

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**TESIS**

**PROPUESTA DE SOSTENIMIENTO Y CONTROLES PARA REDUCIR LA  
LIBERACIÓN DE ENERGÍA DEL NIVEL 4 DE MINA PAREDONES,  
SAN PABLO – CAJAMARCA**

Para optar el Título Profesional de:

**Ingeniero De Minas**

Autor:

**Bach. Soberón Palma Rixer Dennis**

Asesor:

**M.Cs. Ing. Arapa Vilca Victor Ausberto**

**CAJAMARCA, PERÚ**

**2024**



## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

### - FACULTAD DE INGENIERÍA -

- Investigador:** Bach. Soberón Palma Rixer Dennis  
**DNI:** 73208692  
**Escuela Profesional:** Ingeniería de Minas
- Asesor:** M.Cs. Ing. Arapa Vilca Victor Ausberto  
**Facultad:** Ingeniería
- Grado académico o título profesional**  
 Bachiller       Título profesional       Segunda especialidad  
 Maestro       Doctor
- Tipo de Investigación:**  
 Tesis       Trabajo de investigación       Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:**  
"PROPUESTA DE SOSTENIMIENTO Y CONTROLES PARA REDUCIR LA LIBERACIÓN DE ENERGÍA DEL NIVEL 4 DE MINA PAREDONES, SAN PABLO – CAJAMARCA"
- Fecha de evaluación:** 15 de marzo del 2024
- Software antiplagio:**       TURNITIN       URKUND (OURIGINAL) (\*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 22%
- Código Documento:** oid: 3117:340006445
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**  
 APROBADO     PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 15/03/24

**FIRMA DEL ASESOR**

**Nombres y Apellidos:** Arapa Vilca Victor Ausberto

**DNI:** 29552145



Firmado digitalmente por:  
FERNANDEZ LEON Yvonne  
Katherine FAU 20148258601 soft  
Motivo: Soy el autor del  
documento  
Fecha: 15/03/2024 21:17:35-0500

**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, por iluminarme cada día a realizar esta investigación enfocada hacia el éxito profesional, a mi alma mater Universidad Nacional de Cajamarca, por acogerme en sus aulas y formarme como profesional, en particular a la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, por todo el aprendizaje brindado como: Alumno, bachiller y profesional, sin dejar de lado a mis docentes ingenieros por el aprendizaje brindado en cada ciclo de superación profesional. En especial a mi asesor MCs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca, por aceptar ser mi guía y apoyo para realizar este proyecto.

A mis padres (Emilio y Dalila), hermanos (Nancy Melbin y Víctor) y mi esposa (Katherine) por brindarme su apoyo incondicional para cumplir mis objetivos y metas.

*Rixer Soberón*

## **DEDICATORIA**

A mis Padres, por apoyarme constantemente en cada momento de mi vida a mi hermana y hermanos, por sus palabras de superación constante y a mi esposa por ser mi soporte y motivarme a ser mejor cada día para superar obstáculos y barreras hacia el éxito profesional.

*Rixer Soberón.*

## ÍNDICE GENERAL

ÍTEM	Pág.
AGRADECIMIENTO .....	ii
DEDICATORIA.....	iii
LISTA DE TABLAS .....	vii
LISTA DE FIGURAS .....	viii
REGISTRO FOTOGRÁFICO.....	xi
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xii
RESUMEN .....	xv
ABSTRACT .....	xvii
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>3</b>
<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS.....</b>	<b>3</b>
2.1.1 Internacionales.....	3
2.1.2 Nacionales.....	4
2.1.3 Locales.....	5
<b>2.2 BASES TEÓRICAS.....</b>	<b>5</b>
2.2.1 Clasificaciones geomecánicas.....	5
2.2.1.1 Índice de calidad de roca (RQD).....	5
2.2.1.2 Valoración de la masa rocosa (RMR).....	6
2.2.1.3 Índice de resistencia geológica (GSI).....	8
2.2.1 Estallido de rocas (ROCKBURST).....	12
2.2.1.1 Criterio de energía de deformación elástica (PES).....	13
2.2.1.2 Criterio de tensión tangencial.....	13
2.2.1.3 Influencia de la fracturación sobre el estallido de rocas.....	14
2.2.2 Fluencia de deformación (Squeezing).....	15
<b>2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>19</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>19</b>

	<b>Pág.</b>
<b>3.1 UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	19
3.1.1 Geográfica.....	19
3.1.2 Política .....	20
3.1.3 Accesibilidad .....	20
<b>3.2 PROCEDIMIENTOS</b> .....	23
3.2.1 Etapa de pre campo.....	23
3.2.2 Etapa de campo.....	23
3.2.3 Etapa post – campo .....	23
3.2.4 Metodología.....	24
3.2.4.1 Población de estudio .....	26
3.2.4.2 Muestra .....	26
3.2.4.3 Unidad de análisis.....	26
3.2.5 Identificación de variables.....	26
3.2.6 Técnicas .....	27
3.2.7 Instrumentos y Equipos .....	27
3.2.7.1 Equipos .....	27
3.2.7.2 Materiales .....	28
3.2.8 Tratamiento, Análisis de Datos y Presentación de Resultados.....	28
<b>3.3 HIDROGEOLOGÍA</b> .....	29
<b>3.4 GEOLOGÍA LOCAL</b> .....	31
<b>3.5 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL</b> .....	34
<b>3.6 GEOMECÁNICA SUBTERRÁNEA</b> .....	36
3.6.1 GEOMECÁNICA EG-01 .....	37
3.6.2 GEOMECÁNICA EG-02 .....	39
3.6.3 GEOMECÁNICA EG-03 .....	41
3.6.4 GEOMECÁNICA EG-04 .....	43
3.6.5 GEOMECÁNICA EG-05 .....	45
<b>3.7 SOSTENIMIENTO SUBTERRÁNEO</b> .....	47
<b>3.8 CONTROLES PARA REDUCIR LA LIBERACIÓN DE ENERGÍA</b> .....	49
 <b>CAPÍTULO IV</b> .....	 66
<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	66
<b>4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	66
<b>4.2 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS</b> .....	74

	<b>Pág.</b>
<b>CAPÍTULO V</b> .....	75
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	75
5.1 CONCLUSIONES .....	75
5.2 RECOMENDACIONES.....	75
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	77
<b>ANEXOS</b> .....	82
<b>A. AUTORIZACIÓN DE LA EMPRESA</b> .....	82
<b>B. PLANOS</b> .....	82

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Índice de calidad de la roca – RQD.....	6
Tabla 2. Orientación de las discontinuidades en el túnel (Bieniawski, 1989).....	7
Tabla 3. Calidad de macizo rocosos en relación al Índice RMR.....	7
Tabla 4. Clasificación modificada de Bieniawski subclases y comparación con la original.	8
Tabla 5. Índice geológico de resistencia (GSI).....	9
Tabla 6. Valoraciones del Índice de calidad Q.....	11
Tabla 7. Probabilidad de riesgo por energía potencial de deformación elástica. ....	13
Tabla 8. Probabilidad de riesgo de estallido de rocas.....	14
Tabla 9. Probabilidad de riesgo estallido de rocas por fracturamiento. ....	14
Tabla 10. Probabilidad de fragilidad de estallido de rocas.....	15
Tabla 11. Criterio de Goel, según su grado de fluencia. ....	16
Tabla 12. Grados de squeezing.....	16
Tabla 13. Grados de squeezing.....	17
Tabla 14. Accesibilidad al área de investigación. ....	20
Tabla 15: Clasificación y los tipos de investigación. ....	26
Tabla 16. Tabla de identificación de variables. ....	26
Tabla 17. Principales factores que influyen en el daño por Rockburst (Káiser, 2012). ....	50
Tabla 18. Mecanismos de rotura en túneles profundos. ....	61
Tabla 29. Valores basados en las constantes elásticas, mediante los criterios: Hoek-Brown y Mohr-Coulomb; en función de las estaciones geomecánicas. ....	69
Tabla 20. Parámetros del campo tensional, en función de esfuerzo: Horizontal y vertical.	70
Tabla 21. Valoración mediante la aplicación de los criterios geomecánicas empíricos por cada estación. ....	70
Tabla 22. Variabilidad del campo tensodeformacional y concentración de tensiones en la excavación subterránea. ....	71
Tabla 24. Medida de sostenimiento y controles por estación geomecánica.....	73

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Vallejo, (2011). Caracterización del macizo rocoso según GSI modificado .....	10
Figura 2. Gráfico de selección de soporte, de Grimstad y Barton con la adición de correlaciones alternativas entre RMR y Q, de Barton. ....	12
Figura 3. Ruta de acceso a la mina Paredones – Nivel 4 (Google Maps, 2023).....	19
Figura 4. Mapa de las principales vías de acceso al área de investigación. (Google MAPS, 2024) .....	21
Figura 5. A. Esfuerzo: Mayor vs. Menor (Hoek-Brown). B. Esfuerzo: Corte y normal (Morh-Coulomb); mediante el método equivalencia de área del eje tensional y línea de Mogi's. Estación geomecánica EG-01. ....	38
Figura 6. Aureolas tensodeformacionales en la EG-01, proyectando el medio: Plástico y elastoplástico alrededor de la excavación subterránea; afectando los hastiales hasta la profundidad 0.70 m., concentrándose los esfuerzos: cortes y tensionales..	38
Figura 7. Fluctuación del factor de seguridad en la EG-01, delimitado por coloraciones: Anaranjadas a amarillentas alrededor de la sección con FS < 1.50, ocasionando inestabilidades: Hastiales y clave, proyectado profundidades 0.90 m. de inestabilidad. ....	39
Figura 8. A. Esfuerzo: Mayor vs. Menor (Hoek-Brown). B. Esfuerzo: Corte y normal (Morh-Coulomb); mediante el método equivalencia de área del eje tensional y línea de Mogi's. Estación geomecánica EG-02. ....	40
Figura 9. Baja concentración tensodeformacionales en la EG-02, afectando hastiales de la excavación subterránea a profundidad transversal: 0.25 m. a 0.35 m. hasta el medio elastoplástico alrededor de la excavación, mediante la distribución de los esfuerzos: cortes y tensionales. ....	40
Figura 10. El factor de seguridad en la EG-02, muestra variaciones alrededor de la sección subterránea concentrándose y originado aureolas en las esquinas de la solera y clave con FS < 1.50, proyectándose hasta 0.90 m. de inestabilidad transversal. ....	41
Figura 11. A. Esfuerzo: Mayor vs. Menor (Hoek-Brown). B. Esfuerzo: Corte y normal (Morh-Coulomb); mediante el método equivalencia de área del eje tensional y línea de Mogi's. Estación geomecánica EG-03. ....	42
Figura 12. La excavación subterránea de la EG-03, no presenta afectación por cambios deformacionales de ruptura, comportándose basamento rocoso como medio isotrópico, no generando instantáneamente deformaciones tensodeformacionales.	42
Figura 13. El factor de seguridad de la EG-03, presenta variaciones de inestabilidad en hastiales proyectándose hasta la profundidad transversal: 0.50 m. a 0.80 m., con FS < 1.50 concentrándose la mayor cantidad en la coloración amarilla. ....	43
Figura 14. A. Esfuerzo: Mayor vs. Menor (Hoek-Brown). B. Esfuerzo: Corte y normal (Morh-Coulomb); mediante el método equivalencia de área del eje tensional y línea de Mogi's. Estación geomecánica EG-04. ....	44

	<b>Pág.</b>
Figura 17. A. Esfuerzo: Mayor vs. Menor (Hoek-Brown). B. Esfuerzo: Corte y normal (Morh-Coulomb); mediante el método equivalencia de área del eje tensional y línea de Mogi's. Estación geomecánica EG-05.....	46
Figura 18. Sección conformada por alteración silicificatada la EG-04, formando aureolas deformacionales alrededor de la excavación proyectándose desde: 0.60 m. a 0.85 m., proyectado medio: Plástico y elastoplástico en función el esfuerzo: Corte y tensional.....	46
Figura 19. Las variaciones del factor de seguridad de la EG-05, manifestándose en: Hastiales y clave, con FS < 1.50, debilitando progresivamente la estabilidad de la roca proyectándose desde 0.40 m. a 0.60 m. ....	47
Figura 20. Aureolas de deformación de corte máximo formadas en la etapa de desbroce (Excavación) de roca en la sección de la EG-01, con longitud de amplificación 3.00 m. a 3.50 m. por la redistribución tensional, afectando a los hastiales del túnel. ....	47
Figura 21. La etapa de sostenimiento se observa reducción de las aureolas de deformación llegando su amplificación hasta 2.50 m. por la instalación de anclajes mecánicos sistemáticos en la periferie de la sección de la roca andesita, de la EG-01.....	48
Figura 23. Isométrico de Diagrama, Diseño de Perforación y voladura en el Frente de las Labores del nivel 4 en labores de avance específicamente en el crucero 1040 NE.....	52
Figura 25. Sección longitudinal del diseño de carga y zona de desestres por voladura de pre-acondicionamiento, como medida de control para mitigar liberación de energía en frentes.....	53
Figura 26. Sección frontal del diseño de Carga y distancias de taladros de pre – acondicionamiento.....	54
Figura 27. Diseño de Perforación en Chimenea (Inclinada), Sección de labor 2.40 x 1.50 m. (Avance de 4 Pies). Fuente: Elaboración propia.....	54
Figura 31. Sostenimiento de Sacrificio con malla en labor 2.40 x 2.70m.....	57
Figura 32. Sostenimiento de sacrificio con malla electrosoldada y pernos split set a una distancia de 1.07 m, en labor 2.40 x 2.70m.....	57
Figura 33. Sostenimiento de sacrificio en Chimeneas inclinadas con sección de 2.40 x 1.50 m.....	58
Figura 34. Isométrico de Taladros de Alivio Escalonado .....	59
Figura 35. Isométrico de Taladros de Alivio Radial, sección de labor 2.40 x 2.40 m.....	59
Figura 36. Vista en Planta Taladros de Alivio Escalonado .....	60
Figura 37. Isométrico de Taladros de Alivio en Chimenea, tajos.....	61
Figura 38. Gráfico de Sonidos y efectos visibles en la labor (Fuente: Geom.-MARSА). ..	62
Figura 39: Escala de Relación Mw y Eventos Rockburst (Fuente: Modificado de IMS-MARSА 2019).....	63

	<b>Pág.</b>
Figura 40. Reporte de monitoreo microsísmico .....	65

## REGISTRO FOTOGRÁFICO

	Pág.
Foto 1. Bocamina del Nivel 4 inicio de las instalaciones: Crucero 1040 NE y Bay-pass... 20	
Foto 2. By-pass afectado por la humedad, formando recristalización de minerales hidratados en la sección subterránea desde PIp. + 55 m. a PIp. + 159 m.; ubicados en techo y hastiales. .... 29	29
Foto 3. Estalactitas y Silicita , formadas por disolución de minerales hidratados, ubicados en el techo del by-pass desde PIp. + 120 m. a PIp. + 140 m. constituyendo zonas de cristalización de minerales. .... 30	30
Foto 4. Recristalización de minerales de Epsomita de habito fibroso, ubicados en los hastiales de la excavación subterránea desde: PIp. + 140 m. a PIp. + 155 m., formándose en las juntas del afloramiento rocoso..... 30	30
Foto 5. Roca andesita evidenciada en el crucero 1040 SW, de color gris verduzco de textura afanítica. .... 31	31
Foto 6. Alteración silicificada, ubicada en el by-pass desde PIp + 85 m. a PIp + 159 m. presentando en la cara libre afectación por la humedad. .... 33	33
Foto 7. Brecha con fragmentos angulados de 5.50 cm. a 10.00 cm. con matriz cementante de sílice en hastial izquierdo del By – Pass, emplazado en roca andesita. .... 34	34
Foto 8. <b>A.</b> Falla Nx, relleno con brecha de falla, ubicado en el hastial izquierdo del By- Pas. <b>B.</b> Brecha de falla de 0.10 m., cortando a la roca andesita, compuesto de material traquelado anguloso con matriz cementante de sílice cuarzoso de color blanquecino, con orientación Az = N33°, Bz = 20°SE y pitch = 84° ..... 36	36
Foto 9. <b>A.</b> Falla Ix de espesor 5.40 m. delimitada por dos planos de falla presentes en el hastial derecho del By- Pass. <b>B.</b> Estrías de falla y slickensides de orientación (Az/Bz): N107°/64°SW ubicado en la corona y hastial derecho del By- Pass. <b>C.</b> Plano de brecha de falla de orientación (Az/Bz): N209°/40°NW, con matriz cementante mineralizado de covelina presente en el hastial derecho del By- Pass. 36	36
Foto 10: Sostenimiento de sacrificio en chimenea inclinada 45° RC 05- Nivel 04..... 58	58

## LISTA DE ABREVIATURAS

WGS-84	:	Sistema Geodésico Mundial 1984.
UTM	:	Universal Transversal de Mercator.
GPS	:	Sistema de posicionamiento global.
UNC	:	Universidad Nacional de Cajamarca.
M.Cs	:	Maestro en ciencias.
Ing.	:	Ingeniero.
Ingemmet	:	Instituto geológico minero y metalúrgico del Perú.
Osinergmin	:	Organismo supervisor de la inversión en energía y minería.
Senamhi	:	Servicio nacional de meteorología e hidrología del Perú.
NPMC	:	Compañía minera norteamericana.
SMR	:	Valoración de taludes rocosos.
NATM	:	Nuevo método austriaco de túneles.
GEMM	:	Unidad formuladora de colonias, gránulo, eritro, mega y Monocitarias.
S.A.	:	Sociedad anónima.
S.A.C.	:	Sociedad anónima cerrada.
AIME	:	Asociación de ingenieros de minas del Ecuador.
PES	:	Criterio de energía de deformación elástica.
NPMC	:	North Perú Mining Corporation.
CX	:	Crucero.
3th	:	Edición de libro.
ISSN	:	Número internacional normalizado de publicaciones seriadas.
Ingeopres	:	Actualidad técnica de ingeniería civil, minería, geología y medio ambiente.
SASPlanet	:	SAS.Planeta.
CMET	:	Complejo máfico el teniente.
SH	:	Shotcrete.
Phe	:	Perno helicoidal.
Gdt	:	Ganodiorita.
MC	:	Morh-Coulomb.
HB	:	Hoek-Brown.
B, C,..	:	Dominio litológico.
$\epsilon$	:	Épsilon.
$\sigma_{ci}$	:	Resistencia a la compresión uniaxial.
$\sigma_{3m\acute{a}x}$	:	Tensión de confinamiento.
$\sigma'_{t}$	:	Resistencia a la tracción.
$\sigma'_{ct}$	:	Resistencia global.
$\sigma_1$	:	Esfuerzo principal mayor.
$\sigma_2$	:	Esfuerzo intermedio.
$\sigma_3$	:	Esfuerzo principal menor.
T	:	Esfuerzo de corte.
$\sigma_n$	:	Esfuerzo normal.
$\sigma'_{cm}$	:	Resistencia del macizo rocoso.
$m_i$	:	Constante de Hoek & Brown.

<i>mb</i>	:	Constante de Hoek & Brown.
<i>s, a</i>	:	Constantes de Hoek & Brown.
<i>c</i>	:	Cohesión.
$\varphi$	:	Ángulo de fricción.
<i>E<sub>i</sub></i>	:	Módulo de deformación de laboratorio de la matriz rocosa.
<i>E<sub>m</sub></i>	:	Módulo de deformación.
MR	:	Relación del módulo.
<i>D</i>	:	Factor de disturbancia.
RQD	:	Índice de calidad de roca.
RMR	:	Valoración de la masa rocosa.
GSI	:	Índice de Resistencia Geológica.
IV-A.	:	Clasificación geomecánica romana.
CB	:	Criterio de Barla.
Q	:	Índice de calidad tunelera.
Q <sub>min</sub>	:	Índice de calidad tunelera mínimo.
Q <sub>max</sub>	:	Índice de calidad tunelera máximo.
N'	:	Numero de estabilidad.
J <sub>n</sub>	:	Número de familias diaclasadas.
J <sub>r</sub>	:	Número de rugosidad de las diaclasadas.
J <sub>a</sub>	:	Número de alteración de las diaclasadas.
J <sub>w</sub>	:	Factor de reducción por agua de las diaclasadas.
SRF	:	Factor de reducción de tensiones.
Z o H	:	Altura de sección subterránea.
D <sub>e</sub>	:	Diámetro equivalente del túnel.
ESR	:	Relación de soporte de la excavación.
CCA	:	Revestimiento con concreto.
RRS	:	Espaciado relacionado con el valor de Q.
S <sub>fr</sub>	:	Espesor del concreto lanzado reforzado con fibras.
V <sub>b</sub>	:	Volumen de bloque.
LF	:	Levemente fracturada.
F	:	Moderadamente fracturada.
MF	:	Muy fracturada.
F	:	Intensamente fracturada.
T	:	Triturada.
MB	:	Muy buena.
B	:	Buena.
R	:	Regular.
P	:	Pobre.
MP	:	Muy Pobre.
JC	:	Factor de estado de las diaclasas.
N <sub>x</sub>	:	Falla Normal.
T/P	:	Tensión/compresión.
T <sub>s</sub>	:	Criterio de tensión tangencial.
<i>B</i>	:	Criterio de fragilidad de rocas.
Y	:	Peso específico de la roca.
$\sigma_{mass}$	:	Resistencia a la compresión uniaxial de masa rocosa.
$\varepsilon$	:	Elasticidad.

E.30	:	Norma técnica.
Z3	:	Zona sísmica
g	:	Gravedad.
S0, S1...	:	Tipo de suelo.
S	:	Factor de suelos.
TNT	:	Trinitrotolueno.
TP	:	Periodo que define la plataforma de factor <i>C</i> .
TL	:	Periodo que define el inicio de la zona del factor <i>C</i> . con desplazamiento constante.
Sh	:	Sísmica horizontal.
Sv	:	Sísmica vertical.
Z	:	Profundidad.
<i>m</i> o <i>k</i>	:	Coefficiente de reparto de tensiones.
$\alpha$	:	Ángulo de orientación tensional.
I,II....	:	Clase o tipo de roca.
R2, R3..	:	Grado de estimación de roca.
$\lambda$	:	Landa.
L	:	Longitud.
<i>B</i>	:	Luz de túnel.
et al.,	:	Y otros.
15-g	:	Cuadrángulo geológico.
IV	:	Cuadrante geológico
Az.	:	Azimut.
Bz.	:	Buzamiento.
D	:	Dip.
DD	:	Dip direction.
Rb	:	Rumbo.
FS	:	Factor de Seguridad.
Pág.	:	Página
N°	:	Número.
Vol.	:	Volumen.
MPa	:	Mega pascales.
Gr.	:	Gramo.
N	:	Newton.
GPa	:	Giga pascales
KJ	:	KiloJoule.
Kg.	:	Kilogramos.
+/-	:	Promedio.
Ma.	:	Millones de años.
R	:	Ridel.
R´	:	Antiridel.
Pi.	:	Punto de inicio.
PiBp	:	Punto de inicio by-pass.
PiCx	:	Punto de inicio crucero.
Gn	:	Galena.
Zn	:	Zinc.
Pb	:	Plomo.

Ag	:	Plata.
Cu	:	Cobre.
TM	:	Toneladas métricas.
Km.	:	Kilómetro.
m.	:	Metro.
cm.	:	Centímetro.
mm.	:	Milímetro.
m <sup>2</sup> .	:	Metros cuadrados.
m <sup>3</sup> .	:	Metros cúbicos.
dm <sup>3</sup> .	:	Decímetros cúbicos.
cm <sup>2</sup> .	:	Centímetros cuadrados.
Pulg.	:	Pulgadas.
Km <sup>2</sup> .	:	Kilómetros cuadros.
s	:	Segundo.
Min	:	Minutos.
h	:	Hora.
Lts.	:	Litros.
%	:	Porcentaje.
>	:	Mayor.
<	:	Menor.
M, P	:	Vetas.
Nv	:	Nivel de excavación subterránea.
EG-1	:	Estación geomecánica.
msnm. :		Metros sobre el nivel del mar.
°C	:	Temperatura.
MC-1	:	Microcuenca.
PPmáx/año	:	Precipitación máxima por año.
PPmín/año	:	Precipitación mínima por año.
m/m	:	Pendiente.
Tc	:	Tiempo de concentración.
I	:	Intensidad de precipitación.
N	:	Norte.
S	:	Sur.
E	:	Este.
W	:	Oeste.
XC	:	Crucero
BP	:	By- Pass
X	:	Eje horizontal
Y	:	Eje vertical

## RESUMEN

La mina Paredones se ubican al SW de la ciudad de Cajamarca; geográficamente en el distrito de San Bernardino, provincia de San Pablo en la región Cajamarca. El Nivel 4 está ubicada al SE de las instalaciones mineras, emplazado en el Volcánico Chilete compuesta por roca andesita de grano medio de textura afanítica de color gris verdusco. La caracterización geomecánica muestran valoraciones de masa rocosa de calidad: Mala (EG-05), regular (EG-1) y buena (EG-2, EG-3, y EG-4). La sobre excavación existente producto de la liberación de energía está disminuyendo la calidad de roca con un FS de 0.60 m. a 1.10 m., afectado hastiales y corona de las labores subterránea. La zonificación crítica se distribuye en: Pic<sub>NE</sub>, Pic<sub>SW</sub> y by-pass; siendo las zonas más críticas e inestables el by-pass desde Pip + 55 m. a Pip + 150 m. por presentar factores influyentes constantes en techo y hastiales formando así recristalización de minerales como: Epsomita, hidrocincita y calcantita por la alteración sílica existente en la excavación subterránea el cual estos factores también repercute en la veta West Pacasmayo generando sobre excavación dejando aberturas de 3.50 m. a 4.00 m. a ancho, siendo propenso a deformaciones tensodeformaciones por la sobre carga gravitatoria y constante. Para el mejoramiento se recomienda sostenimiento de anclajes adherente - sistemáticos de 8 pies de longitud de diámetro de 25 mm. Más shotcrete 2 pulgadas como preventivo y 2 pulgadas sobre malla; reduciendo la amplitud de la aureola tensodeformacional, que aumenta progresivamente con el paso del tiempo generando debilitamiento del basamento rocoso.

**Palabras clave:** Sostenimiento, litología, carga litostática, deformación e inestabilidad.

## ABSTRACT

The Paredones mine is located SW of the city of Cajamarca; geographically in the district of San Bernardino, province of San Pablo in the Cajamarca region. Level 4 is located SE of the mining facilities, located in the Chilete Volcano composed of medium-grained andesite rock with a greenish-gray aphanitic texture. The geomechanical characterization shows rock mass quality assessments: Poor (EG-05), regular (EG-1) and good (EG-2, EG-3, and EG-4). The existing over-excavation as a result of the release of energy is decreasing the quality of the rock with a FS of 0.60 m. at 1.10 m., affected gables and crown of the underground work. Critical zoning is distributed in: PicNE, PicSW and by-pass; The most critical and unstable areas being the by-pass from PIp + 55 m. at PIp + 150 m. for presenting constant influential factors on the roof and gables, thus forming recrystallization of minerals such as: Epsomite, hydrozincite and chalcantite due to the silica alteration existing in the underground excavation, which these factors also affect the West Pacasmayo vein, generating over-excavation, leaving openings of 3.50 m. at 4.00 m. wide, being prone to tension deformations due to gravitational and constant overload. For improvement, it is recommended to support systematic adherent anchors of 8 feet in length with a diameter of 25 mm. More shotcrete 2 inches as a preventative and 2 inches on mesh; reducing the amplitude of the tension-deformational aureole, which increases progressively with the passage of time, generating weakening of the rock basement.

**Key words:** Support, lithology, lithostatic load, deformation and instability.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La Mina Paredones se caracteriza por ser un yacimiento polimetálico de plata, plomo y zinc, que anteriormente operaba la empresa Northerm Perú Mining Corporation, desarrollando trabajos de exploración, desarrollo, preparación y explotación en galerías, by-pass, piques, cruceros, sub niveles y tajos. En la actualidad la empresa MINERA CAJAMARCA S.A.C. Es la encargada de ejecutar las operaciones mineras de Mina Paredones.

El entorno geomecánico del Nivel 4 presenta cambios y desafíos producto de la profundización de sus labores; por tanto, en el crucero (veta West Pacasmayo y buzón) y by-pass de la excavación subterránea se evidencia redistribución tensional de esfuerzos por presión de carga litostática en la periferia de la excavación, ocasionando inestabilidad geomecánica como deformaciones y desprendimiento de roca. Es por ello que se plantea definir el tipo de sostenimiento y controles para reducir la liberación de energía del Nivel 4 de Mina Paredones con ello mejorar la seguridad de los trabajadores y productividad de la empresa.

Para la presente investigación se formula la siguiente pregunta: ¿Cuál es la propuesta de sostenimiento y controles para reducir la liberación de energía del nivel 4 de la mina Paredones, San Pablo – Cajamarca?

Para ello se formuló la siguiente hipótesis: El crucero (veta West Pacasmayo y buzón) y bay-pass de la excavación subterránea Nivel 4 Mina Paredones, ¿presenta deformaciones y desprendimiento de rocas producto de la liberación de energía? el sostenimiento dinámico y la implementación de controles logrará mitigar los estallidos de roca en labores mineras con altos esfuerzos.

La presente investigación se justifica su realización y remarca su importancia frente a la ocurrencia de estallido de rocas busca aumentar la seguridad en los trabajadores, y minimizar los accidentes a equipos a través de una propuesta de sostenimiento y controles para mitigar el estallido de rocas. También al personal de mina informarles y que tengan conocimiento sobre la ubicación de los eventos de liberación de energía.

La investigación tiene como objetivos proponer el sostenimiento y controles para reducir la liberación de energía del nivel 4 de la mina Paredones, San Pablo – Cajamarca, Determinar la caracterización geomecánica. Determinar el tipo de sostenimiento aplicar e implementar controles para reducir la liberación de energía.

La investigación tiene como descripción los siguientes capítulos:

Capítulo I, referido a la introducción de la investigación, al planteamiento del problema, delimitación del problema, justificación y los objetivos propuestos. Capítulo II. Marco Teórico, se encuentran los antecedentes teóricos, bases teóricas y la definición de términos básicos en la investigación. Capítulo III. Materiales y Métodos, se ubicaron las zonas de investigación, contexto Geológico estructural, caracterización geomecánica, Además de la interacción de las variables como elementos constituyentes para la investigación con un análisis descriptivo para la muestra y unidad de análisis; así mismo, la metodología, para la recopilación de datos. y se describió el procedimiento de la investigación. propuestas de sostenimiento y controles. Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados, se realizó el análisis de resultados y la contrastación de la hipótesis. Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones las cuales responden a los objetivos plateados logrando demostrar que hay Zonas críticas de liberación de energía, y se propone medidas de control para mitigar dicha energía liberada. finalmente, las referencias bibliográficas.

## CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

### 2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS

#### 2.1.1 Internacionales

**Vergara (2006)**, en su tesis “Análisis de la resistencia y la estabilidad de pilares de la Mina Diablo Regimiento, yacimiento El Teniente”. El objetivo Determinar las características geológicas y los parámetros geotécnicos que influyen en la resistencia, la estabilidad y la degradación de la calidad geotécnica del macizo rocoso primario de los pilares de la mina Diablo Regimiento frente a la explotación por hundimiento. El análisis de los modelos numéricos efectuados permite concluir que la orientación del tensor de esfuerzo influye en la estabilidad de los pilares de la mina Diablo Regimiento. Esta influencia está asociada por una parte a la geometría de los pilares y por otra, a la orientación de las discontinuidades geológicas.

**Gómez (2022)**, en su tesis “Caracterización, zonificación geomecánica y recomendación del sostenimiento necesario para la estabilidad de labores temporales y permanentes del macizo rocoso en el Nivel 1712 del cuerpo Zeus de la Mina Roble”. Teniendo como objetivo determinar los elementos necesarios para la estabilidad de labores temporales y permanentes en el nivel 1712 del cuerpo Zeus de la mina El Roble. El cual concluye que El nivel 1712 se desarrolla geomecánicamente de manera más amplia y según la clasificación GSI en dos tipos de macizos, de calidad regular y de mala calidad, lo que hace a este nivel crítico y de baja estabilidad.

**Betancur y López (2019)**, en su tesis “Caracterización y clasificación geomecánica del macizo rocoso en el nivel veintiuno de la Mina La Maruja (Distrito minero de Marmato, Caldas) Teniendo como objetivo Caracterizar y clasificar geomecánicamente el macizo rocoso del nivel veintiuno de la mina subterránea La Maruja, usando los sistemas de clasificación RMR y Q para sectorizar el nivel y estimar las recomendaciones de estabilidad y soporte. El cual concluye que se realizó una clasificación geomecánica en el nivel 21 de la

mina La Maruja, en el distrito minero de Marmato, Caldas y un análisis de cuñas con el fin de estimar las recomendaciones de estabilidad y soporte.

### 2.1.2 Nacionales

**Veyrat et al., (2017)**, Realizaron la investigación “Experiencias para mitigación de estallido de roca: Proyecto hidroeléctrico Cheves (Perú)”. Concluye que los estallidos de roca han sido ampliamente descritos en minería profunda. Bajo estas condiciones es necesario considerar las condiciones de sobre tensiones en los proyectos de diseño de túneles. Es importante la clasificación de eventos de liberación de tensiones desarrollada para el Proyecto Cheves ha proporcionado buenos resultados para evitar interpretaciones erróneas sobre que es un estallido de roca o que es una liberación de tensiones. Las medidas de sostenimiento para mitigar las condiciones de estallidos de roca se deben adaptar continuamente a las condiciones tensionales.

**Valencia (2021)**, en su tesis de maestría “Diseño de sostenimiento dinámico para mitigar los estallidos de rocas”. Sostiene como objetivo Diseñar el sostenimiento dinámico para mitigar los estallidos de roca. Concluyendo en que Se diseñó un sostenimiento flexible según la probabilidad de producirse el estallido de rocas, para lograr mitigar el evento sísmico. Al seleccionar el sostenimiento mediante un perno dinámico, se deberá tener en cuenta la capacidad de absorción de energía que este pueda tener, en razón que esta magnitud está con relación al diámetro del perno. El perno dinámico de 16.0 mm de diámetro puede soportar hasta 25 KJ de energía y en diámetro de 20.0 mm pueden soportan hasta 35 KJ de energía, de tal forma de hacer más racional en seguridad y costo el sostenimiento

**Sicilia et al., (2013)**, investigó “La construcción de los túneles de Toquepala. Mina Toquepala, Tacna, Perú”. El cual concluye que los trabajos de caracterización efectuados han permitido por una parte realizar diseños de los sostenimientos ajustados a las características del terreno en el que se han excavado los túneles de transporte de la Mina Toquepala, y por otro lado han posibilitado disponer de una predicción bastante ajustada de la calidad del mismo. Todo ello, junto con una maquinaria adecuada y un excelente plan de obra, han permitido alcanzar unos rendimientos de excavación realmente elevados en las máximas condiciones de seguridad para los operarios, sin que haya que reseñar ningún tipo de accidente.

### **2.1.3 Locales**

**Montoya (2018)**, en su tesis de maestría “Relación geotécnica y litomorfoestructural del túnel de la Mina Paredones Nivel 5”. Sostiene como objetivo evaluar el comportamiento litomorfoestructural del macizo rocoso y la inestabilidad del túnel de la Mina Paredones Nivel 5. Concluyendo que la interrelación del comportamiento litomorfoestructural lo definen la orientación WNW-ESE del emplazamiento de la Veta Murciélagos en el Volcánico Chilote, originando inestabilidades progresivas y aceleradas por presentar argilización en tramos avance de labores y en otras rocas andesíticas competentes de buena calidad, delimitado por el comportamiento geoestructural del macizo rocoso.

**Benel (2019)**, investigó el “Comportamiento geomecánico según los métodos RMR y Q de Barton del Nivel 3 de la Mina Paredones San Pablo Cajamarca”. El Nivel 3 de la Mina Paredones. Teniendo como objetivos cartografiar las unidades litológicas - geoestructurales del Nivel 3, Determinar las variables geológicas y geomecánicas. El cual concluye que la caracterización geomecánica muestra variaciones del RMR de calidad: mala (E-2), media (E-1, E-3 y E-5), buena (E-4) y Q de Barton de calidad: muy mala (E-2), mala (E-1), media (E-3, E-5) y buena (E-4). De acuerdo con estos valores la zonificación se ha dividido en tres zonas de inestabilidad: Altamente Peligrosa, Peligrosa y moderadamente Peligrosa.

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1 Clasificaciones geomecánicas**

Se han desarrollado numerosos sistemas de clasificación de macizos rocosos: clasificación de altura de carga de roca - Terzaghi (Terzaghi, 1946); Clasificación de Lauffer (Lauffer, 1958); índice de calidad de roca - Deere (RQD) (Deere, 1964); sistema Rock Mass Rating (RMR) (Bieniawski, 1973, 1976, 1989); Sistema Q (Barton et al., 1974); y el sistema del índice de fuerza geológica (GSI) (Hoek y Brown, 1997), (Hudson, 2010).

#### **2.2.1.1 Índice de calidad de roca (RQD)**

El índice de calidad de roca (RQD) fue introducido por Deere (1964) como un índice que evalúa cuantitativamente la calidad de la roca. El cuadro 2.1 muestra la relación entre el índice RQD y la calidad del macizo rocoso. El RQD se puede determinar directamente mediante el registro de núcleos perforados o indirectamente mediante el uso de diferentes

correlaciones, como la correlación entre el RQD y la frecuencia de discontinuidad  $\lambda$ , y la correlación entre el RQD y las velocidades sísmicas.

Se han derivado correlaciones entre RQD y la frecuencia  $\lambda$  de discontinuidad lineal para diferentes formas de distribución de espaciado de discontinuidad (Priest y Hudson, 1976; Sen y Kazi, 1984; Sen, 1993). Para una distribución exponencial negativa de espacios de discontinuidad, Priest y Hudson (1976) derivaron la siguiente relación entre RQD y frecuencia de discontinuidad lineal  $\lambda$ .

$$RQD = 100 * e^{-0.1\lambda} * (0.1\lambda + 1)$$

$\lambda$  = Numero de discontinuidades / Longitud

Tabla 1. Índice de calidad de la roca – RQD.

RQD (%)	Calidad de roca
< 25	Muy Mala
25 - 50	Mala
50 - 75	Regular
72 - 90	Buena
90 - 100	Excelente

Fuente: Deere, (1967).

### 2.2.1.2 Valoración de la masa rocosa (RMR)

La valoración de masa rocosa (RMR), propuesto por Bieniawski (1973), se desarrolló inicialmente para túneles. En los últimos años, se ha aplicado al diseño preliminar de taludes y cimentaciones rocosas, así como a la estimación del módulo de deformación in situ y la resistencia de macizos rocosos. El RMR utiliza seis parámetros que se determinan fácilmente en el campo (Hudson, 2010):

- Resistencia de la matriz rocosa
- RDQ
- Espaciado de discontinuidades
- Estado de las discontinuidades
- Flujo de agua freática
- Orientación de discontinuidades

Por ello proponemos la sustitución del sistema de 5 Clases por el de 10 Subclases (Cuadro 2.4). Cada subclase tiene un rango de 10 puntos y, para mantener la correlación con la división anterior, se denomina con el numeral romano de Bieniawski (I, II, III, IV, V), seguido de una letra: **a** para la mitad superior y **b** para la mitad inferior de cada clase. Estas modificaciones están ya en uso en taludes (SMR) y minería (MBMR).

