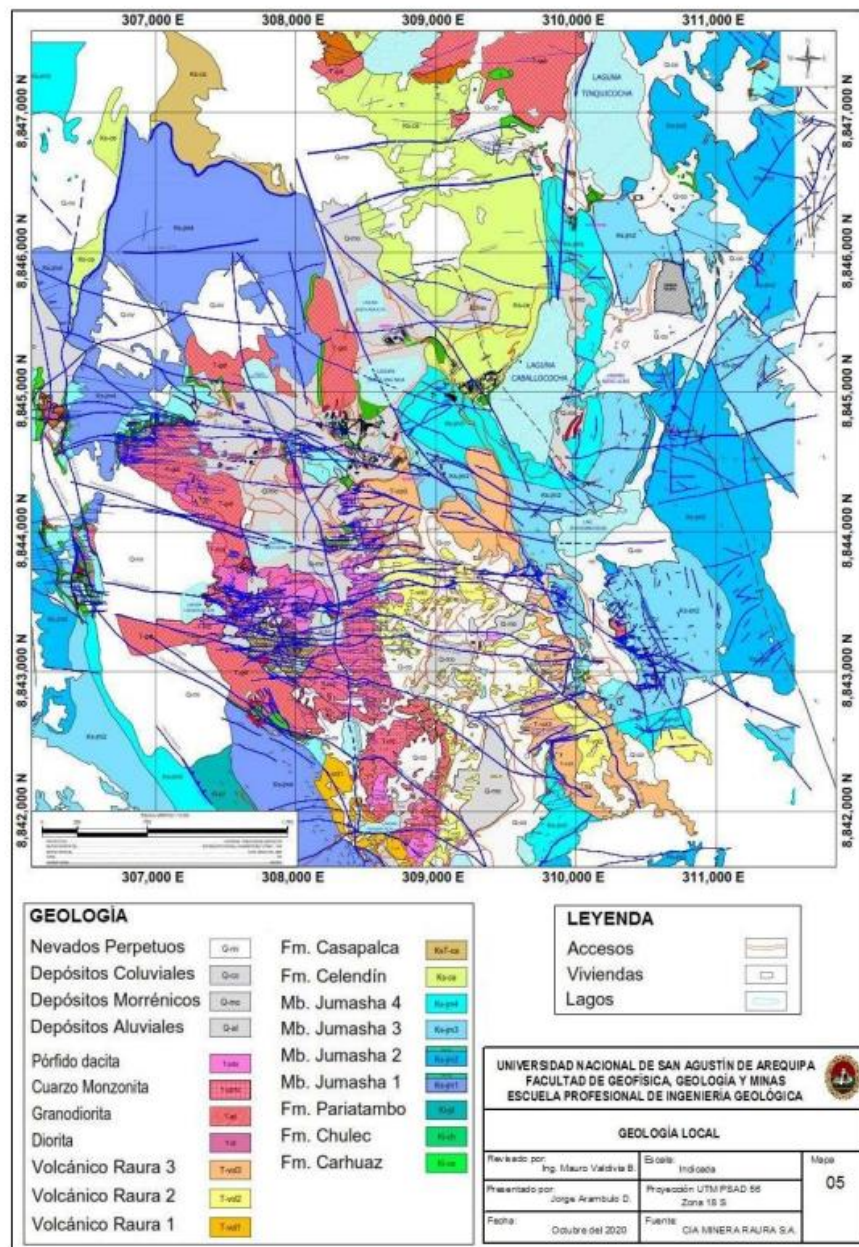
Caracterizado por poseer una gran potencia, la cual supera a los demás miembros pertenecientes a este paquete sedimentario. La base de esta unidad sedimentaria fue hallada en la zona de Gayco, donde se exponen más de 110 m. de una sucesión netamente calcárea; en cambio, la columna estratigráfica levantada desde el sureste de la laguna de Puyhuancocha hasta las inmediaciones de Siete Caballeros al sur de la presa de relaves, marca una sucesión de más de 650 m. de calizas con horizontes delgados de margas.

