

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



TESIS

**EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA TAJEOS DE LA MINA DESCUBRIDORA
DEL NIVEL 4 SAN MIGUEL DE ALGAMARCA - CACHACHI – CAJABAMBA**

Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO DE MINAS

Autor:

Bachiller: Maria Dolores Romero Guerra

Asesor:

M. Cs. Ing. Gonzales Yana Roberto Severino

Cajamarca – Perú

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

- Investigador:** MARIA DOLORES ROMERO GUERRA
DNI: 70199499
Escuela Profesional: ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS
- Asesor:** M. Cs. Ing. Gonzales Yana Roberto Severino
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:**
EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA TAJEOS DE LA MINA DESCUBRIDORA DEL NIVEL 4 SAN MIGUEL DE ALGAMARCA - CACHACHI – CAJABAMBA
Fecha de evaluación: 06/09/2025
- Software antiplagio:** TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 10%
- Código Documento:** Oide:3117: 493315101
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 06/09/2025

		Firmado digitalmente por: BAZAN DIAZ Laura Sofia FAU 20148258801 soft Motivo: En señal de conformidad Fecha: 06/09/2025 19:08:16-0500
FIRMA DEL ASESOR <i>Roberto Severino Gonzales Yana</i>	UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI	

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962
FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : *EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA TAJEOS DE LA MINA DESCUBRIDORA DEL NIVEL 4 SAN MIGUEL DE ALGAMARCA – CACHACHI – CAJABAMBA.*

ASESOR : *M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.*

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0593-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 10 de setiembre de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **doce días del mes de setiembre de 2025**, siendo las diez horas (10:00 a.m.) en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica (Ambiente 4J – 210), se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

- Presidente : Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado.
- Vocal : Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
- Secretario : M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.

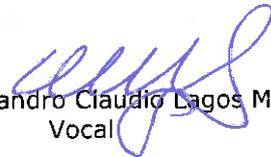
Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada *EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA TAJEOS DE LA MINA DESCUBRIDORA DEL NIVEL 4 SAN MIGUEL DE ALGAMARCA – CACHACHI – CAJABAMBA*, presentado por la Bachiller en Ingeniería de Minas *MARIA DOLORES ROMERO GUERRA*, asesorado por el M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron a la sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y la evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA :*04*..... PTS.
 EVALUACIÓN PÚBLICA :*11*..... PTS.
 EVALUACIÓN FINAL :*15*..... PTS *QUINCE*..... (En letras)

En consecuencia, se lo declara *APROBADO* con el calificativo de *QUINCE* acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las *11:00 am* horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.


 Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado.
 Presidente


 Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
 Vocal


 M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.
 Secretario


 M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
 Asesor

AGRADECIMIENTO

Mi más grande y sincero agradecimiento al Dios todo poderoso por brindarme conocimiento y sabiduría hacia el éxito profesional y hacer mejor persona cada día que pasa. Así mismo a la Universidad Nacional de Cajamarca por ser parte de la hermandad universitaria de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, por el aprendizaje adquirido en cada etapa de superación por ciclo universitario, acompañada y asesorada por los catedráticos que afianzaron y fortalecieron el aprendizaje ya sea en clase teórica y práctica. Por consiguiente, agradezco también a mi familia por su ímpetu y fortalecimiento en cada instante de mi superación personal y profesional.

Así mismo agradezco también a mi asesor M. Cs. Ing. Gonzales Yana Roberto Severino, por su: Dedicación, orientación y fortalecimiento profesional en la realización y mejoramiento de mi tesis relacionada en geomecánica.

M.D.R.G.

DEDICATORIA

A Dios por iluminarme en cada paso que doy en mi vida.

A mi madre Rossana por haberme brindado su apoyo para seguir por el camino del bien; por su confianza y fortaleza para seguir perseverando en las etapas que nos ofrece la vida.

A mi abuelita Marcela por darme hospitalidad; para llegar a ser una buena persona en el aspecto profesional y personal.

A mi papia Juan que fue como un padre para mí y me brindó su apoyo incondicional durante mi formación de estudios.

A mi hermanita Ale, mi motivación para seguir adelante.

M.D.R.G.

ÍNDICE

	Pág.
AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	vii
LISTA DE CUADROS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE PLANOS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES.....	3
2.1.1 Internacional.....	3
2.1.2 Nacional.....	6
2.1.3 Local.....	8
2.2 BASES TEÓRICAS.....	12
2.2.1 Clasificaciones Geomecánicas.....	12
2.2.2 Sostenimiento de Excavaciones.....	19
2.2.3 Métodos Numéricos.....	21
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.....	23

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN.....	25
3.2 ACCESIBILIDAD.....	25
3.3 CLIMA.....	29
3.4 HIDROLOGÍA.....	31
3.5 HIDROGEOLOGÍA.....	32

	Pág.
3.6 GEOLOGÍA REGIONAL	34
3.7 SISMICIDAD	35
3.8 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	37
3.8.1 TIPO, NIVEL DISEÑO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	37
3.8.2 Población.....	38
3.8.3 Muestra	38
3.8.4 Unidad de Análisis	38
3.8.5 Etapas de Recolección de Información.....	38
3.8.6 EPP, Equipos, Materiales y Soporte Técnico.....	40

CAPÍTULO IV PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	41
4.1.1 Cartografiado Geológico	41
4.1.2 Caracterización Geomecánica	44
4.1.3 Constantes Elásticas de la Roca.....	46
4.1.4 Secciones de Corte Subterráneo	53
4.1.5 Sostenimiento Subterráneo.....	54
4.1.6 Estado Tensional – Software Phase.....	56
4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	63
4.3 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	68

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES.....	69
5.2 RECOMENDACIONES	70

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
--	-----------

ANEXO A	77
----------------------	-----------

AUTORIZACIÓN DE LA EMPRESA	77
---	-----------

ANEXO B	79
----------------------	-----------

	Pág.
CARTOGRAFIADO GEOMECÁNICO.....	79
ANEXO C	85
PLANOS	85

LISTA DE ABREVIATURAS

WGS-84	:	Sistema Geodésico Mundial 1984.
UTM	:	Universal Transversal de Mercator.
GPS	:	Sistema de Posicionamiento Global.
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.
Geocatmin	:	Sistema de Información Geológico y Catastro Minero.
MINEDU	:	Ministerio de Educación.
TNT	:	Trinitrotolueno.
EPP	:	Equipo de Protección Personal.
Ingeominas	:	Servicio Geológico Colombiano.
ETSECCPB	:	Escuela Técnica Superior de Ingeniería Canales y Puertos de Barcelona.
NGI	:	Instituto Geotécnico de Noruega.
ISRM	:	Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas.
USA	:	Estados Unidos.
Trad.	:	Traducido.
S.A.	:	Sociedad Anónima.
S.A.C.	:	Sociedad Anónima Cerrada.
S.A.A.	:	Sociedad Anónima Abierta.
S.R.L.	:	Sociedad Comercial Responsabilidad Limitada.
AIME	:	Asociación de Ingenieros de Minas del Ecuador.
HNS	:	Hildebrand, Nahum y Salomon.
CX	:	Crucero.
3th o 3ra	:	Edición de Libro.
ISSN	:	Número Internacional Normalizado de Publicaciones seriadas.
MYSRL	:	Optimización del Proceso de Perforación y Voladura.
SAS Planet	:	SAS.Planeta.
SH	:	Shotcrete.
M	:	Malla.
MC	:	Morh-Coulomb.
HB	:	Hoek-Brown.
σ_{ci}	:	Resistencia a la Compresión Uniaxial.
$\sigma_{3m\acute{a}x}$:	Tensión de Confinamiento.
σ'_t	:	Resistencia a la Tracción.
σ'_{ct}	:	Resistencia Global.
σ_1	:	Esfuerzo Principal Mayor.
σ_2	:	Esfuerzo Intermedio.
σ_3	:	Esfuerzo Principal Menor.
T	:	Esfuerzo de Corte.
AISC	:	Instituto Americano de Construcción del Acero.
σ_n	:	Esfuerzo Normal.
σ'_{cm}	:	Resistencia del Macizo Rocoso.
m_i	:	Constante de Hoek & Brown.

m_b	:	Constante de Hoek & Brown.
s, a	:	Constantes de Hoek & Brown.
c	:	Cohesión.
φ	:	Ángulo de Fricción.
E_i	:	Módulo de Deformación de Laboratorio de la Matriz Rocosa.
E_m o E_h	:	Módulo de Deformación.
MR	:	Relación del Módulo.
D	:	Factor de Disturbancia.
RQD	:	Índice de Calidad de Roca.
RMR	:	Valoración de la Masa Rocosa.
GSI	:	Índice de Resistencia Geológica.
RMi	:	índice del Macizo Rocoso.
JP	:	Parámetro de Diaclasado.
$f\sigma$:	Parámetro de Masividad.
IV-A....	:	Clasificación Geomecánica Romana.
Q	:	Índice de Calidad Tunelera.
Qfrente	:	Índice de calidad Tunelera Frente.
Qhastial	:	Índice de calidad Tunelera Hastial.
E	:	Energía.
N´	:	Numero de Estabilidad.
Jn	:	Número de Familias Diaclasadas.
Jr	:	Número de Rugosidad de las Diaclasadas.
Ja	:	Número de Alteración de las Diaclasadas.
Jw	:	Factor de Reducción por Agua de las Diaclasas.
SRF	:	Factor de Reducción de Tensiones.
Z o H	:	Altura de Sección Subterránea.
ESR	:	Relación de Soporte de la Excavación.
RRS	:	Espaciado relacionado con el valor de Q.
Vb	:	Volumen de bloque.
LF	:	Levemente fracturada.
F	:	Moderadamente fracturada.
MF	:	Muy fracturada.
F	:	Intensamente fracturada.
T	:	Triturada.
MB	:	Muy buena.
MP	:	Muy Pobre.
JC	:	Factor de Estado de las Diaclasas.
E.30	:	Norma Técnica.
Z3	:	Zona Sísmica
g	:	Gravedad.
S0, S1...	:	Tipo de Suelo.
S	:	Factor de Suelos.
TP	:	Periodo que define la plataforma de factor C.
TL	:	Periodo que define el inicio de la zona del factor C. con desplazamiento constante.
Sh	:	Sísmica Horizontal.
Sv	:	Sísmica vertical.

Z	:	Profundidad.
m o k	:	Coefficiente de reparto de T.
α	:	Ángulo de Orientación Tensional.
I,II....	:	Clase o tipo de Roca.
R2, R3..	:	Grado de Estimación de Roca.
ND	:	Numero de Discontinuidades
λ	:	Landa.
L	:	Longitud.
ρ_A	:	Radio de Curvatura.
FS	:	Factor de Seguridad.
MPa	:	Megapascales.
N	:	Newton.
GPa	:	Gigapascales
KJ	:	KiloJoule.
J	:	Joule.
lx	:	Inversa.
Dx	:	Dextral.
Nx	:	Falla Normal.
Pi.	:	Punto de inicio.
Pi _{GI}	:	Punto de inicio galería Arco Iris.
Pi _{CI}	:	Punto de inicio crucero Arco Iris.
Pi _G	:	Punto de inicio galería Gallito.
Nv	:	Nivel de Excavación Subterránea.
EG-01	:	Estación Geomecánica.