Tabla 2. Orientación de las discontinuidades en el túnel (Bieniawski, 1989).

Excavación con buzamiento		Excavación contra buzamiento		Dirección paralela al eje del túnel		Buzamiento 0°-20°. Cualquier dirección
Buz. 45°-90°	Buz. 20°-45°	Buz. 45°-90°	Buz. 20°-45°	Buz. 45°-90°	Buz. 20°-45°	
Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	Media	Desfavorable

Fuente: González de Vallejo, (2002).

Tabla 3. Calidad de macizo rocosos en relación al Índice RMR.

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión (Kg/cm2.)	Ángulo de rozamiento
I	Muy buena	100 - 81	> 4	> 45°
II	Buena	80 - 61	3 - 4	35° - 45°
III	Media	60 - 41	2 - 3	25° - 35°
IV	Mala	40 - 21	1 - 2	15° - 25°
V	Muy mala	< 20	< 1	< 15°

Fuente: González de Vallejo, (2002).

Tabla 4. Clasificación modificada de Bieniawski subclases y comparación con la original.

Categoría		RMR	Código de colores	Descripción Bieniawski	Descripción Romana
I	I-A	91-100		Muy buena	Excelente
	I-B	81-90			Muy buena
II	II-A	71-80		Buena	Buena a muy buena
	II-B	61-70			Buena a media
III	III-A	51-60		Media	Media a buena
	III-B	41-50			Media a mala
IV	IV-A	31-40		Mala	Mala a media
	IV-B	21-30			Mala a muy mala
V	V-A	11-20		Muy mala	Muy mala
	V-B	0-10			Pésima

Fuente: Romana, (2003).

### 2.2.1.3 Índice de resistencia geológica (GSI)

Hoek y Brown (1997) introdujeron el Índice de resistencia geológica (GSI), tanto para macizos rocosos duros como débiles. Los ingenieros de campo y los geólogos experimentados generalmente muestran un gusto por una clasificación simple, rápida pero confiable que se basa en la inspección visual de las condiciones geológicas. Hoek y Brown (1997) propusieron una clasificación tan práctica para estimar el GSI basándose únicamente en la inspección visual (Cuadro 2.5). En esta clasificación, hay cinco clasificaciones cualitativas principales de las estructuras del macizo rocoso:

El índice GSI fue modificado por Vallejo (2002) con el objetivo de utilizar los cuadros originales de manera práctica y sencilla de clasificar cualitativamente al macizo rocoso y recomendar el sostenimiento requerido. Cabe señalar que el índice GSI fue originalmente desarrollado con la finalidad de obtener parámetros para el criterio de falla de Hoek & Brown, por lo que Vallejo recurre a las equivalencias del GSI con RMR para recomendar y dimensionar el sostenimiento. Las tablas resultan ser muy prácticas para ser empleadas solo para los colaboradores o trabajadores, sin embargo, corresponderá al personal especializado del área de geomecánica de cada empresa (Osinermin, 2017).

Tabla 5. Índice geológico de resistencia (GSI).

<b>Calidad del macizo</b>	<b>Tipo</b>	<b>GSI</b>
Muy mala	V	0 - 20
Mala	IV	21 - 40
Regular	III	41 - 60
Buena	II	61 - 80
Muy buena	I	81 - 100

Fuente: Hoek, (2002).

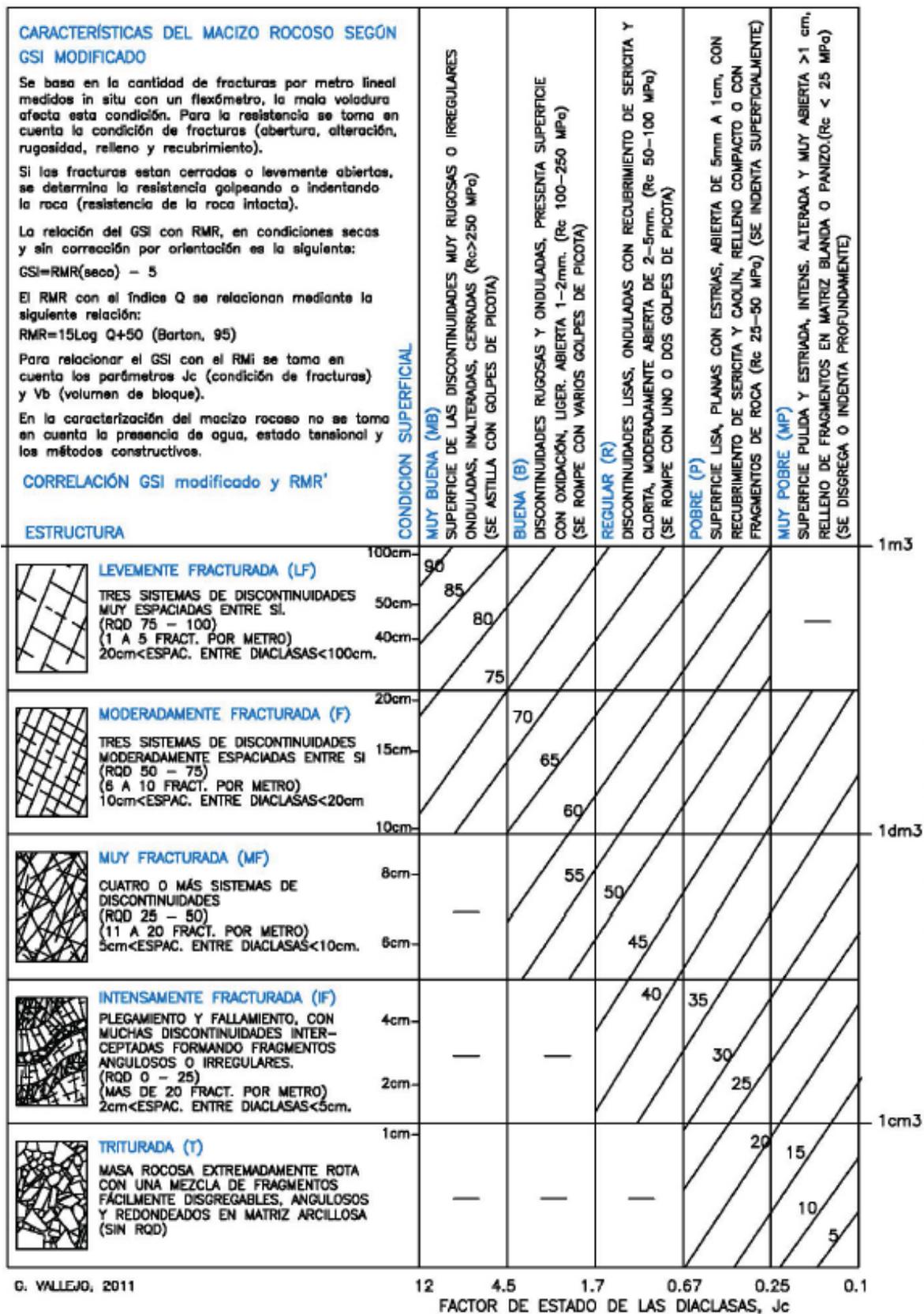


Figura 1. Vallejo, (2011). Caracterización del macizo rocoso según GSI modificado.

Fuente: Hoek, (2002).

#### 2.2.1.4 Índice de calidad tunelera (Q)

El sistema Q, propuesto por Barton et al. (1974), fue desarrollado específicamente para el diseño de sistemas de soporte de túneles. Como sistema RMR, el sistema Q se ha ampliado para proporcionar estimaciones preliminares de las propiedades del macizo rocoso. El sistema Q incorpora los siguientes seis parámetros y la ecuación para obtener la calidad del macizo rocoso Q:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$$

Donde:

RQD = Índice de calidad de roca.

J<sub>n</sub> = Número de familias de discontinuidades.

J<sub>r</sub> = Rugosidad de las discontinuidades.

J<sub>a</sub> = Alteración de las discontinuidades.

J<sub>w</sub> = Presencia de agua.

SRF = Factor de reducción de esfuerzos.

Tabla 6. Valoraciones del Índice de calidad Q.

Q	Tipo de roca
0.001 - 0.01	Excepcionalmente mala
0.01 - 0.1	Extremadamente mala
0.1 - 1	Muy mala
1 - 4	Mala
4 - 10	Media
10-40	Buena
40 - 100	Muy buena
100 - 400	Excepcionalmente buena
400 - 1000	Extremadamente buena

Fuente: Barton, Lien y Lunde, (1974).

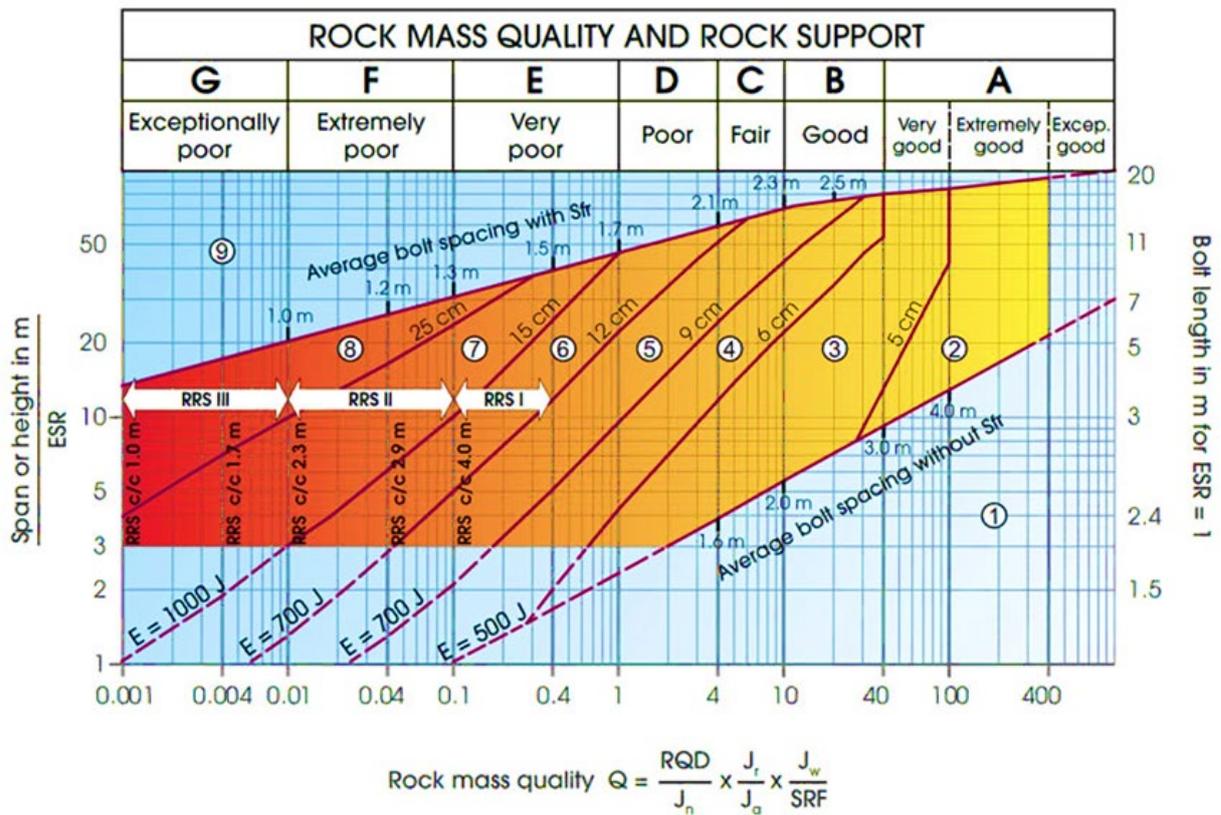


Figura 2. Gráfico de selección de soporte, de Grimstad y Barton con la adición de correlaciones alternativas entre RMR y Q, de Barton.  
Fuente: Tunnels & tunnelling international, (2008).

### 2.2.1 Estallido de rocas (ROCKBURST)

Aunque este fenómeno geomecánico viene siendo observado en la minería desde el siglo XVIII, no ha sido hasta los años sesenta cuando ha comenzado a comprenderse su naturaleza. Este tipo de comportamiento del macizo rocoso puede definirse como una violenta y súbita fracturación del macizo rocoso (estallido) cuando el macizo acumula un exceso de energía deformacional elástica en la post-rotura.

El fenómeno del *rockburst*, o estallido de roca, provoca accidentes cada año, en minas y túneles profundos. Como resultado final de la deformación violenta, se manifiesta un fenómeno de lajado o *spalling* de la roca, de varios decímetros de espesor, o una expulsión de bloques, en función de cual haya sido el mecanismo de inicio del fenómeno, y la intensidad del mismo.

### 2.2.1.1 Criterio de energía de deformación elástica (PES)

Kwa'sniewski, et al. (1994), muestra que las rocas intactas tienen deformación plástica de la prueba de compresión uniaxial cíclica. Significa que estos tipos de rocas competentes casi no tendrían energía de deformación plástica, pero tendrían una mayor tendencia a reventar cuando se rompieran. Esta tendencia se estima mediante una densidad de energía de deformación (PES), la energía de deformación elástica por unidad de volumen bajo compresión. Este criterio, también es denominado Criterio Polaco, no valora el estado tensional del terreno en su emplazamiento geológico, sino la aptitud o capacidad de la roca para almacenar la suficiente energía deformacional como para desarrollar fenómenos de estallido. Este criterio entiende que, si una roca no tiene capacidad para almacenar energía, nunca sufrirá estallido, al margen del estado tensional que finalmente acabe alcanzando. La energía potencial de deformación elástica máxima por unidad de volumen sería la siguiente:

$$PES = \frac{\sigma_c^2}{2E_S}$$

Tabla 7. Probabilidad de riesgo por energía potencial de deformación elástica.

PES (KJ/m <sup>3</sup> )	Valoración del riesgo de estallido
PES < 50	Muy bajo
100 ≥ PES ≥ 51	Bajo
150 ≥ PES ≥ 101	Moderado
200 ≥ PES ≥ 151	Alto
PES > 200	Muy alto

Fuente: Kwa'sniewski et al. (1994).

### 2.2.1.2 Criterio de tensión tangencial

Wang, Li, y Li (1998), propusieron el criterio del estado de tensión in-situ del macizo rocoso como las propiedades mecánicas de las rocas, constituyendo una evolución del Criterio de Hoek de 1980. El criterio de tensión tangencial se expresa por:

$$T_S = \frac{\sigma_\theta}{\sigma_c}$$

Tabla 8. Probabilidad de riesgo de estallido de rocas.

<b>Ts</b>	<b>Valoración del riesgo de estallido</b>
<b>&lt; 0.30</b>	No existe riesgo
<b>0.30 - 0.50</b>	Estallido débil
<b>0.50 - 0.70</b>	Estallido fuerte
<b>&gt; 0.70</b>	Estallido violento

Fuente: Wang, et al. (1998).

### 2.2.1.3 Influencia de la fracturación sobre el estallido de rocas

Deere (1963), definió experimentalmente en el campo de la minería que el nivel tensional como la energía deformacional son menos elevados en los macizos rocosos fracturados, o lo que es lo mismo, la intensidad de fracturación es inversamente proporcional al riesgo de estallido de roca. De acuerdo a estas ideas, puede afirmarse que el riesgo de estallido de roca aumenta con el RQD del macizo rocoso, es decir, son directamente proporcionales. Este riesgo viene cuantificado por:

Tabla 9. Probabilidad de riesgo estallido de rocas por fracturamiento.

<b>RQD (%)</b>	<b>Valoración del riesgo de estallido</b>
<b>RQD &lt; 25</b>	No existe riesgo
<b>25 &lt; RQD &lt; 50</b>	Riesgo bajo
<b>50 &lt; RQD &lt; 75</b>	Riesgo moderado
<b>RQD &gt; 75</b>	Riesgo alto

Fuente: Deere, (1963).

### 2.2.1.4 Criterio de fragilidad de rocas

Qiao y Tian (1998), analizó la fragilidad de la roca se define por un índice de la relación entre la resistencia a la compresión uniaxial y la resistencia a la tracción de la roca, es decir:

$$B = \frac{\sigma_c}{\sigma_t}$$

Tabla 10. Probabilidad de fragilidad de estallido de rocas.

<b>B</b>	<b>Valoración del riesgo de estallido</b>
<b><math>B &gt; 40</math></b>	No existe riesgo
<b><math>40 \geq B \geq 26.70</math></b>	Estallido débil
<b><math>26.70 \geq B \geq 14.50</math></b>	Estallido fuerte
<b><math>B &lt; 14.50</math></b>	Estallido violento

Fuente: Qiao y Tian, (1998).

## 2.2.2 Fluencia de deformación (Squeezing)

La comisión sobre Squeezing Rocks in Tunnels, de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM), ha definido Squeezing (Barla, 1995) como: Gran deformación que ocurre alrededor de un túnel o excavación subterránea, asociada básicamente a la fluencia (creep en el original inglés) causada por tensiones que superan la resistencia a esfuerzo cortante. La deformación puede producirse durante la construcción o continuar por un periodo de tiempo.

Por lo tanto, el término squeezing, de difícil traducción al español (suele denominarse fluencia), se deberá aplicar tan sólo a deformaciones de tipo plástico y/o viscoso, distintas del swelling, que es un hinchamiento acompañado por el aumento de humedad y absorción de agua. Para realizar la predicción y valoración del fenómeno de fluencia (squeezing), suelen aplicarse criterios empíricos, basados en la experiencia. En general suelen utilizarse dos tipos de criterios, los basados en las clasificaciones geomecánicas, y los basados en la estimación de la resistencia a compresión del macizo rocoso.

### 2.2.2.1 Criterio de Goel

Goel (1994), mejora y amplía la idea original de Singh, empleando un principio de squeezing establecido en el resultado del Índice Q de Barton del macizo rocoso, determinado desde información provenientes de noventa y nueve (99) muestras de obras subterráneas en Escandinavia, India y Reino Unido. Goel tiene en cuenta tres grados de fluencia, como: Severo, moderado y ligero. Los términos empíricos que anuncian estos grados piden tan solo saber la carga litostática H, el índice Q y el ancho del túnel B,

Tabla 11. Criterio de Goel, según su grado de fluencia.

Criterio de Goel (Q)	Grados de fluencia
$H < 275 * Q * 0.33 * B - 0.10$	Sin fluencia
$275 * Q * 0.33 * B - 0.10 < H < 450 * Q * 0.33 * B - 0.10$	Fluencia ligera
$450 * Q * 0.33 * B - 0.10 < H < 630 * Q * 0.33 * B - 0.10$	Fluencia moderada
$630 * Q * 0.33 * B - 0.10 < H$	Fluencia severa

Fuente: Qiao y Tian, (1998).

### 2.2.2.2 Criterio de Barla

Barla (1995), propuso un criterio muy útil y sencillo de aplicar para la estimación de las condiciones de squeezing, que está basado en el cálculo de ratio:

$$\frac{\sigma_{Cmass}}{\gamma * Z}$$

Tabla 12. Grados de squeezing.

Ratio	Grado de squeezing
> 1.00	Sin squeezing
0.40 - 1.00	Ligera squeezing
0.20 - 0.40	Moderado squeezing
0.20	Alto squeezing

Fuente: Barla, 1995.

### 2.2.2.3 Criterio de Hoek y Marinos

Hoek y Marinos (2000), estiman el grado de *squeezing* mediante la obtención del ratio propuesto por *Barla* (1995). Estimando este parámetro de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\sigma_{Cmass} = (0.0034m_i^{0.8})\sigma_{ci}\{1.029 + 0.025e^{(-0.1m_i)}\}^{GSI}$$

$$\varepsilon = 0.20 * \frac{\sigma_{Cmass}}{\gamma * Z}$$

Tabla 13. Grados de squeezing.

Clase	Convergencia (%)	Grado de Squeezing
A	< 1%	No se desarrolla squeezing
B	1% - 2.5%	Ligera squeezing: Problemas de soporte resolubles, arcos metálicos ligeros y pernos.
C	2.5 - 5%	Moderado squeezing: Problemas resolubles con hormigón proyectado y cerchas pesadas
D	5% - 10%	Moderado squeezing: Soporte muy pesado, problemas de estabilidad del frente, en filaje y paraguas.
E	> 10%	Extremo squeezing: Soportes especiales, graves problemas de estabilidad del frente.

Fuente: Hoek y marinos, (2000).

## 2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

**Tensiones inducidas:** Es cuando el macizo rocoso se encuentra en equilibrio bajo la acción de tensiones naturales uniformemente distribuidas. Pero cuando se excava la roca ocurre una modificación en el campo de tensiones naturales, sugiriendo un campo inducido (Gavilanes y Andrade, 2004).

**Métodos analíticos:** Están basados en los conceptos de plastificación de la roca y la rigidez del sostenimiento; a estos métodos se les conoce como interacción roca-sostenimiento o también confinamiento de convergencia (Gavilanes y Andrade, 2004).

**Acuífero:** Son aquellas Formaciones geológicas que, estando completamente saturadas, son capaces de almacenar y transmitir cantidades importantes de agua. Por lo tanto, los acuíferos se caracterizan por poseer una permeabilidad significativa, así como por una extensión y espesor (Molinero, 2005).

**Precipitación Pluvial:** Caídas de agua de la atmósfera por el cambio de temperatura, en forma de lluvia, nieve o granizo. (Dávila, 2011).

**Clasificación geomecánica:** Descripción sistemática de la calidad del macizo rocoso, mediante la cuantificación de parámetros de naturaleza subjetiva y objetiva, expresado en cantidades, denominado índice de clasificación (Berrocal, 2015).

**Sostenimiento:** Término usado para describir los materiales y procedimientos utilizados para mejorar la estabilidad y mantener la capacidad portante de la roca en los bordes de una excavación subterránea (Ramírez, 2004).

**Zona de falla:** Se trata de una estructura frágil compuesta por innumerables planos de falla, sub-paralelos a marcadamente oblicuos entre sí, interconectados y estrechamente espaciados. En algunos sectores la zona de falla puede tener zonas de brecha o harina de falla (Lillo y Oyarzun, 2013).

**Modelo geológico:** Consiste en la recopilación de información geológica existente sobre la zona de estudio, para proporcionar información más detallada, necesaria para el diseño de la mina (Ramírez et al., 2008).

**Poste:** Desarrollan esfuerzos descompresión paralelo a las fibras debido a la carga que se toma del techo y la reacción que provocan en el piso de la labor. Sin embargo, cuando la longitud de los postes pasa de cierto límite, estos trabajaban a la flexión, por esta razón se debe calcular sus dimensiones de los postes, para q estos trabajen solamente a la compresión, y su carga axial sea permisible a los esfuerzos de presión (Donaires, 1965).

**Diaclasa:** Son fracturas en rocas a lo largo de las cuales apenas o ningún movimiento ha tenido lugar (Lisle y Lesión, 2002).

## CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1.1 Geográfica

La investigación se ubica geográficamente al este de la ciudad de Cajamarca, en la cordillera occidental en las concesiones mineras LUMINOSA NUMERO 2A, donde se desarrolla el proyecto minero Paredones, ubicándose en el cuadrángulo de Cajamarca (15-f) cuadrante-IV, utilizando como base gráfica las coordenadas del sistema UTM – DATUM – WGS-84, zona 17S.

La bocamina del Nivel 4 está ubicada al SE de las instalaciones mineras teniendo como coordenadas E : 740635.73, N: 9204496.82 y Cota : 1040.00 m.s.n.m. (*Ver Anexo. Plano N° 01: Ubicación*). actualmente la empresa Minera Cajamarca S.A.C está extrayendo minerales: Cu, Ag, Zn y Pb; mediante el tajeo de las labores abandonadas por la compañía minera norteamericana NPMC (North Perú Mining Corporation).

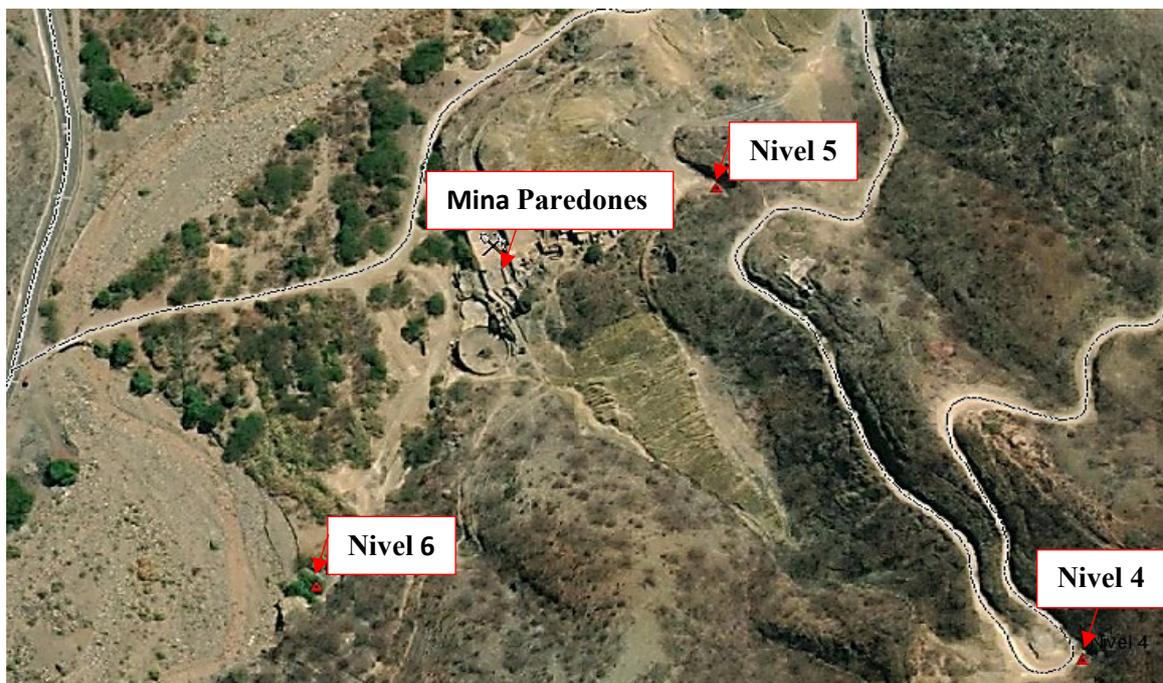


Figura 3. Ruta de acceso a la mina Paredones – Nivel 4 (Google Maps, 2023).

### 3.1.2 Política

Políticamente el área de estudio está ubicada al sur oeste de Cajamarca, en el distrito: San Bernardino, provincia: San Pablo y Región: Cajamarca. en las instalaciones mineras de la Mina Paredones exactamente en el Nivel 4. Sus aguas desembocan en la cuenca del Jequetepeque.

### 3.1.3 Accesibilidad

La accesibilidad al área de estudio se puede llegar por dos rutas alternas, ya sea tomando la ruta vía terrestre carretera a la costa, desde el distrito de Cajamarca (Salida a la costa) hasta el distrito de Chilete. Luego se recorre el tramo de Chilete – San Bernardino. Para ya estar dentro de la unidad minera Paredones. También se puede tomar la ruta alterna, Cajamarca - San Pablo - San Bernardino – Bocamina Nivel 4.

Tabla 14. Accesibilidad al área de investigación.

Alternativa	Tramo	Tipo de Vía	Longitud (km)	Tiempo (min)
1	Cajamarca- Chilete	Asfaltada	85,5	120
	Chilete - Mina Paredones	Asfaltada	4,5	10
				90 km. 2 h 10 min
2	Cajamarca- San Pablo	Asfaltada	73,9	105
	San Pablo - San Bernardino	Asfaltada	16,5	25
	San Bernardino - Mina Paredones	Asfaltada	4,5	10
				94,9 km. 2 h 20 min



Foto 1. Bocamina del Nivel 4 inicio de las instalaciones: Crucero 1040 NE y Bay-pass.

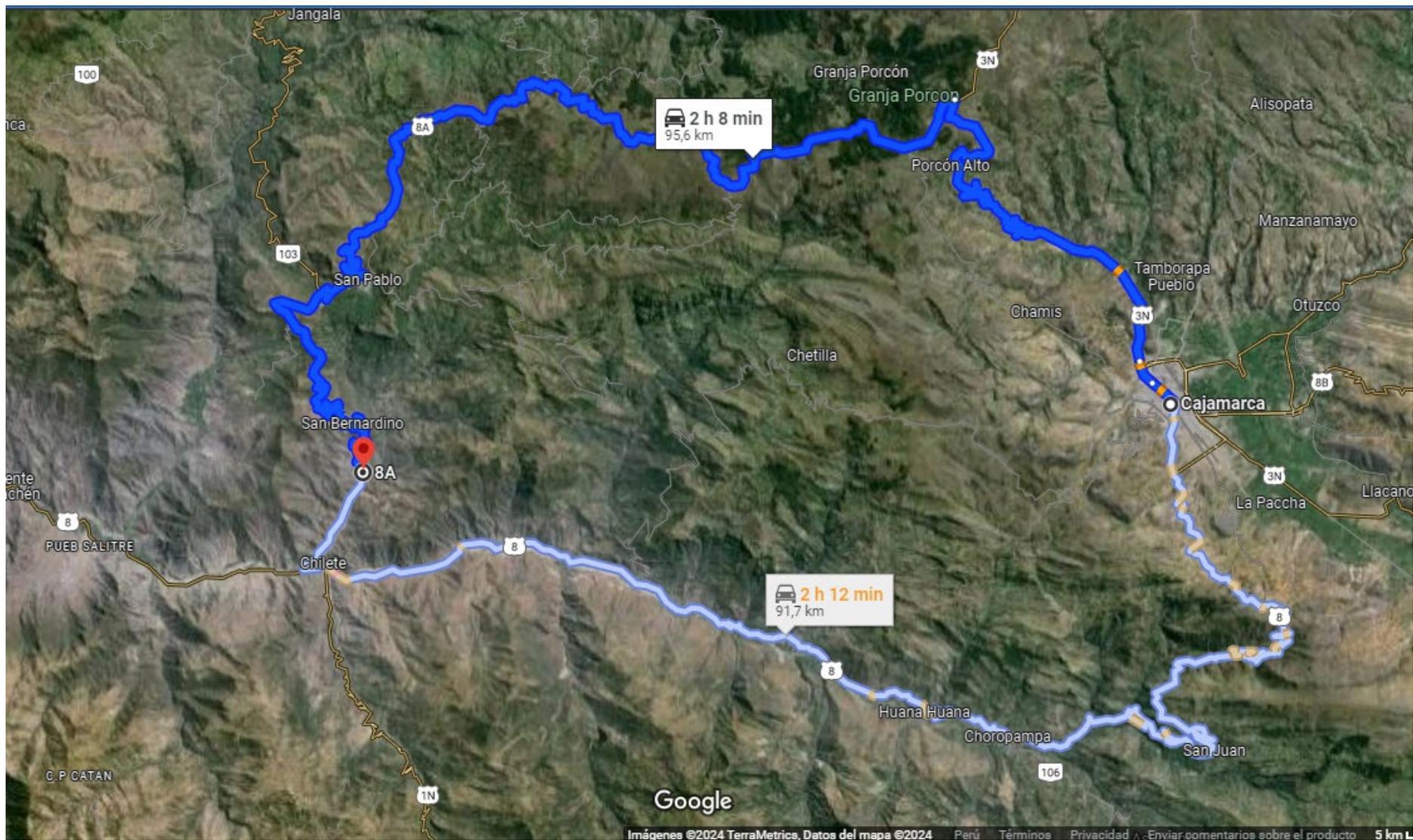


Figura 4. Mapa de las principales vías de acceso al área de investigación. (Google MAPS, 2024)

## **3.2 PROCEDIMIENTOS**

Para la ejecución del presente trabajo de investigación se tuvieron en cuenta tres etapas: planificación (Etapa de pre campo), Etapa de campo y Etapa post – campo (gabinete).

### **3.2.1 Etapa de pre campo**

En esta etapa se realizó la compilación, selección y revisión bibliográfica de informes, tesis, papers y trabajos anteriores referentes a la geología, específicamente la geomecánica y estallidos de rocas referentes al desarrollo de esta investigación. También se realizó la planificación y revisión de información, conformado por fechas importantes o relevantes que enmarcaron el proyecto. Además, se diseñaron hojas de toma de datos que incluyen la recolección y la integración de datos como; litología, numero de discontinuidades, características del macizo rocoso y estructuras.

### **3.2.2 Etapa de campo**

Con salidas al área de investigación de acuerdo a lo establecido cronograma, Fue de vital importancia para la recolección y toma de información del afloramiento rocoso, basados en técnicas observacionales, plasmando información: Cuantitativa y cualitativa, mediante registros o planos topográficos por los cartografiados geológicos-geomecánicos, siguiendo secuencias de toma de información de campo e identificando las zonas críticas y de esta manera poder proponer medidas de controles para mitigar zonas expuestas a la liberación de energía.

### **3.2.3 Etapa post – campo**

Consistió en el procesamiento de la información obtenida en campo, sintetizando, clasificándolo de acuerdo con: Variables, jerarquías y métodos, en cuadros que servirán de base para el análisis de similitudes comparativas de la ocurrencia de la zona de investigación. Siendo de tal importancia para ver el comportamiento del afloramiento rocoso por los cambios tensionales existentes enfocados en la compresión y descripción de la investigación. Posterior a ello se pretende implementar un nuevo sostenimiento y los controles para mitigar el estallido de rocas en las zonas críticas. Fundamentadas en la clasificación de información, facilitando lectura e interpretación, presentando datos de manera sintética, obteniendo conclusiones y respuestas concretas de la investigación plasmada en un informe detallado.

Además, en el caso de los planos se utilizarán los softwares (ArcGis 10.8, AutoCAD, Civil3D, SASPLANET, Rocsupport V3, Phase2 V8 y Faultkin).

### 3.2.4 Metodología

#### 3.2.4.1 Tipo, nivel, diseño y método de la investigación

El tipo de la investigación según el objetivo es aplicado porque el problema está establecido reconocido por lo cual se utiliza esta investigación para solventar preguntas específicas, es exploratoria y descriptiva, porque implica observar y describir las características geomecánicas del macizo rocoso y en función a ellos identificar las zonas de liberación de energía y proponer un posible sostenimiento y así establecer un tipo de control.

**Según el Nivel:** Descriptivo, está fundamentada en describir progresivamente las condiciones del Nivel 4, como: Geometría del túnel, características de la población, litología, geoestructuras, etc. o fenómenos sin entrar a conocer las relaciones entre ellas, teniendo como fundamento el objetivo general, dando a conocer porque la ocurrencia del estallido de rocas. Mostrando definiciones, clasificaciones, divide y concretiza la respuesta. Logrando recolectar información durante el proceso de investigación. Presentando información: Cualitativa y cuantitativa, basada en la utilización del lenguaje verbal, mediante: Observaciones, cuadros geomecánicos, toma de información y comparaciones para validar las condiciones existentes. Mostrando la calidad de información fundamentadas por: Criterios geomecánicos y diseño geométrico del tajo; sustentados por el carácter científico de la tesis.

Explicativo, Se buscó ampliar el conocimiento, logrando revelar los motivos por los cuales ocurre los cambios tensodeformacionales en las estaciones geomecánica, logrando obtener la respuesta de manera puntual, logrando proporcionar porque la ocurrencia. Logrando recolectar información secundaria como: Artículos científicos, literatura, seminarios, revistas científicas; para tener comprensión amplia y equilibrada del tema; perfeccionando porque el estallido de rocas.

**Según el diseño:** No experimental de campo, está basado en observaciones de campo en el contexto natural de acuerdo con cambios u ocurrencias de fenómenos tensodeformacionales del macizo rocoso, con relación al comportamiento de la sección transversal de la excavación subterránea, interactuando con las variables independientes, sin intervenir o manipular las variables, apuntando el comportamiento progresivo que ocurre en el túnel, siendo de vital importancia para interpretar y analizar.

**Según su finalidad:** Cualitativa, presenta información observacional a partir de la ocurrencia, mediante: Diagnósticos, registros, entrevistas, memorias, observaciones del tesista. que darán el punto de vista informativo de la ocurrencia en la zona de investigación, mediante la recolección de información que no puede cuantificarse para concluir el proceso,

mediante opiniones o emociones. Logrando relacionarlo con los eventos ocurridos por cada proceso o etapa de la excavación subterránea, galería principal, vetas, cruceros y by-pass. Cuantitativa: Fue basada en el análisis de cantidades elevadas de información numérica por parte de las variables independientes, que obtuvo de la muestra representativa de la población, logrando generalizar los resultados y establecer relaciones causales entre las variables; para observar el comportamiento de la sección subterránea frente a los estados de deformaciones actuales que presenta la sección. Permitiendo mejorar, validar y refutar los resultados progresivamente, logrando así estabilizar las secciones críticas, fundamentando mediante herramientas de análisis: Matemático y estadístico.

***Según su finalidad:*** Aplicativa, se logró generar conocimiento geomecánico, desarrollando por cada variable para tener un conocimiento más amplio de interacción de la ocurrencia en un frente de excavación realizado combinaciones mediante los modelos numéricos, obteniendo así información de primer mano. Enfocándose a dar respuesta a los objetivos específicos que afectan a la excavación subterránea, ayudando a encontrar soluciones concretas y reducir la liberación de energía en el Nivel 4, pasando de conocimiento teórico a práctico mediante el sostenimiento.

***Según el periodo:*** Transversal en el tiempo, está enmarcada en sucesos observacionales registrando información de las variables de la población de cada una de las muestras, teniendo como propósito describir y analizar la incidencia e interacción de las variables sin manipular. Ayudando a validar o no validar la hipótesis, relacionadas metodologías: Descriptivos (Se basó en describir porque ocurre los sucesos tensodeformacionales en cada estación geomecánica y comportamiento) y analíticos (Esta fundamenta en la interrelación de cada variable para ver su comportamiento geomecánico).

Tabla 15: Clasificación y los tipos de investigación.

<b>Clasificación</b>	<b>Tipos de investigación</b>
Según el nivel	Descriptivo – explicativo
Según el diseño	No experimental / de campo
Según el periodo	Transversal en el tiempo
Según su naturaleza	Cualitativo y cuantitativo
Según su finalidad	Aplicativo

Fuente: Adaptado de Supo (2016).

#### **3.2.4.1 Población de estudio**

Afloramiento rocoso de la Mina Paredones, conformado por rocas de volcánico Chilete, de la excavación subterránea Nivel 4 en una longitud de 500 m. lineales.

#### **3.2.4.2 Muestra**

La muestra corresponde al crucero (veta Wets Pacasmayo y Buzón) y bay-pass de la excavación subterránea del Nivel 4 de la Mina Paredones.

#### **3.2.4.3 Unidad de análisis**

Liberación de energía, tipo de sostenimiento, controles de mitigación de energía, carga litostática y geoestructuras.

#### **3.2.5 Identificación de variables**

Para la investigación se ha identificado variables independientes y dependiente, las cuales se relacionan directamente como se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16. Tabla de identificación de variables.