1.6.3.1.2. Jumasha II (Inferior)

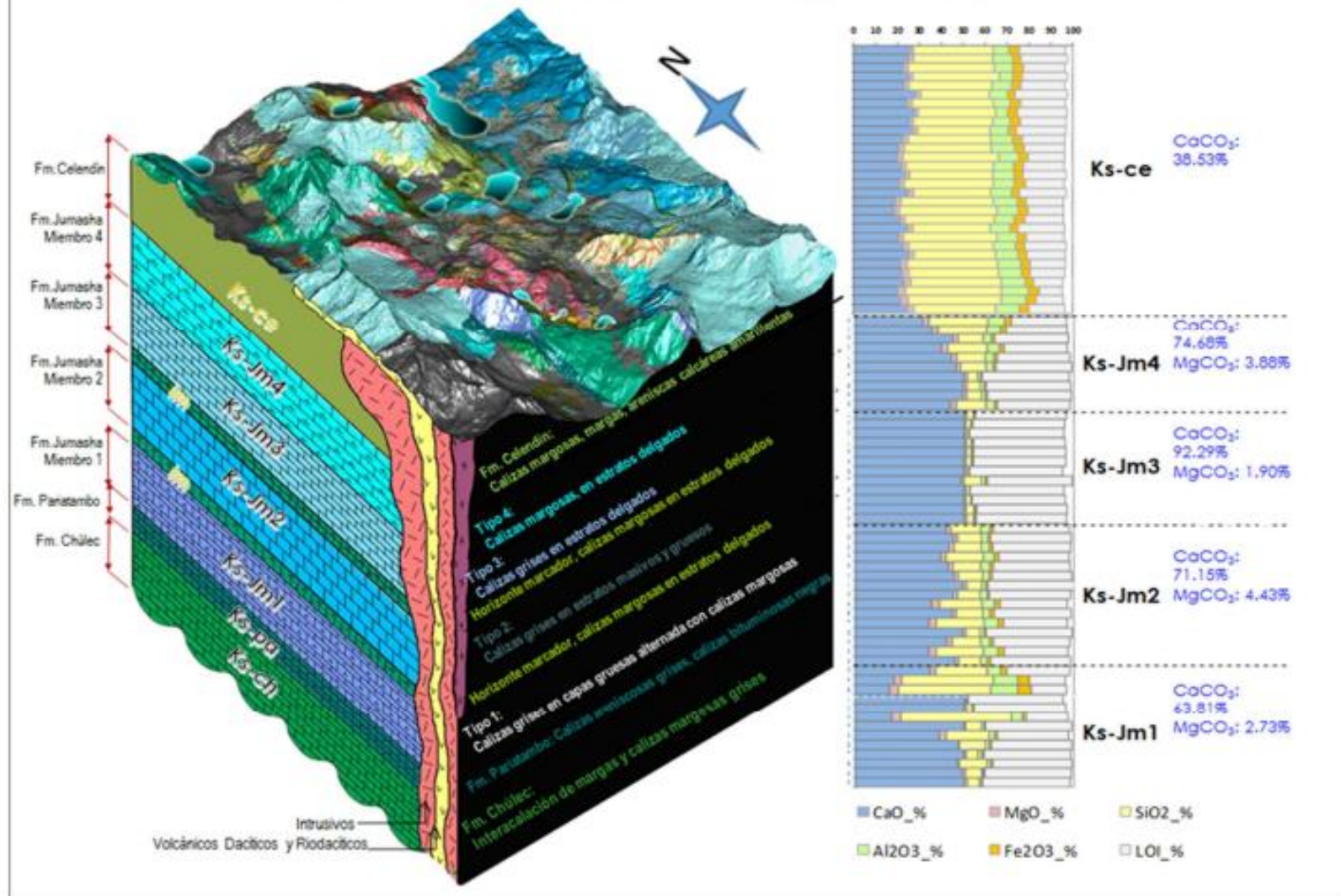
El miembro inferior del Jumasha II no aflora completamente en el distrito minero Raura, es por ello que solamente se ha llegado a determinar un espesor de 300 m. Las calizas están agrupadas en secuencias elementales que presentan a la base estratos delgados de calizas tipo packstone y mudstone, en la parte media, presentan calizas tipo packstone gris oscura formado por la acumulación de clastos irregulares que desarrollan estratos cada vez más potentes; el techo está generalmente conformado por estratos potentes de brecha sedimentaria con clastos irregulares.

1.6.3.1.3. Jumasha II (medio)

El miembro intermedio del Jumasha II posee aproximadamente un espesor de 110 m. Litológicamente está compuesto por secuencias elementales de caliza, los cuales se inician con una intercalación de calizas tipo mudstone y packstone de color negro, dispuestos en 48 estratos delgados de 10 a 30 cm de espesor, y terminan con estratos potentes, de hasta 5 m de brechas sedimentarias con clastos angulosos de caliza tipo packstone y grainstone, unidos por una matriz escasa de limolita calcárea, las cuales son la característica más resaltante de esta unidad litológica.



COLUMNA ESTRATIGRAFICA DEL YACIMIENTO RAURA



1.6.4. Geología estructural

En Raura, los sistemas de fallas que conforman la Faja Corrida, Plegada y Fallada del Marañón, de oeste a este son, el sistema de fallas Chonta, el sistema de fallas Restauradora, y el sistema de fallas Raura y Oriental. Cada uno de los sistemas están conformados por dos o más fallas, de las cuales se puede decir que las fallas con buzamiento menor corresponden a fallas inversas de corrimiento, en tanto que las fallas verticales son fallas transcurrentes. En el sistema de fallas transversales se pueden diferencian tres familias, NWW-SEE, E-W y NE-SW, las dos primeras conforman un corredor estructural transversal al rumbo andino; en Raura este corredor tiene aproximadamente 4 km de ancho y está delimitado por el norte con la falla Matapaloma y por el sur con la falla Brazzini. Desde el punto de vista regional las fallas transversales forman un sistema de fallas de transferencia.