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 2.1. Índice de Calidad de la Roca – RQD. Fuente: Deere, 1967.	13
Cuadro 2.2. Relación entre RQD y frecuencia lineal Fuente: Villaescusa, 1992.	13
Cuadro 2.3. Orientación de las discontinuidades en el túnel. (Bieniawski, 1989). Fuente: González, 2002.	14
Cuadro 2.4. Calidad de macizo rocosos en relación al Índice RMR. Fuente: González, 2002.	14
Cuadro 2.5. Clasificación modificada de Bieniawski subclases y comparación con la original. Fuente: Romana, 2003.	15
Cuadro 2.6. Índice Geológico de Resistencia (GSI). Fuente: Hoek, 2002.	15
Cuadro 2.7. Valoraciones del Índice de Calidad Q. Fuente: Barton, Lien y Lunde, 1974.	17
Cuadro 2.8. Clasificación del R _{Mi} - Palmstrom (1995). Fuente: Jordá et al., 2016	19
Cuadro 3.1. Coordenadas del área de investigación de la labor.	25
Cuadro 3.2. Ruta de acceso a la zona de estudio de la Mina Descubridora.	29
Cuadro 3.3. Aceleración sísmica horizontal y vertical en las estaciones geomecánicas.	36
Cuadro 4.1. Caracterización geomecánica de la Mina Descubridora.	46
Cuadro 4.2. Constantes elásticas del macizo rocoso de los tajeos de la Mina Descubridora.	53
Cuadro 4.3. Esfuerzos tensionales alrededor de la Excavación subterránea - Mina Descubridora.	53
Cuadro 4.4. Tiempo de estabilidad de la excavación subterránea de la Mina Descubridora.	54
Cuadro 4.5. Plastificaciones del campo tensodeformacional en las secciones de la excavación subterránea de la Mina Descubridora.	67
Cuadro 5.1. Registro Geológico Geomecánico EG-01.	80
Cuadro 5.2. Registro Geológico Geomecánico EG-02.	81
Cuadro 5.3. Registro Geológico Geomecánico EG-03.	82
Cuadro 5.4. Registro Geológico Geomecánico EG-04.	83
Cuadro 5.5. Registro Geológico Geomecánico EG-05.	84

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
Figura 2.1.	Hoek-Brown sistema de clasificación de la masa rocosa, 2000. Fuente: Marinós y Hoek (2000).	16
Figura 2.2.	Sistema Q - estimación del soporte de roca, en función del Q_{frente} (Clave y hastial). Fuente: Instituto Geotécnico de Noruega (NGI), 2014.	18
Figura 2.3.	Mecanismos de falla y comportamiento del macizo rocoso para facilitar la compresión del comportamiento del macizo rocoso (Modificado de Lorig, 2009). Fuente: Jordá, Jordá y Fernández (2010).	20
Figura 2.4.	Diagramas de contorno de tensión principal y trayectorias de tensión alrededor de una abertura ovaloidal en un campo de esfuerzo Fuente: Brady y Brown, 2006.	22
Figura 2.5.	Representación gráfica de linealización del criterio de Hoek y Brown mediante el método de la equivalencia de áreas. Fuente: Puell, Arenillas y De La Puente, 2004.	23
Figura 3.1.	Bocamina del Nivel 4, estabilizado el emboquille mediante concreto armado y cuadro de madera rectos.	26
Figura 3.2.	A. Imagen satelital de accesibilidad San Miguel de Algamarca - Nivel 4.	27
Figura 3.3.	Nivel 4 – Mina Descubridora, ingreso a las instalaciones subterráneas de la Mina Descubridora de dimensiones 1.80 m. x 2.10 m., constituida por roca diorítica.	28
Figura 3.4.	Ingreso a las Labores: Arco Iris (Derecha) y Gallito (Izquierda), conformado por arenisca de la Formación Chimú, con sección de abertura 3.50 m. y altura 2.25 m., en forma de baúl.	28
Figura 3.5.	Diagrama meteorológico de la estación Cachachi tipo meteorológica convencional. Fuente: SENAMHI, 2023 y 2024.	30
Figura 3.6.	Delimitado por la quebrada: Santo Cristo y Shingomate, ubicándose 500 m. y 100 m., evacuando sus aguas al SW y NE, finalmente, al efluente del río Condebamba.	31
Figura 3.7.	Acuífero en roca ígnea volcánica dacita generando concentraciones de agua subterránea en la solera sección subterránea.	33
Figura 3.8.	Zonas sísmicas del Perú	36
Figura 4.1.	A. Galería de ingreso principal de la Mina Descubridora, delimitándose dos cuerpos	42

	volcánicos., B. El cuerpo ígneo volcánico dacita de color gris oscuro de textura vítrea con alto contenido de plagioclasas desde Pl. + 00.00 m. a Pl. + 25.00 m.; y C. Roca diorita de color gris claro de textura porfirítica con contenido: plagioclasas, cuarzo, biotita y hornblenda desde Pi. + 45.00 m. a Pi. + 65.00 m.	
Figura 4.2.	A. Las galerías: Arco Iris y Gallito, están constituidas por roca sedimentaria arenisca de orientación estratigráfica Az/Bz = N310°/52°NE. con grosor: 0.30 m. a 0.50 m. B. Muestra de roca arenisca de grano medio de color blanquecino, conformando la sección transversal de la excavación subterránea.	43
Figura 4.3.	A. Tajeo exploratorio con orientación Az = N64°, paralelo a la veta compuesta de: Cu, Ag y Au con orientación Az/Bz = N45°/76SE. B. Veta de Cu, emplazado en el techo de la labor de espesor 0.10 m. a 0.15 m.	44
Figura 4.4.	Discontinuidades delimitan el desprendimiento de cuñas del macizo rocoso.	45
Figura 4.5.	Estimación empírica de las constantes elásticas, mediante esfuerzo principal: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C); método equivalencia de áreas, EG-01.	47
Figura 4.6.	Estimación empírica de las constantes elásticas, mediante esfuerzo principal: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C); método equivalencia de áreas, EG-02.	48
Figura 4.7.	Estimación empírica de las constantes elásticas, mediante esfuerzo principal: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C); método equivalencia de áreas, EG-04.	49
Figura 4.8.	Estimación empírica de las constantes elásticas, mediante esfuerzo principal: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C); método equivalencia de áreas, EG-05.	50
Figura 4.9.	Estimación empírica de las constantes elásticas, mediante esfuerzo principal: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C); método equivalencia de áreas, EG-05.	51
Figura 4.10.	Estimación empírica de las constantes elásticas, mediante esfuerzo principal: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C); método equivalencia de áreas, EG-Veta.	52
Figura 4.11.	Ubicación de la cuantificación de macizo rocoso mediante el sostenimiento del sistema Q	54

	Pág.
Figura 4.12. Sostenimiento por cuadros trapezoidales desde Pl. + 196.20 m. a Pl + 198.70 m. constituidos por maderos de eucalipto.	55
Figura 4.13. Sostenimiento por puntales de sección circular de diámetro 0.15 m. desde PIGX1. + 16.60 m. a PIGX1. + 22.60 m., ubicados en el hastial derecho del tajeo.	55
Figura 4.14. Tiempo de estabilidad, en la excavación subterránea.	56
Figura 4.15. Deformación y asentamiento en la sección de la galería, con desplazamiento máximo 0.21 m. en la clave y empuje activo y desplazamiento en hastiales 0.033. originado por presión constante en la columna de roca EG-01.	57
Figura 4.16. Campo tenso-deformacional alrededor del túnel, delimitado por plastificaciones por cortante y tensión desde: 0.10 m. a 0.55 m. alrededor de túnel relacionado con el medio plástico o desprendimiento de rocas por la intersección de juntas EG-01.	57
Figura 4.17. El campo tensional es constante generando deformación vertical en la excavación de túnel desplazando 0.40 m. en la clave y hastiales 0.10 m. delimitado por los vectores de deformación alrededor del túnel EG-02.	58
Figura 4.18. El campo plastificaciones se encuentra ampliado por el esfuerzo cortante alrededor del túnel ampliándose en los hastiales desde: 1.27 m. a 1.35 m., clave 0.55 m. y solera 1.15 m.; por lo contrario, el esfuerzo tensional solo se evidencia alrededor de la sección desde amplitudes 0.30 m. a 0.50 m. de la EG-02.	58
Figura 4.19. La EG-03 muestra desplazamiento por carga constante de la columna de roca en la clave 0.25 m. y hastiales 0.10 m. a 0.15 m., delimitados por el flujo de vectores que se desarrollan alrededor de la excavación subterránea.	59
Figura 4.20. Estado de plastificaciones en la EG-03, formando aureola alrededor de la sección de forma semicircular amplificada por el esfuerzo cortante delimitado por el medio tenso-deformacional: Plástico 0.80 m. a 1.35 m., y elástico 0.20 m. a 0.30 m.; ubicándose el medio elástico o presión de confinamiento 1.10 m. a 1.55 m.	59

	Pág.
Figura 4.21. Los desplazamientos alrededor de la excavación EG-04 son ocasionados por carga constante por la ubicación $Z > 500$ del túnel afectando su entorno de la excavación, observando cambios en los colores de desplazamiento y flujo de vectores presentando mayor incidencia en clave 0.39 m. y hastiales 0.32 m.	60
Figura 4.22. Estado de plastificación en la EG-04, formando alrededor aureola afectación de forma semicircular delimitada por las discontinuidades, observándose la amplitud del esfuerzo: Tensional 1.38 m. y cortante 2.40 m. delimitándose con el medio elástico.	61
Figura 4.23. La concentración y cambios tensionales se concentran en la abertura en forma de baúl ocasionada por la excavación subterránea, presentando cambios sustanciales de desplazamientos gravitatorios de sobrecarga incidiendo en la clave y hastiales, por el flujo vectorial de deformación EG-05.	62
Figura 4.24. La EG-05 muestra aureola de plastificación delimitada por juntas en forma de elipse observándose la amplitud del esfuerzo: Tensional 0.35 m. a 0.75 m. y cortante 0.40 m. a 1.70 m. delimitándose con el medio elástico tensodeformacional por cambios tensiones constantes.	63

LISTA DE PLANOS

	Pág.
PLANO 01 : IMAGEN SATELITAL SASPLANET – BING MAPS	86
PLANO 02 : MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES (MDE)	87
PLANO 03 : GEOLÓGICO ESTRUCTURAL REGIONAL	88
PLANO 04 : GEOLÓGICO ESTRUCTURAL LOCAL	89
PLANO 05 : GEOMECÁNICO	90
PLANO 06 : TENSO-DEFORMACIONAL	91
PLANO 07 : SOSTENIMIENTO	92
PLANO 08 : HIDROLÓGICO	93

RESUMEN

La Mina Descubridora se ubica en del Nivel 4 está conformado las cajas por rocas calidad: Areniscas regular a buena y cuerpos diorita buena y galena argentífera buena; con constantes elásticas de roca: Diorita con $m_i = 27$, $D = 0.50$, $E_i = 61,160$, $MR = 440$, $E_m = 17,907.78$, $c = 3.78$ y $\phi = 51.05^\circ$; arenisca $m_i = 14$ a 20 , $D = 0.00$ a 0.50 , $E_i = 17,340$ a $28,7300$, $MR = 255$ a 338 , $E_m = 2,964.04$ a $9,648.66$, $c = 1.68$ a 2.56 y $\phi = 45.99^\circ$ a 46.32° y veta de galena argentífera $m_i = 31$, $D = 0.50$, $E_i = 92,400$, $MR = 440$, $E_m = 44,984.43$, $c = 5.866$ y $\phi = 58.25^\circ$, obtenido altos parámetros de calidad de roca aplicando el criterio generalizado de Hoek-Brown. El software RS2, muestran deformaciones de forma: Circular y elíptica, alrededor de la sección con desplazamiento: 0.0251320 m. a 0.0653792 m., proyectándose desde el medio: Plástico y elastoplástico hasta profundidades transversales desde: Hastial (0.50 m. a 2.45 m.), piso (0.65 m. a 1.60 m.) y clave (0.10 m. a 1.05 m.); en la etapa de excavación disturbando al macizo rocoso. Se propone sostenimiento pasivo: Anclajes de fierro corrugado de $3/4''$ de diámetro y longitud 7 pies distribuidos en sistema sistemático tresbolillo con lechada o cartuchos de concreto; y cuadros de madera trapezoidales y rectos de 0.20 m. de diámetro de eucalipto y puntales con plantillas o Jack- pot para mejor adherencia roca sostenimiento.

Palabras clave: Tajeo, Geomecánica, Macizo Rcoso, Campo Tensional y Sostenimiento.

ABSTRACT

The Descubridora Mine is located on Level 4 and is made up of boxes made up of rocks of the following quality: Regular to good sandstones and good diorite and good silver galena bodies; with rock elastic constants: Diorite with $m_i = 27$, $D = 0.50$, $E_i = 61,160$, $MR = 440$, $E_m = 17,907.78$, $c = 3.78$ and $\phi = 51.05^\circ$; sandstone $m_i = 14$ to 20 , $D = 0.00$ to 0.50 , $E_i = 17,340$ to $28,7300$, $MR = 255$ to 338 , $E_m = 2,964.04$ to $9,648.66$, $c = 1.68$ to 2.56 and $\phi = 45.99^\circ$ to 46.32° and silver galena vein $m_i = 31$, $D = 0.50$, $E_i = 92,400$, $MR = 440$, $E_m = 44,984.43$, $c = 5.866$ and $\phi = 58.25^\circ$, obtained high rock quality parameters by applying the generalized Hoek-Brown criterion. The RS2 software shows deformations of the following shapes: Circular and elliptical, around the section with displacement: 0.0251320 m. to 0.0653792 m., projecting from the middle: Plastic and elastoplastic to transverse depths from: Gable (0.50 m. to 2.45 m.), floor (0.65 m. to 1.60 m.) and keystone (0.10 m. to 1.05 m.); in the excavation stage disturbing the rock mass. Passive support is proposed: Corrugated iron anchors of $3/4$ " diameter and 7 feet length distributed in a systematic staggered system with grout or concrete cartridges; and trapezoidal and straight wooden frames of 0.20 m. in diameter of eucalyptus and struts with templates or Jack-pot for better adhesion rock support.