<b>Variabes Independientes</b>	<b>Variabes Dependientes</b>
Litología	
Tensiones	
Geoestructuras	Liberación de energía
Sostenimiento	

### 3.2.6 Técnicas

Se basó en la recolección sistemática de datos, inicialmente se toma manifestaciones a trabajadores antiguos de las labores, obteniendo un panorama general del entorno geológico y estructural del Nivel 4 Mina Paredones, posteriormente se realizaron inspecciones de campo para obtener información más completa sobre: ocurrencias subterráneas, método de recuperación minera de las cajas y centrándonos en las condiciones de inestabilidad geomecánica actuales. Por consiguiente, la tesis plantea brindar información real y precisa, para el procesamiento, análisis, interpretación y redacción; mediante el cartografiado geológico y geomecánico. Se definen cuatro etapas de recolección de datos que se describe a continuación:

**Planificación y revisión de información:** Está conformado por fechas importantes o relevantes según los objetivos del proyecto, y recopilación de la información sobre estallidos de rocas y su caracterización geomecánica.

**reconocimiento del Nivel 4 e identificación de zonas críticas,** mediante visitas exploratorias, obteniendo el cartografiado subterráneo y superficial, mediante el llenado de registros: geológicos, goestructurales y geomecánico, para ello se obtuvo información cualitativa y cuantitativa, relacionada con las variables planteadas.

**Evaluación, propuestas de sostenimiento y con controles** para mitigar los estallidos de rocas en las zonas críticas del Nivel 4 de la Mina Paredones, según su caracterización geomecánica y su influencia del factor que condicionan dichas estructuras.

**Selección y agrupación de datos** mediante softwares (ArcGis, AutoCAD, Civil3D, SASPLANET, Rocsupport V3 y Phase2 V8 y Faultkin) y tablas para el análisis e interpretación de datos de campo para posteriormente plasmarlos en un informe final.

### 3.2.7 Instrumentos y Equipos

#### 3.2.7.1 Equipos

**GPS navegador Garmin:** se utilizó para la ubicación espacial de la bocamina del Nivel 4; a través de sus coordenadas en el sistema UTM-WGS-84.

**Brújula Brunton mod. 5006:** Utilizado para la toma de direcciones de discontinuidades, diques, rumbo, buzamientos e inclinación de estructuras.

**Lupa de 30x:** para reconocer los componentes de los sedimentos y rocas.

**Lápiz rayador 88CM General Tools:** Herramienta utilizada para identificar minerales por medio de su dureza relativa.

**Cámara digital (13 MPX):** servirá para tomar fotografías en la zona de estudio.

**Protactor:** para cartografiar las estaciones geomecánicas.

**Picota de Geólogo:** para obtener la resistencia de las rocas y extracción de muestras.

**Flexómetro de 5 m y Wincha de 30 m:** para medir potencia de bancos, fracturas diaclasas, abertura, sección de labor, etc.

**Ácido Clorhídrico (HCL) diluido al 10 %:** para determinar el contenido de carbonatos en la muestra.

**Libreta de Campo, tablero de cartografiado:** Para la toma de datos de la caracterización geomecánica del macizo rocoso.

### 3.2.7.2 Materiales

**Plano geológico, satelital y topográfico a escala 1/100000 y 1/50000:** Guía para ubicarse dentro del área de estudio y poder entender el entorno geológico.

**Lápices, lapiceros y colores:** Utilizados para anotaciones y cartografiado.

**Tablas y formatos de clasificación geomecánica:** Utilizado para caracterizar el macizo rocoso utilizando las tablas geomecánicas de Bieniawski, 1973.

**Laptop Toshiba:** Instrumento utilizado para el procesamiento de los datos y redacción de los informes.

**Impresora Epson:** Permite la impresión del trabajo digitalizado.

**Útiles de Escritorio:** Papel bond, lápiz, plumones indelebles, etc.

**Soporte técnico programas computarizados:** fueron vinculados con programas ingenieriles de cartografiado y trazado (ArcGis, AutoCAD, Civil3D y SASPLANET) y evaluación de masa rocosa (RocData, Phase<sup>2</sup> y Faultkin).

**Microsoft Office 2021 (Word, Excel, Power Point):** Software de oficina para la redacción, creación, modificación y presentación de datos.

### 3.2.8 Tratamiento, Análisis de Datos y Presentación de Resultados

El proceso de análisis de los datos obtenidos se realizó en base a la obtención de datos para la caracterización geomecánica del macizo rocoso, de esta manera se identifica las zonas críticas y liberación de energía para posteriormente plasmarlos en un plano geomecánico y analizar la data obtenida en campo mediante los softwares especializados en evaluación de masa rocosa (RocData, Phase<sup>2</sup> y Faultkin). Seguidamente se realiza un análisis y una propuesta de sostenimiento para controlar la liberación de energía y así de esta manera mitigar los estallidos de rocas en las zonas críticas del Nivel 4 - Mina Paredones, según su caracterización geomecánica y su influencia del factor que condicionan dichas estructuras.

Finalmente, los resultados serán plasmados en planos geomecánicos evidenciando una propuesta de sostenimiento, plasmado en un informe final detallado.

### 3.3 HIDROGEOLOGÍA

Las instalaciones subterráneas están afectas por filtraciones generadas por escorrentía superficial, evidenciándose humedad en: techo y hastiales de las labores. Sin embargo, en el crucero orientación NE (Se evidenció secciones secas a ligeramente húmedas, predominando sobre todo desde  $PI_{NE} + 00$  m. a  $PI_{NE} + 130$  m.) y al SW (Presenta filtraciones de agua subterránea desde  $PI_{SW} + 00$  m. a  $PI_{SW} + 150$  m.). A diferencia del by-pass desde  $PIp + 00$  m. a  $PIp + 55$  m. no presenta filtraciones; cambiando progresivamente a humedad constante y progresiva en el techo y hastiales sin afectar el piso de las labores mineras, favoreciendo la alteración de la roca caja (Andesita) y alteraciones (Argílica avanzada y silicificada) formando en la superficie recristalización de minerales como: Epsomita, hidrocincita y calcantita, observándose como cobertura blanquecina de hábito fibroso y laminar.



Foto 2. By-pass afectado por la humedad, formando recristalización de minerales hidratados en la sección subterránea desde  $PIp. + 55$  m. a  $PIp. + 159$  m.; ubicados en techo y hastiales.

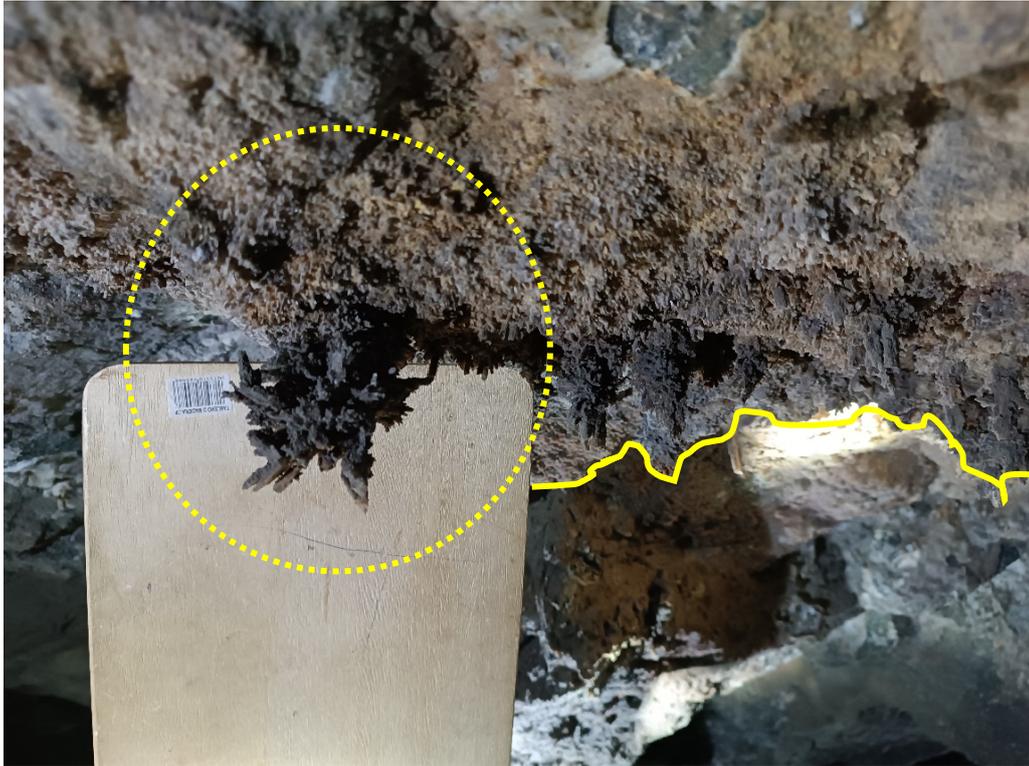


Foto 3. Estalactitas y Silicita, formadas por disolución de minerales hidratados, ubicados en el techo del by-pass desde Pip. + 120 m. a Pip. + 140 m. constituyendo zonas de cristalización de minerales.

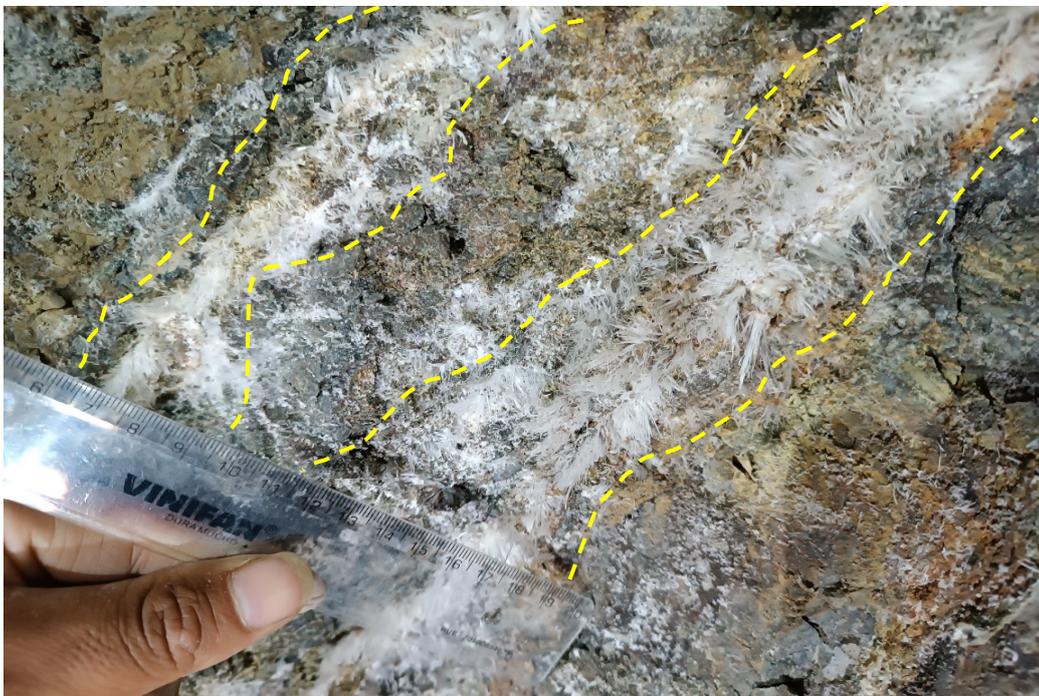


Foto 4. Recristalización de minerales de Epsomita de habito fibroso, ubicados en los hastiales de la excavación subterránea desde: Pip. + 140 m. a Pip. + 155 m., formándose en las juntas del afloramiento rocoso.

### 3.4 GEOLOGÍA LOCAL

Los cartografiados locales del Nivel 4 – Mina Paredones, de las instalaciones: By-pass y crucero (NE y SW), muestran que está emplazado en roca andesita de grano medio de textura afanítica de color gris verduzco con seudoestratificación de orientación (Az/Bz): N229°/30°NW, pertenecientes a rocas volcánicas del Paleógeno – Eoceno, de la secuencia Volcánica Chilete – Ayambra, conformado por: Depósitos de flujos de lava andesítica intercalada con depósitos volcanoclásticos, lahares (Compuesto de matriz cementante de sílice y clastos: Ángulos, subangulosos a redondeados de diámetro 3'' a 7'') y flujos de cenizas gris violáceos, producto del vulcanismo post-tectónico con espesor de 800 m., evidenciándose en los alrededores del distrito: Chilete y San Bernardino. Sin embargo, la zona de investigación fue influenciada por: Eventos volcánicos y tectónicos, formando por el volcánico Chilete.



Foto 5. Roca andesita, determinada por descripción macroscópica con los siguientes porcentajes de: feldspatos 10%, plagioclasas 70% cuarzo, 3%, biotita 7% y hornblenda 10%. Evidenciada en el crucero 1040 SW, de color gris verduzco de textura afanítica.

Sin embargo, el By-pass tiene una longitud PIp + 159 m., presenta un diatrema de orientación SE, siendo una geoestructura vertical de base elíptica ubicada (Paralelo a la Veta Murciélagos), siendo tajado desde: PI + 483 m. hasta PI + 609 m. recuperando toda esta zona de enriquecimiento mineral, cortando tres niveles abajo, formando actualmente una

chimenea vertical inclinada de  $Bz = 80^{\circ}NE$  a  $85^{\circ}NE$ ) desde PIp + 25 m. hasta PIp + 85 m., con dimensiones de 60 m. x 20 m. de material brechoso; actualmente mostrándose altamente fracturada aprovechada por la cámara magmática para la liberación violenta de gases, ocasionado movimientos ascendentes de material andesítico, expulsando violentamente por la chimenea, originando colapsos del interior del cráter, para ser aprovechados por los fluidos hidrotermales ascendentes, originando cuerpo brechoso freatomagmático mineralizados, presentando fragmentos angulosos andesíticos: 5.50 cm. a 10.00 cm., con matriz cementante de polvo de roca constituyendo el cuerpo mineralizado compuesto por: Esfalerita, galena, galena argentífera, covelina, cuarzo, calcopirita, pirita y óxidos de hierro. Evidenciándose en esta instalación dos alteraciones: Sílica y argílica avanzada, afectando la composición: Textural, mineralógica y química, de la roca caja y Veta Murciélagos. La alteración sílica, se localiza próxima a la Veta Murciélagos y West Pacasmayo, caracterizada por su bajo peso específico compuesto de sinter y sílice, afectada por los fluidos hidrotermales ácidos lixiviando el cuerpo mineralógico y roca andesita, siendo ubicada en la periferia de la Veta Murciélagos y Andesita (Roca caja), afectada por aguas meteóricas cambiando la composición de la veta formando aureolas compuestas de materiales rocosos andesíticos altamente fracturados en forma de costras nodulares de mala a muy mala calidad rocosa.



Foto 6. Alteración silicificada, ubicada en el by-pass desde Pip + 85 m. a Pip + 159 m. presentando en la cara libre afectación por la humedad.

Por consiguiente, la Veta Murciélagos presenta orientación (Az/Bz): N300°/80°NE y pitch = 86° y la Veta West Pacasmayo con orientación (Az/Bz): N135°/77°NE y pitch = 82°, ubicándose a distancia 110 m. compuesto de minerales sulfurosos. Tectónicamente la zona deformacional de gran envergadura presenta enjambres de diques paralelos, observado por su emplazamiento compuesto por material de grano fino presentando alta tasa de cizalla por la superficie despegue entre planos falla.



Foto 7. Brecha con fragmentos angulados de 5.50 cm. a 10.00 cm. con matriz cementante de sílice en hastial izquierdo del By – Pass, emplazado en roca andesita.

### 3.5 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El cartografiado geoestructural manifiesta que las estructuras mayores de la Mina Paredones, tiene orientación NW-SE, relacionados con las Vetas: Murciélago (Presentando  $Az = N300^\circ$ ,  $Bz = 80^\circ NE$ ,  $pitch = 86^\circ$ ,  $K = Nx$  y paleoesfuerzos (T/P):  $\sigma_1 = 225.50/58.80$ ,  $\sigma_2 = 129.00/3.90$  y  $\sigma_3 = 36.70/30.90$ ) y West Pacasmayo ( $78^\circ$  a  $85^\circ SW$ ). Identificándose estructuras mineralizadas con desplazamientos de rumbo sinestrales, presentan Rb:  $N 30^\circ$  a  $50^\circ W$  y  $Bz: 78^\circ NE$  a  $87^\circ SW$ , controlados por dos fallas transcurrentes dextrales del sistema E-W, que coinciden con las quebradas: California y El Ingenio (Uribe, et al., 2011) y la falla dextral del río San Pablo con orientación NE – SW, ubicados a 500 m. a 900 m. de distancia. Conformado por estructuras mayores y menores, proporcionando información cuantitativa y cualitativa para su interpretación y análisis.

Las fallas predominantes en el by-pass estuvieron conformadas por brechas andesíticas angulosas a subangulosas de diámetros 0.05 m. a 0.10 m., con matriz cementante de sílice y mineralización: Covelina, calcopirita, pirita, esfalerita y galena; con orientación (Az/Bz):  $N107^\circ/64^\circ SW$  y  $N209^\circ/40^\circ NW$ . Por lo contrario, el plano de falla sinistral de orientación:  $Az = N250^\circ$ ,  $Bz = 31^\circ NW$ , desplazó a la Veta Murciélago, al lado izquierdo de la galería, con salto de falla de 1.20 m. delimitada por milonita de color: amarillo, rojizo a anaranjado, con espesor: 0.30 m a 0.40 m., conformado por clastos de brecha angulosa y matriz cementante de sílice y polvo de roca, ubicado en el PI + 475.15 m. de la galería principal. Sin embargo, los cruceros también presentaron zona brechosas a milonitizadas, cortando transversalmente al túnel generadas por movimientos tectónicos, en muchos de los casos no fueron cargadas de mineralización, siendo zonas estériles: formando aureolas por la sección del túnel.

Las estructuras menores fueron delimitas por: Juntas, diaclasas, planos y discontinuidades. definiendo el modelamiento del macizo rocoso, conformado (Az/Bz):  $N36^\circ/72^\circ SE$ ,  $N225^\circ/45^\circ SW$ ,  $N124^\circ/80^\circ SW$  y  $N315^\circ/23^\circ NE$ ; formando por la sobre excavación de las secciones en forma: Baúl, cuadrada y rectangular, con altura: 3.50 m. a 4.00 m. y ancho: 2.10 m. a 2.50 m., siendo la geoestructura más persistente la pseudoestratificación con orientación (Az/Bz):  $N230^\circ/28^\circ NW$ , formando en varias secciones

desprendimientos en forma de triedros tetraedros, prisma truncado y prisma doblemente truncado.

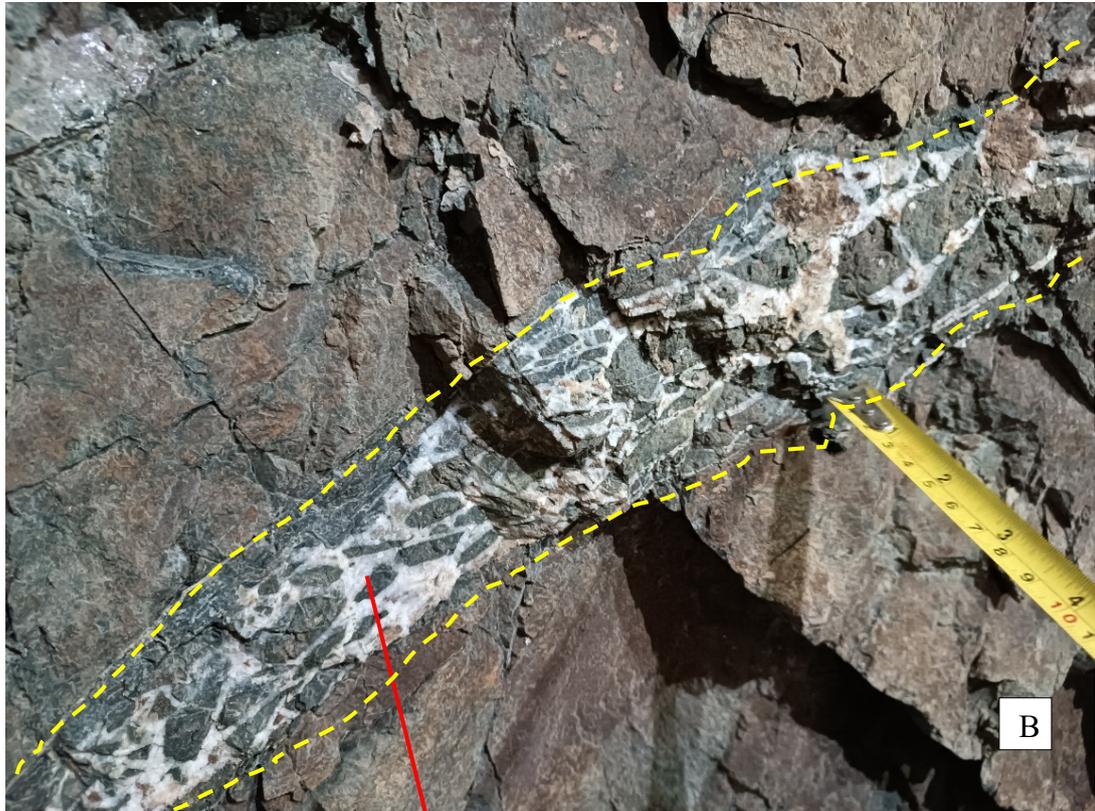


Foto 8. **A.** Falla Nx, relleno con brecha de falla, ubicado en el hastial izquierdo del By- Pass. **B.** Brecha de falla de 0.10 m., cortando a la roca andesita, compuesto de material traquelado anguloso con matriz cementante de sílice cuarzoso de color blanquecino, con orientación  $Az = N33^\circ$ ,  $Bz = 20^\circ SE$  y  $pitch = 84^\circ$ .

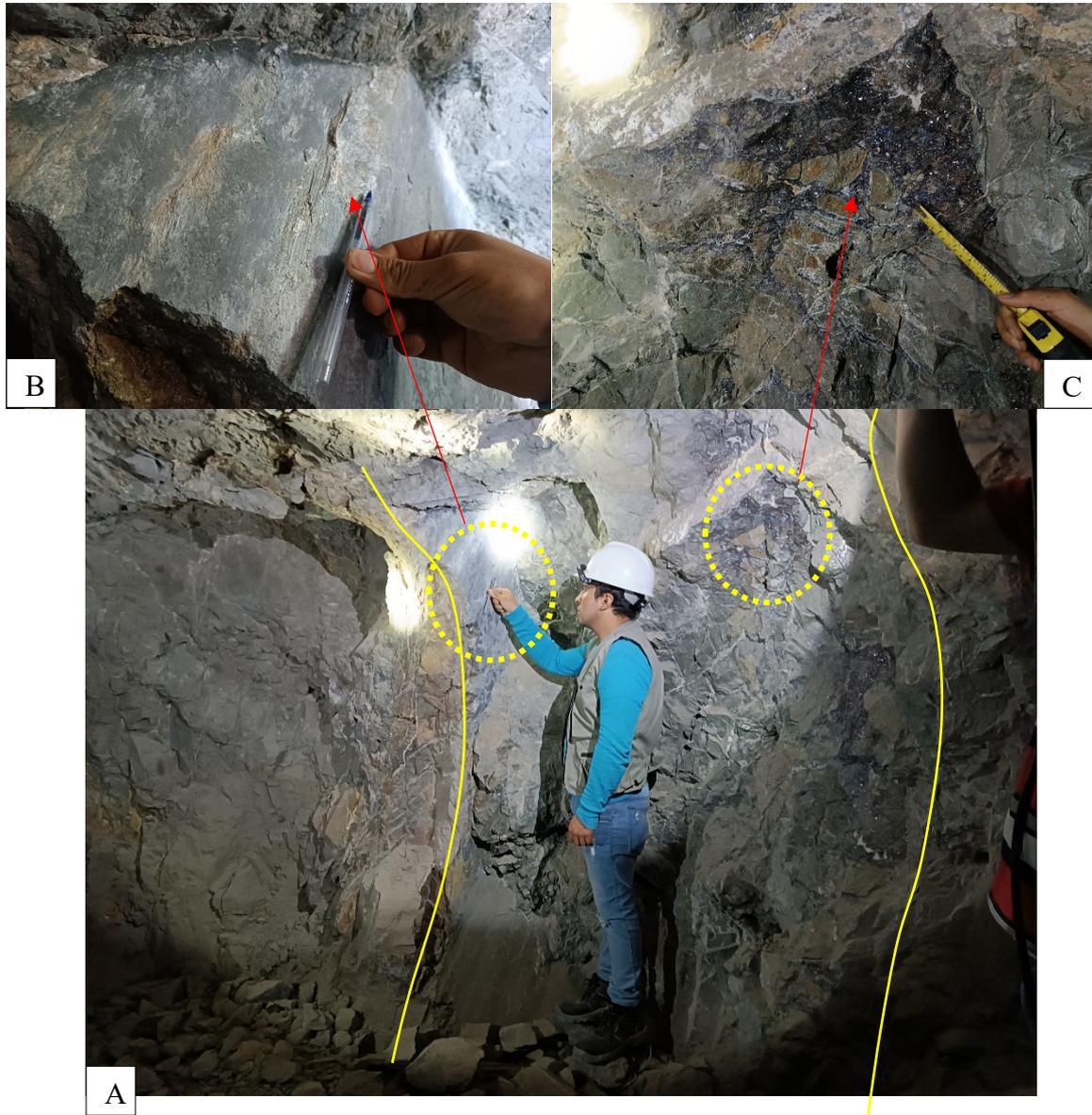


Foto 9. **A.** Falla Ix de espesor 5.40 m. delimitada por dos planos de falla presentes en el hastial derecho del By- Pass. **B.** Estrías de falla y slikensides de orientación ( $Az/Bz$ ):  $N107^\circ/64^\circ SW$  ubicado en la corona y hastial derecho del By- Pass. **C.** Plano de brecha de falla de orientación ( $Az/Bz$ ):  $N209^\circ/40^\circ NW$ , con matriz cementante mineralizado de covelina presente en el hastial derecho del By- Pass.

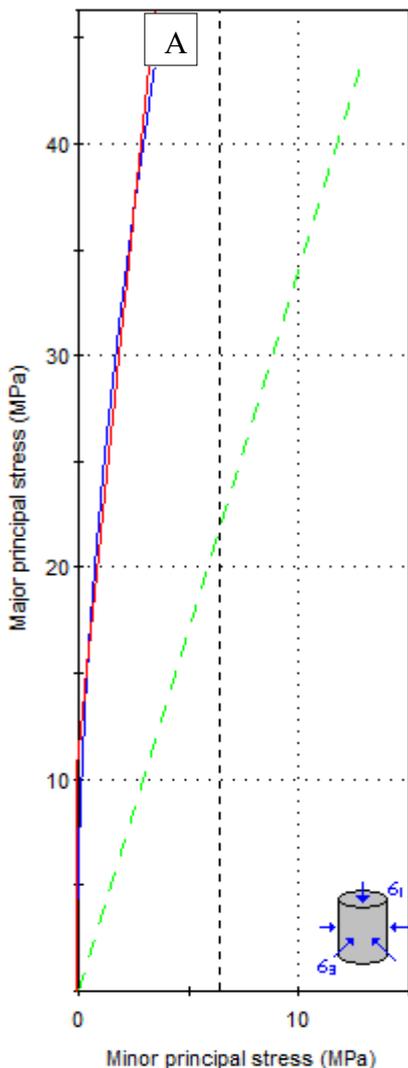
### 3.6 GEOMECÁNICA SUBTERRÁNEA

La caracterización geomecánica del Nivel 4 – Mina Paredones en las instalaciones del Crucero (I-II) y by-pass, se utilizó el mapeo geomecánico por línea de detalle – método lineal; obtenido información cualitativa y cuantitativa (Registro geomecánico), aplicando los criterios empíricos: Priest y Hudson, 1976 (RQD), Bieniawski 89 (RMR), Vallejo, 2011

(GSI) y Barton et al., 1974 (Q), obteniendo la calidad de roca para que posteriormente sea utilizada y fundamentada por programas numéricos como: RocData (Morh-Coulomb, generalizado Hoek-Brown y generalizado Hoek-Diederichs) y Phase2(modelo numérico, determinístico y probabilístico), conformada analizando para la investigación cinco estaciones geomecánicas.

### 3.6.1 GEOMECAÍNICA EG-01

Presenta pseudoestratificación de rocas andesitas de orientación Az/Bz = N214°/20°NW de espesor: 0.40 m. a 0.25 m., de color verduzco cartografiándose desde: Pic. + 56.65 m. a Pic. + 66.65 m., presentando cuatro planos de discontinuidades de superficies limpias con abertura nada a 1 mm. El mapeo geomecánico por línea de detalle, muestra:  $\sigma_{ci}$  = 85 MPa. (2 Golpes), RQD = 55.78%, RMR = 59, GSI = 54 y Q = 9.30, cuantificándolo como roca de calidad media; con campo tensional constante:  $\sigma_1$  = 4.056 MPa. y  $\sigma_3$  = 3.46 MPa.; H = 156.00 m. y  $m$  = 0.85. con campo tensional de nivel medio.



Clasificación Hoek - Brown

Resistencia comp. uniaxial intacta ( $\sigma_{ci}$ ) = 85 MPa

GSI = 54  $m_i$  = 28 Factor de disturbancia = 0.00

Módulo intacto ( $E_i$ ) = 38,250 MPa

Modulus ratio (MR) = 450

Criterio Hoek - Brown

$m_b$  = 5.42  $s$  = 0.01  $a$  = 0.50

Morh - Coulomb

Cohesión = 1.80 MPa Ángulo de fricción = 55.04°

Parámetros de la masa rocosa

Resistencia a la tracción = -0.09 MPa

Resistencia compresión uniaxial = 6.46 MPa

Resistencia global = 26.47 MPa

Módulo de deformación = 14,799.68 MPa

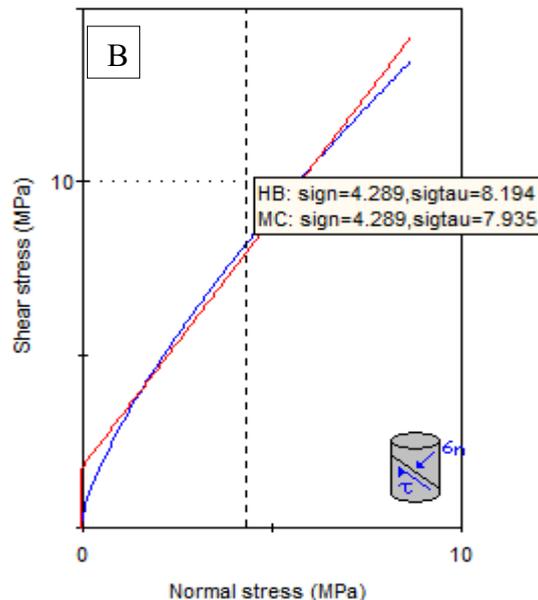


Figura 5. A. Esfuerzo: Mayor vs. Menor (Hoek-Brown). B. Esfuerzo: Corte y normal (Morh-Coulomb); mediante el método equivalencia de área del eje tensional y línea de Mogi's. Estación geomecánica EG-01.

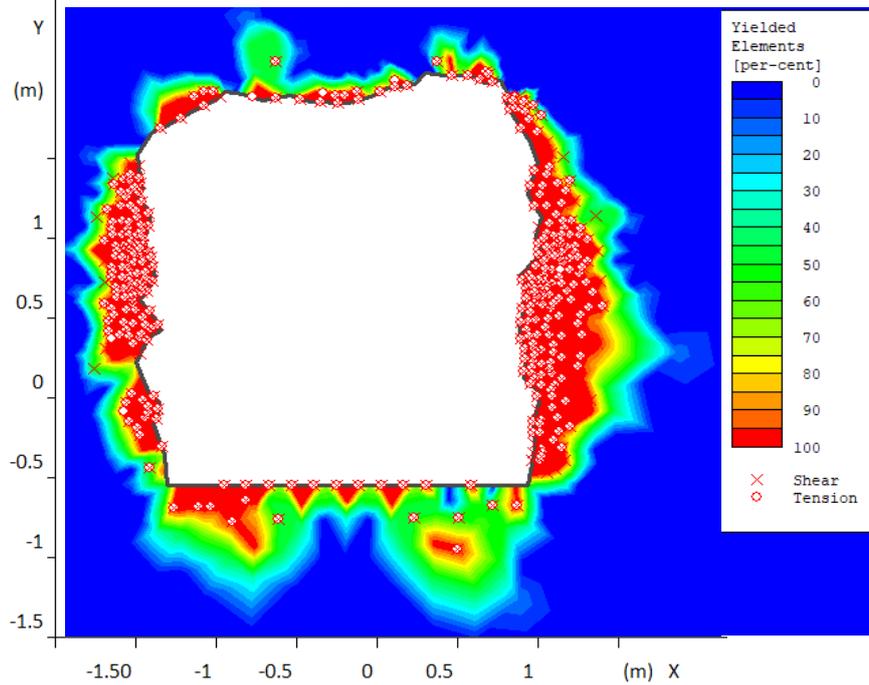


Figura 6. Aureolas tensodeformacionales en la EG-01, proyectando el medio: Plástico y elastoplástico alrededor de la excavación subterránea; afectando los hastiales hasta la profundidad 0.70 m., concentrándose los esfuerzos: cortes y tensionales.

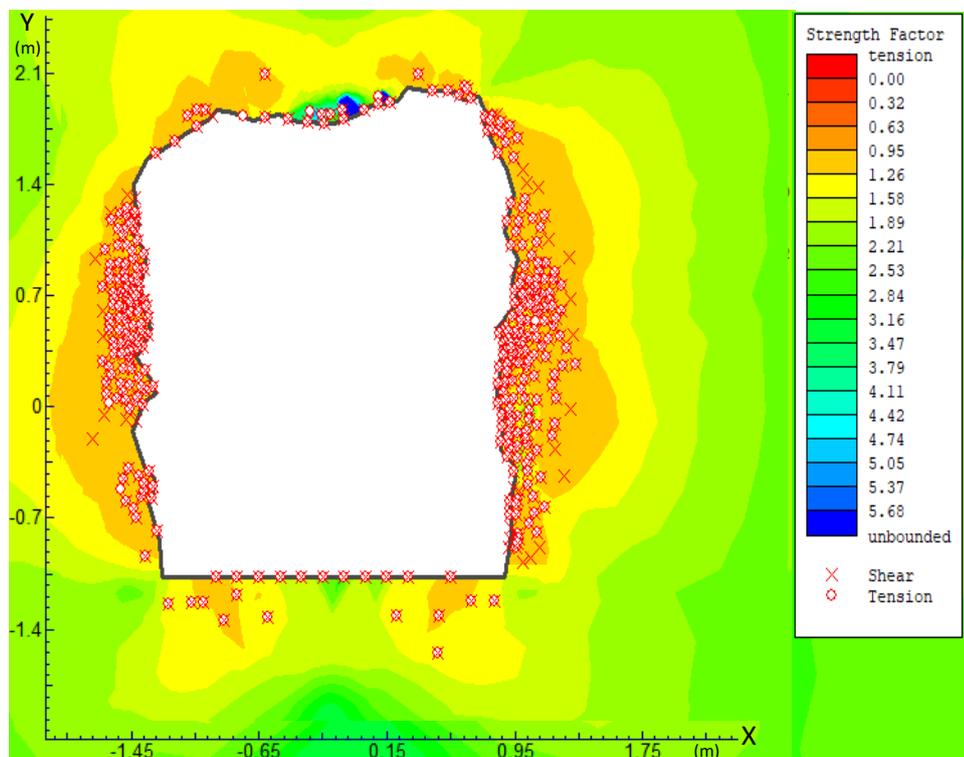


Figura 7. Fluctuación del factor de seguridad en la EG-01, delimitado por coloraciones: Anaranjadas a amarillentas alrededor de la sección con FS < 1.50, ocasionando inestabilidades: Hastiales y clave, proyectado profundidades 0.90 m. de inestabilidad.

### 3.6.2 GEOMECÁNICA EG-02

Conformado por roca andesita desde: Pic. + 66.33 m. a Pic. + 76.33 m., de color verduzco de orientación Az/Bz = N211°/25°NW, con espesor: 0.35 m. a 0.20 m., conformado por tres familias con superficies limpias, con aberturas: Cerrado a 1 mm. con rugosidad: ligeramente rugosa a ondulada-lisa. Los resultados de mapeo geomecánico por línea de detalle:  $\sigma_{ci} = 95$  MPa., RQD = 69.90%, RMR = 65, GSI = 60 y  $Q = 23.30$ , siendo de calidad buena; con campo tensional gravitatorio:  $\sigma_1 = 3.068$  MPa. y  $\sigma_3 = 1.670$  MPa.,  $H = 118.00$  m. y  $m = 0.54$ , de campos tensionales bajos.

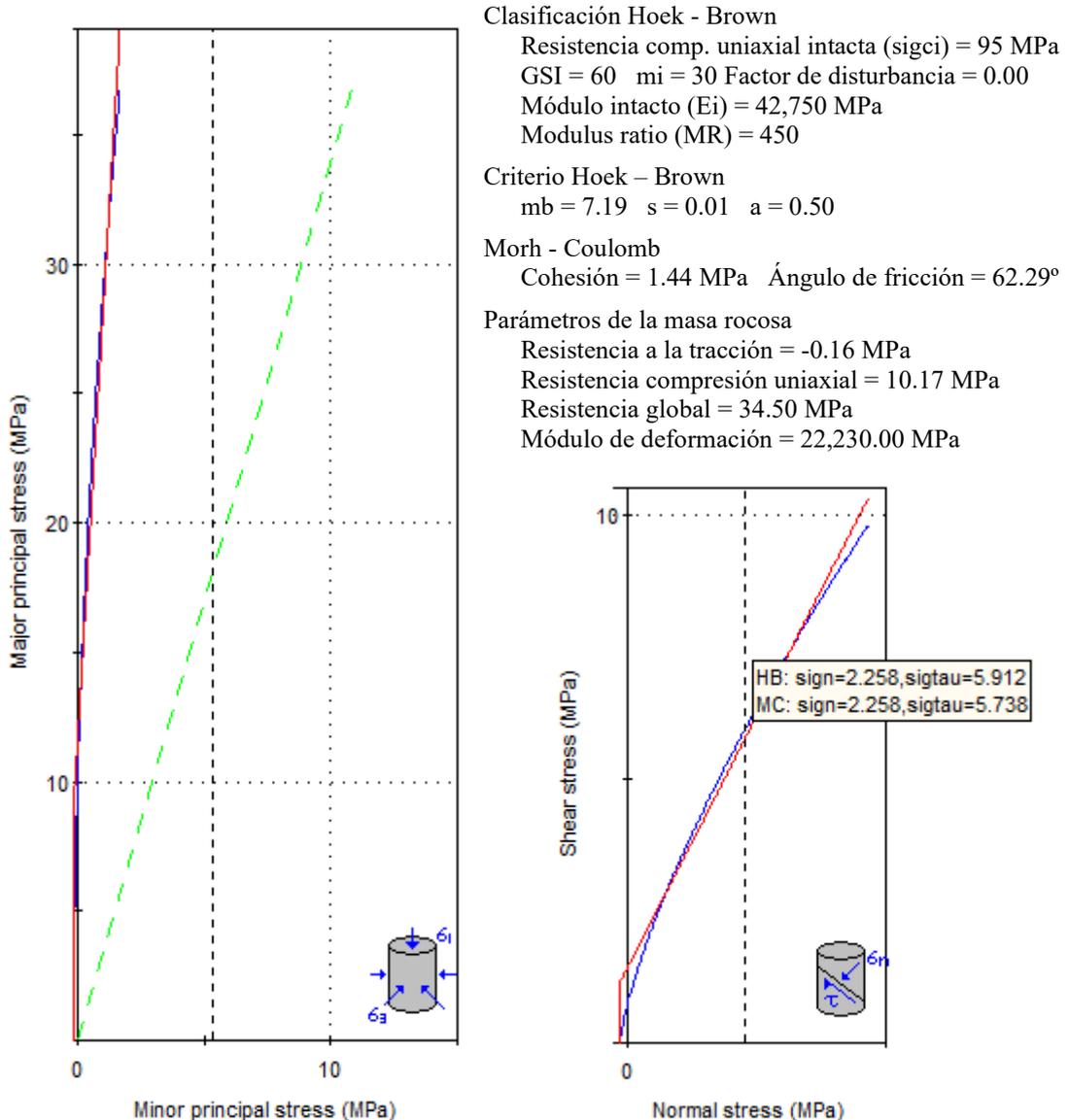


Figura 8. A. Esfuerzo: Mayor vs. Menor (Hoek-Brown). B. Esfuerzo: Corte y normal (Morh-Coulomb); mediante el método equivalencia de área del eje tensional y línea de Mogi's. Estación geomecánica EG-02.