- Fallas Longitudinales

El sistema de fallas longitudinales corresponde a las fallas regionales de rumbo andino. En Raura existen tres sistemas estructurales definidos, los cuales son denominados, sistema de fallas Chonta, falla Raura y falla Oriental. Adicionalmente se puede considerar un cuarto sistema que corresponde a la falla Restauradora.

- Sistema de Fallas Chonta

El sistema de falla Chonta está compuesto por tres fallas principales, Chonta Oriental, Chonta Central y Chonta Occidental; de las tres, la falla Chonta Oriental es la que presenta un buzamiento más suave de aproximadamente 70° SW.

1.6.5. Geología económica y mineralización

El yacimiento minero Raura corresponde a un Skarn con características polimetálicas (CuZn-Pb-Ag), las ocurrencias minerales están relacionadas a y stock porfiríticos de posible edad Miocena y a unidades sedimentarias del Cretácico. El período de mineralización en el Distrito Minero de Raura, se produjo probablemente entre los 8 a 10 millones de años con la formación de minerales de Calcopirita, esfalerita, galena, galena argentífera, y freibergita como mena y como ganga: calcita, rodocrosita, aragonito, yeso, anhidrita y fluorita. La mineralización se presenta principalmente como relleno de fracturas preexistentes (vetas), y reemplazamientos metasomáticos de contacto.

1.6.5.1. Mineralización en Vetos

La mineralización en vetas esta probablemente asociada a una dirección de esfuerzos NE-SW (Fallas longitudinales) las cuales han originado zonas de cizalla, por lo general las fallas longitudinales corresponden a inversiones tectónicas de fallas que en el Cretácico fueron normales, y que en el Cretácico superior o el Terciario se convirtieron en inversas. En cada uno de los sistemas de fallas longitudinales, se puede decir que las fallas más orientales son de menor ángulo y las fallas más occidentales son de mayor ángulo o incluso verticales. Este tipo de estructuras sugiere que, en cada sistema de fallas longitudinales, las fallas que se encuentran más al este se originaron primero con una componente inversa y luego las que se encuentran al oeste con movimientos transcurrentes y con componente inversa. Las fallas transversales E-W y NWW-SEE no forman parte de la zona de cizalla de las fallas longitudinales, por el contrario, es un sistema independiente. Dentro de los sistemas de fallas transversales se encuentran saltos con

características estructurales bien definidas tales como en la Falla Santa Rosa –Margot, Falla Matapaloma y Farallón. El mineral solo se ha emplazado rellenando fallas de dirección NEE, esto debido a que al momento de la mineralización, la dirección del máximo esfuerzo fue NEE y los saltos de las fallas transversales no han jugado como extensionales, sino como transcurrentes. La mineralización, de todas maneras, ha circulado por las fallas transversales, pero los espacios abiertos fueron pequeños y solo se ha depositado de manera aislada o discontinua

1.6.5.2. Mineralización en Cuerpos

En la zona de contacto metasomático entre las calizas de la formación Jumasha y los intrusivos pórfidos- cuarcíferos, se presentan cuerpos o bolsonadas con minerales de zinc, plomo y plata. La ocurrencia de cuerpos de reemplazamiento se halla distribuida de Sur a Norte, teniendo como claros ejemplos las bolsonadas, primavera, Betsheva, Catuva, Niño Perdido, y Hadas Farallón, la mineralización económica se presenta con reemplazamiento de esfalerita, marmatita, galena, galena argentífera, calcopirita y freibergita. La mineralización de los cuerpos sigue un patrón de zoneamiento vertical y horizontal, con minerales de alta temperatura y baja movilidad, y minerales de baja temperatura y una mayor movilidad, como por ejemplo $Cu > Zn > Pb > Ag$. La mineralización asociada al metasomatismo sugiere también la presencia de una segunda fase de skarnización (Skarn retrogrado), ocasionado por el enfriamiento del sistema y la intrusión de los pórfidos más jóvenes cargados en flujos hidrotermales con altos contenidos de iones metálicos, los cuales son más solubles a altas temperaturas y depositados a medida que el sistema se va enfriando. Existen múltiples factores que afectan a la mineralización de un Skarn, uno de los cuales es el alto índice de porosidad y permeabilidad presente en la roca huésped (Calizas); el segundo

miembro de la formación de Jumasha, presenta estas características litológicas, es decir, la presencia de brechas sedimentarias y los valores elevados de Ca CO_3 , convierten a este miembro en un potencial metalotecto ideal para la recepción de flujos mineralizantes, ya que las características litológicas de unión de clastos y matriz son poco coherentes y por ende ofrecen poca resistencia a la actividad magmática (fracturamiento hidráulico).