Keywords: Stopping, geomechanics, Rock Mass, Tensional Field and Support.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La Mina Descubridora se ubica en la concesión Acumulación Shahuindo del Nivel 4 en el centro poblado de San Miguel de Algamarca, distrito de Cachachi, provincia de Cajabamba y departamento de Cajamarca, al SE de la ciudad de Cajamarca; realiza actividades de extracción de mineral constituida por labores como: Gallito y Arcoíris , conectando labores superiores e inferiores del nivel principal de la Mina Descubridora, extrayendo minerales: Cu, Ag y Au; siendo emplazado los minerales sulfurosos en vetas cortando a los estratos del flanco izquierdo del anticlinal de Algamarca de la Formación Chimú del Cretácico Inferior, alterando a cuarcita y mineralizado por el intrusivo de diorita. Sin embargo, los tajeos de avance aperturan nuevas secciones subterráneas debilitando o redistribuyendo el estado tensional del tajeo, generando cambios tensodeformacionales en la roca afectando la sección abierta por el medio: Plástico, elastoplástico y elástico, aplicando la Teoría de Kirsch 1988, por la carga gravitatoria, así mismo las aguas subterráneas filtran por las fracturas de la roca generando inestabilidades del túnel. Así mismo para minimizar los cambios tensiones en algunos sectores están aperturando tajeos de ancho 0.90 m. y altura 1.40 m., para así minimizar las deformaciones y desprendimiento de rocas, ocasionando inseguridad en los trabajadores por el desprendimiento de rocas por la calidad: Mala, regular y buena, que conforma la sección subterránea de la Mina Descubridora.

¿Qué resultados se obtendrá de la geomecánica sabiendo que los tajeos, están siendo afectados por el medio: Plástico y elástico, afectará la operatividad de la Mina Descubridora – Nivel 4?. La presente investigación plasmará información de las características geomecánicas de los tajeos aplicando criterios empíricos y modelos numéricos de interacción con las deformaciones tensodeformacionales afectando al medio: Plástico y elástico de la Mina Descubridora – Nivel 4, así mismo

aportará mejoras en sus secciones de avance de las labores subterráneas, relacionándolas con variables a analizar como: Litología, geoestructuras, infiltración, estado tensional y sismicidad; habiéndose generado desprendimiento de rocas ocasionando 3 muertes en la Mina Descubridora, afectando la seguridad de los trabajadores y paralizando la productividad de la empresa minera.

La investigación de las instalaciones subterráneas de la Mina Descubridora - Nivel 4, en el centro poblado de San Miguel de Algamarca, distrito de Cachachi, provincia de Cajabamba y región de Cajamarca, aplicará metodología: Correlacional y explicativo, de la evaluación geomecánica de la Mina Descubridora. Actualmente las labores, niveles y subniveles de la Mina Descubridora, se encuentran en constante producción de mineral sulfuroso, siendo una limitante el ingreso a las instalaciones subterráneas por tener restricción por el avance operativo, acogiéndose a su régimen de trabajo. Sin embargo, se planificó salidas de campo ajustando a sus trabajos de avance para la obtención de información geomecánica de las instalaciones subterráneas. Teniendo como objetivo principal: Realizar la evaluación geomecánica para los tajeos de la Mina Descubridora, para mejorar las secciones de avance subterráneo y estabilización; simulado por el software Phase2 se tiene como objetivos específicos: Realizar el cartografiado geológico, caracterización geomecánica, obtener las constantes elásticas de la roca, analizar el estado tensional mediante el software RS2 y proponer el tipo de sostenimiento.

La presente investigación se divide en V capítulos: el capítulo I abarca a la introducción, formulación de problema, el capítulo II abarca los antecedentes internacionales, nacionales y locales de la investigación, asimismo; las bases teóricas y la definición de términos básicos. En el capítulo III, abarca los materiales y métodos del área de investigación y la metodología a utilizar. En el capítulo IV, presenta análisis y discusión de resultados y finalmente en el capítulo V, describe las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y los anexos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 Internacional

Gualacata (2018), realizó la tesis “Caracterización geomecánica y propuesta de técnica de sostenimiento para las principales galerías de explotación de la Mina Liga de Oro”. El yacimiento está conformado por dos cuerpos irregulares de buzamientos sub-verticales de grosor: 0.10 m. a 0.60 m., utilizando el método de explotación corte y relleno ascendente. La sección de galería: 2.00 m. ancho x 2.50 m. altura en forma de baúl. El mapeo geomecánico de 10 galerías de 40 m. identificaron tres discontinuidades DD/D: 31/42, 78/78 y 112/78, siendo persistentes en la continuidad del túnel de la Galería: Norte y Sur. Aplicando la clasificación geomecánica RMR89; de calidad: Buena tipo II siendo el 30 % de tres EG, regular tipo III siendo el 60 % de seis EG y mala tipo IV siendo el 10 % de una EG. Obtenido valore de FS con Unwedge en hastiales y techo: 0.80 a 1.70. Planteando sostenimiento con anclajes aumentando el factor de seguridad > 1.50.

Lascano (2022), realizó la tesis “Caracterización geomecánica para el diseño de sostenimiento de la abscisa 0+2100 a la 0+2400 del decline localizado en el área minera Cascabel”. La litología está compuesta por: Diorita y brecha volcánica; dominado por estructuras con tendencia NE-SW, constituyendo el componente principal del modelo y falla Toachi - IxDx, que se entrecruza con las cizallas antitéticas. La caracterización geomecánica se realizó a través del logueo de 210.43 m, distribuidos entre los pozos orientados: GHD-19-003 y GHD-19-004, definiéndose en tres clases de rocas: Mala ($35 < RMR < 40$), Media – clase III ($42 < RMR < 60$) y Buena ($65 < RMR < 66$); y índice Q de Barton (1974): 17.16 – buena calidad a 0.44 mala calidad. El análisis tensodeformacional – Phase2 de la sección

se generada desplazamientos: Maxbóveda 4.50 mm. y Minhastiales 3.90 mm., comprobándose con: Elementos de soporte y revestimientos. Presentado dos tipos de sostenimiento: El primero tipo III presenta 10 anclaje sistemáticos - swellex de $\varnothing=20$ mm. y 3 m. de longitud, con malla de 2.00 m. \times 2.00 m. en disposición tres bolillos; shotcrete de 6 cm. de espesor y $f'c=35$ MPa., reforzado con malla electrosoldada de $\varnothing=4$ mm.; revestimiento shotcrete $f'c=35$ MPa. y espesor de 0.30 m. sobre la capa de shotcrete y de 0.35 m. sobre la solera; y segundo tipo V está conformado por: Dos capas de shotcrete de 12 cm. y $f'c=25$ MPa, con refuerzos de malla electrosoldada de $\varnothing=4$ mm. para la capa externa y fibra de acero con $f'y=280$ MPa para la interna, con instalación de cimbras de perfil W8x24 (AISC) de 20 cm. de espesor y separaciones de 0.75 m.; revestimiento de shotcrete de $f'c=35$ MPa y espesor de 0.30 m. sobre la capa interna de hormigón y de 0.44m sobre la solera de la excavación.

Jordá et al., (2017), realizó artículo científico “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”.Las minas de S`Argentera es un yacimiento paleo-kárstico con mineralización de Pb-Zn, relacionado con galena argentífera. Aplicando la geomecánica muestra resultados: Índice de Barton (Cámara: Oeste ($Q_{min} = 11.10$, $Q_{max} = 37.50$ y $Q_{med} = 20.00$; $Dq = 7.50$ m., $Sc = 10.31$ m., $Cs = 0.93$ m., $FoS = 11.09$ y $Pf(\%) = 0.39\%$) y este ($Q = 5.00$ y $Dq = 5.60$ m., $Sc = 2.03$ m., $Cs = 0.78$ m., $FoS = 2.06$ y $Pf(\%) = 0.12\%$), método gráfico (La cámara: Oeste y este, zona estable) y ancho escalado del pilar corona, como la modelación numérica (elementos finitos-análisis tenso-deformacional Phase2; muestra plastificación, con desplazamientos totales menores de 4.00 cm. Las concentraciones de tensiones máximas se ubican centro de la clave propiciando desprendimiento de bloques posteriormente estabilizado por efecto arco de descarga, reporta que las cámaras son estables (Número de estabilidad $N`$ vs. Radio hidráulico). Presentando inestabilidades locales tipo cinemático de bloques, que se aprecian en la mina y $FS > 2.00$, con $PF < 0.50$; por lo que será conveniente monitoreos de posibles subsidencias.

Gisel (2015), realizó artículo científico “Caracterización geomecánica del macizo de rampa Laboreo Oeste de Mina Alto de la Blenda para determinar la estabilidad y necesidad de sostenimiento de la labor”. La rampa está desarrollada en roca de caja Andesita con $\sigma_{ci} = 41$ MPa a 133 MPa., $\sigma_v = 1.35$ MPa, $\sigma_h = 9.27$ MPa., $k = 6.87$ de sección de 4.50 x 4.50 m y zona fortificada de 22.70 m. de cercha y 19.30 m. de malla y anclaje, desde progresiva: 1154.5 0 1196.5. La clasificación del macizo rocoso de la rampa de la Veta Laboreo Oeste, del RQD, es roca de calidad: Mala, regular y buena, predominando la calidad regular, comprendido desde: 50 a 75%, tendido en consideración ancho de labor 4.50 m. para anclaje con valores $25\% < RQD < 64.3\%$ y para aquellos valores de $RQD > 64,3\%$ se estima un anclaje puntual o sin refuerzo. Y aplicando el índice Q de Barton, presenta valores $0.5 > Q \geq 0.1$, $1.5 < Q \geq 0.5$, $Q < 1.5$, Q2, Q3 y Q4 respectivamente, correspondiente a calidad: Regular a buena. Sin embargo, desde la progresiva 1000, existen factores que afectan la estabilidad como: Humedad en hastiales y goteos, alteraciones y rellenos blandos, requiriendo sostenimiento a corto plazo.

Giselle (2018), realizó la tesis “Caracterización del macizo rocoso en el sector del túnel Corta Veta Ortiz y su clasificación geomecánica desde El Portal de acceso hasta La Progresiva 130; complejo minero Capillitas Andalgalá – Catamarca – Argentina”. El macizo rocoso registró mediante: Mapeo de superficie, sondajes y TCVO; está compuesta por matriz rocosa de granito de estructura masiva cristalina y textura granular gruesa a porfírica y densidad 2.56 gr/cm³. Está constituida por 3 sets principales de diaclasas Az/Bz: N165°/72°NW, N300°/76°NE y N21°/50°SE de inclinación vertical a subvertical, planos ondulados rugosos, rellenos $< o > 5$ mm (óxidos, carbonatos; sulfuros, etc.), con frecuencia baja y persistencia media que le confiere al macizo de fracturamiento masivo (bloque muy grande) - GSI 77 y en bloques de tamaño mediano con GSI 63, disminuyendo progresivamente al acercarse a sectores de fallas en bloques pequeños de GSI 33. Siendo el sector más inestable desde la progresiva: 120 m. a 130 m., por la presencia de falla que atraviesa la sección de manera oblicua, con gran potencia de material muy fracturado, ocasionando desprendimientos en: Clave y hastiales; así mismo sector de la progresiva: 60 m. a 70 m. aumentar su dimensión: 11 m. x 5 m. por mayores rasgos estructurales.

2.1.2 Nacional

Ccatamayo (2022), realizó la tesis “Evaluación geomecánica para el diseño de sostenimiento del túnel de integración Animon – Islay, 2022”. El túnel está emplazado en las capas rojas del Grupo Casapalca, conformado por las labores: Rampa 3740, Cx 505SW, Cx 544SE, Cx 582SW y Cx 621NW; presentando a lo largo del eje del túnel presenta calidad de roca Tipo: II desde 61 - 80 (Rampa 3740, progresiva 00+370), III-A desde 51 – 60 (Rampa 3740, progresiva 00+340) y III-B desde 41 – 50 (Rampa 3740, progresiva 00+310) según RMR89 y GSI aplicable MYSRL. Aplicando sostenimiento: Tipo II - shotcrete 2" + fibra sintética + pernos Split Set 8'' pies de largo, a 1.70 m. de espaciado disposición cuadrada; Tipo III-A shotcrete de 2'' + fibras sintéticas + pernos Split Set 8'' pies de largo, a 1.50 m. de dividido en escuadra; y Tipo III-B shotcrete 2" + fibra sintética + pernos Split Set 8'' pies de largo, a 1.20 m. de espaciado disposición cuadrada. Acotando que el shotcrete tiene resistencia máxima 35 MPa después de 28 días.