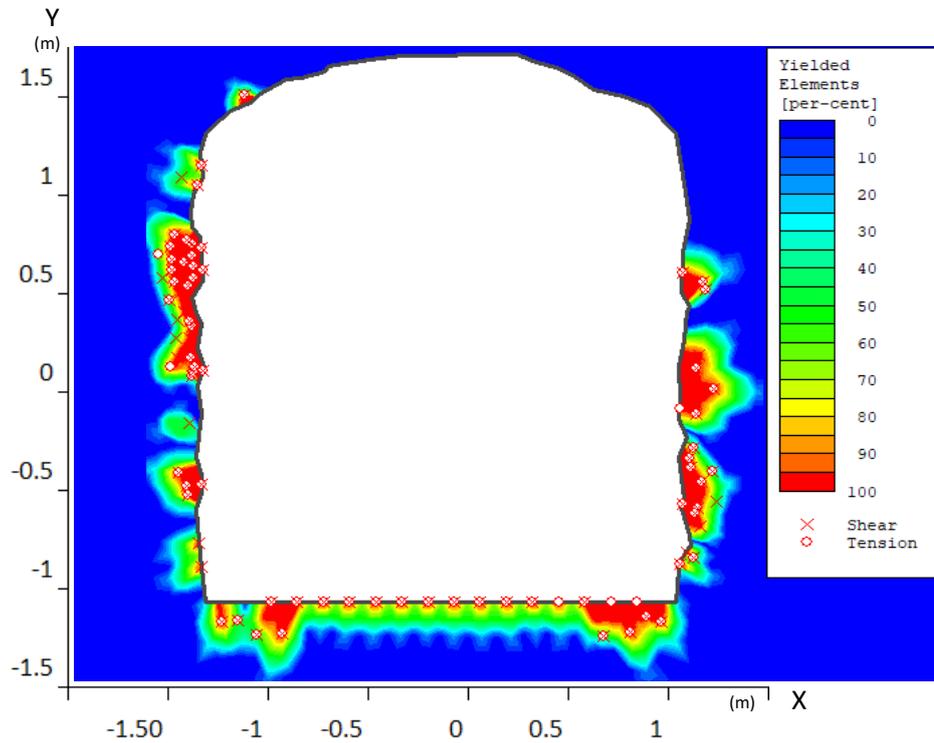


Figura 9. Baja concentración tensodeformacionales en la EG-02, afectando hastiales de la excavación subterránea a profundidad transversal: 0.25 m. a 0.35 m. hasta el medio elastoplástico alrededor de la excavación, mediante la distribución de los esfuerzos: cortes y tensionales.

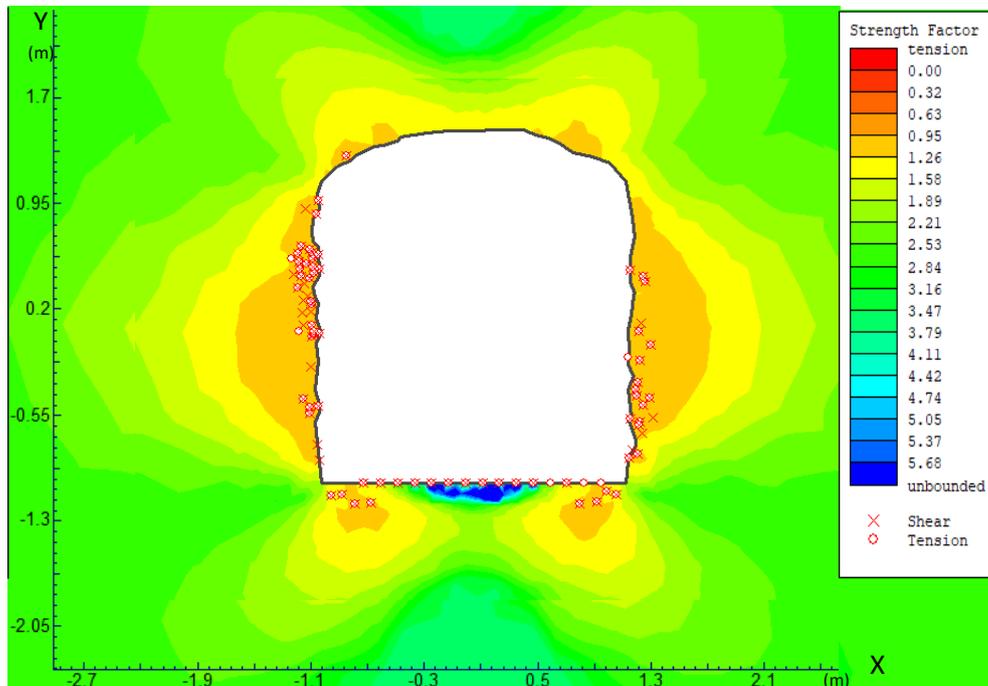


Figura 10. El factor de seguridad en la EG-02, muestra variaciones alrededor de la sección subterránea concentrándose y originado aureolas en las esquinas de la solera y clave con FS < 1.50, proyectándose hasta 0.90 m. de inestabilidad transversal.

### 3.6.3 GEOMECÁNICA EG-03

El mapeo geomecánico de la estación EG-03 por línea de detalle, desde: Pi. + 143.50 m. a Pi. + 153.50 m., pseudoestratificado de espesor: 0.50 m. a 0.20 m., de color verduzco de orientación Az/Bz N228°/29°NW, compuesto por tres familias con superficies limpias, con aberturas de espesor: Nada a 1 mm. con rugosidad: Rugosa a ligeramente rugosa, con superficies de meteorización: Inalteradas a ligeramente alteradas. Los valores cuantitativos son:  $\sigma_{ci} = 80$  MPa., RQD = 59.18%, RMR = 67, GSI = 62 y  $Q = 26.30$ , siendo de calidad buena. El campo tensional es constante:  $\sigma_1 = 2.288$  MPa. y  $\sigma_3 = 1.220$  MPa.,  $H = 88.00$  m. y  $m = 0.53$ .

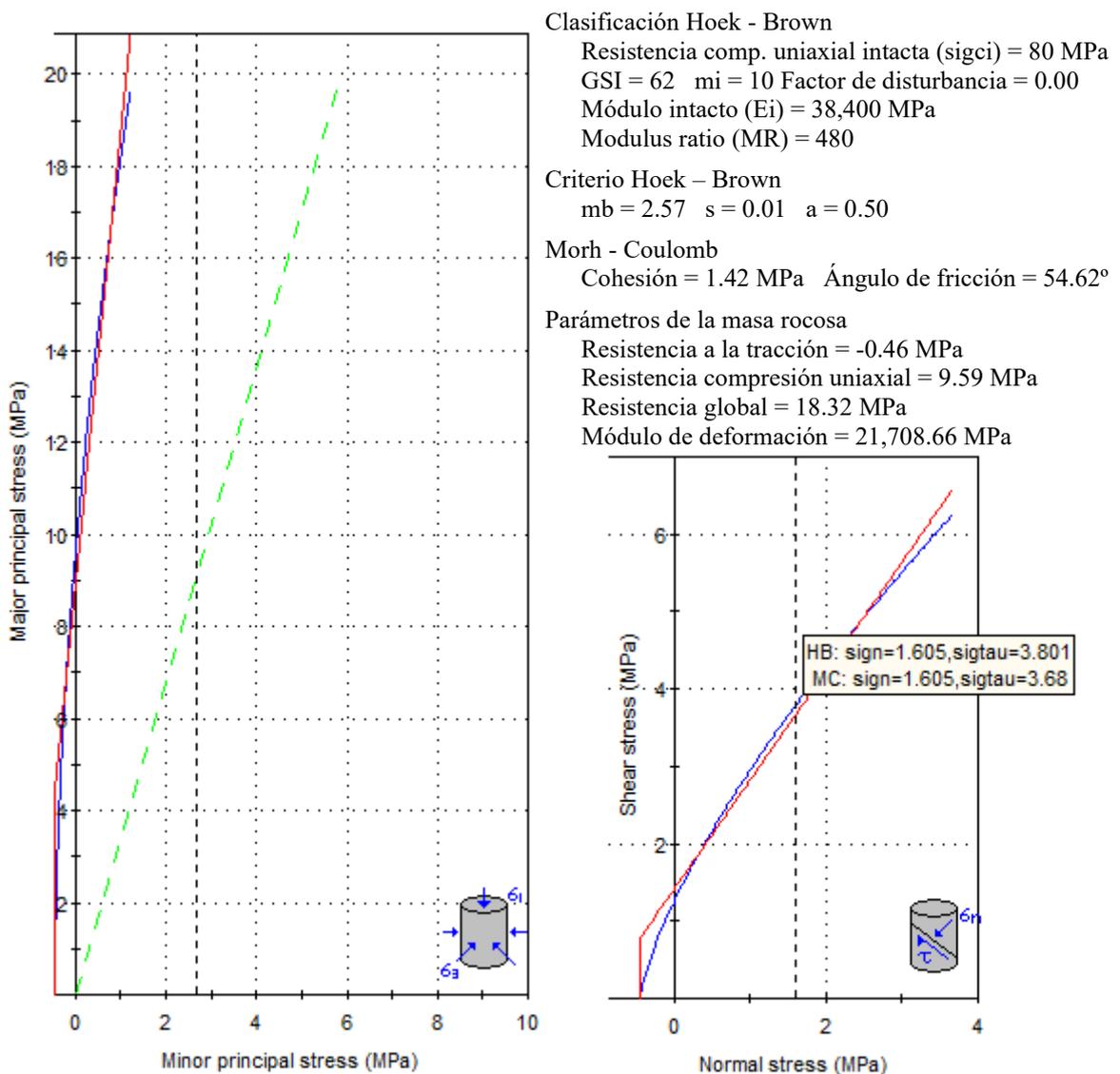


Figura 11. A. Esfuerzo: Mayor vs. Menor (Hoek-Brown). B. Esfuerzo: Corte y normal (Morh-Coulomb); mediante el método equivalencia de área del eje tensional y línea de Mogi's. Estación geomecánica EG-03.

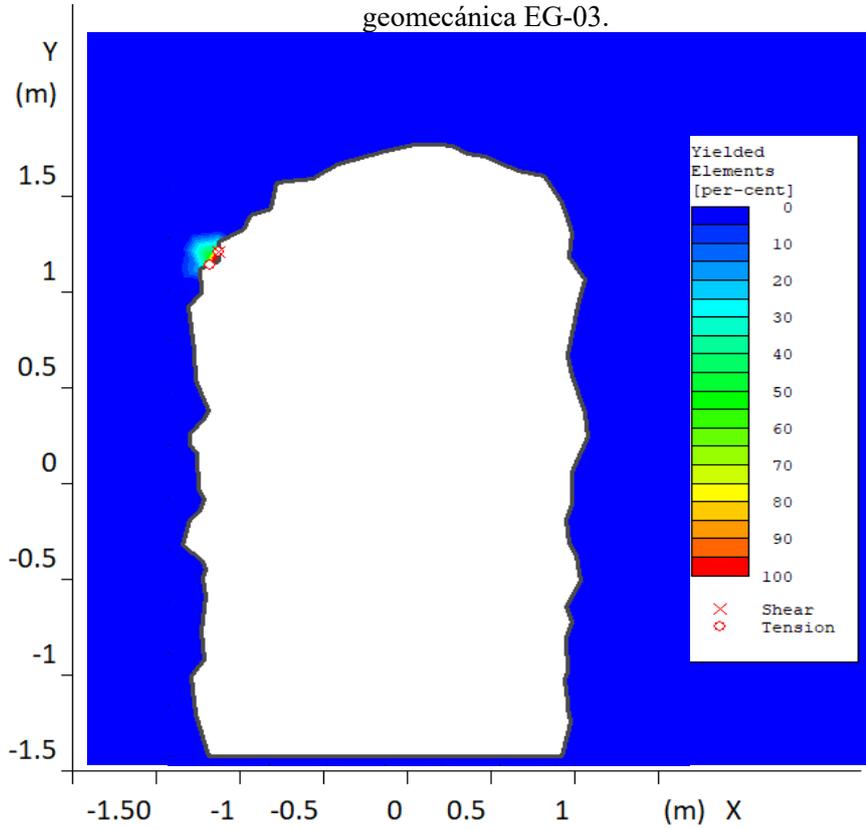


Figura 12. La excavación subterránea de la EG-03, no presenta afectación por cambios deformacionales de ruptura, comportándose basamento rocoso como medio isotrópico, no generando instantáneamente deformaciones tensodeformacionales.

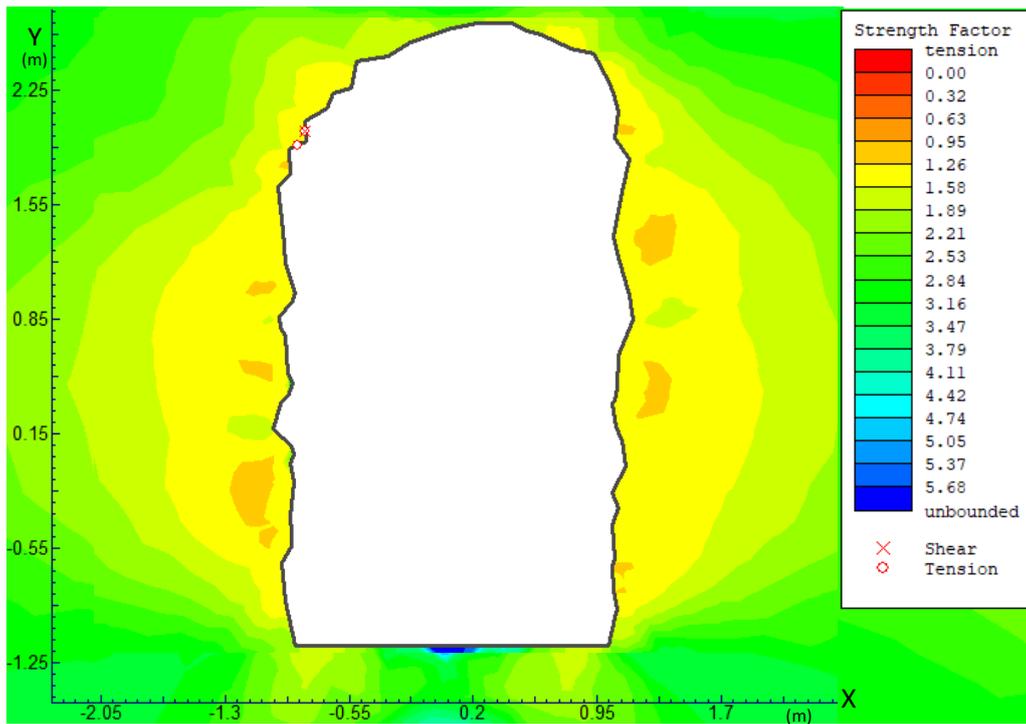
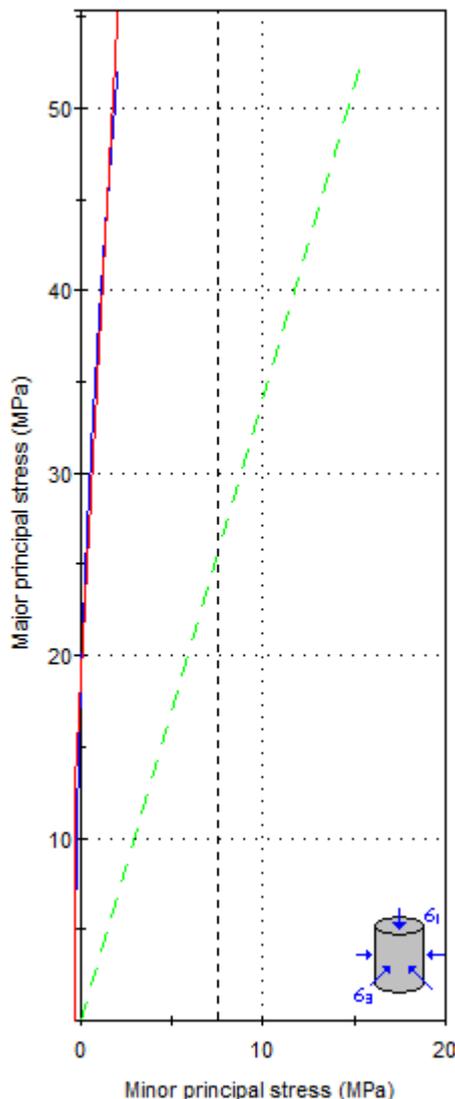


Figura 13. El factor de seguridad de la EG-03, presenta variaciones de inestabilidad en hastiales proyectándose hasta la profundidad transversal: 0.50 m. a 0.80 m., con FS < 1.50 concentrándose la mayor cantidad en la coloración amarilla.

### 3.6.4 GEOMECÁNICA EG-04

Está conformado por andesitas de color verdusco de meteorización fresca de grado fracturamiento, desde: Pi. + 28.00 m. a Pi. + 29.00 m., compuesto por pseudoestratificación de espesor: 0.50 m. a 0.20 m., con superficies limpias, con rugosidad: Ondulado-lisa y suave, con grado de alteración meteórica: Inalterada a ligeramente alterada. Presentando tres familias de discontinuidades, aplicando los criterios empíricos con valores:  $\sigma_{ci} = 160$  MPa. (3 golpes), RQD = 87.81%, RMR = 66, GSI = 61 y  $Q = 29.27$ , con valoración de buena calidad. El campo tensional es constante:  $\sigma_1 = 3.692$  MPa. y  $\sigma_3 = 2.040$  MPa.,  $H = 142.00$  m. y  $m = 0.55$ .



Clasificación Hoek - Brown

Resistencia comp. uniaxial intacta ( $\sigma_{ci}$ ) = 160 MPa

GSI = 61  $m_i = 27$  Factor de disturbancia = 0.00

Módulo intacto ( $E_i$ ) = 67,200 MPa

Modulus ratio (MR) = 420

Criterio Hoek - Brown

$m_b = 6.71$   $s = 0.01$   $a = 0.50$

Morh - Coulomb

Cohesión = 2.19 MPa Ángulo de fricción = 63.48°

Parámetros de la masa rocosa

Resistencia a la tracción = -0.31 MPa

Resistencia compresión uniaxial = 18.12 MPa

Resistencia global = 56.39 MPa

Módulo de deformación = 36,470.22 MPa

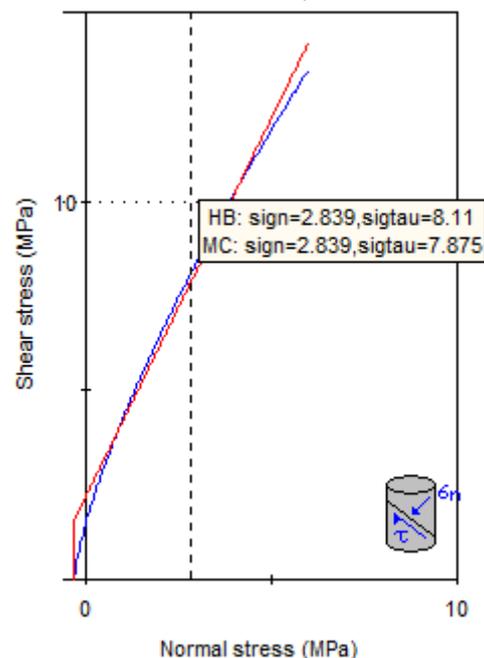


Figura 14. A. Esfuerzo: Mayor vs. Menor (Hoek-Brown). B. Esfuerzo: Corte y normal (Morh-Coulomb); mediante el método equivalencia de área del eje tensional y línea de Mogi's. Estación geomecánica EG-04.

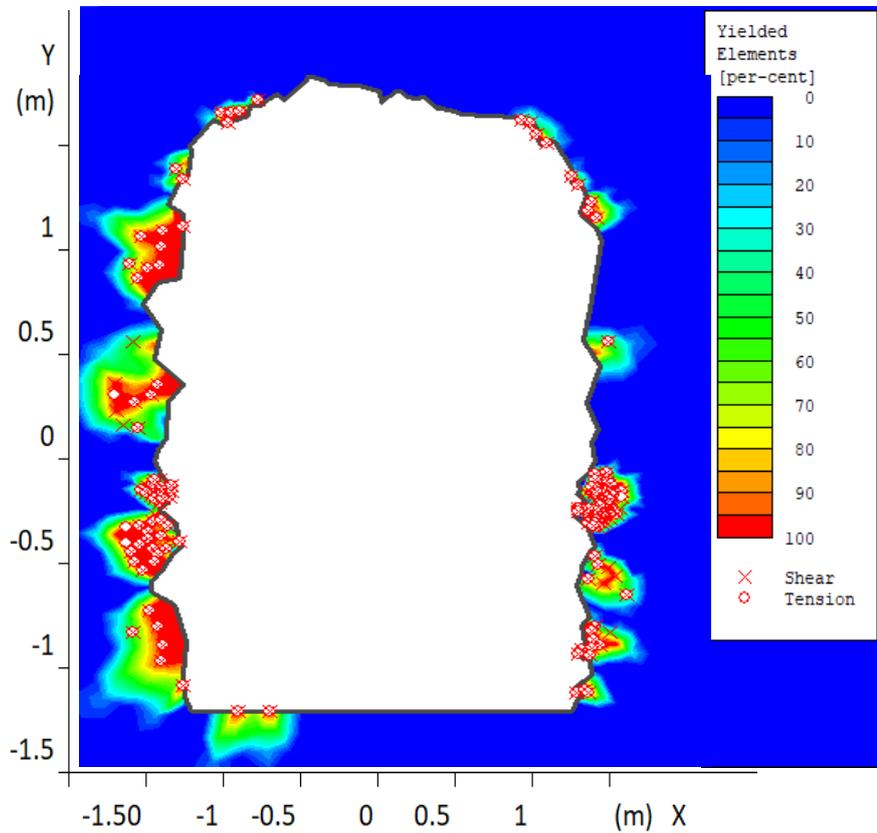


Figura 15. La buena calidad rocosa de la EG-04, muestra cambios tensionales puntuales en hastiales, con profundidades de afectación hasta 0.50 m. alrededor de la excavación en función el esfuerzo: Corte y tensional.

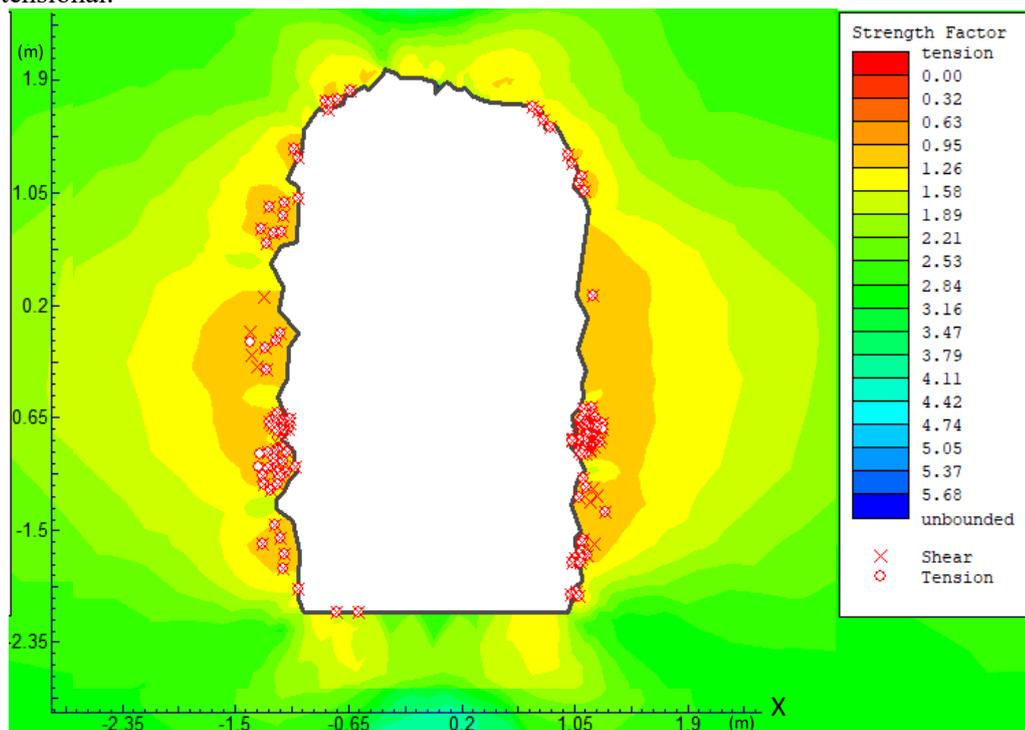
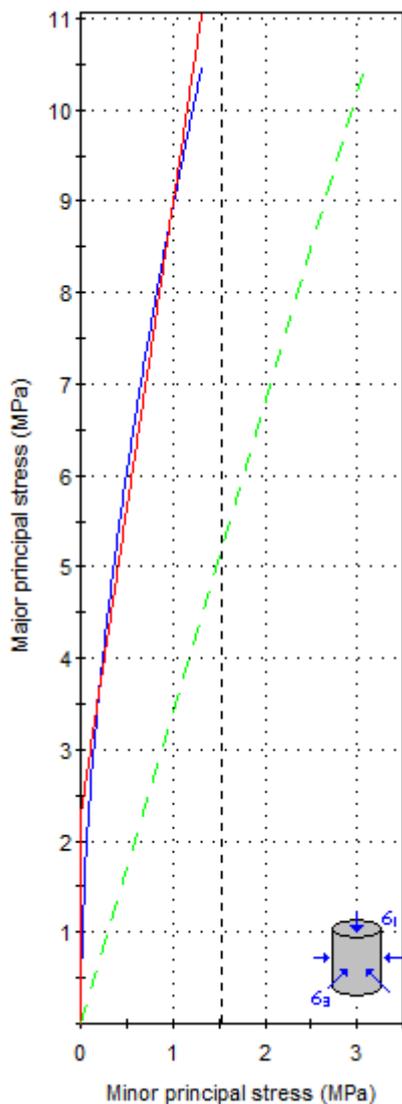


Figura 16. Las variaciones del factor de seguridad de la EG-04, se manifiesta en hastiales, debilitando progresivamente la estabilidad de la roca con  $FS < 1.50$ , proyectándose hasta 1.10 m. por coloración amarillenta.

### 3.6.5 GEOMECÁNICA EG-05

El mapeo geomecánico por línea de detalle muestra rocas de alteración silicificatada desde:  $Pi. + 117.25$  m. a  $Pi. + 127.25$  m., con dimensiones de sección:  $H = 2.10$  m. y  $A = 2.15$  m. de sección cuadrada. La pseudoestratificación de espesor: 0.10 m. a 0.20 m., con superficies rellenadas con: Óxidos, epsomita e hidrocincita, con rugosidad: Ligeramente rugosa a ondulada-lisa, presentando alteración: Moderadamente a muy alterada, con superficies húmedas a mojadas. Presenta valores:  $\sigma_{ci} = 40$  MPa.,  $RQD = 39.03\%$ ,  $RMR = 36$ ,  $GSI = 31$  y  $Q = 1.15$ , con esfuerzo:  $\sigma_1 = 3.936$  MPa. y  $\sigma_3 = 1.700$  MPa.,  $H = 209$  m. y  $m = 0.43$ .



#### Clasificación Hoek - Brown

Resistencia comp. uniaxial intacta ( $\sigma_{ci}$ ) = 40 MPa  
 $GSI = 31$   $m_i = 21$  Factor de disturbancia = 0.00  
Módulo intacto ( $E_i$ ) = 12,400 MPa  
Modulus ratio (MR) = 310

#### Criterio Hoek - Brown

$m_b = 1.79$   $s = 0.00047$   $a = 0.52$

#### Morh - Coulomb

Cohesión = 0.46 MPa Ángulo de fricción = 47.61°

#### Parámetros de la masa rocosa

Resistencia a la tracción = -0.01 MPa  
Resistencia compresión uniaxial = 0.74 MPa  
Resistencia global = 6.60 MPa  
Módulo de deformación = 1,076.75 MPa

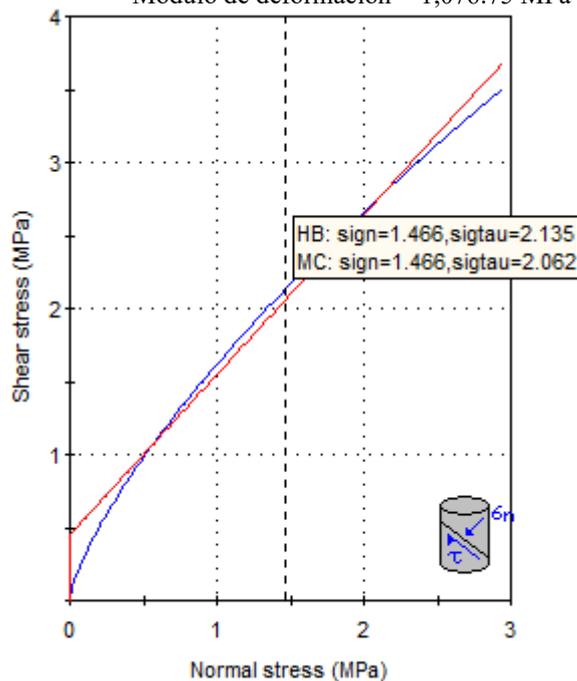


Figura 17. A. Esfuerzo: Mayor vs. Menor (Hoek-Brown). B. Esfuerzo: Corte y normal (Morh-Coulomb); mediante el método equivalencia de área del eje tensional y línea de Mogi's. Estación geomecánica EG-05.

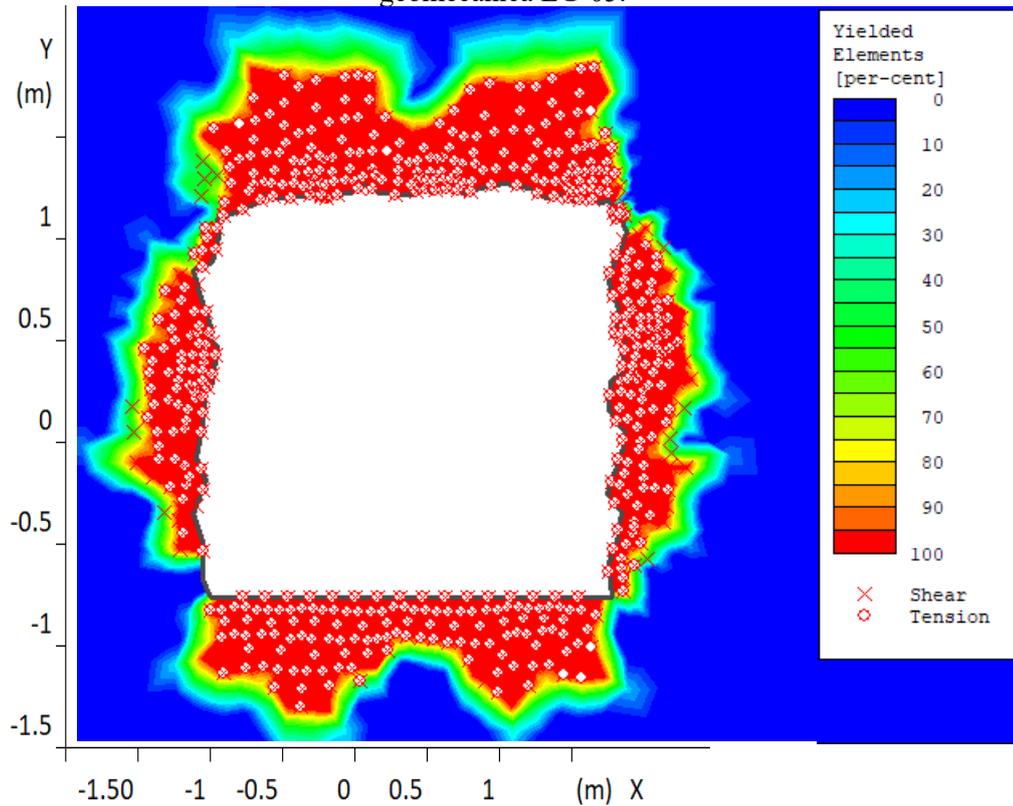


Figura 18. Sección conformada por alteración silicificada la EG-04, formando aureolas deformacionales alrededor de la excavación proyectándose desde: 0.60 m. a 0.85 m., proyectado medio: Plástico y elastoplástico en función el esfuerzo: Corte y tensional.

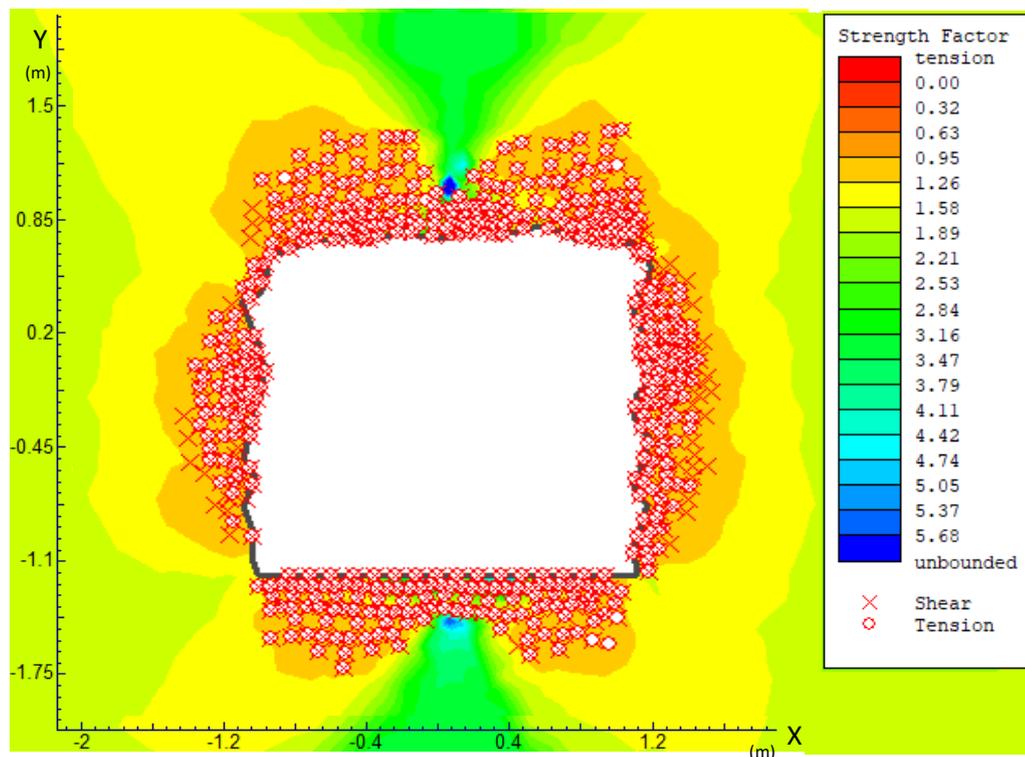


Figura 19. Las variaciones del factor de seguridad de la EG-05, manifestándose en: Hastiales y clave, con  $FS < 1.50$ , debilitando progresivamente la estabilidad de la roca proyectándose desde 0.40 m. a 0.60 m.

### 3.7 SOSTENIMIENTO SUBTERRÁNEO

Los cartografiados geomecánicos muestran muy poca utilización de sostenimiento subterráneo por ser roca de calidad: Buena, regular y mala. La estación geomecánica EG-01 de calidad regular, muestra afectaciones del basamento rocoso, estabilizándolo con anclajes sistemáticos de 8 pies de longitud de diámetro de 25 mm. en sección transversal de 10 m. desde Pic. + 56.65 m. a Pic. + 66.65 m. En cambio, las estaciones geomecánicas: EG-02, EG-03 y EG-04, por ser rocas de buena calidad no requieren sostenimiento por no formar cambios tensodeformacionales importantes alrededor de la sección subterránea. Finalmente, la EG-05, está conformado por roca de mala calidad formando aureolas tensodeformacionales que afectan la estabilidad recomendando la estabilización con anclajes sistemáticos de 8 pies de longitud de diámetro de 25 mm. + shotcrete (0.30 m.), reduciendo la amplitud de la aureola tensodeformacional.

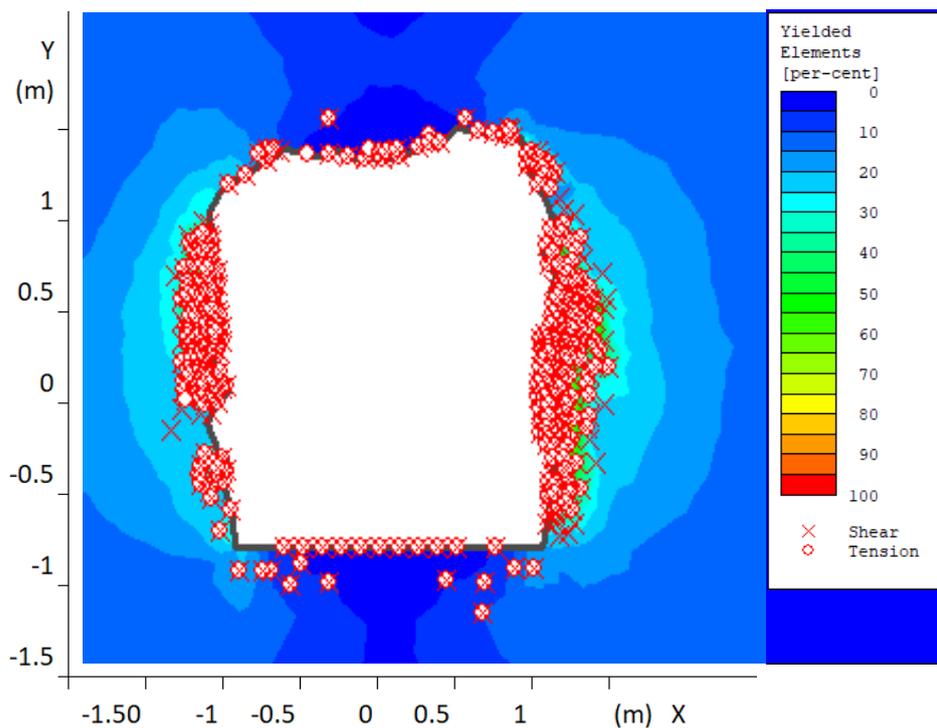


Figura 20. Aureolas de deformación de corte máximo formadas en la etapa de desbroce (Excavación) de roca en la sección de la EG-01, con longitud de amplificación 3.00 m. a 3.50 m. por la redistribución tensional, afectando a los hastiales del túnel.