Limaco (2023), realizó la tesis “Evaluación geomecánica para el diseño del sostenimiento de labores subterráneas en la Mina Azulcocha, 2023”. La geología comprende calizas de la Formación Condorsinga, areniscas del Grupo Goyllarisquizga y diques andesita. Las geoestructuras presentan orientación N45° - 60°W, hacen en Azulcocha una fuerte inflexión hacia el Oeste hasta alcanzar en las proximidades del stock Chuquipite un rumbo S65°W – S80°W. La evaluación geomecánica muestra: RQD = 35% a 80%, RMR = 45 a 72, GSI = F/R y MF/B, Q = 0.27 a 21.67 del Tipo II - Buena y de Tipo III - Regular con sostenimiento de un Tipo II: shotcrete de un espesor de 7.50 cm. y colocación de pernos de sistemático cada 1.50 m. con una longitud de 3 m. con un diámetro de 19 mm. a 25 mm., siendo implementado el sostenimiento en la zona plástica aumentado el FS > 1.50. siendo con sostenimiento en la cámara FS: 1.89 a 2.53, hastial izquierdo FS: 3.16 a 3.47, hastial derecho FS: 2.84 a 4.11 y piso FS: 1.89 a 2.21.

Inga (2023), realizó la tesis “Clasificación geomecánica para selección del sostenimiento de las labores subterráneas en la mina Andaychagua – Volcán Compañía Minera S.A.A.”. La litología de la rampa RP-04 del nivel 1250, profundidad = 888.70 m., sección = 4.50 m. x 4.40 m., densidad = 2.80 TM/m³.

$k = 0.66$, $\sigma_h = 16.42$ MPa, $\sigma_v = 24.88$ MPa, $\rho_A = 2.22$ m. $\rho_B = 2.29$ m. y $\sigma_{ci} = 12.68$ MPa, siendo emplazada en una roca metamórfica: Filita Silicificada, con bajo grado de alteración e inyección de cuarzo en sus fracturas. Por consiguiente el reporte geomecánico muestra: RQD = 81%, RMR89 = 62 – regular III-A, GSI = MF/R y Q = 6 – Regular; proponiendo la utilización: Shotcrete 2'' con fibra metálica + malla + perno hydrabolt espaciado 1.20 m. + shotcrete 2'' sin fibra; obteniendo en la clave (FSsin sostenimiento = 1.38 y FScon sostenimiento = 3.27) y hastial (FSsin sostenimiento = 0.95 y FScon sostenimiento = 1.49), acotando que los pernos hydrabolt en malla será a 1.20 m. y traslape de la malla debe ser de dos cocadas.

Rodríguez (2021), realizó la tesis “Caracterización del macizo rocoso para proponer un diseño sostenimiento en la compañía Minera Marsa S.A. 2021”. Las labores principales están emplazadas en granodiorita muy fracturada presentando circulación de agua subterránea por la humedad, disminuyendo la calidad de roca y cuñas por el despedimiento de rocas de forma: Cubica, paralelepípedo y triangulares, con dirección de avance Az/Bz = N340°/65°NE. Siendo el análisis de discontinuidades Az/Bz: N120°/20°SW y N210°/60°NW, permitió verificar que el macizo rocoso presenta baja calidad geomecánica Tipo: IV-A y IV-B, debido que se encuentra en la zona de mineralización con fracturamiento sub-paralelo al avance. Obteniendo zona de plastificación de 1.50 m, con F.S = 1.20 teniendo zona inestable de 2.30 m., con anclajes swellex de 7 pies logrando empernarse en la zona elástica aumentando el F.S, sugiriendo utilizar anclajes swellex de 10 pies así mismo reducir el espaciamiento: 0.90 m. x 0.90 m. de los anclajes y shotcrete 3''. Presentados parámetros de excavación: ancho = 4.50 m. y altura = 4.20 m., profundidad = 700 m., $\sigma_v = 18.90$ MPa, $\sigma_h = 22.68$ MPa, $k = 1.20$, $\sigma_{cimineral} = 100$ MPa y $\sigma_{cicajas} = 135$ MPa.

Alarcon (2023), realizó la tesis “Evaluación geomecánica para proponer el método de minado en la mina Sumaq Rumi 2022”. La evaluación del yacimiento muestra masa rocosa mineralizada muy incompetente RMR < 25 de litología brechosa con presencia de sulfuros: Pirita – esfalerita – cobres grises, etc., por las características del yacimiento se plantea explotación por subniveles. Los

cartografiados geomecánicos lo delimitan a la roca: Caja techo mala calidad – Clase V, caja piso de calidad regular – clase III A-B y mineral mala calidad – Clase IVB, mostrando cuatro dominios estructurales: DE-V (RMR < 21), DE-IVAB (RMR 21–40), DE-III AB (RMR 40–60) y DE-II (RMR > 60). El primero involucra a la caja techo, el segundo a la caja techo intermedia, a la caja piso inmediata, el tercero a la caja piso intermedia, la cuarta involucra a la caja piso alejada y el último a la caja piso más alejada. El primero, forma un paquete de 1 m. a 15 m. en la caja techo inmediata. El segundo, forma un paquete también de 10 m. a 20 m. Presentando parámetros de la roca: Densidad = 0.028, altura 280 m., $E_h = 1.3 \text{ GPa.}$, $K = 0.29$, $\sigma_v = 7.84 \text{ MPa}$, $\sigma_h = 2.29 \text{ MPa}$.

2.1.3 Local

Montoya (2018), realizó la tesis “Relación geotécnica y litomorfoestructural del túnel de la Mina Paredones Nivel 5”. La litología está emplazada en el Volcánico Chilete y geoestructuras de paleoesfuerzos de orientación: WNW-ESE, NNE-SSW y ENE-WSW. Predominando el **primer sistema** geoestructural NW, coincidiendo con el Alineamiento Andino; así mismo la falla dextral del río San Pablo desplazando al alineamiento mineralógico del Sector Huayrapongo y **segundo** alineamiento estructural de tendencia ENE-WSW, coincidiendo con los domos intrusivos y mineralización de la Veta Murciélago. La geomecánica presenta redistribución de esfuerzos tensodeformacionales con valores: $m = 0.55$ y $\alpha = 55^\circ$. Sin embargo, las labores mineras son susceptibles a cambios tensionales bajos, ligados a fracturamientos: Moderados a altos, con desplazamientos máximos del medio plástico: 0.003 m., 0.007 m., 0.013 m., 0.114 m. y 0.782 m. en la periferie del túnel, afectando la estabilidad de las labores mineras subterráneas, corroborando mediante modelos numéricos Phase² con valores de FS: 0.54, 2.35, 3.42, 3.47 y 0.54. Además, utilizando el método empírico de Potvin en función: Radio hidráulico y número de estabilidad, define cuatro zonas: Sostenimiento, estable, transición con sostenimiento y hundimiento.

Benel (2019), realizo la tesis “Comportamiento geomecánico según los métodos RMR y Q de Barton del Nivel 3 de la Mina Paredones San Pablo

Cajamarca”. La litología está emplazada en rocas volcánicas del Grupo Calipuy del Paleógeno – Neógeno, compuesta por rocas andesita de color verduzco de orientación Az/Bz = 235°/32°NW; presentando alineamientos estructurales con las Vetas: Murciélago, Valenciana, Pacasmayo, Pilancones, West Pacasmayo, Animas y Veta Norte, cortando transversalmente a la Veta Esperanza, con mineralizaciones: Zinc, plomo, galena, pirita, calcopirita y galena argentífera. Presentado calidad roca RMR: Mala (E-2), media (E-1, E-3 y E-5), buena (E-4) y Q: Muy mala (E-2), mala (E-1), media (E-3, E-5) y buena (E-4); zonificándolos en tres zonas de inestabilidad: Altamente peligrosa, peligrosa y moderadamente peligrosa; obteniendo valores de $\alpha = 49^\circ$ y $m = 54$, influyendo con el medio tensión deformacional máximo: 0.00010 m. a 0.0299 m. Mejorando la estabilidad con sostenimiento por cuadros de madera rectos (0.25 m. x 0.30 m. sección E-1 y 0.15 m. x 0.25 m. sección E-2), puntales (0.13 m. x 0.13 m. sección y altura 2.10 m., E-3) y anclajes sistemáticos por adherencia (9 pies distribuidos 1.80 m. x 1.80 m. de malla E-3, 6 pies E-4 y 6 pies distribuidos 1.90 m. x 1.90 m. de malla E-5).

Castrejon (2019), realizo la tesis “Estallido de rocas del crucero El Ñato, Nivel 2880 -Empresa Minera HNS Consorcio S.R.L., San Miguel de Algamarca – Cajabamba - Cajamarca”. El Crucero – El Ñato corta rocas del Grupo Goyllarisquizga, compuesta por arenisca de color blanquecino de grano medio - Formación Chimú, suprayaciendo estratos limolíticos de color negruzco de grano fino - Formación Santa y finalmente secuencias de limolitas y lutitas grises a bituminosas de Formación Carhuaz; de orientación Az/Bz = N140°/62°SW; y rocas del Paleógeno conformado por diques verticales intermedios: Dacíticos, riolíticos y andesíticos. La geoestructura está delimitada por el flanco izquierdo del anticlinal de Algamarca con Az = N125° y esfuerzos compresivos de orientación: NNE-SSW a NE-SW, originando: Sinclinales y anticlinales. Aplicando el modelo numérico muestra cambios tensodeformacionales ocasionando estallidos de rocas, en forma de aureolas: Semicirculares, elípticas y homogéneas, plasmados en la clave, hastiales y solera, analizado en el medio plástico: 0.67 m. a 1.80 m. de profundidad transversal por la implicancia de calidad de roca: Mala, media y buena, RMi: E-1 = 8.224 - deformación plástica, E-2 = 8.535 – Tensiones bajas, E-3 = 6.310 - Tensiones bajas, E-4 = 4.720 - Tensiones bajas, E-5 = 6.660 – Hinchamiento y E-

6 = 58.202 – Ruptura gradual.

Muñoz (2003), realizó la tesis “Evaluación geomecánica del Nivel 4 de la Mina Paredones según los métodos Q de Barton y RMi para la aplicación de sostenimientos, San Pablo – Cajamarca”. Está emplazado en el Grupo Calipuy del Paleógeno – Neógeno - Volcánico Chilete, compuesto por Andesita y alteraciones: Argílica avanzada y silicificada; mineralizada por la Veta Murciélago de orientación: NW-SE, N_x , $Az/Bz = N300^\circ/80^\circ NE$ y $pitch = 86^\circ$. El cartografiado geomecánico muestra: Q (Muy mala, mala, media y buena) y RMi (Moderada a alta resistencia). Siendo modelo por el Phase² reportando esfuerzos tensodeformacionales gravitacionales alrededor de la excavación y variaciones tensiones: E-1, E-2 (Deformación: Clave y hastiales, campo tensional bajo) y E-3, E-4, E-5 y E-6 (Deformación gravitacional – clave y campo tensional medio) - RMi; y mediante RocSupport, punto de equilibrio: E-1 (2.08 mm./0.07 MPa.), E-2 (4.26 mm./0.14 MPa.), E-3 (10.07 mm./0.29 MPa.), E-4 (34.91 mm./0.43 MPa.), E-5 (10.45 mm./0.86 MPa.) y E-6 (4.41 mm./0.29 MPa.) mediante la curva de convergencia.

Soberón (2024), realizó la tesis “Propuesta de sostenimiento y controles para reducir la liberación de energía del Nivel 4 de Mina Paredones, San Pablo – Cajamarca”. El Nivel 4 se ubica al SE de las instalaciones mineras, emplazado en el Volcánico Chilete compuesta por roca andesita de grano medio de textura afanítica de color gris verduzco con pseudoestratificación $Az/Bz: N229^\circ/30^\circ NW$, del Paleógeno – Eoceno y estructuras como: Diatrema, veta (Murciélago y West Pacasmayo) y alteración sílica. La geomecánica muestra rocas de calidad: Mala (EG-05), regular (EG-1) y buena (EG-2, EG-3 y EG-4), sin embargo, el estallido de rocas en las secciones del túnel muestra FS: 0.60 m. a 1.10 m., afectado hastiales y clave; mostrando zonificación crítica en los sectores: PicNE, PicSW y by-pass; siendo las zonas más críticas e inestables el by-pass desde Plp+55m.a Plp+150 m. generando sobre excavación de 3.50 m. a 4.00 m. a ancho. Recomendando sostenimiento por: Anclajes adherente - sistemáticos de 8 pies de longitud de diámetro de 25 mm. + shotcrete 2 pulg. como preventivo y 2 pulg. sobre malla.

Cueva (2023), realizó la tesis “Modelamiento geológico y cálculo de reservas minerales de la veta Lucerito – Mina Nueva Esperanza Nivel 2 – Algamarca - Cajabamba”. La geología pertenece al Grupo Goyllarisquizga del Anticlinal Algamarca, constituida por la Formación: Chimú y Santa, con orientación (Az/Bz): N137°/61°SW. Geoestructuralmente el anticlinal Algamarca alberga vetas polimetálicas de depósito vetiforme, apreciándose en los flancos del anticlinal, servido como sellos y permitido el entrampamiento de la mineralización en las cuarcitas, relacionándose con la veta Lucerito se emplaza en las rocas areniscas cuarzosas de la Formación Chimú, con orientación (Az/Bz): N229°/79°NW, en orientación SW del eje del anticlinal encontramos la Formación Santa, siendo esta un sello para la mineralización. Presentado el cálculo de reservas y recursos minerales de la veta Lucerito, siendo los dos vectores que controla la mineralización en la veta Lucerito son: Contacto geológico Formación Santa y Formación Chimú, y falla Dominga; con reservas probadas: 72,104.33 TM, reservas probables: 27,274.52 TM y recursos inferidos: 31,5071.13 TM. mostrando recursos minerales del componente aprovechable (metal fino), en la zona de óxidos se obtendrá 2'760,366.71 gr. Au y 4'521,167.64 oz Ag La zona de mixtos se tendrá 93,645.50 gr. Au, 153,380.72 oz Ag y 1'257,737.21 lb Cu. En la zona de sulfuros de obtendrá 3'578,251.77 gr. Au, 5'860,770.63 oz Ag y 48'033,612.2 lb Cu.

Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (2019), realizó la “Norma técnica: E.30 Diseño sismorresistente”. Reglamento nacional de edificaciones comprendidas en los avances científicos en el campo de la sismología, afín de disminuir la vulnerabilidad de edificaciones, para así evitar las pérdidas de vidas humanas. Basada en la distribución espacial caracterizada por movimientos sísmicos y atenuación de estos con la distancia epicentral.

Reyes (1980). Boletín N°31 Serie A. Carta Geológica Nacional: Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. Enfocados al contexto geológico: local y regional, en los aspectos: Geomorfológicos, estratigráficos, geoestructurales, tectónicos y plutónicos, con breves descripciones de los yacimientos y prospectos reconocidos en la región de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba, conformando la Hojas: 15-f, 15-g y 16-g, para

interpretaciones, análisis y ubicación de las formaciones geológicas, siendo de gran apoyo para la geología regional y local; a escala 1/100,000.

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, 1946; Clasificación de Lauffer, 1958; Índice de Calidad de Roca RQD% - Deere, 1964; Valoración del macizo rocoso RMR Bieniawski, 1989; Sistema Q Barton et al., 1974; y Índice Resistencia geológica GSI - Hoek y Brown, 1997.

- **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 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 λ , y la correlación entre el RQD y las velocidades sísmicas.

Se han derivado correlaciones entre RQD y la frecuencia λ 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 λ .

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

$$\lambda = \text{Numero de discontinuidades/ Longitud} \quad \text{Ecuación 2}$$

Cuadro 2.1. Índice de Calidad de la Roca – RQD.

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

Fuente: Deere, 1967.

Cuadro 2.2. Relación entre RQD y frecuencia lineal.

Calidad de roca	Frecuencia lineal	RQD (%)
Muy pobre	> 17	0 - 20
Pobre	12 - 17	20 - 40
Regular	7 - 12	40 - 60
Buena	4 - 7	60 - 80
Muy buena	1.50 - 4	80 - 95
Excelente	< 1.5	95 - 100

Fuente: Villaescusa, 1992.

- **Valoración del Macizo Rocosos (RMR)**

La valoración de masa rocosa (RMR), propuesto por Bieniawski (1989), 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):

1. Resistencia de la matriz rocosa
2. RDQ
3. Espaciado de Discontinuidades
4. Estado de las Discontinuidades
5. Flujo de Agua Freática
6. 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.

Cuadro 2.3. 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 favorable	Media	Desfavorable

Fuente: González, 2004.

Cuadro 2.4. Calidad de macizo rocosos en relación al Índice RMR.

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

Fuente: González, 2002.

Cuadro 2.5. 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.

- **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 la utilización correcta de clasificación las condiciones geomecánicas de la roca, rápida pero confiable que se basa en las inspecciones visuales del macizo rocosa. Hoek y Brown (1997) propusieron una clasificación tan práctica para estimar el GSI basándose únicamente en la inspección visual.

Cuadro 2.6. Índice Geológico de Resistencia (GSI).

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

Fuente: Hoek, 2002.

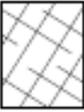
INDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICO GSI JUNTAS DE LA MASA ROCOSA (Modificado por Hoek & Marinos, 2000). A partir de la litología, estructura y la condición de superficie de las discontinuidades, estime el valor promedio de GSI. No intente ser muy preciso. Escoger un rango de 33 a 37 es más realista de fijar GSI = 35. También notar que esta tabla no se aplica en mecanismos de falla controlado por estructuras. Donde se presenten planos estructuralmente débiles en una orientación desfavorable con respecto a la cara de la excavación, estos dominarán el comportamiento del macizo rocoso. La resistencia al corte de las superficies en rocas que son propensas a deteriorarse como resultados de cambios en la humedad, se reducirá cuando exista presencia de agua. Cuando se trabaje en rocas de categoría regular a muy mala, puede moverse hacia la derecha para condiciones húmedas. La presión de poros se maneja en un análisis de esfuerzos efectivos.		CONDICIONES SUPERFICIALES				
ESTRUCTURA		DISMINUYE CALIDAD DE SUPERFICIE →				
	Intacta o Masivo: Especimen de roca intacta o masivo in situ con pocas discontinuidades ampliamente espaciadas.	90				N/A
	Levemente fracturado: Macizo no disturbado, muy bien entrelazado, constituido por bloques cúbicos formados por tres familias de discontinuidades.	80	70			
	Moderadamente fracturado: Entrelazado macizo rocoso parcialmente disturbado con bloques angulosos de varias caras formado por 4 o más familias de discontinuidades.		60	50		
	Muy fracturado/Disturbado/Agrietada: Foleada con bloques angulosos formados por la intersección de muchas familias de discontinuidades. Persistencia de planos de estratificación o esquistocidad.			40	30	
	Desintegrado: Pobremente entrelazado, macizo altamente fracturado compuesto de una mezcla de pedazos de rocas angulosas y redondeadas.				20	
	Follado/Laminado/Cizallado: Falta formación de bloques debido al pequeño espaciado o esquistocidad débil o planos de corte.					10

Figura 2.1. Hoek-Brown sistema de clasificación de la masa rocosa, 2000.
Fuente: Marinos y Hoek (2000).

- **Índice de Calidad Tunelera (Q)**

El sistema Q, propuesto por Barton, Lien y Lunde (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:

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

Ecuación 3

Cuadro 2.7. 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.

Donde:

RQD = Índice de calidad de roca.

J_n = Número de familias de discontinuidades.

J_r = Rugosidad de las discontinuidades.

J_a = Alteración de las discontinuidades.

J_w = Presencia de agua.

SRF = Factor de reducción de esfuerzos.

El valor Q en la Figura 2.3 está relacionado con la cantidad total de soporte (Temporal y permanente) en el techo. El diagrama se basa en numerosos casos de soporte de túneles. El soporte del hastial también se puede encontrar usando Figura 2.3 aplicando la altura del hastial y los siguientes ajustes al Q:

Para Q > 10	usar Q _{Frente} = 5Q	
Para 0.10 < Q < 10	usar Q _{Frente} = 2.5Q	Ecuación 4
Para Q < 0.10	usar Q _{Frente} = Q	

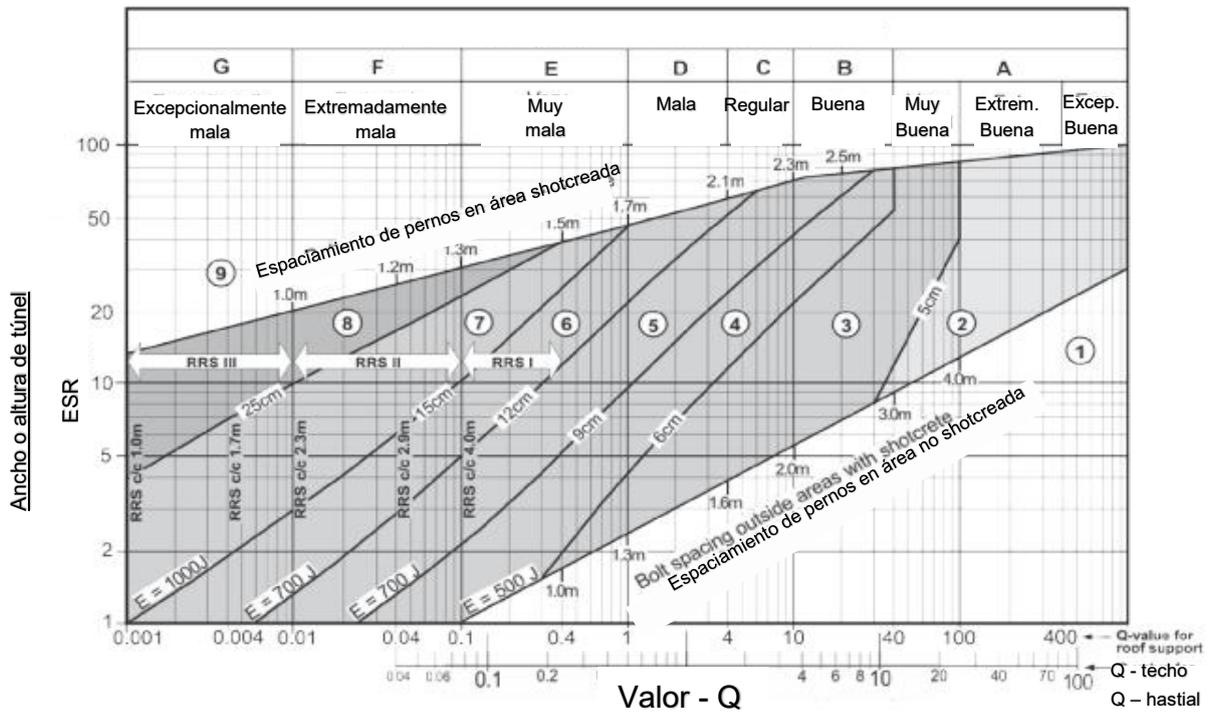


Figura 2.2. Sistema Q - estimación del soporte de roca, en función del Q_{frente} (Clave y hastial).

Fuente: Instituto Geotécnico de Noruega (NGI), 2014.

- **Índice del Macizo Rocoso (RMI)**

Palmstrom (1995), propone un índice llamado Rock Mass Index (RMI) para caracterizar la resistencia del macizo rocoso como material de construcción. Este

índice parte del principio de que la roca sin alterar soporta hasta un valor de tensión igual a su resistencia. Sin embargo, la presencia de diversos defectos como las diaclasas tienden a reducir este valor de resistencia en un porcentaje J_p . Se describe pues el índice RMI como:

Para roca diaclasada $RMI = \sigma_{ci} \cdot J_p$ Ecuación 5

Para roca masiva $RMI = \sigma_{ci} \cdot f_\sigma$ Ecuación 6

Donde:

σ_{ci} = Resistencia a compresión uniaxial de la roca (MPa.)

J_p = Parámetro de diaclasado.

f_σ = Parámetro de la masividad

Cuadro 2.8. Clasificación del R_{Mi} - Palmstrom (1995).

R_{Mi}	Resistencia del macizo rocoso	Valor R_{Mi}
Extremadamente bajo	Extremadamente débil	< 0.001
Muy bajo	Muy débil	0.001 – 0.01
Bajo	Débil	0.01 – 0.10
Moderado	Medio	0.10 – 1.00
Alto	Fuerte	1.00 – 10
Muy alto	Muy fuerte	10 – 100
Extremadamente alto	Extremadamente fuerte	> 100

Fuente: Jordá et al., 2016

- **Estimación de Esfuerzo Insitu (K)**

Sheorey (1994) desarrolló un modelo de esfuerzos, que permite estimar el valor del coeficiente de reparto de tensiones (k) del esfuerzo horizontal con respecto al esfuerzo vertical.

$$K = 0.25 + 7 E_h \left(0.001 + \frac{1}{z} \right) \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

z = Profundidad con respecto a superficie.

E_h = Módulo de deformación en GPa de la roca de cobertura medido en dirección horizontal.

2.2.2 Sostenimiento de Excavaciones

El sostenimiento en excavaciones subterráneas tiene la finalidad de asegurar, controlar y mantener la estabilidad de éstas, a fin de proporcionar condiciones seguras de trabajo y brindar acceso a las labores subterráneas. Para su diseño se deberá tener en cuenta lo siguiente: Las características del macizo rocoso, influencia de esfuerzos naturales e inducidos, la dirección de la excavación con relación los rasgos estructurales, la forma y las dimensiones de la excavación, y la deformabilidad del macizo rocoso y de los elementos de sostenimiento a fin de que el diseño asegure la vida de servicio esperada de la excavación (Osinergmin, 2017).