Por consiguiente, el sostenimiento: Activo y pasivo, está en función de las labores en producción como utilizando cuadros de madera rectos, de eucalipto de sección transversal: Circular a cuadrada de diámetro 0.27 m. a 0.30 m. y altura: 2.20 m. 2.50 m. Sin embargo, en

las vetas: Murciélago y West Pacasmayo, por la sobre explotación se ha utilizado sostenimiento por puntales de madera de longitud de 2.50 m a 3.00 m.

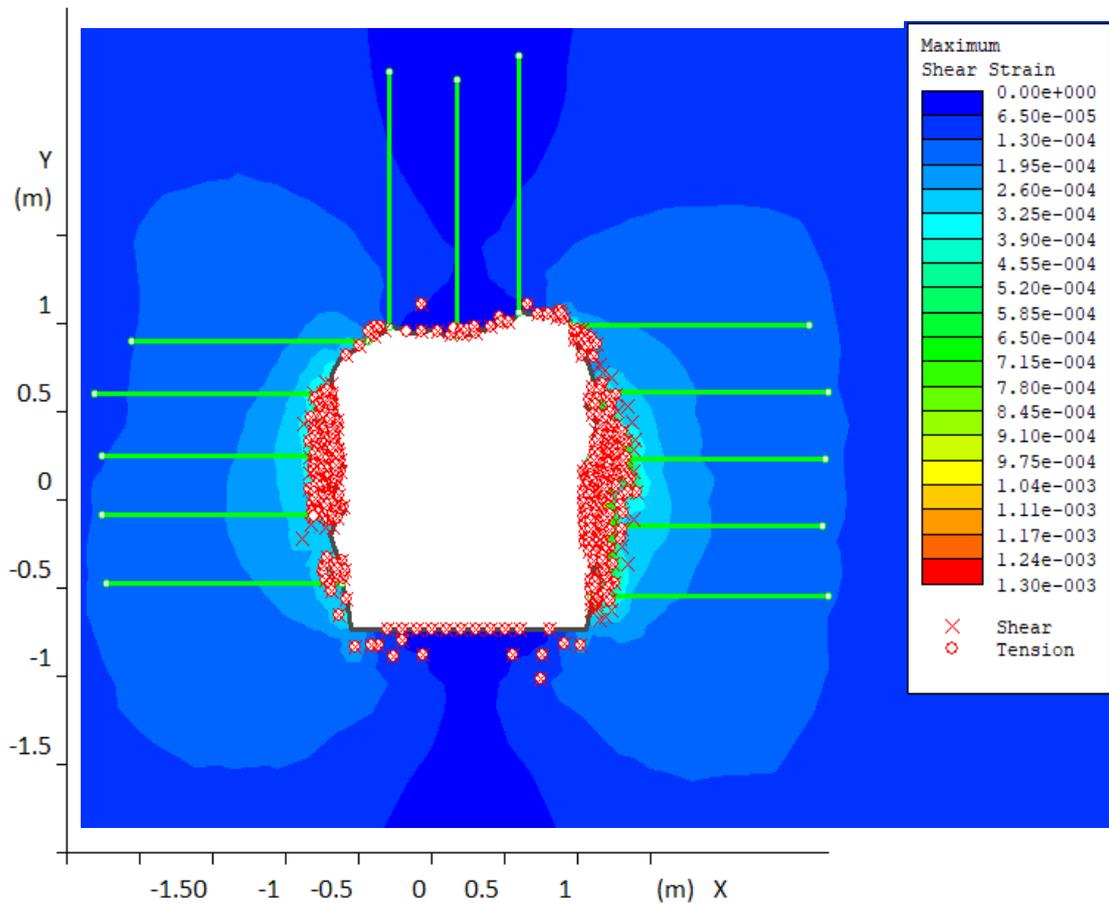


Figura 21. La etapa de sostenimiento se observa reducción de las aureolas de deformación llegando su amplificación hasta 2.50 m. por la instalación de anclajes mecánicos sistemáticos en la periferie de la sección de la roca andesita, de la EG-01.

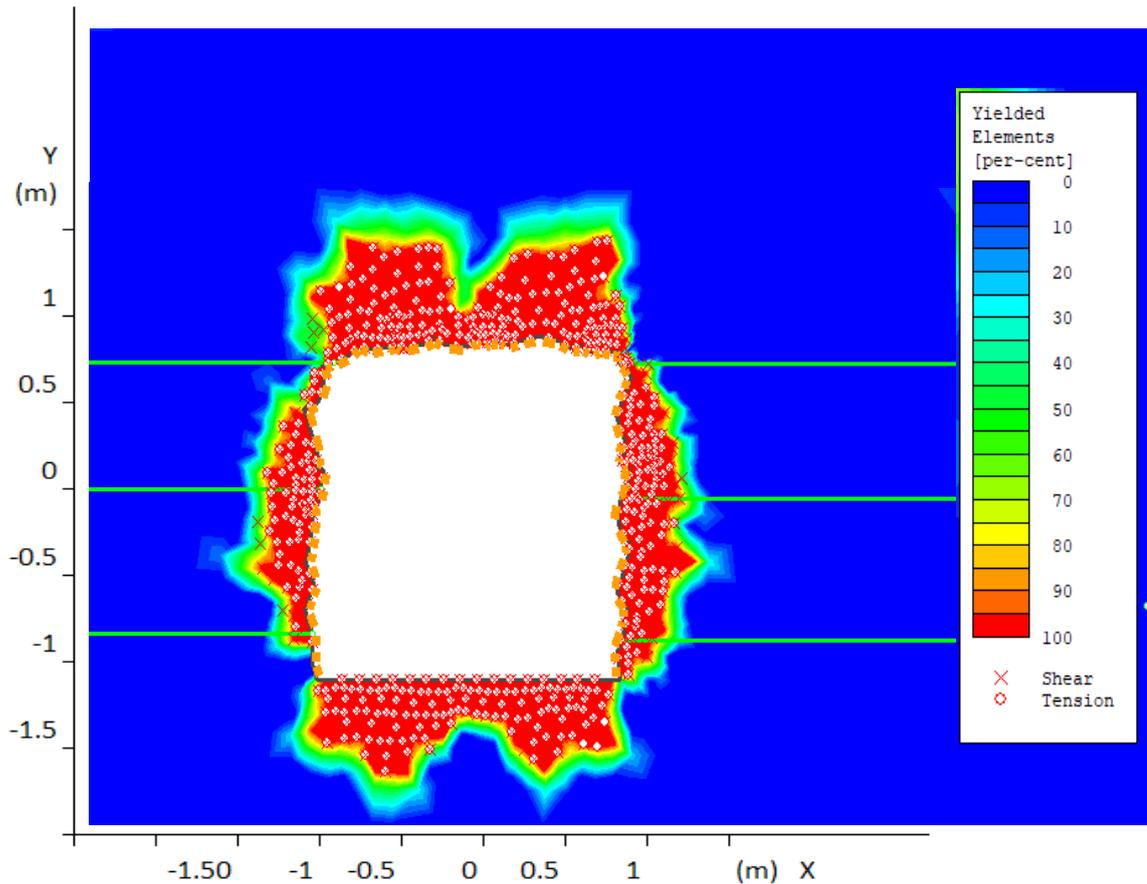


Figura 22. El modelamiento numérico en la etapa de sostenimiento recomienda aplicar bulones sistemáticos (8 pies de 25 mm. de diámetro de anclaje) + shotcrete (espesor 0.30 m.) - método austriaco de estabilización, reduciendo mínimamente el estado tensodeformacional de la excavación subterránea de la alteración sílica.

### 3.8 CONTROLES PARA REDUCIR LA LIBERACIÓN DE ENERGÍA

Los estallidos de roca vienen siendo observado en la minería desde el siglo XVIII, su naturaleza comenzó a comprenderse recién en los años 60. Este comportamiento del macizo rocoso se puede definir como una ruptura (erupción) violenta y repentina de un macizo rocoso cuando acumula un exceso de energía de deformación elástica después de la fractura.

El fenómeno de liberación de energía, provoca accidentes cada año, en minas y túneles profundos. Como resultado final de la deformación violenta, se producen grietas o fracturas de rocas de varios centímetros de espesor o la expulsión de bloques, dependiendo del mecanismo desencadenante y la intensidad del fenómeno.

Las liberaciones de energía, se pueden generar de diversas fuentes entre ellas las subclasificaciones vienen a ser las siguientes:

Tabla 17. Principales factores que influyen en el daño por Rockburst (Káiser, 2012).

<b>Evento Sísmico</b>	<b>Geológicos</b>	<b>Geotécnicos</b>	<b>Excavación</b>
- Magnitud del Evento	- In situ stress	- Resistencia de la Roca	- Tensiones estáticas y dinámicas inducidas por la excavación
- Liberación de energía sísmica	- Tipo de Roca	- Tipo de Juntas	- Pase de Excavación
- Distancia de la fuente del evento	- Estratificación geológicas (diques, fallas, zonas de cizalla/fricción)	- Fragilidad, ductilidad de la Roca	- Mine stiffness (rigidez)
			- Secuencia de excavación y voladuras
			- Sistemas de sostenimiento instalados
			- Rellenos aplicados
			- Ratios de Producción
			- Ratio de Excavación

Comprender los mecanismos de origen de la liberación de energía en rocas es fundamental para desarrollar estrategias, prevenir y mitigar los riesgos de desprendimiento de rocas, y comprender los mecanismos de las lesiones por estallido de rocas. Por lo cual es necesario desarrollar nuevas técnicas o metodologías e implementar medidas preventivas para mitigar y minimizar la ocurrencia de liberaciones de energía.

Los controles que se establece para reducir o mitigar los estallidos de rocas en excavaciones subterráneas, independientemente del volumen de la cavidad y la inestabilidad de la excavación subterránea, están asociadas con eventos sísmicos (naturales o provocados por el hombre) y liberación de tensiones desde un punto focal o fuente de energía.

Existen métodos e instrumentos que pueden prevenir el estallido de rocas durante las actividades de extracción de una mina. Es por ello que se presenta una propuesta de sostenimiento y controles para mitigar la liberación de energía en el Nivel 4 de la Mina Paredones. Medidas Aplicables de Control.

- Voladura de Pre-Acondicionamiento
- Sostenimiento de Sacrificio
- Taladros de Alivio Escalonado (Desestresing)
- Sistema de Monitoreo Microsísmico

## **Voladura de Pre-Acondicionamiento**

En relación al uso de voladuras de pre-acondicionamiento hacia delante del frente, estas voladuras pueden minimizar los efectos de posibles estallidos de roca, reduciendo las magnitudes de tensión hacia delante del frente. Esta técnica consiste básicamente en la ejecución de perforaciones en el frente con una longitud y localización específica, usando explosivos de alta velocidad de detonación.

La finalidad es, perturbar de forma controlada el frente de la labor a fin de atenuar la transmisión de energía sísmica acumulada (tensión) mediante el fracturamiento del medio de propagación.

La voladura de pre-acondicionamiento se realiza con tres perforaciones paralelas entre sí en labores horizontales y con 02 perforaciones en labores inclinadas o verticales. Toda perforación va en dirección al eje de labor. El carguío deberá realizarse solo con la tercera parte de longitud de perforación total, con un tipo de explosivo de alta velocidad de detonación, según los diseños propuestos para cada sección de labor. Las dimensiones entre taladros de pre-acondicionamiento desde la gradiente son de 0.5 m en dirección del eje de la labor. Para labores horizontales son tres taladros de 0.4 m entre sí.

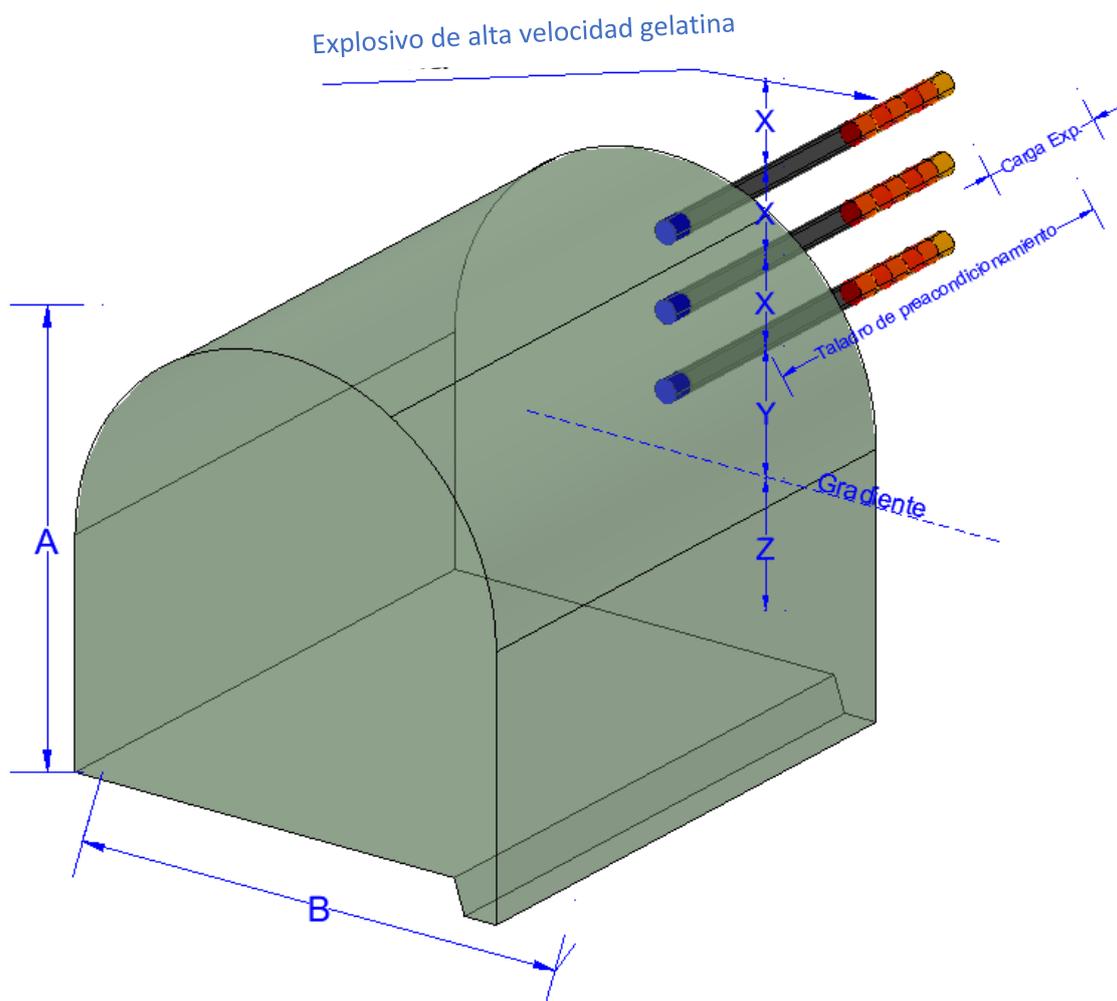


Figura 23. Isométrico de Diagrama, Diseño de Perforación y voladura en el Frente de las Labores del nivel 4 en labores de avance específicamente en el crucero 1040 NE.

Donde:

- A: Altura de la labor
- B: Ancho de la labor
- Z: Altura de Gradiente
- X: Distancia de techo a taladro y burden
- Y: Distancia de Gradiente a tercer taladro.

Diseño de perforación para realizar voladura de pre - acondicionamiento en labores de avance en frentes de explotación y exploración como galerías, subniveles, cruceros y Bay-pass. Su función principal es perturbar de forma controlada el frente de la labor a fin de atenuar la liberación de energía, mediante el fracturamiento del medio de propagación.

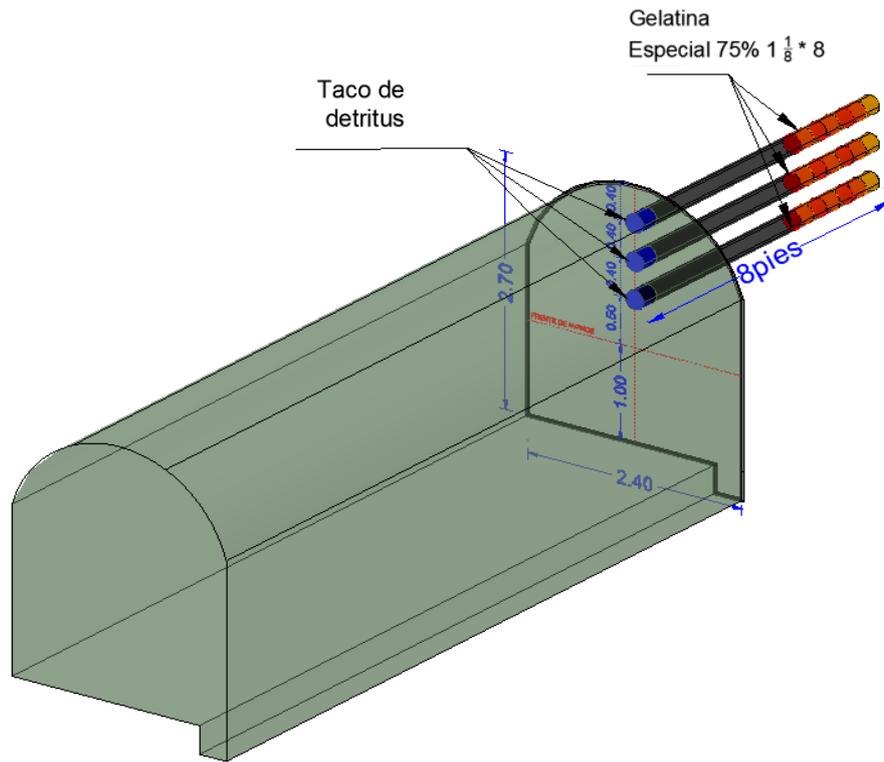


Figura 24. Diseño de Perforación en el Frente (Horizontal), sección de labor 2.4 x 2.7 m. (Avance de 8 Pies) en el crucero 1040 NE labor de avance en explotación – zona crítica.

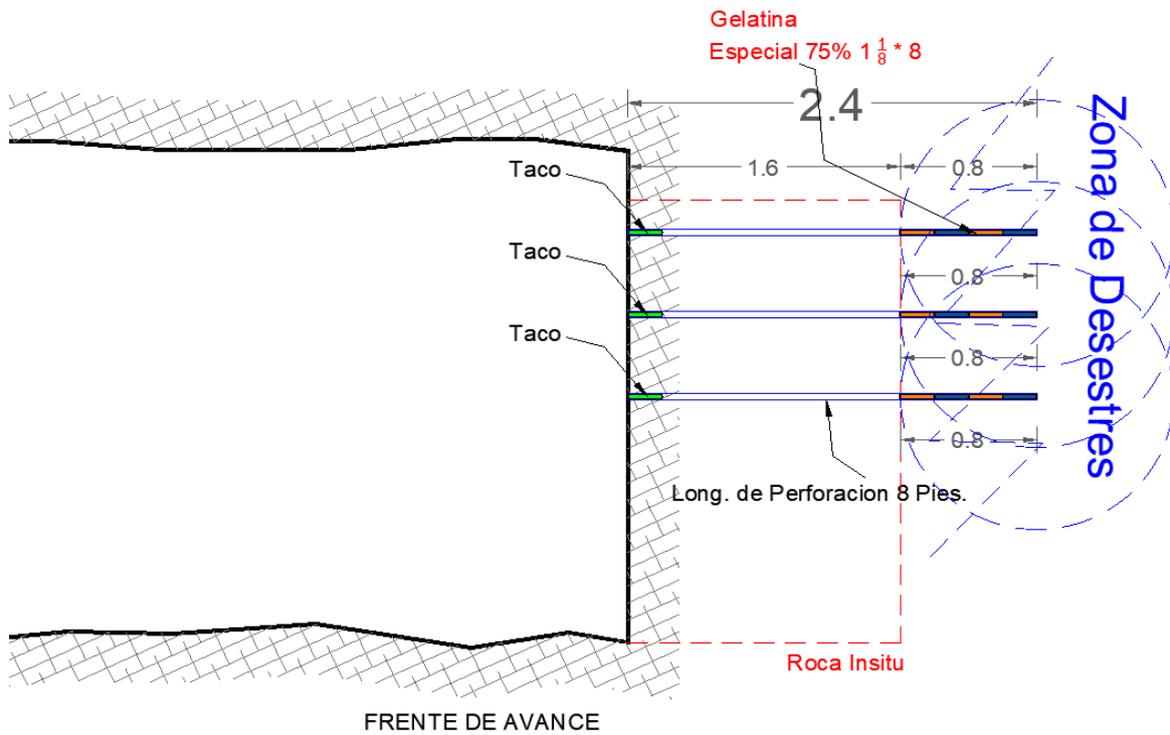


Figura 25. Sección longitudinal del diseño de carga y zona de desestres por voladura de pre-acondicionamiento, como medida de control para mitigar liberación de energía en frentes.

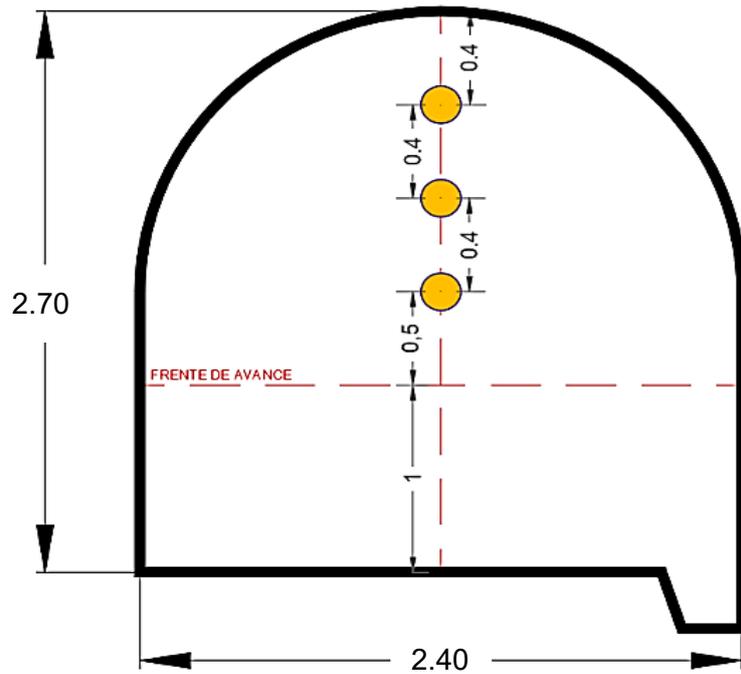


Figura 26. Sección frontal del diseño de Carga y distancias de taladros de pre – acondicionamiento.

Diseño de perforación inclinadas en chimeneas, tajos, rampas inclinadas. Se realiza dos taladros de pre-acondicionamiento equidistantes.

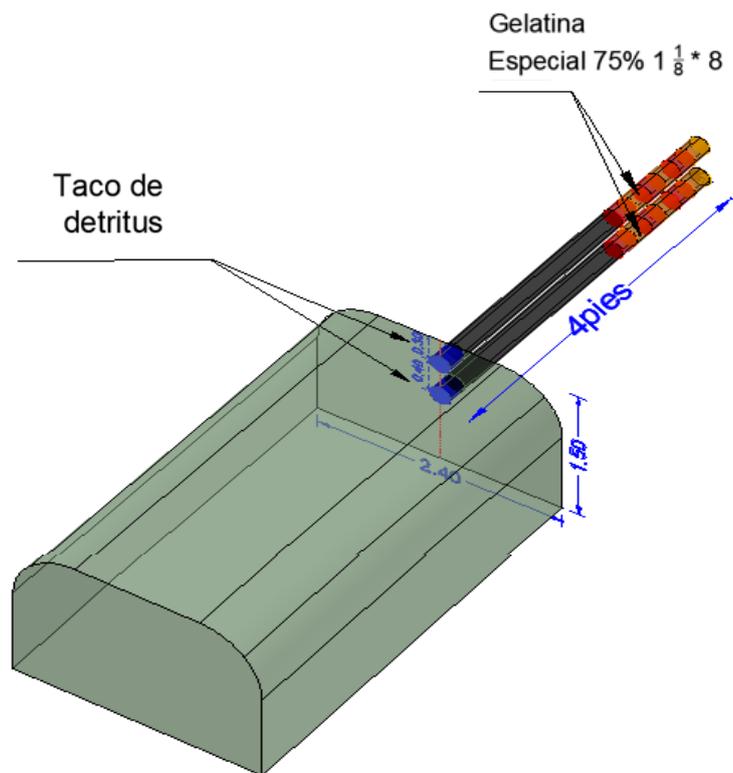


Figura 27. Diseño de Perforación en Chimenea (Inclinada), Sección de labor 2.40 x 1.50 m. (Avance de 4 Pies). Fuente: Elaboración propia.

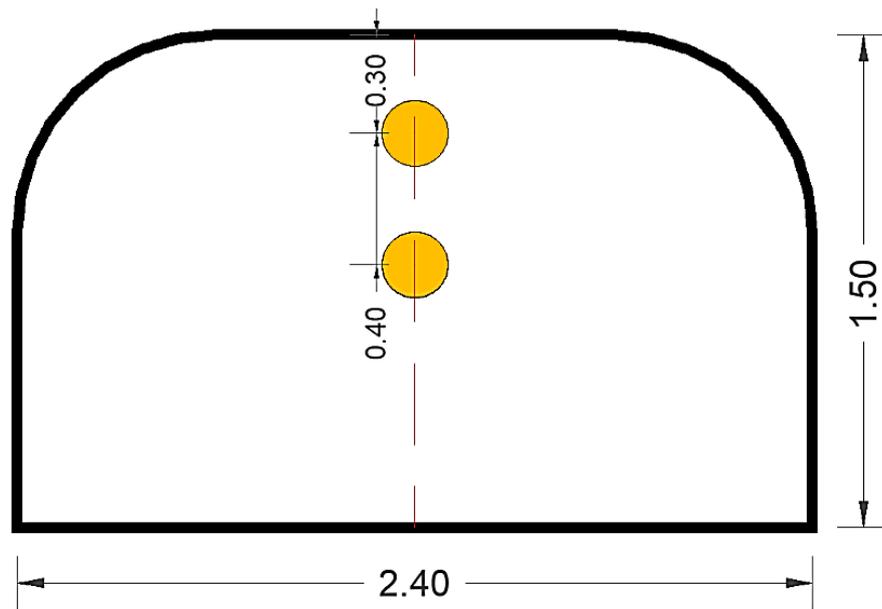


Figura 28. Sección frontal del diseño de Carga y distancias de taladros de pre-acondicionamiento.

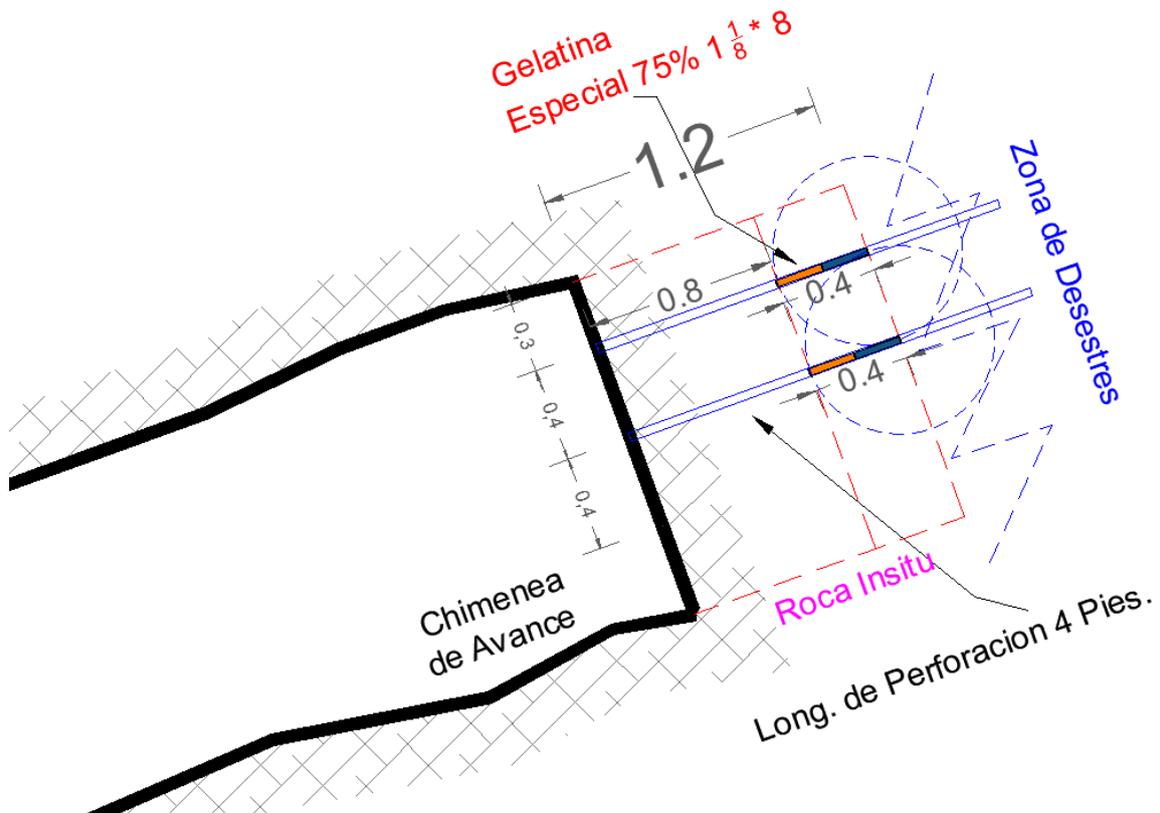


Figura 29. Sección longitudinal del diseño de carga y zona de desestres por voladura de pre-acondicionamiento, como medida de control para mitigar liberación de energía labores inclinadas.

## Sostenimiento de Sacrificio

Sostenimiento Temporal en el Frente de la labor, para reducir la vulnerabilidad y la exposición de los trabajadores de las labores. Consiste en el sostenimiento en coronas y hastiales junto al desatado de rocas manual o mecanizado, ya que no es suficiente estas actividades, para salvaguardar la seguridad de las actividades de perforación y carguío de frentes o tajos en minería subterránea, por lo que el desprendimiento de rocas es uno de las causas principales de accidentes en estas actividades.

La instalación de mallas de sacrificio radica en aplicar mallas electrosoldadas (4" o 2") con pernos Split set, por lo que actúa como sostenimiento en frente de la labor para de esta manera poder llevar a cabo las actividades de perforación carguío y acarreo del material de forma segura.

El sostenimiento con malla de sacrificio, es un control de ingeniería que estabiliza el macizo rocoso y reduce categóricamente la exposición de los colaboradores a la caída de rocas. Su aplicación optimiza el ciclo de minado, permitiendo un proceso de perforación y carguío seguro, eficiente y confiable, minimizando las pérdidas económicas.

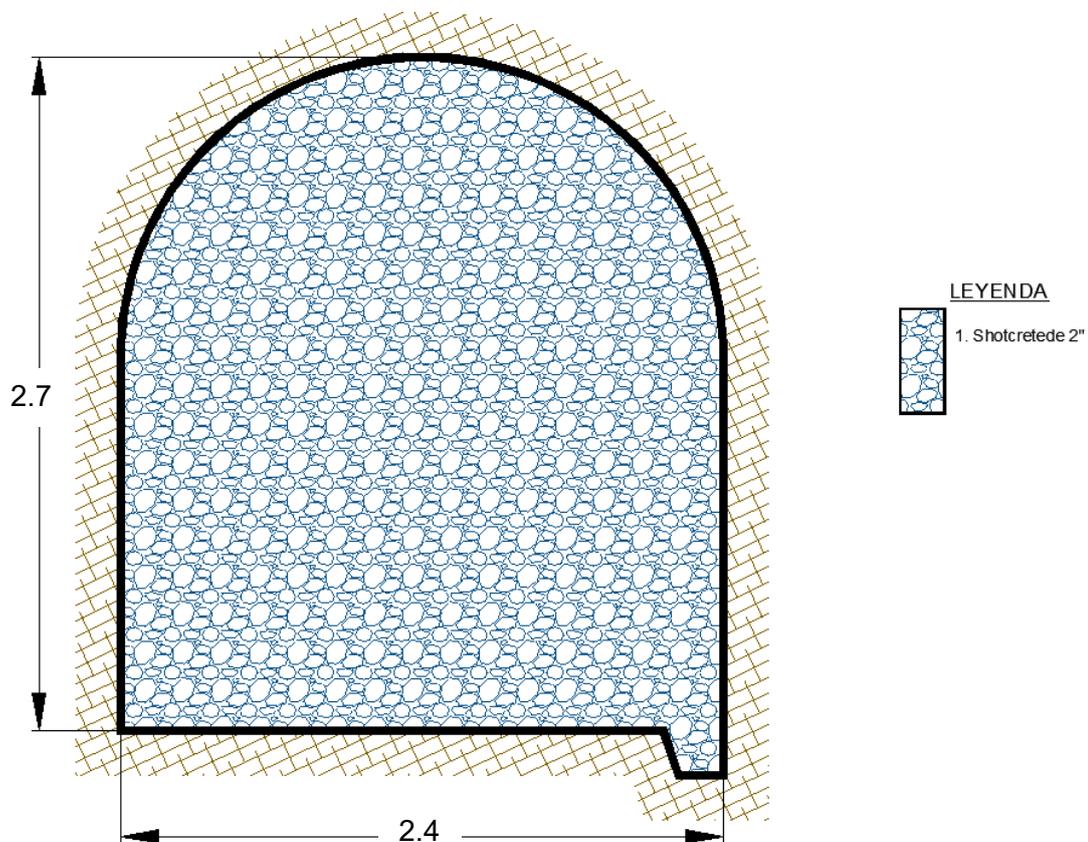


Figura 30. Sostenimiento con Shotcrete de sacrificio en labor 2.40 x 2.70 m en frentes de trabajo horizontales.

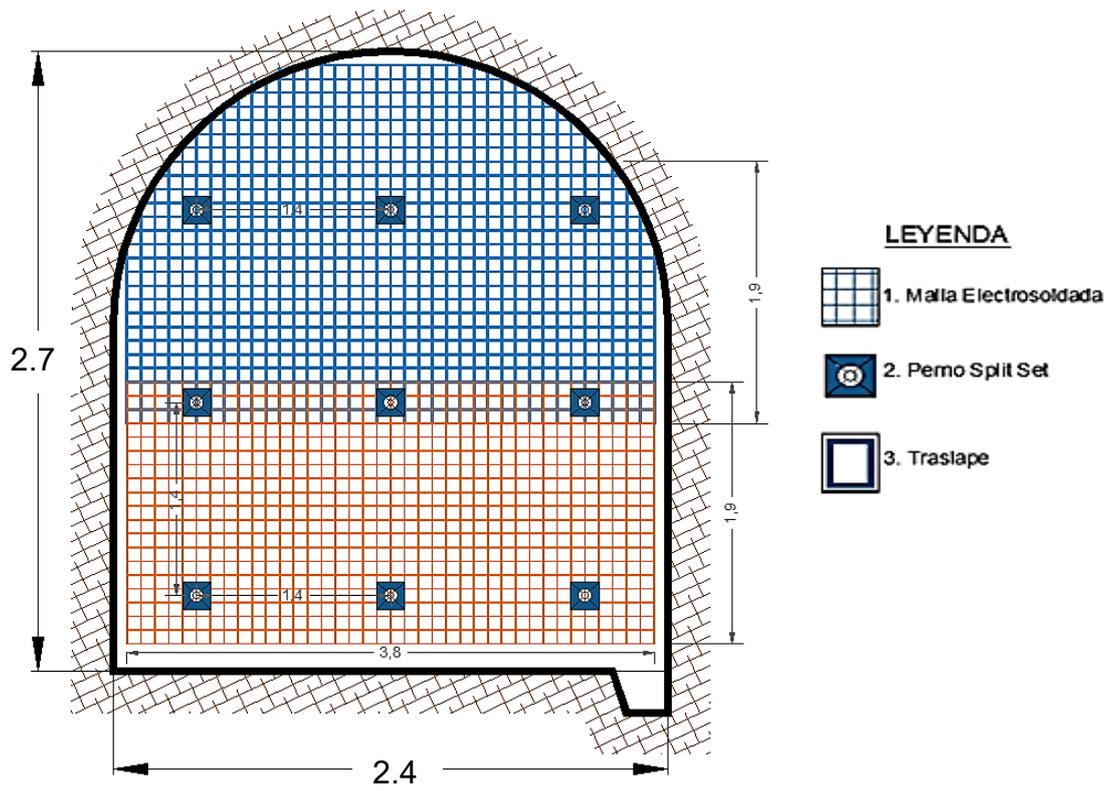


Figura 31. Sostenimiento de Sacrificio con malla en labor 2.40 x 2.70m.

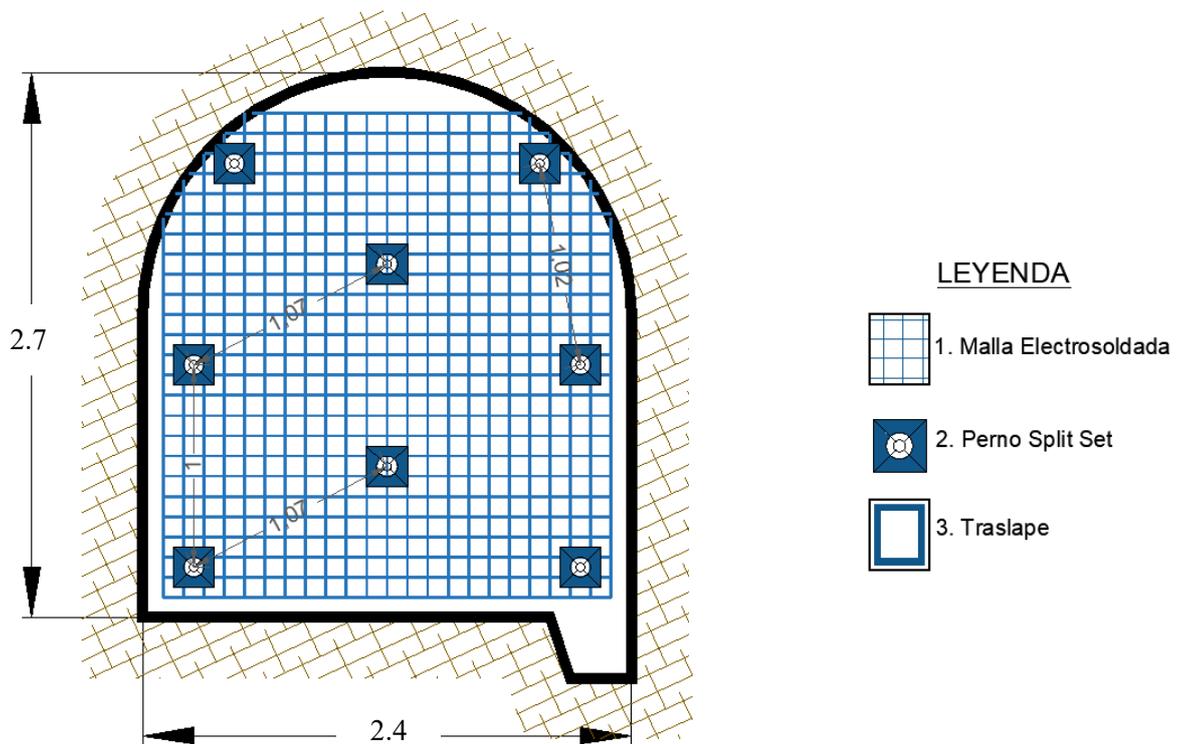


Figura 32. Sostenimiento de sacrificio con malla electrosoldada y pernos Split set a una distancia de 1.07 m, en labor 2.40 x 2.70m.