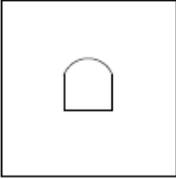
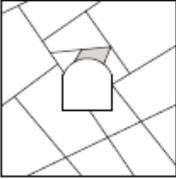
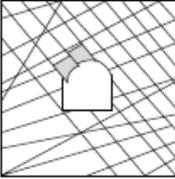
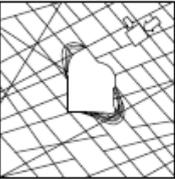
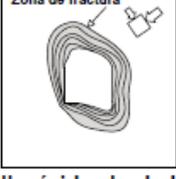
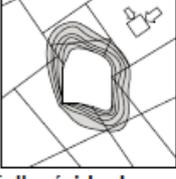
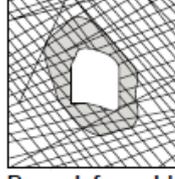
	Masivo (RMR>75)	Moderadamente fracturada (50>RMR<75)	Altamente fracturada (RMR<50)
Esfuerzos in situ bajos	 <p>Respuesta elástica lineal</p>	 <p>Deslizamiento o caídas de bloques y cuñas</p>	 <p>Deslajamiento de la superficie de la excavación</p>
Esfuerzos in situ intermedios	 <p>Falla rígida adyacente al entorno de la excavación</p>	 <p>Falla rígida localizada de roca intacta y movimiento de bloques</p>	 <p>Falla rígida en roca intacta y deslajamiento a lo largo de las discontinuidades</p>
Esfuerzos in situ altos	 <p>Falla rígida alrededor de la excavación</p>	 <p>Falla rígida de roca intacta alrededor de la excavación y movimiento de bloques</p>	 <p>Roca deformable, comportamiento plástico</p>

Figura 2.3. Mecanismos de falla y comportamiento del macizo rocoso para facilitar la comprensión del comportamiento del macizo rocoso (Modificado de Lorig, 2009).
Fuente: Jordá, Jordá y Fernández (2010).

El tiempo transcurrido entre la ejecución de la excavación y la instalación del sostenimiento dependerá de las condiciones del macizo rocoso. En rocas de buena calidad, el sostenimiento podrá ser retrasado en el tiempo; en caso contrario, la instalación deberá realizarse lo más pronto posible: “la colocación tardía del sostenimiento en un determinado tramo favorece la relajación y descompresión del macizo rocoso, pudiendo ser la causa de manifestaciones de inestabilidad” (LOM, 2015). Atendiendo como actúa en la roca, el sostenimiento podrá ser activo o pasivo:

- Sostenimientos pasivos: actúan en la superficie de la excavación o en su interior (ej. cimbras metálicas, cuadros de madera, concreto lanzado

(shotcrete) y pernos cementados). Estos elementos pasivos requieren que la roca se desplace o deforme para recién empezar a actuar como soporte. (Los sostenimientos que se instalan en la superficie se les denomina, además de sostenimiento pasivo como soporte de roca).

- Sostenimientos activos: actúan en el interior del macizo rocoso (ej. pernos de anclaje tensados y cables de anclaje tensados). Son capaces de proporcionar refuerzo a la roca desde el instante mismo de su instalación, logrando que la roca forme una zona de compresión y participe en la estabilidad de la excavación (refuerzo de roca).

2.2.3 Métodos Numéricos

La industria minera actual valida el uso de los métodos numéricos en conjunto con los métodos analíticos como herramientas de análisis para la toma de decisiones relacionadas al diseño minero y secuencia de minado, diseño y dimensionamiento de estructuras tales como accesos, pilares, tajeos, sostenimiento, entre otros. Los métodos con mayor aceptación en la industria para modelar macizos rocosos (Jing, 2003). Se recomienda remitirse a Brady y Brown (2006), Jing (2003), entre otros autores para obtener el detalle técnico y sustento matemático de cada método numérico.

El comportamiento del material elástico y campo lejano se representa de una manera computacionalmente económica y mecánicamente apropiada con elementos de contorno. Finalmente, las zonas de comportamiento constitutivo complejo en una estructura de mina son frecuentemente pequeñas y localizadas, de modo que solo estas zonas pueden requerir la versatilidad conferida por un método diferencial. La reducción implícita en el tamaño de las zonas a ser modeladas con un método diferencial nuevamente favorece la eficiencia computacional (Brady y Brown, 2006). Lorig y Brady (1982) dan un ejemplo del desarrollo de un método vinculado y su aplicación en el diseño de la excavación.

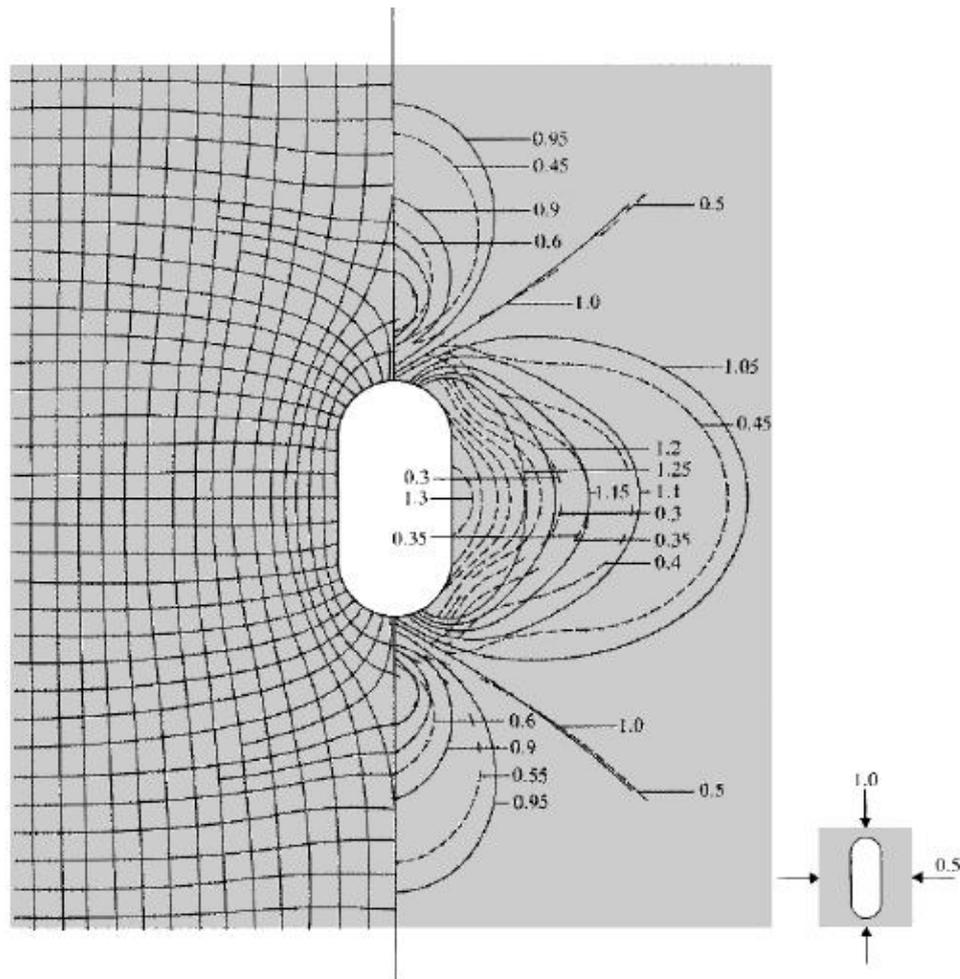


Figura 2.4. Diagramas de contorno de tensión principal y trayectorias de tensión alrededor de una abertura ovaloidal en un campo de esfuerzo biaxial (Después de Eissa, 1980).
Fuente: Brady y Brown, 2006.

Por consiguiente, el criterio de Hoek-Brown se considera muy adecuado para los macizos rocosos pues reduce la resistencia a tracción específicamente en macizo rocosos malos, y la resistencia no crece tanto en el estado de confinamiento como sucede con el de Mohr-Coulomb. En el campo del diseño de taludes ha tenido escaso desarrollo, solamente iniciado por algunos autores en los últimos años, a partir de programas de cálculo tenso-deformacional, desarrollando del método: Tangente y equivalencia de áreas (Puell, Arenillas y De La Puente, 2004).

- Método de equivalencia de áreas: Los autores Hoek, Carranza y Corkum, (2002) proponen encajar una recta que equilibre las áreas que quedan entre la envolvente curva de Hoek y Brown y la linealización Mohr-Coulomb,

para un determinado rango de tensiones. Esto lo resuelve para un rango de tensiones $\sigma_t < \sigma_3 < \sigma_{3\text{máx}}$, siendo: σ_t la resistencia a la tracción y $\sigma_{3\text{máx}}$ la presión de confinamiento máxima. (Puell, Arenillas y De La Puente, 2004).

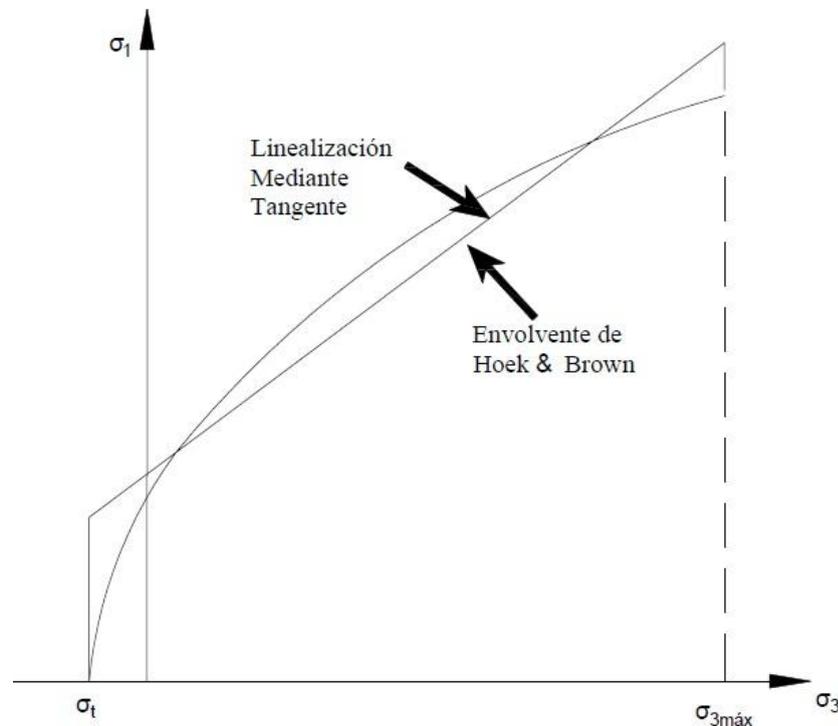


Figura 2.5. Representación gráfica de linealización del criterio de Hoek y Brown mediante el método de la equivalencia de áreas.
Fuente: Puell, Arenillas y De La Puente, 2004.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Bocamina: Entrada a una mina, generalmente un túnel horizontal o sitio en superficie por donde se accede a un yacimiento mineral (INGEOMINAS, 2003).

Anclaje: Está conformado de acero corrugado de 25 mm. de diámetro. El método de adherencia puede ser la resina o mortero (Cuando hay problemas de perforación o cavidades microkársticas) (Romana, 2003).

Caracterización del Macizo Rocos: Es tarea basada en: Observación, medición y ensayos para obtener parámetros cuantitativos útiles al diseño ingenieril (Duque, 2020).

Diaclasas: Se desarrolla debido a los fenómenos de erosión con el tiempo geológico donde grandes espesores de la corteza terrestre han sido removidos, ya sea decenas, centenas o miles de metros, produciendo esfuerzos horizontales que pueden ser superiores a la presión vertical por la columna de roca (García, 2018).

Emboquille: Aquella actuación que consiste en excavar a cielo abierto una ladera hasta obtener un talud desde el que se inicia la excavación del túnel (Guerra, 2011).

Estallido de Rocas: Consiste en la repentina y a menudo violenta expansión de una masa d rocas de los hastiales del túnel, generándose por la elevada tensión a la que está sometida y por la liberación rápida de la cantidad de energía acumulada (Lozada, 2016).

Falla: Es una fractura planar a lo largo de la cual la roca se ha desplazado según una dirección que es generalmente paralela al plano de ruptura, como consecuencia de la aplicación de un stress de cizalle (Niemeyer, 1999).

Geomecánica: Ciencia que se encarga de estudiar, el comportamiento mecánico de la roca, y de la fuerza inducidas, en una excavación subterránea (Berrocal, 2015).

Junta de bloques: Son los bloques que constituyen a un macizo rocoso y por lo tanto están enlazados fundamentalmente con el comportamiento mismo (Ayes, 2011).