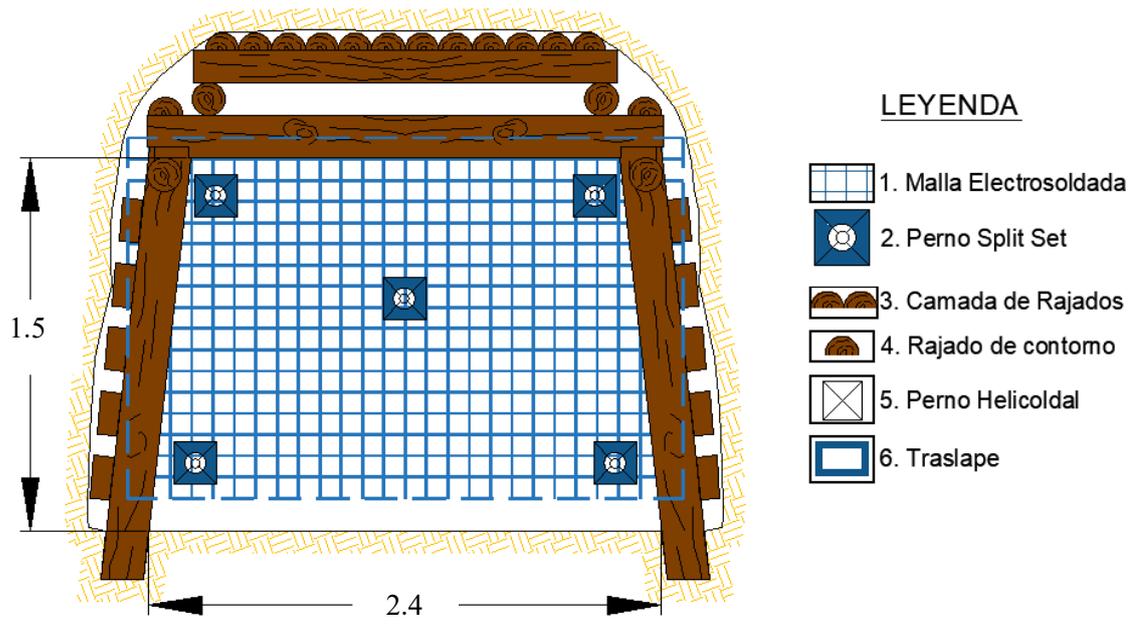


Figura 33. Sostenimiento de sacrificio en Chimeneas inclinadas con sección de 2.40 x 1.50 m.



Foto 10: Sostenimiento de sacrificio en chimenea inclinada 45° RC 05- Nivel 04.

### Taladros de Alivio (Desestresing)

Los taladros de alivio son un método que se está implementando en labores o galerías que principalmente están sufriendo contantemente a reordenamiento de esfuerzos. La función principal de estos taladros de alivio es liberar tenciones hacia la zona de cara libre y de esta manera mitigar los estallidos de roca.

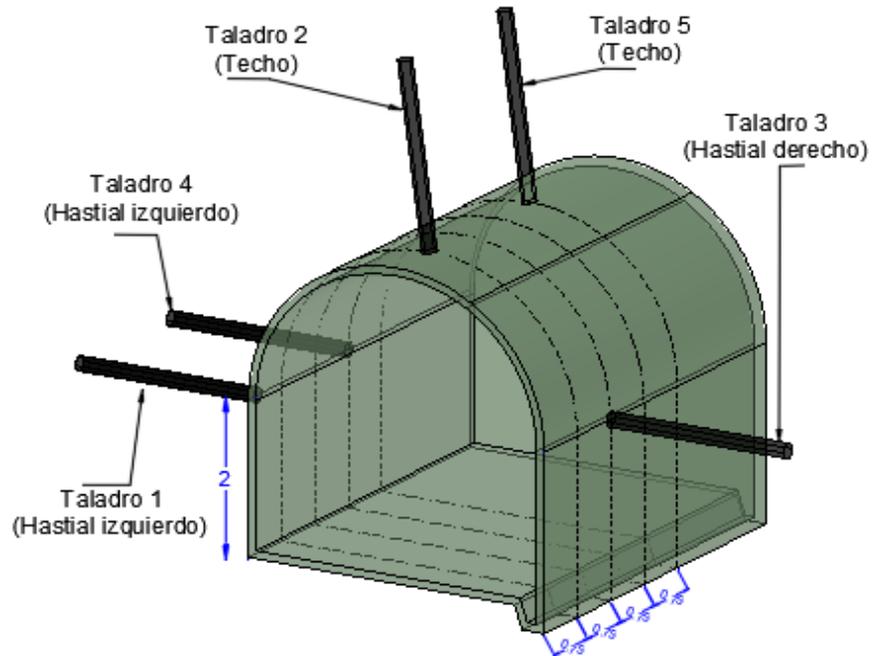


Figura 34. Isométrico de Taladros de Alivio Escalonado

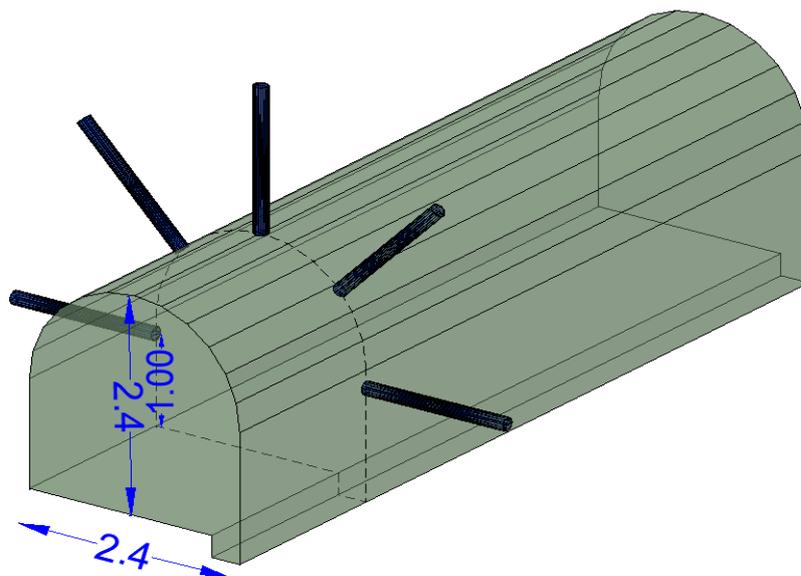


Figura 35. Isométrico de Taladros de Alivio Radial, sección de labor 2.40 x 2.40 m.

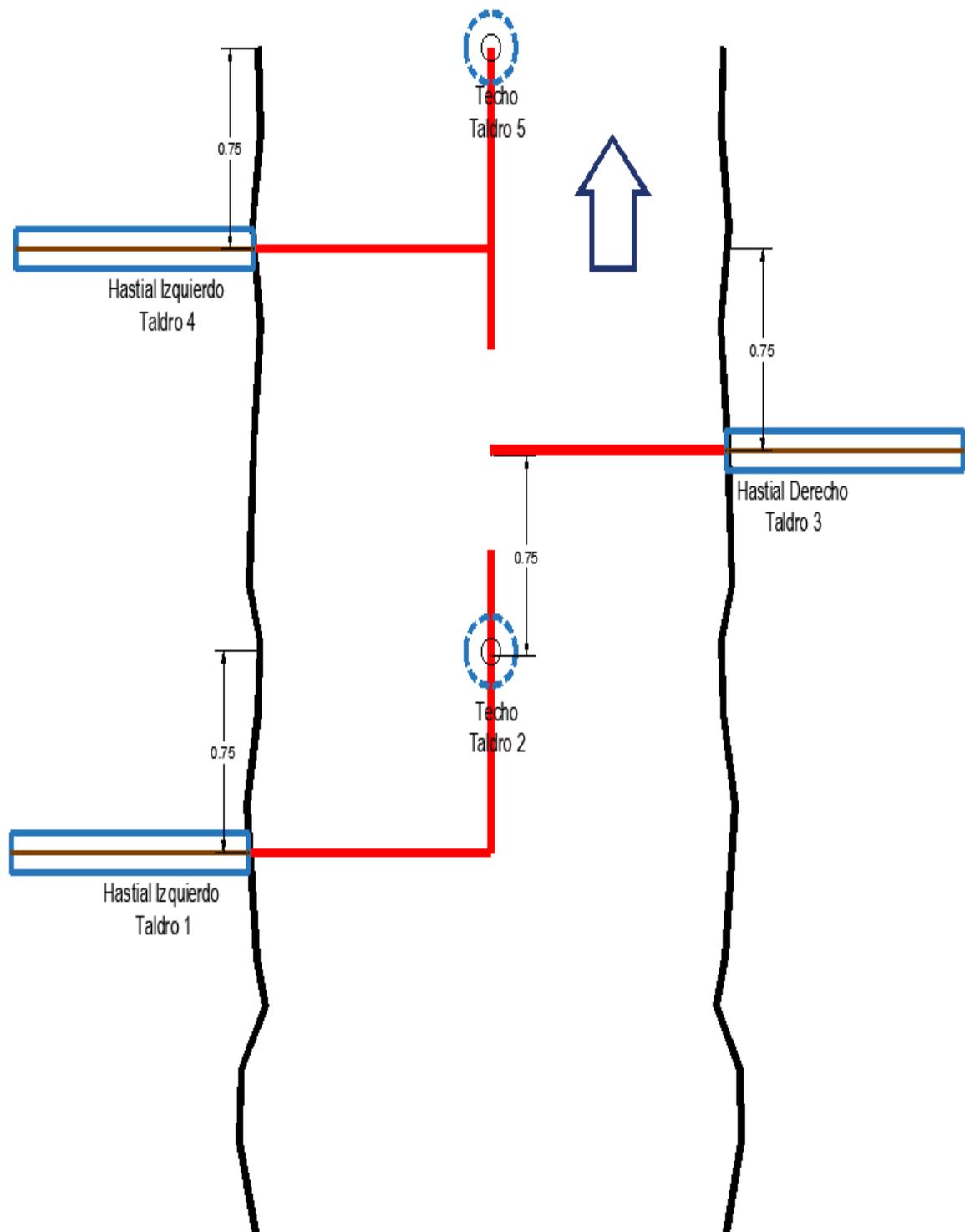


Figura 36. Vista en Planta Taladros de Alivio Escalonado

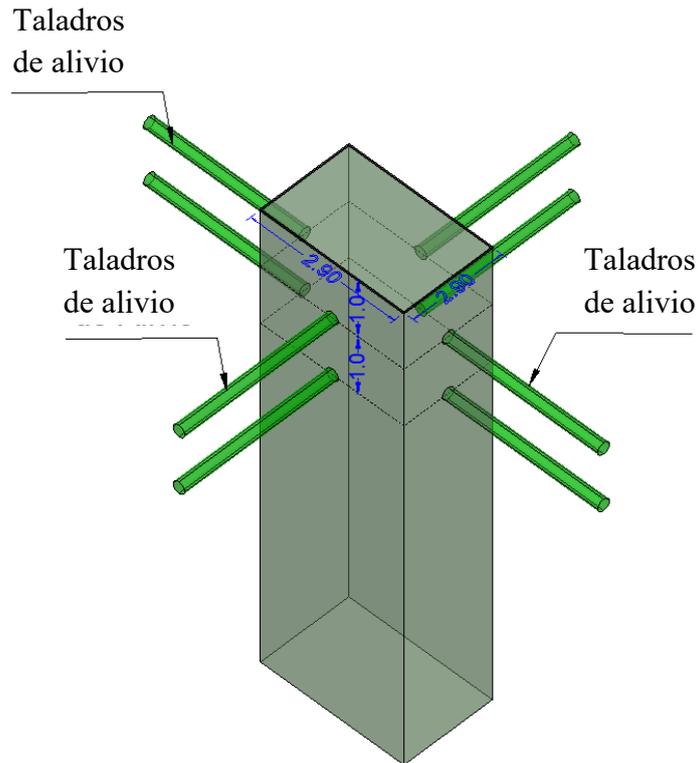


Figura 37. Isométrico de Taladros de Alivio en Chimenea, tajos.

### Sistema de Monitoreo Microsísmico

Existen diversas técnicas para poder determinar si una roca es propensa a generar estallidos de roca, lo que podemos resumir en el siguiente cuadro. A partir de la clasificación de (Amberg, 2006), podemos indicar que la mayor probabilidad de ocurrencia de un estallido de rocas se presentara en rocas frágiles que presentan alta resistencia a la compresión y baja deformación.

Tabla 18. Mecanismos de rotura en túneles profundos.

Mecanismo de deformación y rotura	Características	Requerimientos de sostenimiento
Mecanismo Frágil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollo repentino.</li> <li>• Inesperado</li> <li>• Empujes chicos o moderados</li> <li>• Peligro potencial su colocación a maquinaria e individuos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocación pronta tras la excavación.</li> <li>• Desarrollo raudo de su capacidad portante tras su colocación.</li> </ul>
Mecanismo Dúctil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dependiente del tiempo.</li> <li>• Enérgicos empujes</li> <li>• Grandes deformaciones</li> <li>• Daños potenciales al túnel.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta cabida resistente.</li> <li>• Flexibles.</li> <li>• Capaces de consumir deformaciones sin derrochar capacidad portante.</li> </ul>

Fuente: Amberg. (2006).

El monitoreo consta de la verificación de los datos que se registran continuamente en un sistema de monitoreo microsísmico, que consta de una red de geófonos instalados en interior mina en zonas ubicadas estratégicamente, los cuales llevan información a una estación sísmica ubicada en mina donde estas señales analógicas se digitalizan y son transmitidos a una estación central en superficie. Esta información es transmitida en tiempo real, en donde los datos se sincronizan de forma inmediata y son procesados por los algoritmos automatizados en los servidores con tiempos de respuesta mínimos, por lo que la diferencia de tiempo entre la ocurrencia y su transmisión es muy corto tiempo.

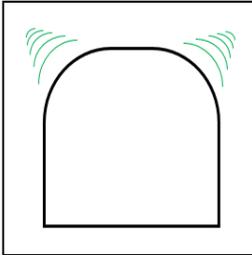
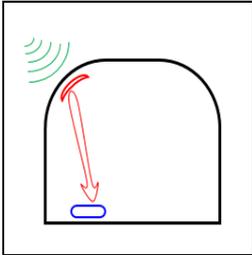
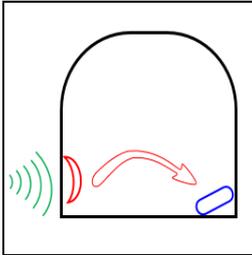
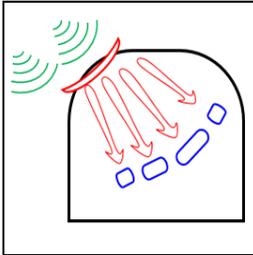
NIVEL	INFERIOR	BAJO	REGULAR	ALTO
GRADO	SIN RIESGO	LIGERA SOBRECARGA	MAS ESFUERZO	ROCKBURST VIOLENTO
CROQUIS				
	Sonidos leves Vibración RELAJAMIENTO	Sonido Fuerte, caída de roca sin sostenimiento LIBERACION	Sonido Fuerte, proyección de roca REVENTAZON	Sonido muy Fuerte proy. explosiva de la roca ESTALLIDO

Figura 38. Gráfico de Sonidos y efectos visibles en la labor (Fuente: Geom.-MARSÁ).

- **Magnitud de Momento (Mw) - Magnitud Local (MI):** las fuentes sísmicas causantes de liberación de energía sísmica se miden en la escala de magnitud de momento (MW) o Richter – Magnitud local (MI) las cuales se basan en la amplitud de las ondas P y S.
- **Energía Interna:** Es la fuerza concentrada y almacenada en un cuerpo sometidos a esfuerzos, pudiendo convertirse en energía dinámica. Para nuestros fines de estudio diremos que es la fuerza acumulada insitu en el interior del macizo rocoso y que puede actuar violentamente al producirse una excavación subterránea, se da en unidades de Joules.
- **Esfuerzo y deformación:** Cuando fuerzas externas están actuando sobre un cuerpo, decimos que el cuerpo está sometido a esfuerzo. El cambio en la forma del cuerpo sin producir ruptura con proyección debido al esfuerzo se llama deformación. En nuestro caso son las fuerzas que aparecen inevitablemente alrededor de cualquier excavación

subterránea y son las responsables de provocar los deslizamientos y desprendimientos de las rocas en una labor minera, se da en unidades de Megapascuales y milímetros.

- **Presión:** Es la fuerza por unidad de área soportada de un cuerpo, para labores abiertas en una mina, estas poseen cierta presión máxima permisibles de operación y de seguridad. Se da expresa en Kg/cm<sup>2</sup> o MN/m<sup>2</sup>.
- **Sismicidad Inducida:** es la sismicidad generada por el desarrollo de actividades subterráneas, que generan tensiones estáticas y dinámicas relacionadas a actividades de explotación de minería subterránea (explotación, avance, relleno de labores, voladura).
- Se toma nota de la Hora, Magnitud (Mw- Magnitud de Momento), el Grado según la Magnitud, la labor más cercana, el nivel, y las observaciones sobre el evento. Según los datos hallados hasta el momento, se han podido subclasificar los eventos de liberación de energía en los siguientes niveles:

### ESCALA DE RELACIÓN Mw Y MECANISMOS FUENTE

Mw	NIVEL	GRADO	MECANISMO	PGV (~100m)	EVENTO	DESCRIPCION
> = -0.7	0	INFERIOR	Alivio de Tensión Astillamiento	> a 0.07 mm/seg	Relajamiento	Sonido leve, seco, opaco y apenas percibido, alivio intenso, posible descostramiento superficial,
-0.6 a 0.1	1	BAJO	Pandeo Reacomodo	0.06 a 0.1 mm/seg	Liberación	Sonido Fuerte. Caída de roca inducidas por vibración en zonas sin sostenimiento, se puede verificar movimiento sísmico muy
0.2 a 0.8	2	REGULAR	Ruptura x Corte Trituración del Frente	0.2 a 0.8 mm/seg	Reventazón	Sonido fuerte, empuje de roca con desprendimiento en forma de salto, posible daño al sostenimiento existente, daño menor
> = 0.9	3	ALTO	Explosión de Pilar Deslizamiento en Falla	> a 0.9 mm/seg	Estallido	Sonido muy Fuerte con proyecciones explosivas de la roca : lajas o bloques en dirección radial violenta, el sostenimiento

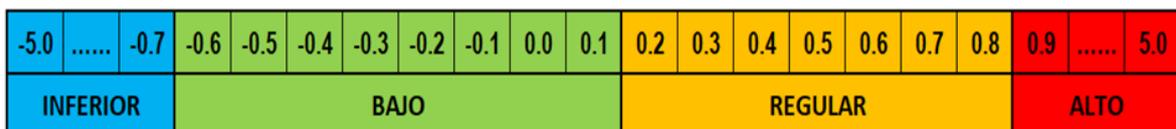


Figura 39: Escala de Relación Mw y Eventos Rockburst (Fuente: Modificado de IMS-MARSA 2019)

### Parámetros de Prevención para Eventos con acumulación de Energía Sísmica

Los registros de datos van a generar una estadística acumulada con los datos almacenados, los que regularmente podemos interpretar, conceptualizar y aplicar:

Peligro sísmico por aumento de la tasa sísmica en una misma labor:

- Seguimiento para identificar la acumulación de energía en una labor: 3 eventos en 8 horas. En este caso los valores de la Magnitud de Momento (Mw), deben ser de Grado inferior a bajo.

- b. Seguimiento para determinar la acumulación ascendente en una labor: 3 eventos en 2 horas. En este caso los valores de la Magnitud Momento ( $M_w$ ), deben ser de grado inferior a bajo.
- c. c) La sismicidad proviene de la condición estructural (fallas y discontinuidades) no brinda datos acumulativos, se manifiesta de forma aleatoria y errática, por lo que su seguimiento y ubicación es muy difícil de predecir.

## REPORTE DE MONITOREO MICROSÍSMICO



Figura 40. Reporte de monitoreo microsismico  
Fuente: Modificado de IMS-MARSA, 2019.

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

Las instalaciones de la mina Paredones se ubican al SW de la ciudad de Cajamarca, geográficamente en el distrito de San Bernardino, provincia de San Pablo y región Cajamarca. El Nivel 4 está situado al SE de las instalaciones mineras, en la actualidad se está llevando la recuperación de pilares abandonados compuesto de minerales como: Cu, Ag, Zn y Gn.; dejados por la compañía minera norteamericana NPMC (North Perú Mining Corporation). Ubicándose las instalaciones mineras en el cuadrángulo de Cajamarca (15-f) cuadrante-IV, con coordenadas del sistema UTM – Datum – WGS-84, zona 17S.

Las instalaciones subterráneas como: El crucero Xc1040-NE y Bay-pass, se encuentran influenciadas por humedad y filtración de aguas subterráneas, ubicándose, a una distancia de 160 m. a 285 m.; generando inestabilidades progresivas del macizo rocoso.

La hidrogeología está ocasionando filtraciones en corona y hastiales Xc1040-I NE (En condiciones secas a ligeramente húmedas, desde  $PI_{NE} + 00$  m. a  $PI_{NE} + 130$  m.) y SW (Presenta filtraciones de agua subterránea desde  $PI_{SW} + 00$  m. a  $PI_{SW} + 150$  m.). En cambio, el by-pass desde  $PIp + 00$  m. a  $PIp + 55$  m. no presenta filtraciones; luego cambiando a humedad constante y progresiva en la clave y hastiales sin afectar la solera, favoreciendo a alteración de la roca caja (Andesita) y alteraciones (Argílica avanzada y silicificada) formando en su superficie recristalización de minerales como: Epsomita, hidrocincita y calcantita, observándose como cobertura blanquecina de hábito: Fibroso, laminar y botroidal; desde  $PIp + 55$  m. a  $PIp + 159$  m. Relacionado con la pseudostratificación de buzamiento SW, generando zonas flujo por la persistencia de los estratos del Volcánico Chilete; ocasionando zonas: Secas, humedad y algunos casos mojados; afectado: Cuadros de maderos (Putrefacción y apolillamiento) y anclajes (oxidados y corroídos) (Montoya, 2018).

La geología local del Nivel 4 de las instalaciones: By-pass y crucero (NE y SW), está emplazado en roca andesita de grano medio de textura afanítica de color gris verdusco con seudoestratificación (Az/Bz): N229°/30°NW, pertenecientes a rocas volcánicas del Paleógeno – Eoceno, presentando seudoestratificación por los Depósitos de flujos de lava andesítica intercalada con depósitos volcanoclásticos lahares (Compuesto de matriz cementante de sílice y clastos: Ángulos, subangulosos a redondeados de diámetro 3'' a 7'') y flujos de cenizas gris violáceos, producto del vulcanismo post-tectónico, constituyendo espesor de 800 m., constituida por eventos volcánicos como: Volcánico Chilete, diatrema, veta (Murciélagos y West Pacasmayo) y alteración sílica. Por consiguiente, el by-pass tiene longitud PIp + 159 m., presenta un diatrema de orientación SE, siendo una geoestructura vertical de base elíptica ubicada (Paralelo a la Veta Murciélagos, siendo tajeado desde: PI + 483 m. hasta PI + 609 m. recuperando toda esta zona de enriquecimiento mineral, cortando tres niveles abajo, formando actualmente una chimenea vertical inclinada de Bz = 80°NE a 85°NE) desde PIp + 25 m. hasta PIp + 85 m., con dimensiones de 60 m. x 20 m. de material brechoso; actualmente mostrándose altamente fracturada aprovechada por la cámara magmática para la liberación violenta de gases, ocasionado movimientos ascendentes de material andesítico, expulsando violentamente por la chimenea, originando colapsos del interior del cráter, para ser aprovechados por los fluidos hidrotermales ascendentes, originando cuerpo brechoso freatomagmático mineralizados, presentando fragmentos angulosos andesíticos: 0.05 m. a 0.10 m., con matriz cementante de polvo de roca constituyendo el cuerpo mineralizado compuesto por: Esfalerita, galena, galena argentífera, covelina, cuarzo, calcopirita, pirita y óxidos de hierro.

La alteración Sílica, se ubica cerca a la Veta: Murciélagos y West Pacasmayo, compuesto de: Sinter y sílice, afectada por los fluidos hidrotermales ácidos lixivando el cuerpo mineralógico y roca andesita, afectada por aguas meteóricas cambiando la composición de la veta formando aureolas compuestas de materiales rocosos andesíticos altamente fracturados en forma de costras nodulares, por ser rocas de: Mala a muy mala calidad.

Las geoestructuras mayores de la Mina Paredones, tiene orientación NW-SE, relacionados con las Vetas: Murciélagos (Az = N300°, Bz = 80°NE, pitch = 86°, K = Nx y paleoesfuerzos (T/P):  $\sigma_1 = 225.50/58.80$ ,  $\sigma_2 = 129.00/3.90$  y  $\sigma_3 = 36.70/30.90$ ) y West Pacasmayo (Bz = 78° a 85° SW). (Montoya, 2018), Por lo contrario, las estructuras mineralizadas tienen rumbo sinistral (Rb: N 30° a 50° W y Bz: 78° NE a 87° SW),

controlados por dos fallas transcurrentes dextrales del sistema E-W, que coinciden con las quebradas: California y El Ingenio (Uribe, et al., 2011) y la falla dextral del río San Pablo con orientación NE – SW, ubicados a 500 m. a 900 m. de distancia. Por consiguiente, el bypass presenta brechas andesíticas angulosas a subangulosas de diámetros 0.05 m. a 0.10 m., con matriz cementante de sílice englobado de: Covelina, calcopirita, pirita, esfalerita y galena; con orientación (Az/Bz): N107°/64°SW y N209°/40°NW. (Benel, 2019), Por lo contrario, el plano de falla sinistral de orientación: Az = N250°, Bz = 31°NW, desplazó a la Veta Murciélago, al lado izquierdo de la galería, con salto de falla de 1.20 m. delimitada por milonita de color: amarillo, rojizo a anaranjado, con espesor: 0.30 m a 0.40 m., conformado por clastos de brecha angulosa y matriz cementante de sílice y polvo de roca, ubicado en el PI + 475.15 m. de la galería principal. Sin embargo, los cruceros también presentaron zona brechosas a milonitizadas, cortando transversalmente al túnel generadas por movimientos tectónicos, en muchos de los casos no fueron cargadas de mineralización, siendo zonas estériles: formando aureolas por la sección del túnel.

Por lo contrario, las estructuras menores definieron el modelamiento geológico con orientaciones (Az/Bz): N36°/72°SE, N225°/45°SW, N124°/80°SW y N315°/23°NE; formando por la sobre excavación de las secciones en forma: Baúl, cuadrada y rectangular, con altura: 3.50 m. a 4.00 m. y ancho: 2.10 m. a 2.50 m., siendo la geoestructura más persistente la seudoestratificación con orientación (Az/Bz): N230°/28°NW, ocasionando desprendimiento de rocas en forma: Triedros, tetraedros, prisma truncado y prisma doblemente truncado.

La constante utilización de voladura está generando vibraciones constantes afectando al basamento rocoso, influenciada por coeficientes espectrales sísmicos: Horizontales y verticales, ocasionando desprendimiento por la redistribución tensional de las geoestructuras y litología; afectando la estabilidad del tajeo, siendo rocas de calidad: Mala, regular y buena; mediante la aplicación de la Norma Técnica E.30 Diseño Sismorresistente, con valoraciones entre: Sh (0.012 a 0.023) y Sv (0.029 a 0.064).

### 4.1.1 Análisis geomecánica

La caracterización geomecánica del Nivel 4 por mapeo geomecánico por línea de detalle – método lineal; se obtuvo valoraciones importantes por la calidad de roca. Las valoraciones del mi están en función del tipo de roca reflejándose en la propagación de fisuras como: Estructura, cementación, porosidad y microfisuramiento, variando desde 10 a 30. Por consiguiente,  $s < 1$  lo categoriza como roca alterada por ser menores a la 1, variando: 0.00047 a 0.01, dependiendo de las propiedades de la roca utilizando el criterio generalizado con valores a: 0.50 a 0.52. La sección subterránea presenta factor de disturbación  $D = 0.00$ , no alterando considerablemente la geometría de la excavación subterránea por la utilización de voladura de corte.

Tabla 19. Valores basados en las constantes elásticas, mediante los criterios: Hoek-Brown y Mohr-Coulomb; en función de las estaciones geomecánicas.

Criterio ruptura		Estación geomecánica				
		EG-1	EG-2	EG-3	EG-4	EG-5
Clasificación Hoek - Brown	mi	28	30	10	27	21
	D	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Ei (MPa)	32,250	42,750	38,400	67,200	12,400
	MR	450	450	480	420	310
Criterio Hoek - Brown	mb	5.42	7.19	2.57	6.71	1.79
	s	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00047
	a	0.50	0.50	0.50	0.50	0.52
Parámetros masa rocosa	$\sigma_t$ (MPa)	-0.09	-0.16	-0.46	-0.31	-0.01
	$\sigma_c$ (MPa)	6.46	10.17	9.59	18.12	0.74
	$\sigma_{ct}$ (MPa)	26.47	34.50	18.32	56.39	6.60
	Em (MPa)	14,799.68	22,230.00	21,708.66	36,470.22	1,076.75
Criterio Mohr - Coulomb	c	1.80	1.44	1.42	2.19	0.46
	$\varphi^\circ$	55.04	62.39	54.62	63.48	47.61

La teoría de Sheorey, muestra valoraciones del coeficiente de reparto de tensiones ( $k$ ), en función: Profundidad vertical (m.) y módulo de deformación (GPa), combinados con el programa RocData obteniendo  $\sigma_{3max}$  por cada estación geomecánica, mostrando variaciones tensionales alrededor del túnel.

Tabla 20. Parámetros del campo tensional, en función de esfuerzo: Horizontal y vertical.

Campo tensional	Estación geomecánica				
	EG-1	EG-2	EG-3	EG-4	EG-5
<b>H(m.)</b>	156	118	88	142	120
<b><math>\sigma_1</math> (MPa)</b>	4.056	3.068	2.288	3.692	2.640
<b><math>\sigma_3</math> (MPa)</b>	3.460	1.670	1.220	2.040	1.310
<b><math>k</math></b>	0.85	0.54	0.53	0.55	0.50
<b><math>\alpha</math></b>	90°	90°	90°	90°	90°
<b>Forma sección</b>	Baúl	Baúl	Rectangular	Rectangular	Cuadrada

Las clasificaciones geomecánicas muestran valoraciones de la masa rocosa desde calidad: Mala, regular y buena, de acuerdo con el grado de fracturamiento y litología, afectando la estabilidad de la excavación subterránea, siendo base fundamental para el software: RocData y Phase<sup>2</sup>, representando por información cuantitativa y cualitativa, cada estación geomecánica

Tabla 21. Valoración mediante la aplicación de los criterios geomecánicas empíricos por cada estación.

Clasificaciones empíricas		Estación geomecánica					
		EG-1	EG-2	EG-3	EG-4	EG-5	
<b><math>\sigma_{ci}</math> (MPa)</b>		85	95	80	160	40	
<b>RQD (%)</b>	Puntaje	Cuantitativo	55.78	69.90	59.18	87.81	39.03
		Cualitativo	Regular	Buena	Regular	Buena	Mala
<b>RMR</b>	Puntaje	Cuantitativo	59	65	67	66	36
		Cualitativo	Media	Buena	Buena	Buena	Mala
	Romana		III-A	II-B	II-B	II-B	IV-A
			Media a buena	Buena a media	Buena a media	Buena a media	Mala a media
<b>GSI</b>	Puntaje	Cuantitativo	54	60	62	61	31
		Cualitativo	Regular	Regular	Buena	Buena	Mala
<b>Q</b>		RQD (%)	55.78	69.90	59.18	87.81	39.03
		Jn	9	9	9	9	15
		Jr	1.50	3.00	3.00	3.00	2.00
		Ja	1.00	1.00	0.75	1.00	3.00
		Jw	1.00	1.00	1.00	1.00	0.66
		SRF	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Puntaje	Cuantitativo	9.30	23.30	26.30	29.27	1.15
		Cualitativo	Media	Buena	Buena	Buena	Mala

Por consiguiente, se aplicó el modelo matemático mostrando variaciones del comportamiento tensional de cada estación geomecánica, visualizando la profundidad

transversal la deformación de afectación variando desde: 0.00 m. a 0.85 m. y factor de seguridad debilitando al afloramiento rocoso desde: 0.60 m. a 1.10 m.; relacionándose con la concentración de esfuerzos tensiones alrededor de la sección subterránea.

Tabla 22. Variabilidad del campo tensodeformacional y concentración de tensiones en la excavación subterránea.

Estación	Desplazamiento (m.)	Medio: Plástico + elastoplástico (m.)	Factor seguridad afectación (m.)	Esfuerzos: Corte y tensionales	Deformación
EG-1	0.00089	0.70	0.90	Hastiales	Hastiales
EG-2	0.00033	0.35	0.90	Hastiales y solera	Hastiales
EG-3	0.00022	0.00	0.80	---	---
EG-4	0.00026	0.50	1.10	Hastiales	Hastiales
EG-5	0.00205	0.85	0.60	Periferie	Periferie

Los criterios de estallidos de rocas muestran valoraciones: Energía de deformación elástica desde: 76 KJ/m<sup>3</sup> a 183 KJ/m<sup>3</sup> definiendo estallidos desde: Bajo a Alto. Influencia de fracturación 39.03 a 87.81, ocasionando estallidos desde: Bajo, moderado y alto. Fragilidad de roca desde: 2.34 a 6.06 con estallido violento; y Criterio de Barla, con valores: 1.56 a 13.00, definiendo sin deformación cada estación geomecánica.

Tabla 23. Criterios de estallidos de rocas.

Estación	Energía de deformación elástica		Influencia de la fracturación		Fragilidad de rocas		Criterio de Barla	
	PES (KJ/m <sup>3</sup> )	Estallido	RQD (%)	Estallido	B	Estallido	CB	Squeezing
EG-1	143	Moderado	55.78	Moderado	3.21	Violento	5.21	Sin
EG-2	129	Moderado	69.90	Moderado	2.75	Violento	9.56	Sin
EG-3	147	Moderado	59.18	Moderado	4.37	Violento	7.67	Sin
EG-4	183	Alto	87.81	Alto	2.34	Violento	13.00	Sin
EG-5	76	Bajo	39.03	Bajo	6.06	Violento	1.56	Sin

El sostenimiento subterráneo por calificarse como roca: Buena, regular y mala. La estación geomecánica EG-01 de calidad regular, muestra afectaciones del basamento rocoso, estabilizándolo con anclajes sistemáticos de 8 pies de longitud de diámetro de 25 mm. en sección transversal de 10 m. desde Pic. + 56.65 m. a Pic. + 66.65 m. En cambio, las estaciones geomecánicas: EG-02, EG-03 y EG-04, por ser rocas de buena calidad no requieren sostenimiento por no formar cambios tensodeformacionales importantes alrededor de la sección subterránea. Finalmente, la EG-05, está conformado por roca de mala calidad

formando aureolas tensodeformacionales que afectan la estabilidad recomendando la estabilización con anclajes sistemáticos de 8 pies de longitud de diámetro de 25 mm. + shotcrete (0.30 m.), reduciendo la amplitud de la aureola tensodeformacional.

#### **4.1.2 Análisis de sostenimiento y controles**

Los estallidos de rocas han sido definidos por (Cook, 1963) citado en Medina, et al. (2015). como “la rotura o falla incontrolada de la roca asociada con una liberación violenta de energía”, los cuales causan daños a las labores subterráneas y personal y/o equipos que se encuentran laborando en las instalaciones mineras como es el Nivel 4 de la Mina Paredones. En este contexto, la liberación de energía constituye un subconjunto de un rango amplio de eventos sísmicos que pueden ocurrir dentro del macizo rocoso como consecuencia de las actividades de minado. La manipulación y el estrés que se realiza al macizo rocoso es una de las causas para el reordenamiento de esfuerzos y se propague una liberación de energía generando destrozos en las instalaciones mineras del By-pass y crucero 1040 NW.

Medina, et al. (2015). Podemos agrupar los factores que influyen en la ocurrencia de liberación de energía para el estallido de rocas en dos partes:

- Los factores relevantes pre-existentes al minado
  - 1) El medio geológico.
  - 2) Las propiedades de comportamiento mecánico de ese medio geológico.
  - 3) El campo de esfuerzos original.
- Los factores posteriores al minado comprenden
  1. Los esfuerzos inducidos por el minado
  2. La energía de deformación.

Una explicación del origen de los estallidos de rocas, indica que son liberaciones inestables de energía potencial de la roca circundante a las excavaciones. Otra explicación es que los cambios producidos por el minado simplemente activan eventos sísmicos que se derivan principalmente de la energía de deformación producida por las diferencias geológicas en el estado de esfuerzos.

#### **Los factores de influencia son:**

- El desarrollo de la explotación sin un planeamiento y diseño adecuado de los esquemas y secuencias de minado (la explotación de la mina está dispersa en todos los niveles).

- Las familias de discontinuidades del modelo litológico-estructural, las mismas que guían el mecanismo de falla violenta.
- El alto porcentaje de vacíos abandonados como el tajo Los murciélagos y parte del Bypass, los cuales se producen situaciones de inestabilidad por efectos del tiempo.
- No habiéndose tomado en cuenta prácticas de restablecimiento del equilibrio (como el uso adecuado del relleno) para contribuir a la estabilidad regional.
- La falta de adecuados dimensionamientos geo-mecánicos de los pilares de los bloques de explotación.
- Las propiedades físico-mecánicas de los materiales rocosos (rocas generalmente competentes).
- La inadecuada, inoportuna o inexistente aplicación de sistemas de sostenimiento en las zonas que lo requieren, no tomándose en cuenta la duración del servicio de una determinada labor, convirtiéndose en permanentes las que típicamente deberían ser temporales (especialmente en galería principal del Nivel 4).
- Las bajas resistencias al corte de las discontinuidades estructurales del Volcánico Tembladera.
- No se ha definido la influencia de la calidad del macizo rocoso respecto a la cantidad de ocurrencia de estallidos, éstos ocurren en diferentes calidades de masas rocosas.

Para ello se plantea una propuesta de sostenimiento y controles en las zonas más críticas del nivel 04 de la Mina Paredones, en función a las medidas planteadas distante el desarrollo de la presente investigación.

Tabla 24. Medida de sostenimiento y controles por estación geomecánica.

Sostenimiento y controles	Estación geomecánica				
	EG-1	EG-2	EG-3	EG-4	EG-5
Voladura de Pre-Acondicionamiento	No	No	No	SI	Si
Sostenimiento de Sacrificio	No	No	No	SI	SI
Taladros de Alivio Escalonado (Desestresing)	SI	SI	SI	No	No
Sistema de Monitoreo Microsísmico	SI	SI	SI	SI	SI

Fuente: Elaboración propia.