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).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN

La Mina Descubridora se ubica en la concesión Acumulación Shahuindo del Nivel 4 en el centro poblado de San Miguel de Algamarca, distrito de Cachachi, provincia de Cajabamba y departamento de Cajamarca, al SE de la ciudad de Cajamarca. Así mismo se ubica a 1,550 m. desde bocamina Nivel 4, enmarcada en realizar actividades de tajeo del basamento rocoso aperturando labores como: Gallito y Arco Iris, conectando labores superiores e inferiores del nivel principal de la Mina Descubridora, extrayendo minerales: Cu, Ag y Au. Ubicándose geográficamente en el cuadrángulo 16-g (Cajabamba), con sistema de coordenadas: UTM-DATUM-WGS84-ZONA-17S.

Cuadro 3.1. Coordenadas del área de investigación de la labor.

Bocamina	Sector	Este (m.)	Norte (m.)	Cota (msnm.)
Nivel 4	Nivel 4	803581.762	9158214.247	2877.000
	Mina Descubridora	804564.242	9158796.49	2880.100

3.2 ACCESIBILIDAD

La accesibilidad se inició de la ciudad de Cajamarca partiendo de la UNC, siguiendo la orientación SE a Llacanora, luego cambiando a orientación E a Namora, posteriormente cambiando a orientación SE a Ichocán, y finalmente con orientación S, llegando al cruce de Pomabamba – Cajabamba, conformado todo el recorrido por carretera asfaltada. Por consiguiente, siguiendo la ruta se cambió a carretera afirmada iniciando desde el cruce de Pomabamba a Chuquibamba con orientación ENE-WSW, así mismo siguiendo la orientación: NE-SW a E-W llegando a Araqueda; partir de este sector inicial geomorfología empinada del trayecto de orientación SE-NW llegando a Quilish Pampa (Tres Cruces) para finalmente

cambiar a orientación NW llegando al centro poblado: San Miguel de Algamarca. Desde del centro poblado: San Miguel de Algamarca se siguió conduciendo por trocha carrozable en malas condiciones descendiendo con orientación ESE-WNW, llegando a la bocamina Nivel 4. Por consiguiente, la labor de la Mina Descubridora se accedió por galería principal de orientación: W-E, NNW-SSE, W-E, SW-NE, SSE-NNW y WSW-ENE, presentando distancia a 1,550 m. desde bocamina.

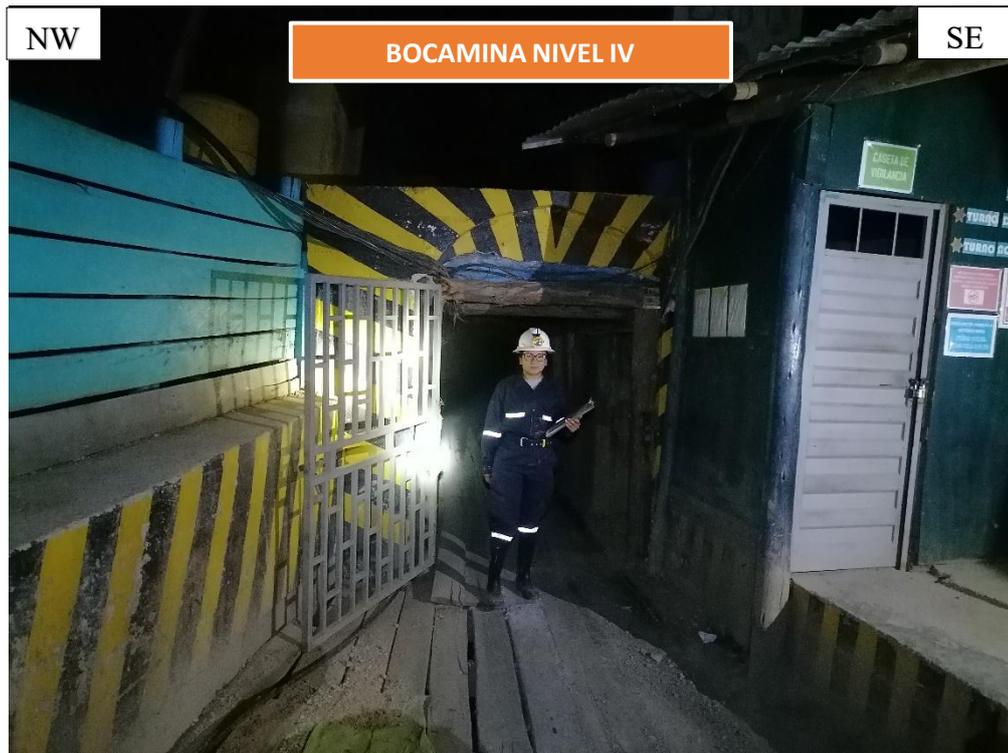


Figura 3.1. Bocamina del Nivel 4, estabilizado el emboquille mediante concreto armado y cuadro de madera rectos.



Figura 3.2. A. Imagen satelital de accesibilidad San miguel de Algamarca - Nivel 4.



Figura 3.3. Nivel 4 – Mina Descubridora, ingreso a las instalaciones subterráneas de la Mina Descubridora de dimensiones 1.80 m. x 2.10 m., constituida por roca diorítica.



Figura 3.4. Ingreso a las Labores: Arco Iris (Derecha) y Gallito (Izquierda), conformado por arenisca de la Formación Chimú, con sección de abertura 3.50 m. y altura 2.25 m., en forma de baúl.

Cuadro 3.2. Ruta de acceso a la zona de estudio de la Mina Descubridora.

Tramo		Estado de vía	Vía	Transporte	Recorrido	
De	A				Distancia (Km.)	Tiempo (h.)
Cajamarca	Pomabamba	Buena	Terrestre	Combi	106+000	02:31
Pomabamba	San Miguel de Algamarca	Mala	Terrestre	Camioneta	27+400	01:03
San Miguel de Algamarca	Nivel 4	Mala	Terrestre	Camioneta	02+050	00:05
Nivel 4	Mina Descubridora	Muy mala	Terrestre	Camioneta	01+550	00:10
Total					137+000	03:49

3.3 CLIMA

La temperatura del entorno de investigación está conformada por temperaturas desde: 8°C a 23°C, constituido por clima: Lluvioso, friolento, fresco, despejado y nublado; involucrando a la actividad minera superficial como: Selección, pesado, comercialización y transporte; así mismo las variaciones los cambio climáticos se describen a continuación como: El clima caluroso de 6°C a 17°C, enero a febrero y noviembre a diciembre de 6°C a 16°C y frescos de 5°C a 14°C junio y 4°C a 14°C agosto; cielo despejado inicia el 3 de mayo y termina 27 de septiembre, durando 4.80 meses y nublado desde enero a mayo y septiembre a diciembre, durando 7.2 meses, con probabilidad máxima de lluvia 31% en marzo. Presentando lluvias ligeras del 21 de septiembre al 18 de mayo durando 7.9 meses. Así mismo los vientos tiene velocidad: 9.60 Km/h (6 de junio al 2 de octubre) a 12.20 Km/h y calmado de 7.00 Km/h (2 de octubre al 6 de junio) (Weather, 2023).

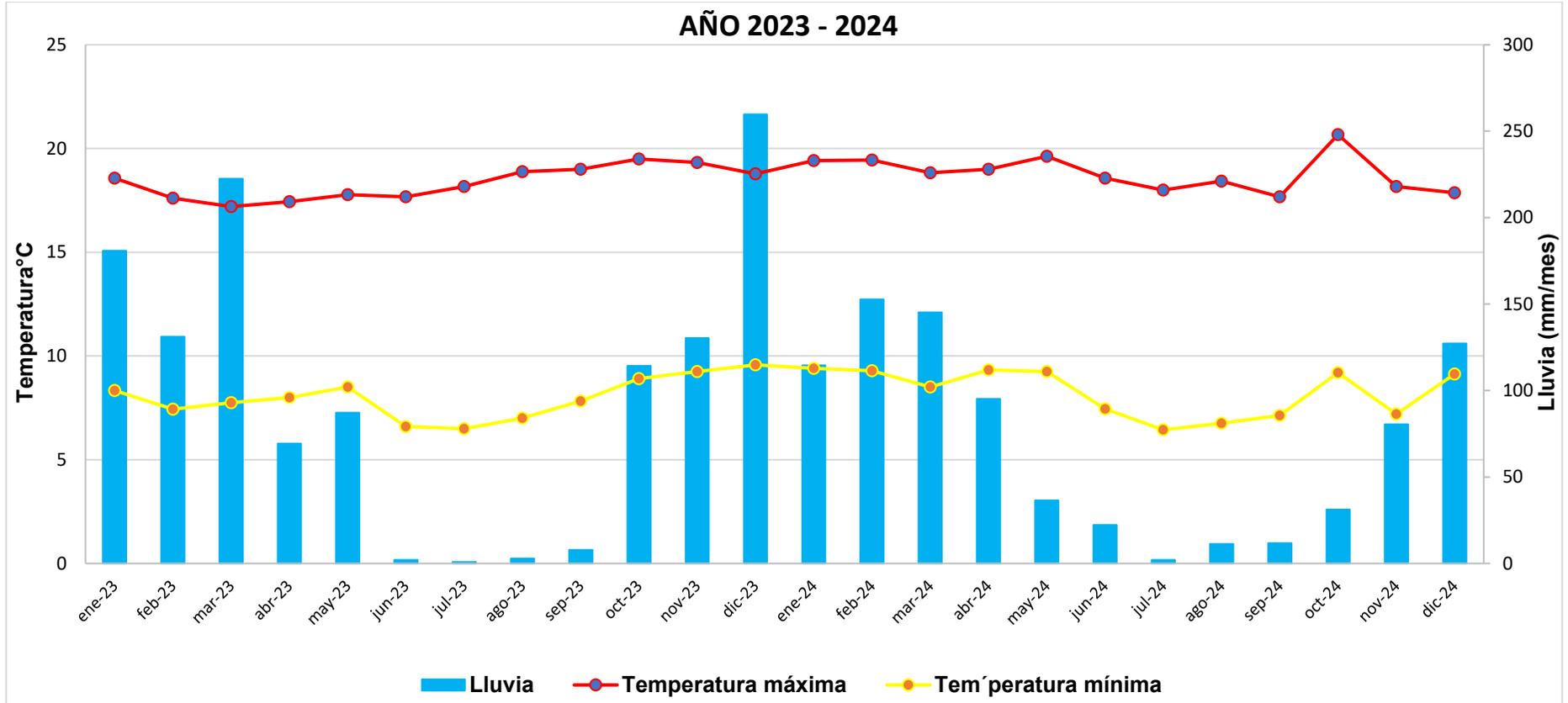


Figura 3.5. Diagrama meteorológico de la estación Cachachi tipo meteorológica convencional.
Fuente: SENAMHI, 2023 y 2024.

Por consiguiente, también tiene afectaciones en las operaciones minera subterráneas, sobre todo en las actividades: Perforación, voladura, seleccionamiento, acarreo y estabilización; siendo de vital importancia para la ventilación por el aumento progresivo el gradiente geotérmico relacionado con las estaciones geomecánicas para mejores evaluaciones de la Mina Descubridora; generándose de gas metano en las instalaciones ocasionando afectaciones a los trabajadores. Los cálculos se basaron en la estación: Cachachi, tipo: PE – meteorológica, con código: 107068, perteneciente al distrito Cachachi, provincia Cajabamba y departamento Cajamarca; latitud: $7^{\circ}27'3.83''$, longitud: $78^{\circ}16'6.78''$ y altitud: 3,228 msnm.

3.4 HIDROLOGÍA

La hidrología del Nivel 4 está delimitado por el cerro Algamarca formando dos vertientes por su estructura plegada del anticlinal Algamarca de Vista: SW – izquierda y NE – derecha. **Vista SW:** Está delimitado por la quebrada Santo Cristo iniciando como nacimiento a los 3,150 msnm. en la parte alta del anticlinal de Algamarca con orientación NE-SW con longitud 1.62 Km., evacuando las aguas a la altitud de 2,627 al río Cañaris (Su nacimiento inicia en el centro poblado Cavildillo a altitud de 3,950 msnm., delimitado por las quebradas: Almagre que presenta una orientación NNE, con longitud de 2.38 Km. y Laguna Tapada presentando orientación ENE, con longitud 2.81 Km., confluyendo a los 3,550 msnm., formando la quebrada Quinual que presenta una orientación SSW-NNE, con longitud 5.20 Km.; cambiando a río Quinual en el centro poblado Purru Pampa a altitud 2,900 msnm. con orientación N con longitud 4.10 Km., confluyendo con la quebrada Arenilla que tiene su nacimiento en el centro poblado Arenilla con orientación WSW, con longitud 1.70 Km.; formando a la altitud 2,680 msnm. el río Cañaris) con orientación NNW con longitud 1.65 Km., confluyendo con el río Huancaday, nacimiento en el centro poblado Cerrochugo, presentando orientación NE, con longitud 8.70 Km. a la altitud 2,550 msnm.; formando el río Chimin del Centro Poblado La Succha presentando orientación N a ENE, con longitud 22.55Km. pasando por el centro poblado Hda Tabacal, evacuando las aguas al río Condebamba a la altitud 2,030 msnm. Por consiguiente, la **Vista NE:** Tiene como

naciente a los 3,350 msnm. la quebrada Shingomate con orientación NE con longitud 12.30 Km. pasando por la margen izquierda ubicándose el centro poblado El chorro, evacuando las aguas al río Condebamba a la altitud 2,048 msnm.