## 4.2 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Las instalaciones: By-pass y crucero (NE y SW), del Nivel 4 está emplazado en roca andesita de grano medio de textura afanítica de color gris verdusco con pseudoestratificación (Az/Bz):  $N229^{\circ}/30^{\circ}NW$ , pertenecientes a rocas volcánicas del Paleógeno – Eoceno, constituida por eventos volcánicos como: Volcánico Chilete, diatrema, veta (Murciélagos y West Pacasmayo) y alteración sílica. Sin embargo, la estructura mayor tiene orientación NW-SE, relacionados con las Vetas: Murciélagos (Az =  $N300^{\circ}$ , Bz =  $80^{\circ}NE$ , pitch =  $86^{\circ}$ , K = Nx) y West Pacasmayo (Bz =  $78^{\circ}$  a  $85^{\circ}SW$ ); y las estructuras menores definieron el modelamiento geológico con orientaciones (Az/Bz):  $N36^{\circ}/72^{\circ}SE$ ,  $N225^{\circ}/45^{\circ}SW$ ,  $N124^{\circ}/80^{\circ}SW$  y  $N315^{\circ}/23^{\circ}NE$ ; formando por la sobre excavación de las secciones en forma: Baúl, cuadrada y rectangular, ocasionando desprendimiento de rocas como: Triedros, tetraedros, prisma truncado y prisma doblemente truncado. Por consiguiente, las filtraciones en la corona y hastiales, muestran que el crucero 1040 NW: Presenta secciones secas a ligeramente húmedas:  $PI_{NE} + 00$  m. a  $PI_{NE} + 130$  m. y crucero-II: Presenta filtraciones de agua subterránea desde  $PI_{SW} + 00$  m. a  $PI_{SW} + 150$  m. En cambio, el by-pass desde  $PI_p + 00$  m. a  $PI_p + 55$  m. no presenta filtraciones; luego cambiando a humedad constante en la alteración silicificada. Ocasionando variaciones del comportamiento tensodeformacional de cada estación geomecánica, visualizando la distancia transversal la deformación variando desde: 0.00 m. a 0.85 m. y factor de seguridad debilitando al afloramiento rocoso desde: 0.60 m. a 1.10 m.; relacionándose con la concentración de esfuerzos tensiones alrededor de la sección subterránea

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

Podemos concluir que el sostenimiento subterráneo de la estación geomecánica EG-01 es mediante anclajes sistemáticos de 8 pies de longitud de diámetro de 25 mm. en sección transversal de 10 m. desde Pic. + 56.65 m. a Pic. + 66.65 m. En cambio, las estaciones geomecánicas: EG-02, EG-03 y EG-04, por ser rocas de buena calidad no requieren sostenimiento por no formar cambios tensodeformacionales importantes

Se determina que en la EG-05, está conformado por roca de mala calidad el cual requiere sostenimiento de shotcrete de 2 pulgadas como preventivo más perno helicoidal de 8 pies con malla electrosoldada 4 x 4 pulgadas y shotcrete sobre malla para estabilizar la zona más crítica.

Los controles para reducir la liberación de energía del Nivel 4 – Mina Paredones situados en los puntos más críticos del Crucero y By- Pass será con voladura de pre acondicionamiento (generando una cara libre donde puede liberarse la carga litostática), taladros de alivio escalonados, radiales (desestresando la roca) y sostenimiento temporal en el frente de la labor como shotcrete de sacrificio y malla electrosoldada de 3x3 pulgadas con perno Split Set de 3 pies como sacrificio. (Para reducir la vulnerabilidad y exposición de la roca a los trabajadores).

#### 5.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda a la empresa Minera Cajamarca S.A.C. realizar procedimientos **(PETS) y Estándares** donde detalle el tipo de sostenimiento y los controles para mitigar la liberación de energía en sus labores de avance y profundización. De las instalaciones mineras UM. Paredones.

Se recomienda al área de Geomecánica de la empresa minera Cajamarca SAC. Implementar sistema de controles microsismicos a través de geófonos ubicados en zonas estratégicas de las instalaciones mineras donde nos brinden información en tiempo real del comportamiento estructural que puede pasar en el macizo rocoso, e identificar los altos

esfuerzos sísmico, como una forma de determinar la magnitud y dirección del evento sísmico para poder identificar las zonas más críticas de las labores mineras.

Se recomienda a la empresa Minera Cajamarca S.A.C. implementar dentro de sus estándares a la propuesta de sostenimiento y los controles de liberación de energía propuestos en el estudio de investigación de esta tesis.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barton, N., Lien, R., y Lunde, J. (1974). *Clasificación ingenieril de la masa rocosa para el diseño del sostenimiento de túneles*. *Mecánica de rocas* 6(4), págs. 189 – 236.  
Recuperado de  
[https://www.researchgate.net/publication/226039636\\_Engineering\\_Classification\\_of\\_Rock\\_Masses\\_for\\_the\\_Design\\_of\\_Tunnel\\_Support](https://www.researchgate.net/publication/226039636_Engineering_Classification_of_Rock_Masses_for_the_Design_of_Tunnel_Support)
- Benel, R. (2019). *Comportamiento geomecánico según los métodos RMR y Q de Barton del Nivel 3 de la Mina Paredones San Pablo – Cajamarca* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de ingeniería, Escuela académico profesional de ingeniería de minas.
- Berrocal, M. (2015). *Estabilidad de Excavaciones Subterráneas*. Lima - Perú: Ventura Graf.
- Betancur, B., y López, C. (2019). *Caracterización y clasificación geomecánica del macizo rocoso en el nivel veintiuno en el nivel veintiuno de la Mina La Maruja (Distrito minero de Marmato, Caldas) para estimar las recomendaciones de estabilidad y soporte en la excavación y su correlación con las alteraciones hidrotermales* (Tesis pregrado). Universidad escuela de administración, finanzas e instituto tecnológico, Escuela de ciencias, Departamento de geología. Recuperado de  
<https://www.semanticscholar.org/paper/Caracterizaci%C3%B3n-y-clasificaci%C3%B3n-geomec%C3%A1nica-del-en-Arenas-Balaguera/732ed2263ffe99bebb4eb5415d424d567518e7ef>
- El clima y el tiempo promedio en todo el año en Chilete Perú. Recuperado de  
<https://es.weatherspark.com/y/19951/Clima-promedio-en-Chilete-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Córdova, N. (2008). *Geomecánica en el minado subterráneo caso Mina Condestable* (Tesis de magister). Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de ingeniería geología, minería y metalúrgica; Unidad de Posgrado. Recuperado de  
<https://1library.co/document/zke203mz-geomecanica-en-el-minado-subterraneo-caso-mina-condestable.html>  
(consultada 13 agosto 2023).
- Davila, B. (2011). *Diccionario geológico*. INGEMMET. Lima – Perú: Arth Grouting S.A.C.
- Deere, D. (1964). *Technical description of rock cores for engineering purposes*. *Rock Mech. And Rock Engrg.*, 1, págs. 107-116.

- Deere, D., Hendron, A., Patton, F., y Cording, E. (1967). *Design of surface and near surface construction in rock*. Failure and Breakage of Rock, Proc. 8th U.S. Symp. Rock Mech., Ed: C. Fairhurst, págs. 237-302.
- Donaires, V. (1965). *Sostenimiento de minas subterráneas* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería.
- Gavilanes, J., y Andrade, H. (2004). *Introducción a la Ingeniería de Túneles: Caracterización, clasificación y análisis geomecánico de macizos rocosos*. Quito – Ecuador: Asociación de Ingenieros de Minas del Ecuador (AIME).
- Gómez, M. (2022). *Caracterización, zonificación geomecánica y recomendación del sostenimiento necesario para la estabilidad de labores y temporales y permanentes del macizo rocoso en el Nivel 1712 del cuerpo Zeus de la Mina Roble* (Tesis pregrado). Universidad de caldas, Facultad de ciencias exactas y naturales, programa de geología, Recuperado de [https://repositorio.ucaldas.edu.co/bitstream/handle/ucaldas/17402/Mateo\\_GomezRodriguez\\_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucaldas.edu.co/bitstream/handle/ucaldas/17402/Mateo_GomezRodriguez_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (consultada 11 agosto 2022).
- Gonzales, de V. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Prentice Hall.
- Hoek, E., y Brown, E. (1997). *Practical estimates of rock mass strength*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 34, págs. 1165-1186.
- Hoek, E., y Marinos, P. (2000). *Predicting tunnel squeezing: Problems in weak heterogeneous rock masses*. Tunnel and tunnelling international. Part 1 – November 2000, Part – December 2000, págs. 1-22. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/285906099\\_Predicting\\_Tunnel\\_Squeezing\\_Problems\\_in\\_Weak\\_Heterogeneous\\_Rock\\_Masses](https://www.researchgate.net/publication/285906099_Predicting_Tunnel_Squeezing_Problems_in_Weak_Heterogeneous_Rock_Masses)
- Hudson, J. (2010). *Engineerring properties of rocks: Elsevier geo-engineerring book series. 4 volumen*. Londres – Inglaterra. Pergamon Press.

- Jordá, B., Jordá, B., Durán, V., y Romero, C. (2017). *Evaluación de la estabilidad de las labores y pilar corona en las minas abandonadas de S'Argentera (Ibiza, España) combinando clasificaciones geomecánicas, métodos empíricos y análisis numéricos-enfocados a su posible aprovechamiento turístico*. Boletín geológico y minero, ISS 0366-0176; CODEN BGMIA3; v. 128 (1); p. 3-24. 4 (Dec). Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/315063147\\_Evaluacion\\_de\\_la\\_estabilidad\\_de las\\_labores\\_y\\_pilar\\_corona\\_en las\\_minas\\_abandonadas\\_de\\_S'Argentera\\_Ibiza\\_Espana\\_combinando\\_clasificaciones\\_geomecánicas\\_métodos\\_empíricos\\_y\\_análisis\\_numérico\\_-\\_enfocado](https://www.researchgate.net/publication/315063147_Evaluacion_de_la_estabilidad_de las_labores_y_pilar_corona_en las_minas_abandonadas_de_S'Argentera_Ibiza_Espana_combinando_clasificaciones_geomecánicas_métodos_empíricos_y_análisis_numérico_-_enfocado). (consultada 11 agosto 2022).
- Lillo, J., y Oyarzun, R. (2013). *Geología estructural aplicada a la minería y exploración minera: Principios básicos*. Móstoles – España: Ediciones GEMM – Aula2punto.net. Recuperado de [www.aulados.net/GEMM/GEMM.html](http://www.aulados.net/GEMM/GEMM.html)
- Lisle, R., y Lesión, P. (2002). *Técnicas de proyección estereográfica para geólogos e ingenieros civiles*, 2da. edición.
- Kwasniewski M., Szutkowski I. y Wang J. (1994). *Study of ability of coal from seam 510 for storing elastic energy in the aspect of assessment of hazard in Porabka-Klimontow Colliery*. Sci. Rept. Silesian Technical University (Polonia).
- Medina, et al. (2015). “Prevención de accidentes por estallido de rocas en la construcción de túneles y labores subterráneas”. Lima – Perú.
- Ministerio de vivienda. (2019). *Norma técnica E.30 – Diseño sismorresistente del reglamento nacional de edificaciones. Resolución ministerial N° 043-2019-vivienda*. Lima – Perú: Ministerio de vivienda. Recuperado de: [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/299950/d289856\\_opt.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/299950/d289856_opt.pdf)
- Montoya, T. (2018). *Relación geotécnica y litomorfoestructural del túnel de la Mina Paredones Nivel 5 San Pablo – Cajamarca (Tesis de maestría)*. Universidad Nacional de Cajamarca, Escuela de posgrado, Maestría en ciencias.
- Osinermin. (2017). *Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas*. Magdalena del Mar, Lima - Perú: Edición: INVERSIONES IAKOB S.A.C.
- Priest, S., y Hudson, J. (1976). *Discontinuity spacing in rock*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 13, págs. 135-148.

- Qiao, C., y Tian, Z. Y. (1998). *Study of the possibility of rockburst in Dong-qua-shan Copper Mine, Chinese J. Rock Mech. Eng. (exp.)* 17, págs. 917-921.
- Ramírez, C. (2004). *Manual de geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea*. Lima – Perú: Sociedad nacional de Minería, Petróleo y Energía.
- Ramírez, O., De La Cuadra, I., Laín, H., y Grijalbo, O. (2008). *Mecánica de rocas aplicada a la minería metálica subterránea*. Instituto geológico y minero de España.
- Reyes, R. (1980). *Boletín N° 31 Serie A. Carta Geológica Nacional: Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba*. Lima – Perú: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).
- Romana, M. (2003). *Nuevas Recomendaciones de Excavación y Sostenimiento para Túneles y Boquillas*. Jornadas Hispano-Lusas sobre Obras Subterráneas. Madrid.
- Sen, Z. (1993). *RQD-fracture frequency chart based on a Weibull distribution*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 30, págs. 555-557.
- Sen, Z., y Kazi, A. (1984). *Discontinuity spacing and RQD estimates from finite length scanlines*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 21, págs. 203-212.
- Senamhi. (2023). *Datos hidrometeorológicos en Cajamarca: Estación San Bambamarca*. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=cajamarca&p=estaciones>
- Sicilia, A., Nuñez, I., Galera, F., y Santos, D. (2013). *La construcción de los túneles de Toquepala. Mina Toquepala, Tacna, Perú*. Ingeopres: Actualidad técnica de ingeniería civil, minería, geología y medio ambiente, ISSN 1136-4785, N°. 230, 2013, págs. 29-33. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4787835> (consultada 13 agosto 2022).
- Tunnels & tunnelling international, (2008). *RMR and Q – Setting records: Rock mass classification*. Págs. 26-29. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/290087135\\_RMR\\_and\\_Q\\_-\\_Setting\\_records\\_straight](https://www.researchgate.net/publication/290087135_RMR_and_Q_-_Setting_records_straight)
- Uribe, P., Cabrera, G., y Zapana, E. (2011). *Evaluación geológica preliminar del proyecto Paredones*. Compañía minera Raura – Exploraciones.

- Valencia, E. (2021). *Diseño de sostenimiento dinámico para mitigar los estallidos de rocas* (Tesis de magister). Universidad Nacional Mayor de San Marcos – Universidad del Perú. Decana de América, Dirección general de Estudio de Posgrado, Facultad de ingeniería geológica, minería metalúrgica y geografía, Unidad de Posgrado. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/521351568/Diseno-de-Sostenimiento-Dinamico-Para-Mitigar-Los-Estallidos-de-Roca> (consultada 12 agosto 2022).
- Vallejo, C. (2002). *Aplicaciones del Índice GSI para el Mapeo Geomecánico y la definición del Sostenimiento de labores Mineras subterráneas*. XI Congreso Peruano de Geología. Lima – Perú.
- Vergara, R. (2006). *Análisis de la resistencia y la estabilidad de pilares de la Mina Diablo Regimiento, yacimiento El Teniente* (Tesis de magister). Universidad de Chile, Facultad de ciencias físicas y matemáticas, Departamento de geología. Recuperado de [https://www.bibliotecadigital.uchile.cl/discovery/fulldisplay?context=L&vid=56UDC\\_INST:56UDC\\_INST&search\\_scope=MyInst\\_and\\_CI&tab=Everything&docid=alma991005098549703936](https://www.bibliotecadigital.uchile.cl/discovery/fulldisplay?context=L&vid=56UDC_INST:56UDC_INST&search_scope=MyInst_and_CI&tab=Everything&docid=alma991005098549703936) (consultada 11 agosto 2022).
- Veyrat, S., Galera, F., Sancho, M., Andersson, H., Thoese, W., y Rietschel, C. (2017). *Experiencias para mitigación de estallido de roca: Proyecto hidroeléctrico Cheves (Perú)*. Ingeopres: Actualidad técnica de ingeniería civil, minería, geología y medio ambiente, ISSN 1136-4785, N°. 257, 2017, págs. 22-33. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5961734> (consultada 13 agosto 2022).
- Wang, Y., Li, W., y Li, Q. (1998). *Fuzzy estimation method of rockburst prediction*. Chinese Journal of Rock Mechanics Engineering págs. 493-501.

## **ANEXOS**

### **A. AUTORIZACIÓN DE LA EMPRESA**

#### **B. PLANOS**

- PLANO 01 SATELITAL
- PLANO 02 UBICACIÓN
- PLANO 03 GEOLÓGICO- ESTRUC REGIONAL
- PLANO 04 GEOL- ESTRUC LOCAL
- PLANO 05 GEOMECÁNICO
- PLANO 06 TENSO-DEFORMACIONAL
- PLANO 07 ZONAS DE INESTABILIDAD
- PLANO 08 SOSTENIMIENTO

**“AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO”**

**SOLICITO: PERMISO PARA  
REALIZAR TESIS PROFESIONAL**

**SEÑOR:**

**OLMEDES OLIVA CABANILLAS  
GERENTE GENERAL – PROYECTO PAREDONES**

**EMPRESA: MINERA CAJAMARCA - PROYECTO PAREDONES**

**S.D**

Yo, **SOBERÓN PALMA RIXER DENNIS**, con **DNI:73208692**, domiciliado en Prol. Revilla Pérez N° 651- Barrio la Alameda de esta ciudad, ex – alumno de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería de minas de la Universidad Nacional De Cajamarca, ante usted con el debido respeto me presento y expongo:

Por haber culminado mis estudios universitarios de pregrado de Ingeniería de Minas, en la Universidad Nacional de Cajamarca, deseo realizar mi tesis en sus instalaciones de las labores subterráneas de la Mina Paredones, para obtener el Título Profesional de Ingeniero de Minas; para lo cual acudo a su despacho por medio de esta solicitud, y también por intermedio del Ing. Enrique Coronado, para llegar a su persona, y tenga en consideración mi pedido para realizar esta tesis su permiso para ingresar a sus instalaciones mineras para la obtención de información de campo, también siendo un requisito fundamental para la elaboración y permiso, en la zona de estudio para no tener percances con Ud. y también con la empresa minera Cajamarca – Proyecto Paredones, por ser una propiedad privada; por tal motivo solicito a Ud. tenga bien realizar las gestiones correspondientes para obtener el permiso requerido.

**POR LO EXPUESTO**

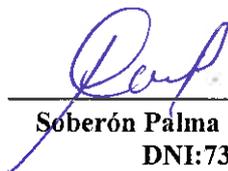
Es justicia que espero alcanzar.

**Cajamarca, 26 de marzo de 2023**

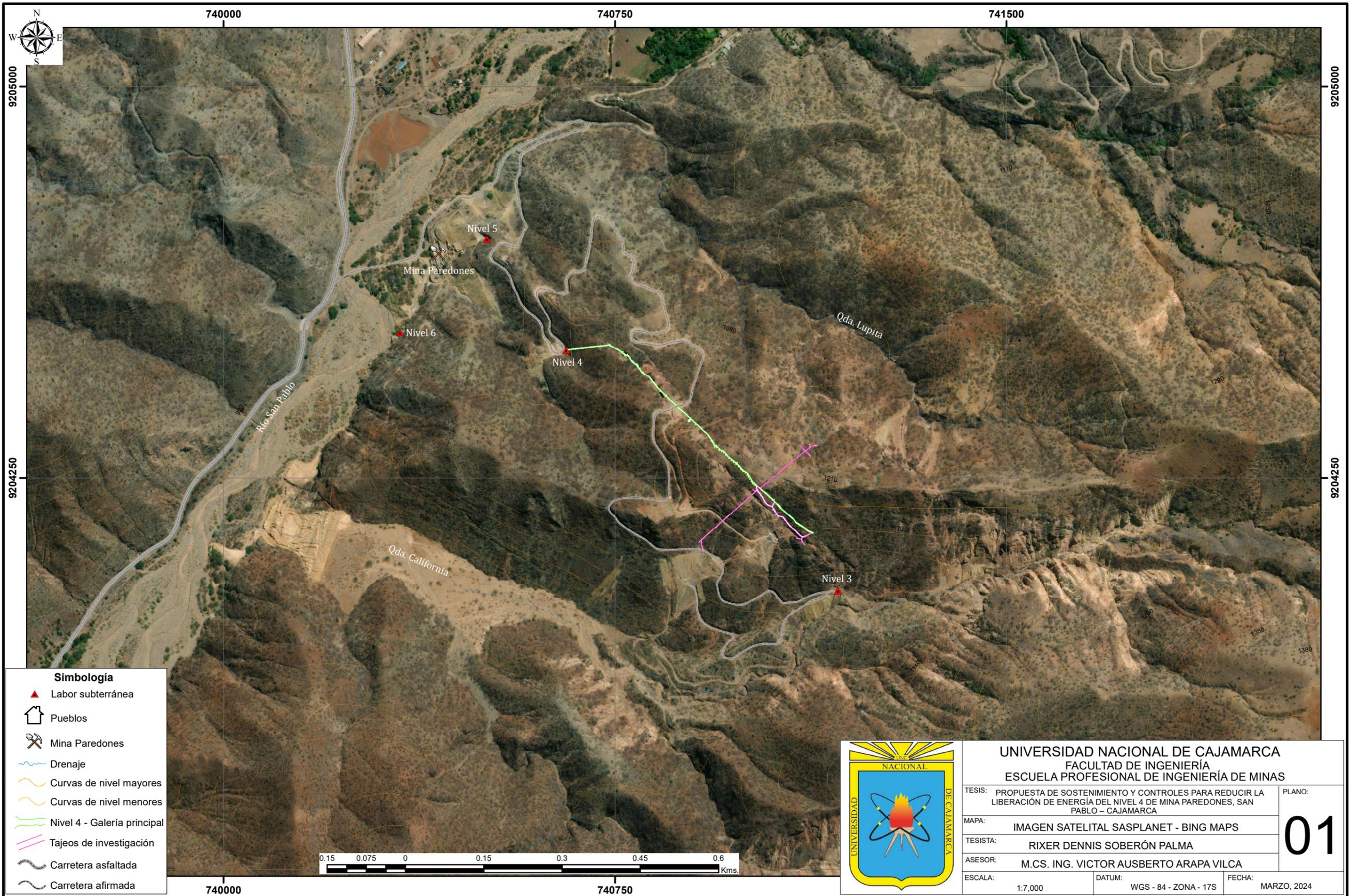
*Autorizado por:*



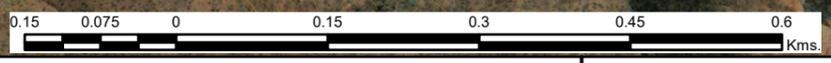
*OLMEDES OLIVA CABANILLAS  
15/04/23  
H: 10:25 AM*



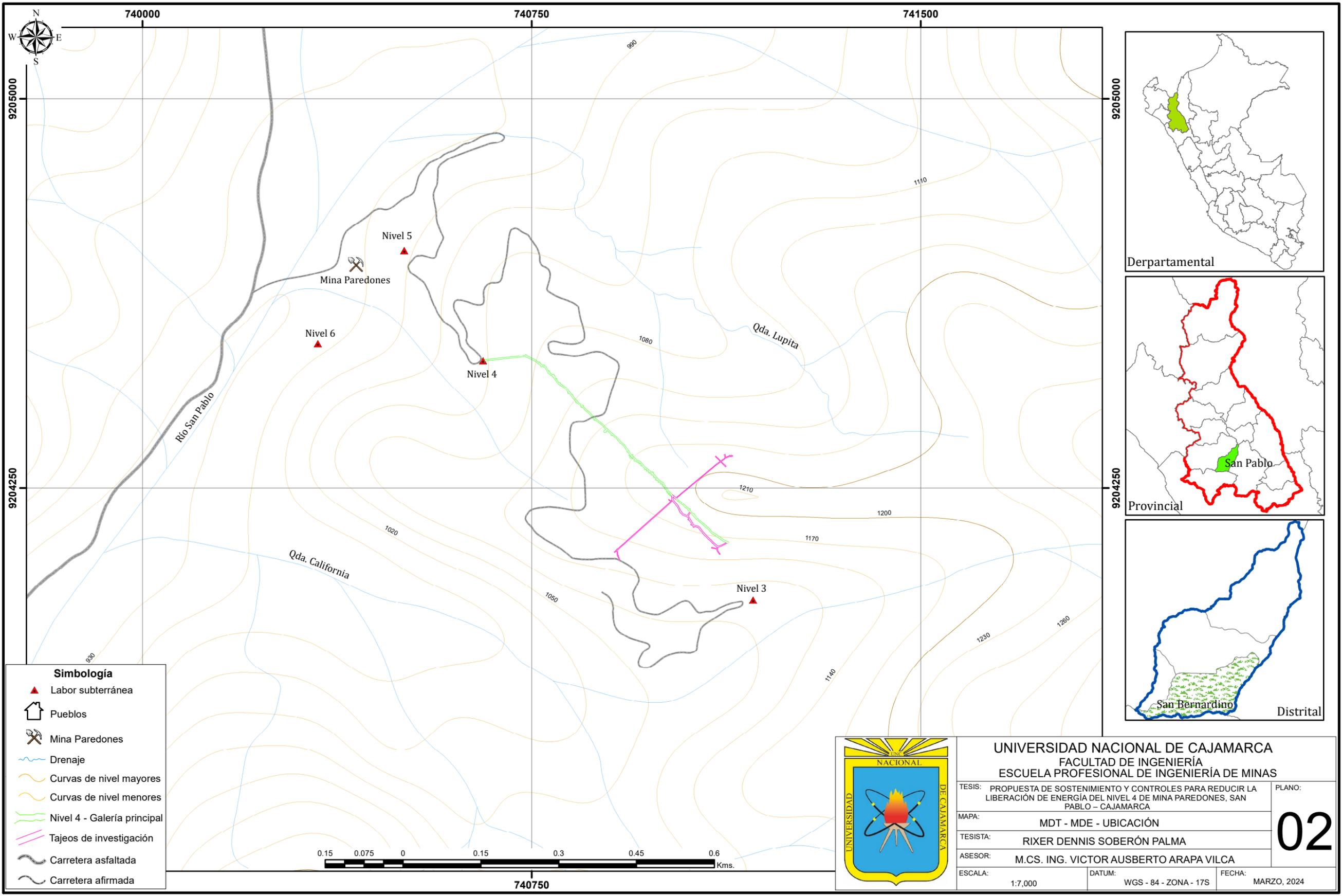
**Soberón Palma Rixer Dennis  
DNI:73208692**



- Simbología**
- Labor subterránea
  - Pueblos
  - Mina Paredones
  - Drenaje
  - Curvas de nivel mayores
  - Curvas de nivel menores
  - Nivel 4 - Galería principal
  - Tajeos de investigación
  - Carretera asfaltada
  - Carretera afirmada

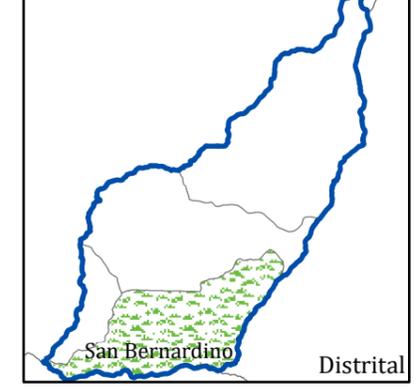
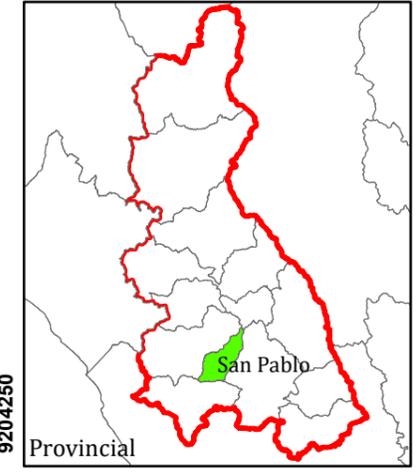
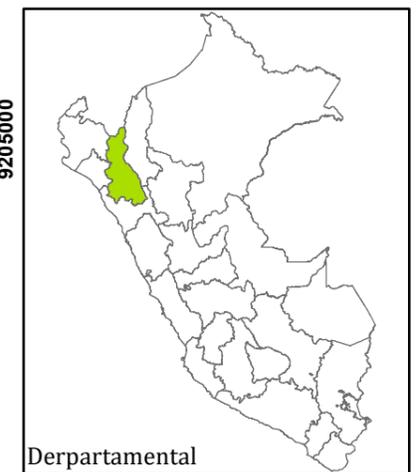


<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b>		
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>		
<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS</b>		
TESIS: PROPUESTA DE SOSTENIMIENTO Y CONTROLES PARA REDUCIR LA LIBERACIÓN DE ENERGÍA DEL NIVEL 4 DE MINA PAREDONES, SAN PABLO – CAJAMARCA	PLANO:	
MAPA: IMAGEN SATELITAL SASPLANET - BING MAPS		<b>01</b>
TESISTA: RIXER DENNIS SOBERÓN PALMA		
ASESOR: M.CS. ING. VICTOR AUSBERTO ARAPA VILCA		
ESCALA: 1:7,000	DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S	FECHA: MARZO, 2024

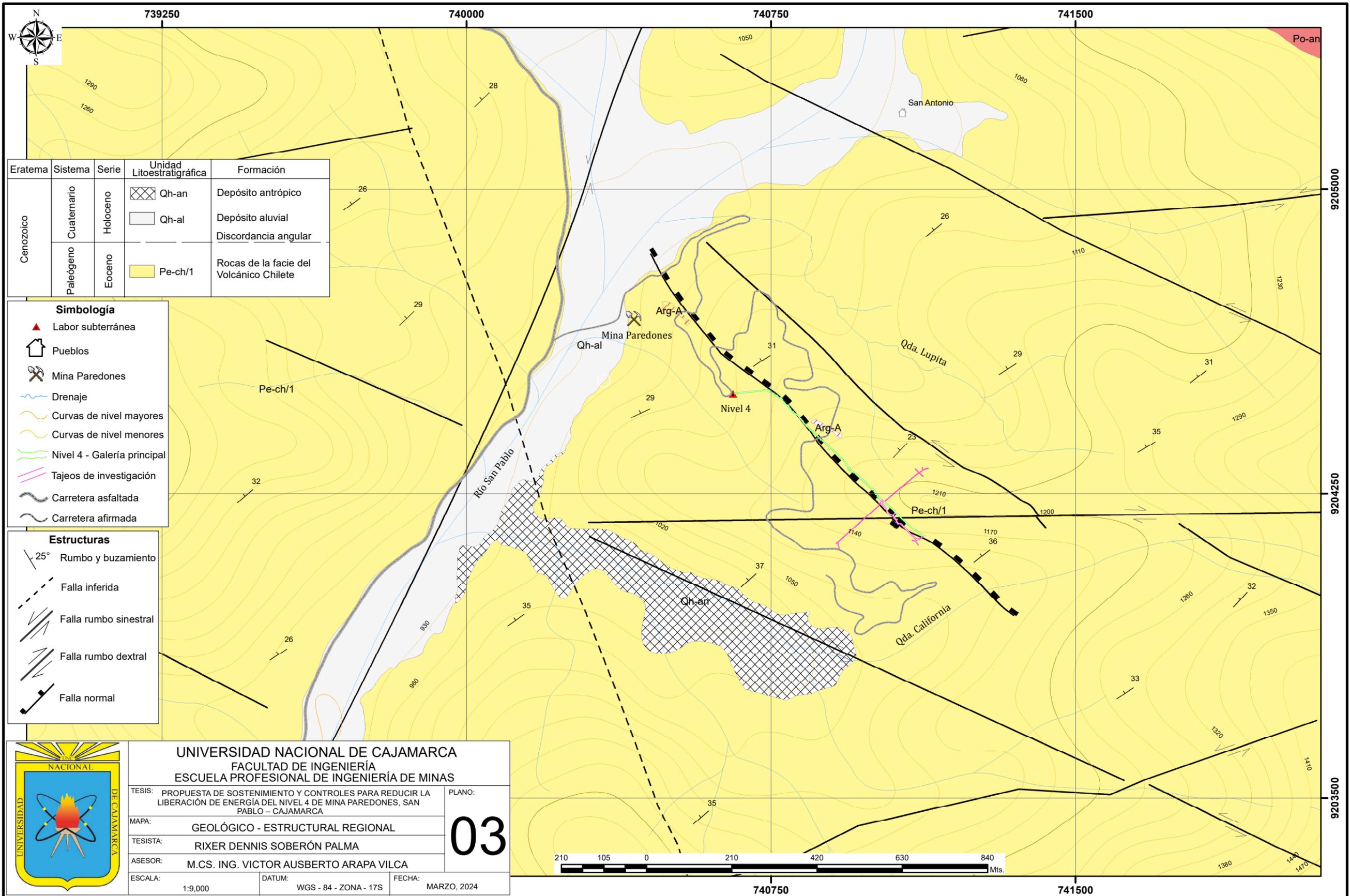


**Simbología**

- Labor subterránea
- Pueblos
- Mina Paredones
- Drenaje
- Curvas de nivel mayores
- Curvas de nivel menores
- Nivel 4 - Galería principal
- Tajeos de investigación
- Carretera asfaltada
- Carretera afirmada



<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b>		<b>02</b>
FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		
TESIS: PROPUESTA DE SOSTENIMIENTO Y CONTROLES PARA REDUCIR LA LIBERACIÓN DE ENERGÍA DEL NIVEL 4 DE MINA PAREDONES, SAN PABLO – CAJAMARCA		PLANO:
MAPA:	MDT - MDE - UBICACIÓN	
TESISTA:	RIXER DENNIS SOBERÓN PALMA	
ASESOR:	M.CS. ING. VICTOR AUSBERTO ARAPA VILCA	
ESCALA:	1:7,000	DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S
		FECHA: MARZO, 2024



Eratema	Sistema	Serie	Unidad Litoestratigráfica	Formación
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Qh-an	Depósito antrópico
			Qh-al	Depósito aluvial
				Discordancia angular
	Paleógeno	Eoceno	Pe-ch/1	Rocas de la facie del Volcánico Chilete

- Simbología**
- Labor subterránea
  - Pueblos
  - Mina Paredones
  - Drenaje
  - Curvas de nivel mayores
  - Curvas de nivel menores
  - Nivel 4 - Galería principal
  - Tajeos de investigación
  - Carretera asfaltada
  - Carretera afirmada

- Estructuras**
- 25° Rumbo y buzamiento
  - Falla inferida
  - Falla rumbo sinestral
  - Falla rumbo dextral
  - Falla normal



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**

TESIS: PROPUESTA DE SOSTENIMIENTO Y CONTROLES PARA REDUCIR LA LIBERACIÓN DE ENERGÍA DEL NIVEL 4 DE MINA PAREDONES, SAN PABLO – CAJAMARCA

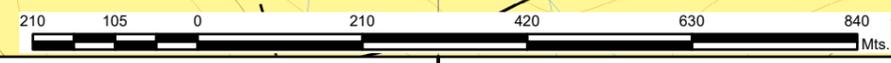
MAPA: **GEOLÓGICO - ESTRUCTURAL REGIONAL**

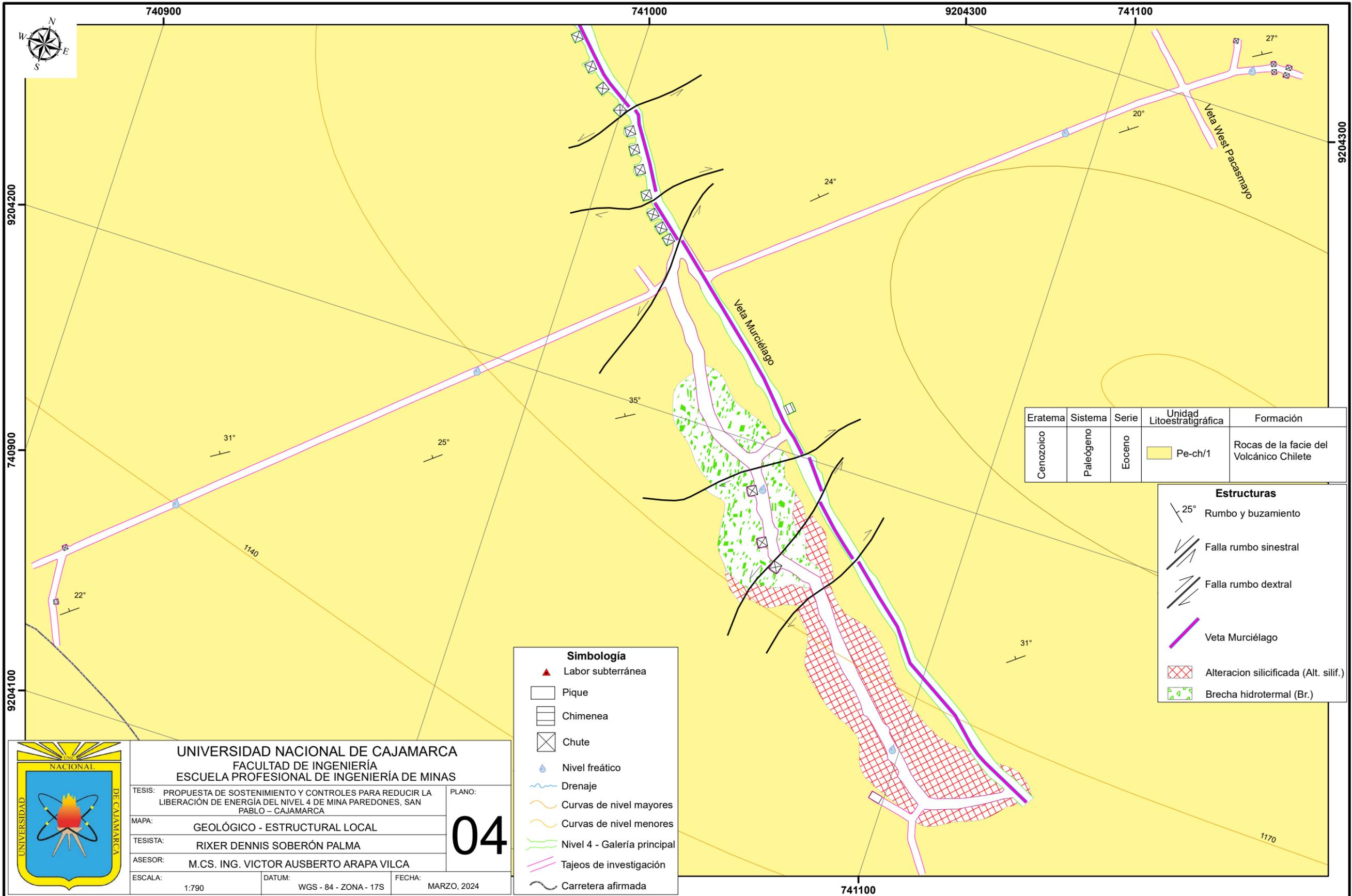
TESISTA: **RIXER DENNIS SOBERÓN PALMA**

ASESOR: **M.CS. ING. VICTOR AUSBERTO ARAPA VILCA**

ESCALA: 1:9,000      DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S      FECHA: MARZO, 2024

**03**





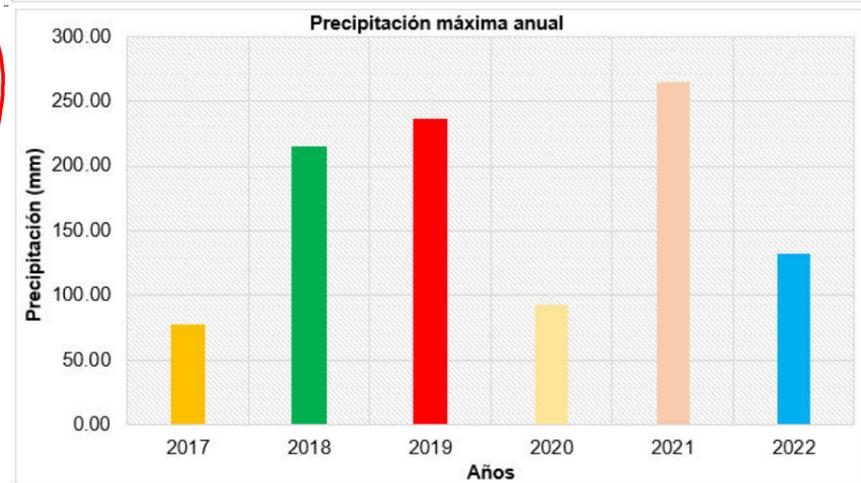
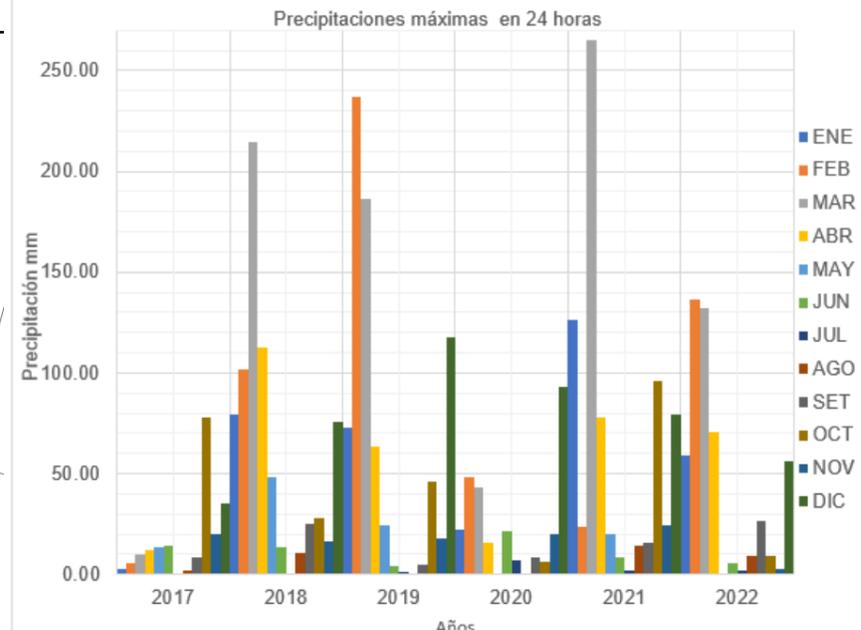
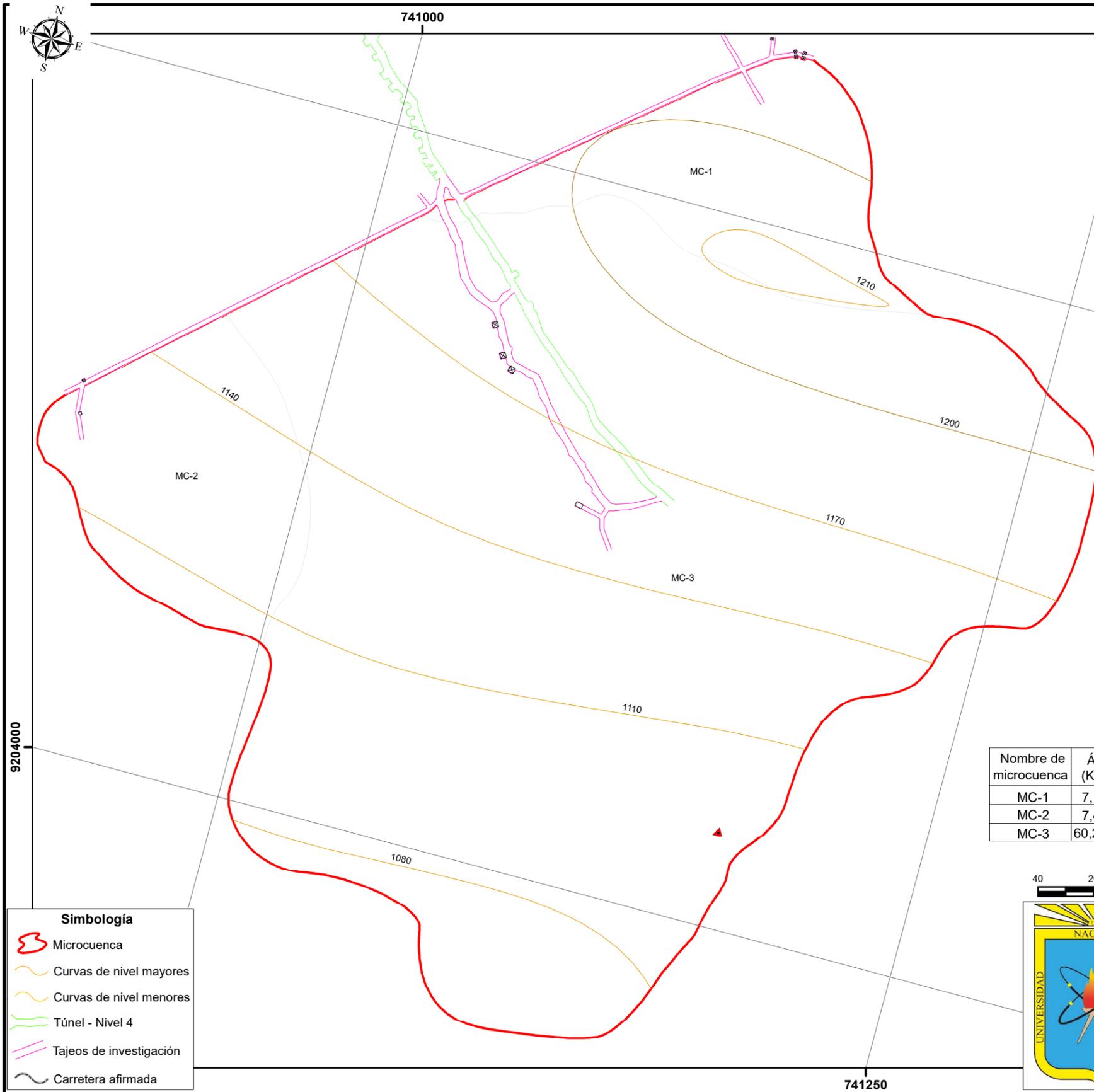
Eratema	Sistema	Serie	Unidad Litoestratigráfica	Formación
Cenozoico	Paleógeno	Eoceno	Pe-ch/1	Rocas de la facie del Volcánico Chilote

Estructuras	
	25° Rumbo y buzamiento
	Falla rumbo sinistral
	Falla rumbo dextral
	Veta Murciélago
	Alteracion silicificada (Alt. silif.)
	Brecha hidrotermal (Br.)

Simbología	
	Labor subterránea
	Pique
	Chimenea
	Chute
	Nivel freático
	Drenaje
	Curvas de nivel mayores
	Curvas de nivel menores
	Nivel 4 - Galería principal
	Tajeos de investigación
	Carretera afirmada



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**  
 TESIS: PROPUESTA DE SOSTENIMIENTO Y CONTROLES PARA REDUCIR LA LIBERACIÓN DE ENERGÍA DEL NIVEL 4 DE MINA PAREDONES, SAN PABLO - CAJAMARCA  
 PLANO: **04**  
 MAPA: GEOLÓGICO - ESTRUCTURAL LOCAL  
 TESISISTA: RIXER DENNIS SOBERÓN PALMA  
 ASESOR: M.CS. ING. VICTOR AUSBERTO ARAPA VILCA  
 ESCALA: 1:790    DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S    FECHA: MARZO, 2024



Parámetros hidrológicos de la microcuenca.

Nombre de microcuenca	Área (Km <sup>2</sup> )	Long. de cauce principal (m.)	Cota mayor (msnm.)	Cota menor (msnm.)	Pendiente (m/m)	Tc (min.)	I (mm/hora)	Q (m <sup>3</sup> /s)
MC-1	7,123.06	79.59	1,211.00	1,181.00	0.38	3.54	544.18	0.32
MC-2	7,477.66	82.59	1,152.00	1,103.00	0.59	3.36	611.36	0.11
MC-3	60,283.81	259.80	1,211.00	1,070.00	0.54	6.78	127.72	0.59



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**

TESIS: PROPUESTA DE SOSTENIMIENTO Y CONTROLES PARA REDUCIR LA LIBERACIÓN DE ENERGÍA DEL NIVEL 4 DE MINA PAREDONES, SAN PABLO - CAJAMARCA

MAPA: CUENCA HIDROGRÁFICA

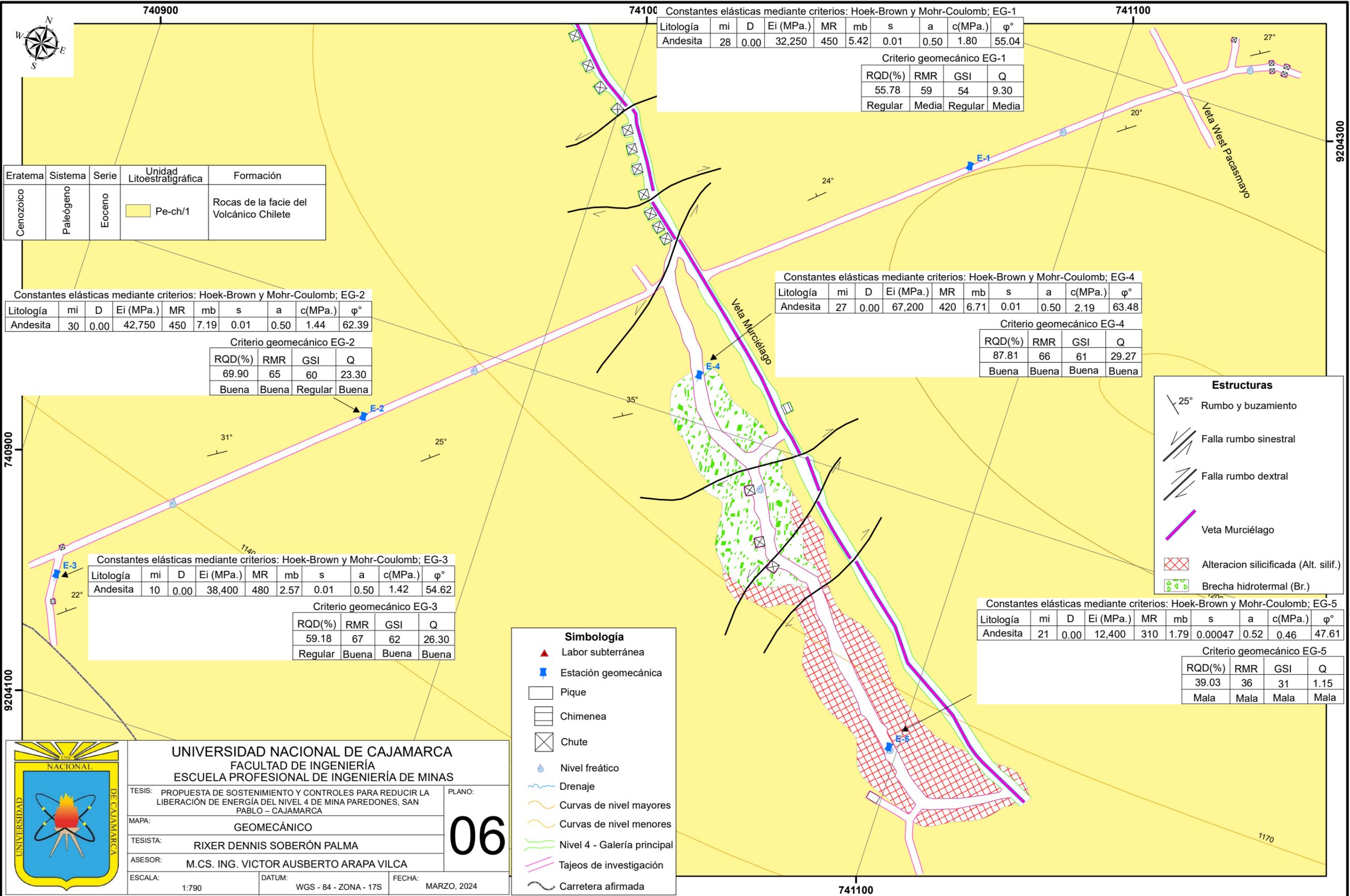
TESISTA: RIXER DENNIS SOBERÓN PALMA

ASESOR: M.CS. ING. VICTOR AUSBERTO ARAPA VILCA

ESCALA: 1:1,600      DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S      FECHA: MARZO, 2024

PLANO:  
**05**

- Simbología**
- Microcuenca
  - Curvas de nivel mayores
  - Curvas de nivel menores
  - Túnel - Nivel 4
  - Tajeos de investigación
  - Carretera afirmada



Constantes elásticas mediante criterios: Hoek-Brown y Mohr-Coulomb; EG-1

Litología	mi	D	Ei (MPa.)	MR	mb	s	a	c(MPa.)	$\phi^\circ$
Andesita	28	0.00	32,250	450	5.42	0.01	0.50	1.80	55.04

Criterio geomecánico EG-1			
RQD(%)	RMR	GSI	Q
55.78	59	54	9.30
Regular	Media	Regular	Media

Eratema	Sistema	Serie	Unidad Litoestratigráfica	Formación
Cenozoico	Paleógeno	Eoceno	Pe-ch/1	Rocas de la facie del Volcánico Chilote

Constantes elásticas mediante criterios: Hoek-Brown y Mohr-Coulomb; EG-2

Litología	mi	D	Ei (MPa.)	MR	mb	s	a	c(MPa.)	$\phi^\circ$
Andesita	30	0.00	42,750	450	7.19	0.01	0.50	1.44	62.39

Criterio geomecánico EG-2			
RQD(%)	RMR	GSI	Q
69.90	65	60	23.30
Buena	Buena	Regular	Buena

Constantes elásticas mediante criterios: Hoek-Brown y Mohr-Coulomb; EG-4

Litología	mi	D	Ei (MPa.)	MR	mb	s	a	c(MPa.)	$\phi^\circ$
Andesita	27	0.00	67,200	420	6.71	0.01	0.50	2.19	63.48

Criterio geomecánico EG-4			
RQD(%)	RMR	GSI	Q
87.81	66	61	29.27
Buena	Buena	Buena	Buena

Constantes elásticas mediante criterios: Hoek-Brown y Mohr-Coulomb; EG-3

Litología	mi	D	Ei (MPa.)	MR	mb	s	a	c(MPa.)	$\phi^\circ$
Andesita	10	0.00	38,400	480	2.57	0.01	0.50	1.42	54.62

Criterio geomecánico EG-3			
RQD(%)	RMR	GSI	Q
59.18	67	62	26.30
Regular	Buena	Buena	Buena

Constantes elásticas mediante criterios: Hoek-Brown y Mohr-Coulomb; EG-5

Litología	mi	D	Ei (MPa.)	MR	mb	s	a	c(MPa.)	$\phi^\circ$
Andesita	21	0.00	12,400	310	1.79	0.00047	0.52	0.46	47.61

Criterio geomecánico EG-5			
RQD(%)	RMR	GSI	Q
39.03	36	31	1.15
Mala	Mala	Mala	Mala

**Estructuras**

- 25° Rumbo y buzamiento
- Falla rumbo sinistral
- Falla rumbo dextral
- Veta Murciélago
- Alteracion silicificada (Alt. silif.)
- Brecha hidrotermal (Br.)

**Simbología**

- Labor subterránea
- Estación geomecánica
- Pique
- Chimenea
- Chute
- Nivel freático
- Drenaje
- Curvas de nivel mayores
- Curvas de nivel menores
- Nivel 4 - Galería principal
- Tajeos de investigación
- Carretera afirmada



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**

TESIS: PROPUESTA DE SOSTENIMIENTO Y CONTROLES PARA REDUCIR LA LIBERACIÓN DE ENERGÍA DEL NIVEL 4 DE MINA PAREDONES, SAN PABLO - CAJAMARCA

MAPA: **GEOMECÁNICO**

TESISTA: **RIXER DENNIS SOBERÓN PALMA**

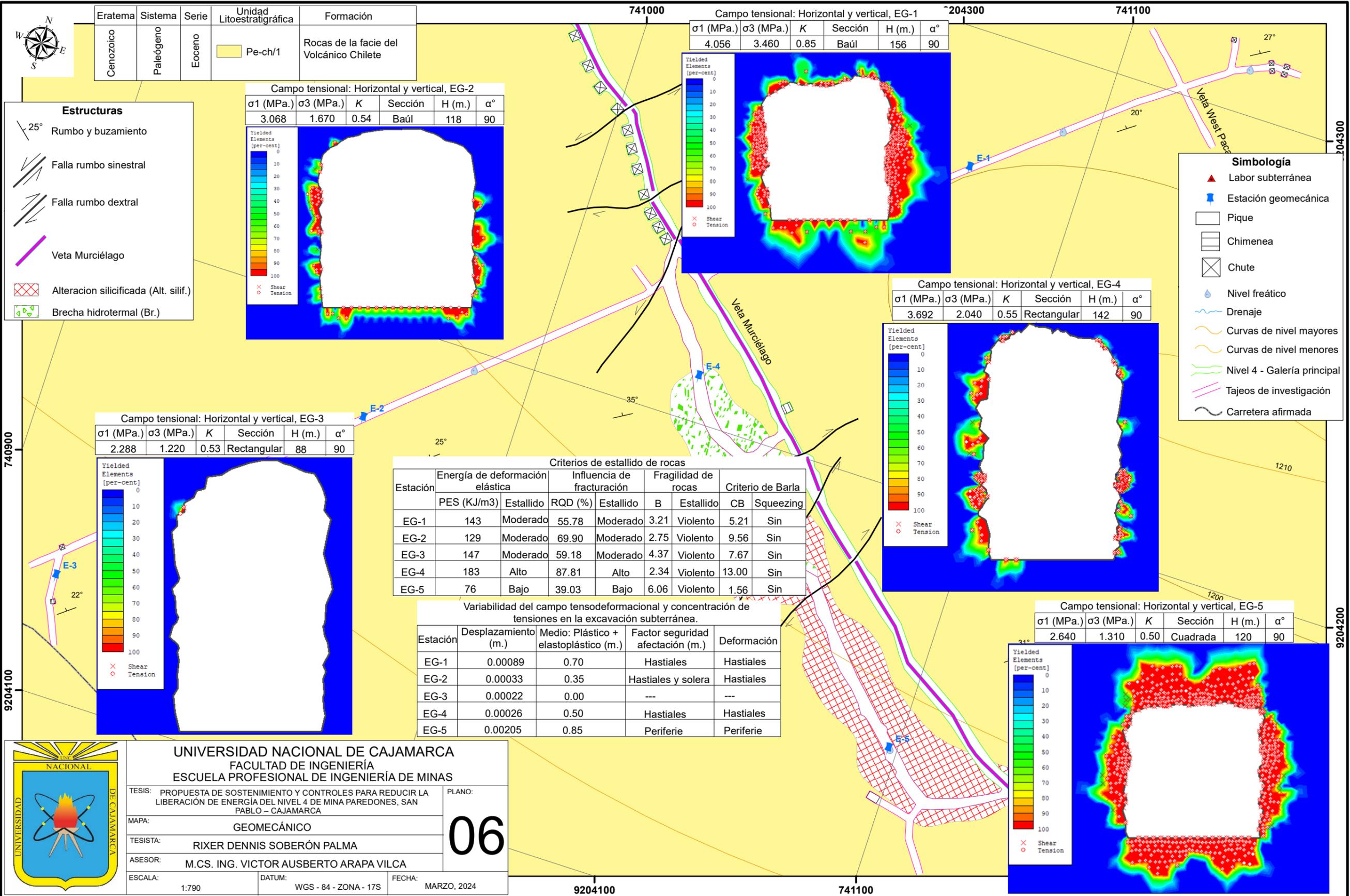
ASESOR: **M.CS. ING. VICTOR AUSBERTO ARAPA VILCA**

ESCALA: 1:790

DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S

FECHA: MARZO, 2024

PLANO: **06**



Eratema	Sistema	Serie	Unidad Litoestratigráfica	Formación
Cenozoico	Paleógeno	Eoceno	Pe-ch/1	Rocas de la facie del Volcánico Chilite

Campo tensional: Horizontal y vertical, EG-2						
$\sigma_1$ (MPa.)	$\sigma_3$ (MPa.)	K	Sección	H (m.)	$\alpha^\circ$	
3.068	1.670	0.54	Baúl	118	90	

Campo tensional: Horizontal y vertical, EG-1						
$\sigma_1$ (MPa.)	$\sigma_3$ (MPa.)	K	Sección	H (m.)	$\alpha^\circ$	
4.056	3.460	0.85	Baúl	156	90	

Campo tensional: Horizontal y vertical, EG-4						
$\sigma_1$ (MPa.)	$\sigma_3$ (MPa.)	K	Sección	H (m.)	$\alpha^\circ$	
3.692	2.040	0.55	Rectangular	142	90	

Campo tensional: Horizontal y vertical, EG-3						
$\sigma_1$ (MPa.)	$\sigma_3$ (MPa.)	K	Sección	H (m.)	$\alpha^\circ$	
2.288	1.220	0.53	Rectangular	88	90	

Campo tensional: Horizontal y vertical, EG-5						
$\sigma_1$ (MPa.)	$\sigma_3$ (MPa.)	K	Sección	H (m.)	$\alpha^\circ$	
2.640	1.310	0.50	Cuadrada	120	90	

Estación	Criterios de estallido de rocas							
	Energía de deformación elástica PES (KJ/m3)	Estallido	Influencia de fracturación RQD (%)	Estallido	Fragilidad de rocas B	Estallido	Criterio de Barla CB	Squeezing
EG-1	143	Moderado	55.78	Moderado	3.21	Violento	5.21	Sin
EG-2	129	Moderado	69.90	Moderado	2.75	Violento	9.56	Sin
EG-3	147	Moderado	59.18	Moderado	4.37	Violento	7.67	Sin
EG-4	183	Alto	87.81	Alto	2.34	Violento	13.00	Sin
EG-5	76	Bajo	39.03	Bajo	6.06	Violento	1.56	Sin

Estación	Variabilidad del campo tensodeformacional y concentración de tensiones en la excavación subterránea.			
	Desplazamiento (m.)	Medio: Plástico + elastoplástico (m.)	Factor seguridad afectación (m.)	Deformación
EG-1	0.00089	0.70	Hastiales	Hastiales
EG-2	0.00033	0.35	Hastiales y solera	Hastiales
EG-3	0.00022	0.00	---	---
EG-4	0.00026	0.50	Hastiales	Hastiales
EG-5	0.00205	0.85	Periferie	Periferie

- Estructuras**
- 25° Rumbo y buzamiento
  - Falla rumbo sinistral
  - Falla rumbo dextral
  - Veta Murciélago
  - Alteracion silicificada (Alt. silif.)
  - Brecha hidrotermal (Br.)

- Simbología**
- Labor subterránea
  - Estación geomecánica
  - Pique
  - Chimenea
  - Chute
  - Nivel freático
  - Drenaje
  - Curvas de nivel mayores
  - Curvas de nivel menores
  - Nivel 4 - Galería principal
  - Tajeos de investigación
  - Carretera afirmada



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**

TESIS: PROPUESTA DE SOSTENIMIENTO Y CONTROLES PARA REDUCIR LA LIBERACIÓN DE ENERGÍA DEL NIVEL 4 DE MINA PAREDONES, SAN PABLO - CAJAMARCA

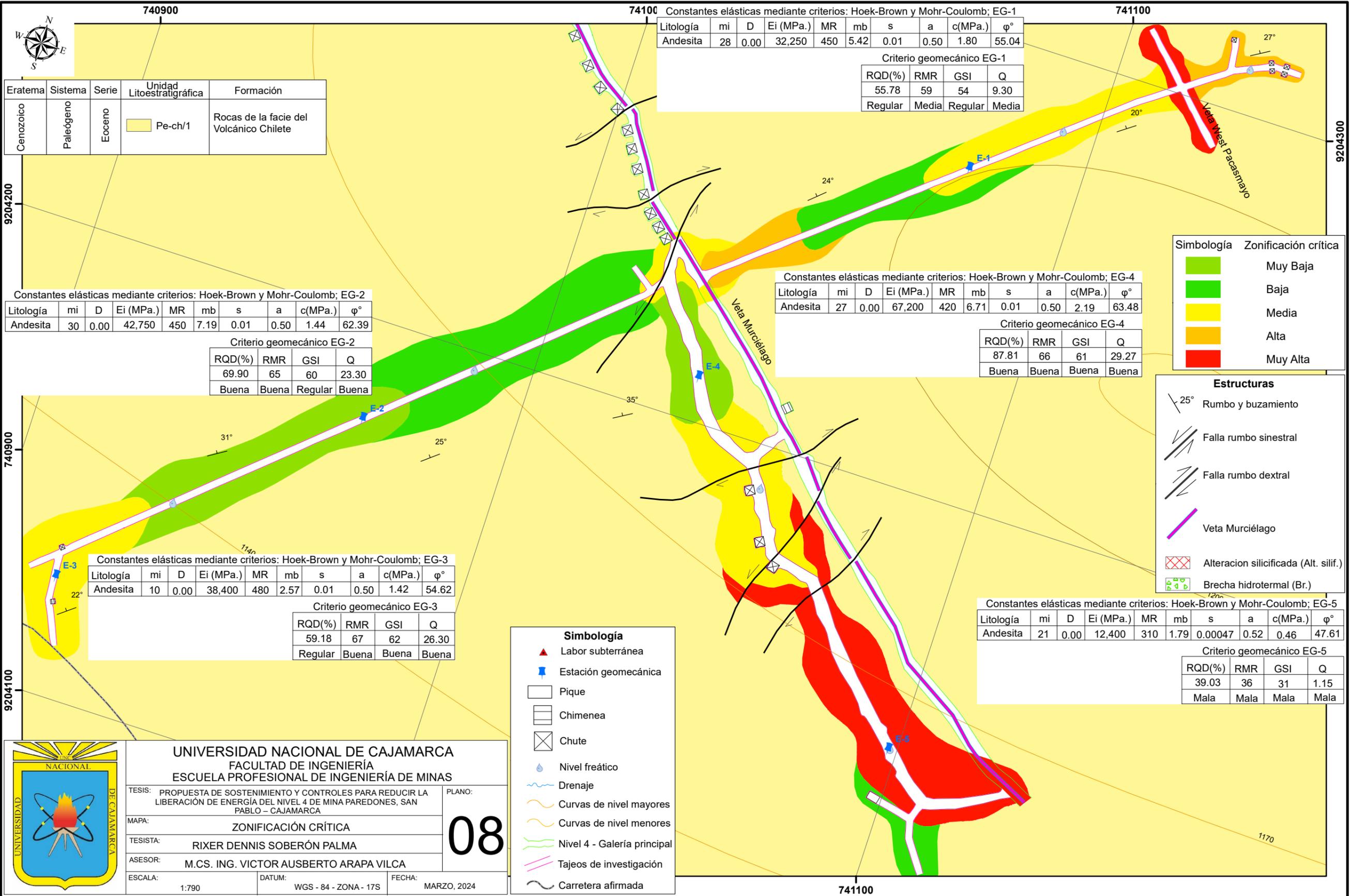
MAPA: **GEOMECÁNICO**

TESISTA: **RIXER DENNIS SOBERÓN PALMA**

ASESOR: **M.CS. ING. VICTOR AUSBERTO ARAPA VILCA**

ESCALA: 1:790      DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S      FECHA: MARZO, 2024

**06**



Eratema	Sistema	Serie	Unidad Litoestratigráfica	Formación
Cenozoico	Paleógeno	Eoceno	Pe-ch/1	Rocas de la facie del Volcánico Chilote

Constantes elásticas mediante criterios: Hoek-Brown y Mohr-Coulomb; EG-2

Litología	mi	D	Ei (MPa.)	MR	mb	s	a	c(MPa.)	$\phi^\circ$
Andesita	30	0.00	42,750	450	7.19	0.01	0.50	1.44	62.39

Criterio geomecánico EG-2

RQD(%)	RMR	GSI	Q
69.90	65	60	23.30
Buena	Buena	Regular	Buena

Constantes elásticas mediante criterios: Hoek-Brown y Mohr-Coulomb; EG-1

Litología	mi	D	Ei (MPa.)	MR	mb	s	a	c(MPa.)	$\phi^\circ$
Andesita	28	0.00	32,250	450	5.42	0.01	0.50	1.80	55.04

Criterio geomecánico EG-1

RQD(%)	RMR	GSI	Q
55.78	59	54	9.30
Regular	Media	Regular	Media

Constantes elásticas mediante criterios: Hoek-Brown y Mohr-Coulomb; EG-4

Litología	mi	D	Ei (MPa.)	MR	mb	s	a	c(MPa.)	$\phi^\circ$
Andesita	27	0.00	67,200	420	6.71	0.01	0.50	2.19	63.48

Criterio geomecánico EG-4

RQD(%)	RMR	GSI	Q
87.81	66	61	29.27
Buena	Buena	Buena	Buena

Constantes elásticas mediante criterios: Hoek-Brown y Mohr-Coulomb; EG-3

Litología	mi	D	Ei (MPa.)	MR	mb	s	a	c(MPa.)	$\phi^\circ$
Andesita	10	0.00	38,400	480	2.57	0.01	0.50	1.42	54.62

Criterio geomecánico EG-3

RQD(%)	RMR	GSI	Q
59.18	67	62	26.30
Regular	Buena	Buena	Buena

Constantes elásticas mediante criterios: Hoek-Brown y Mohr-Coulomb; EG-5

Litología	mi	D	Ei (MPa.)	MR	mb	s	a	c(MPa.)	$\phi^\circ$
Andesita	21	0.00	12,400	310	1.79	0.00047	0.52	0.46	47.61

Criterio geomecánico EG-5

RQD(%)	RMR	GSI	Q
39.03	36	31	1.15
Mala	Mala	Mala	Mala

Simbología Zonificación crítica

	Muy Baja
	Baja
	Media
	Alta
	Muy Alta

Estructuras

	25° Rumbo y buzamiento
	Falla rumbo sinistral
	Falla rumbo dextral
	Veta Murciélago
	Alteracion silicificada (Alt. silif.)
	Brecha hidrotermal (Br.)

Simbología

	Labor subterránea
	Estación geomecánica
	Pique
	Chimenea
	Chute
	Nivel freático
	Drenaje
	Curvas de nivel mayores
	Curvas de nivel menores
	Nivel 4 - Galería principal
	Tajeos de investigación
	Carretera afirmada



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**

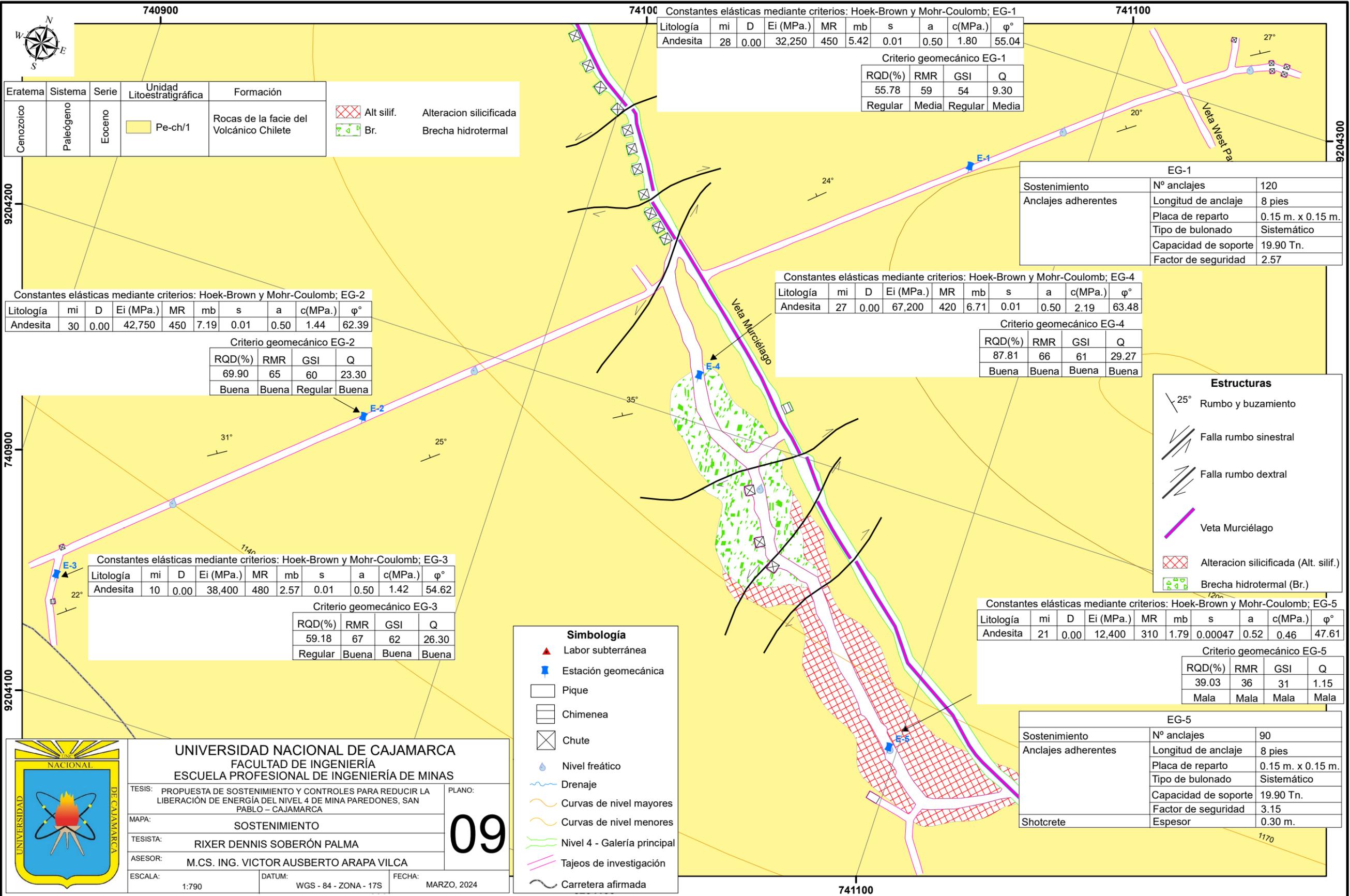
TESIS: PROPUESTA DE SOSTENIMIENTO Y CONTROLES PARA REDUCIR LA LIBERACIÓN DE ENERGÍA DEL NIVEL 4 DE MINA PAREDONES, SAN PABLO - CAJAMARCA PLANO: **08**

MAPA: ZONIFICACIÓN CRÍTICA

TESISTA: RIXER DENNIS SOBERÓN PALMA

ASESOR: M.CS. ING. VICTOR AUSBERTO ARAPA VILCA

ESCALA: 1:790 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: MARZO, 2024



Eratema	Sistema	Serie	Unidad Litoestratigráfica	Formación
Cenozoico	Paleógeno	Eoceno	Pe-ch/1	Rocas de la facie del Volcánico Chilote

- Alt silif. Alteracion silicificada
- Br. Brecha hidrotermal

Constantes elásticas mediante criterios: Hoek-Brown y Mohr-Coulomb; EG-2

Litología	mi	D	Ei (MPa.)	MR	mb	s	a	c(MPa.)	$\phi^\circ$
Andesita	30	0.00	42,750	450	7.19	0.01	0.50	1.44	62.39

Criterio geomecánico EG-2			
RQD(%)	RMR	GSI	Q
69.90	65	60	23.30
Buena	Buena	Regular	Buena

Constantes elásticas mediante criterios: Hoek-Brown y Mohr-Coulomb; EG-3

Litología	mi	D	Ei (MPa.)	MR	mb	s	a	c(MPa.)	$\phi^\circ$
Andesita	10	0.00	38,400	480	2.57	0.01	0.50	1.42	54.62

Criterio geomecánico EG-3			
RQD(%)	RMR	GSI	Q
59.18	67	62	26.30
Regular	Buena	Buena	Buena

Constantes elásticas mediante criterios: Hoek-Brown y Mohr-Coulomb; EG-1

Litología	mi	D	Ei (MPa.)	MR	mb	s	a	c(MPa.)	$\phi^\circ$
Andesita	28	0.00	32,250	450	5.42	0.01	0.50	1.80	55.04

Criterio geomecánico EG-1			
RQD(%)	RMR	GSI	Q
55.78	59	54	9.30
Regular	Media	Regular	Media

Constantes elásticas mediante criterios: Hoek-Brown y Mohr-Coulomb; EG-4

Litología	mi	D	Ei (MPa.)	MR	mb	s	a	c(MPa.)	$\phi^\circ$
Andesita	27	0.00	67,200	420	6.71	0.01	0.50	2.19	63.48

Criterio geomecánico EG-4			
RQD(%)	RMR	GSI	Q
87.81	66	61	29.27
Buena	Buena	Buena	Buena

Constantes elásticas mediante criterios: Hoek-Brown y Mohr-Coulomb; EG-5

Litología	mi	D	Ei (MPa.)	MR	mb	s	a	c(MPa.)	$\phi^\circ$
Andesita	21	0.00	12,400	310	1.79	0.00047	0.52	0.46	47.61

Criterio geomecánico EG-5			
RQD(%)	RMR	GSI	Q
39.03	36	31	1.15
Mala	Mala	Mala	Mala

EG-1

Sostenimiento	Nº anclajes	120
Anclajes adherentes	Longitud de anclaje	8 pies
	Placa de reparto	0.15 m. x 0.15 m.
	Tipo de bulonado	Sistemático
	Capacidad de soporte	19.90 Tn.
	Factor de seguridad	2.57

EG-5

Sostenimiento	Nº anclajes	90
Anclajes adherentes	Longitud de anclaje	8 pies
	Placa de reparto	0.15 m. x 0.15 m.
	Tipo de bulonado	Sistemático
	Capacidad de soporte	19.90 Tn.
	Factor de seguridad	3.15
Shotcrete	Espesor	0.30 m.

- Estructuras**
- 25° Rumbo y buzamiento
  - Falla rumbo sinistral
  - Falla rumbo dextral
  - Veta Murciélago
  - Alteracion silicificada (Alt. silif.)
  - Brecha hidrotermal (Br.)

- Simbología**
- Labor subterránea
  - Estación geomecánica
  - Pique
  - Chimenea
  - Chute
  - Nivel freático
  - Drenaje
  - Curvas de nivel mayores
  - Curvas de nivel menores
  - Nivel 4 - Galería principal
  - Tajeos de investigación
  - Carretera afirmada



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**

TESIS: PROPUESTA DE SOSTENIMIENTO Y CONTROLES PARA REDUCIR LA LIBERACIÓN DE ENERGÍA DEL NIVEL 4 DE MINA PAREDONES, SAN PABLO - CAJAMARCA PLANO: **09**

MAPA: **SOSTENIMIENTO**

TESISTA: **RIXER DENNIS SOBERÓN PALMA**

ASESOR: **M.CS. ING. VICTOR AUSBERTO ARAPA VILCA**

ESCALA: 1:790 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: MARZO, 2024