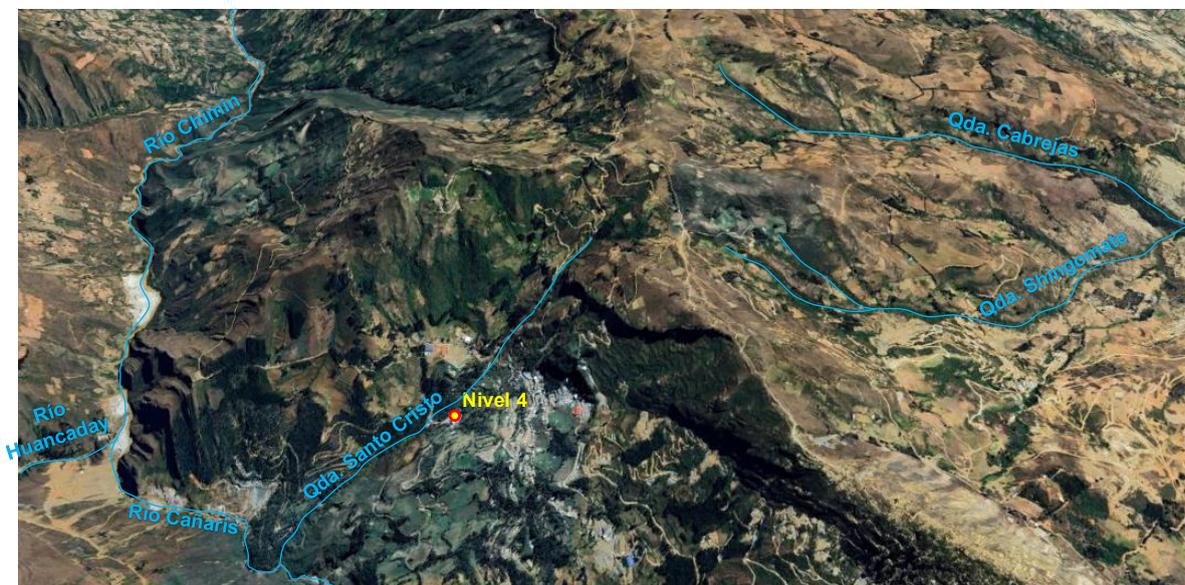


Figura 3.6. Delimitado por la quebrada: Santo Cristo y Shingomate, ubicándose 500 m. y 100 m., evacuando sus aguas al SW y NE, finalmente al efluente del río Condebamba.

El agua evacuada de los efluentes río Chimín y quebrada Shingomate, forman un solo cauce llamado río Condebamba que tiene longitud 29.75 Km. la cambiando la orientación E, confluyendo con el río Cajamarquino a altitud 1980 msnm.; formando el río Crisnejas, presentando orientación NE bruscamente, con longitud de 38.30 Km., desembocando sus aguas al río Marañón con orientación NNW, recorriendo aproximadamente 253,28 Km. interceptando con el río Chinchipe a los 390 msnm. con orientación SW, siendo el principal afluente del río Amazonas, desembocando en el Océano Atlántico.

3.5 HIDROGEOLOGÍA

La Mina Descubridora presenta agua subterránea en sus instalaciones por filtración y permeabilidad: Areniscas, cuarcita y dacitas, presentando interacción prismática física del agua y fase solida de la roca, por su medio delimitado por discontinuidades; así mismo la Mina Descubridora se ubica en el flanco derecho

del anticlinal Algamarca con orientación Az/Bz = N310°/52°NE de los estratos, relacionándose con líneas de flujo del agua hacia NE por la secuencia estratigráfica presentando humedad constante la excavación subterránea, como se describe a continuación: Desde Pi + 00.00 m. a Pi + 60.30 m. presentando filtraciones en la clave y hastiales, acumulándose agua en la solera y cuneta, siendo un sector de inundaciones conformada litológicamente por dique de dacita y contacto de cuarcita, con excavación a favor del buzamiento del estrato. Así mismo las instalaciones han sido subdivididas en dos labores: Arco iris y Gallito. La labor Arco Iris presenta humedad en la clave y hastiales, no llegando a acumular agua representativa; en cambio la labor Gallito presenta humedad desde Pi + 00.00 m. a Pi + 201.00 m. no afectando la operatividad de las instalaciones, por consiguiente, presenta acuífero en el Pi + 210.00 m. en la clave con caudal 4 lt/s. inundando este sector final del tramo con dirección paralela al eje del túnel, así mismo se relaciona con una falla mineralizada de Cu y Ag de orientación Az/Bz = N315°/75°NE.



Figura 3.7. Acuífero en roca ígnea dacita generando concentraciones de agua subterránea en la solera sección subterránea.

La hidrogeología de acuerdo con la litología plasma tres tipos de comportamientos hidrológicos como: Acuífero fisurado sedimentario - Formación

Chimú, acuífero volcánico fisurado – dacita y acuífero metamórfico – cuarcita. Sin embargo, la inspección de campo muestra que el acuífero volcánico fisurado es acuífero confinado que almacena agua en su estructura, delimitando con la roca metamórfica como sello que impide que el agua migre al contacto con la Formación Chimú. Por consiguiente, el abastecimiento de agua de las areniscas proviene de la superficie por ser una roca porosa.

3.6 GEOLOGÍA REGIONAL

La geología regional presenta unidades rocosas Mesozoicas: Jurásico - Cretáceo al Cenozoicas: Paleógeno – Neógeno – Cuaternario, e intrusivos: Andesitas, dioritas y tonalitas; conformando el batolito de la costa y franja Occidental Andina del precámbrico, presentando rocas antiguas de la edad Permo-Triásica, aflorando al NE del cuadrángulo de San Marcos - río Marañón. Por consiguiente, durante la edad: Titoniana y Neocomiano – Aptiano, en la parte occidental de la cuenca se depositaron 3,000 m. de sedimento (Formación: Chicama a Farrat), en contraste con lo acontecido en la plataforma o Geoanticlinal del Marañón, depositándose 300 m. de materiales clásticos continentales - Grupo Goyllarisquizga. En consecuencia, desde: Albiano (Formación: Inca, Chúlec y Pariatambo) al Santoniano (Formación: Celendín y Chota), en la parte occidental recibió más de 2,000 m. de sedimentos calcáreos, mientras que la parte oriental posteriormente sumergida, la sedimentación fue de menor grosor.

Geoestructuralmente las fallas y plegamientos están relacionados con la geotectónica mediante cuatro etapas de deformación ciclo Andino: **Primer movimiento** (Epirogénico) o deformacional del Ciclo Andino, ocurrió en el Cretáceo Tardío, caracterizado por el levantamiento de grandes sectores de la cuenca, dando lugar a la acumulación clástica rojiza de la Formación Chota sobre la plataforma; **segundo movimiento** (Deformación Compresiva principal SW-NE) Deformatorio Andino, ocurrió durante el Cenozoico afectando a todas las formaciones de la cuenca, originando las principales provincias estructurales, plegándolas intensamente y ocasionando estructuras de corrimiento al nivel de las lutitas de la Formación Chicama, sobre el flanco occidental del Geosinclinal del Marañón,

relacionándose con fallas de alto ángulo; y produciéndose cabalgamientos e imbricaciones en el lado oriental. Originándose intensas etapas de erosión, seguida de intensa actividad magmática efusiva durante el Cenozoico: Inferior y Medio, representada por más de 2,000 m. de roca volcánica del Grupo Calipuy, originando también cuerpos intrusivos del batolito de la costa; **Tercer movimiento** (Compresivo menos importante SW-NE) ocurrió en Terciario Medio emplazándose cuerpos intrusivos del Batolito Andino. Sin embargo, en el Oligoceno y luego de un largo periodo de estabilización se formó la superficie de erosión (Superficie Puna), que dio como consecuencia una peneplanización, afectando el basamento y rocas intrusiva relacionado con fallamiento de bloques de alto ángulo y mineralización; y ocurrió el **Cuarto movimiento** deformatorio andino (Epirogénico) en forma cíclica, definiendo la elevación de la región andina, iniciando en el Mio-Plioceno hasta la actualidad, formando discordancia angular desde la Edad: 66 Ma. hasta la actualidad. Constituido por: Paleógeno, muestra conglomerados rojizos, clastos de cuarcitas en matriz arenosa intercalada con areniscas y lutitas rojizas (Formación Huaylas) y emisiones volcánicas - Grupo Calipuy constituido por brechas y aglomerados gris verdosos a marrón rojizo compactos, presentando lavas y tobas andesíticas, riolíticas y riodacíticas; Neógeno, conformado por lutitas, lodolitas y areniscas finas blanco amarillentas con contenidos fosilíferos: Ostracodos, gasterópodos y lamelibranquios (Formación Cajabamba) y Formación Condebamba con intercalaciones de areniscas gruesas, arcillas rojizas y conglomerados gruesos, redondeados con matriz arenosa; y Cuaternario, conformado por: Pleistoceno (Depósitos: Glaciares y Glaciar-fluvial) y Holoceno (Depósitos: Lacustrino, Aluvial y Fluvial).

3.7 SISMICIDAD

La sismicidad en las instalaciones subterráneas son constantes generadas por la actividad minera metálica: Perforación, voladura, winche y carritos mineros; para la extracción de mineral por parte del mismo propietario de la Mina Descubridora y colindantes próximos a las labores de las excavaciones; repercutiendo las vibraciones por: Perforación, voladura y esfuerzo tectónicos de la corteza terrestre, afectando las instalaciones subterráneas cambiando por sectores

la resistencia de la roca circundante sobre todo el estado: plástico y elastoplástico, en la estabilidad del afloramiento rocoso aumentando progresivamente la continuidad del fracturamiento de la roca por los impulsos de energía microsísmica de las ondas: Compresión y tracción; influenciando en la aceleración sísmica: Horizontal y vertical, a la roca.



Figura 3.8. Zonas sísmicas del Perú.
Fuente: Norma técnica E.30, 2019.

Aplicando la geofísica las vibraciones generadas están comparadas como magnitudes leves < 1.0 equivalente a energía TNT de 170 gr. - Richter y Mercalli de grado II – Leve; ubicadas en la Norma Técnica Peruana E.30 Diseño Sismorresistente aplicadas a cada estación geomecánica para obtener el comportamiento de la excavación subterránea frente a cambios tensiones y redistribución tensional de la secc0.35g, ión subterránea presentan do los siguientes parámetros: Factor de zona Z3 = Perfil de roca: S0 Roca Dura con ondas de corte > 1,500 m/s, factor de suelos S = 0.80, período de TP = 0.30 y TL = 3.00.

Cuadro 3.3. Aceleración sísmica horizontal y vertical en las estaciones geomecánicas.

Sísmica	Estación geomecánica				
	EG-01	EG-02	EG-03	EG-04	EG-05
Profundidad (m.)	512.4	499.7	512.12	512.97	523.08
Sh	0.131	0.125	0.148	0.176	0.184
Sv	0.35	0.27	0.346	0.412	0.431

3.8 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.8.1 TIPO, NIVEL DISEÑO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Cuantitativa: Se basó en la recolección y análisis de datos numéricos para explicar, describir y predecir fenómenos, que ocurren en el interior de mina subterránea, mediante cartografiados geomecánicos detallados exploratorios, para posteriormente definir que genera la inestabilidad en el tajeo de explotación de la Mina Descubridora. Así mismo los programas numéricos muestran el comportamiento del túnel frente a cambios tensodeformacionales al momento de su apertura del frente de explotación mediante el ingreso de variables dependiente e independientes, disgregadas como datos numéricos así mostrando la realizada del túnel.

Diseño No Experimental: Se utilizó esta metodología para ver cuál es el comportamiento geomecánico de la roca en su estado insitu, así relacionado con su calidad de roca frente a la estabilidad con las variables como: Estado tensional, carga gravitatoria, geoestructuras, litología y sismicidad; para así lograr información real y consistente al momento del procesamiento de información. Así mismo ver qué tipo de sostenimiento en las labores que están utilizando para mejorar la estabilidad y sugerir su avance de explotación

Deductivo - Inductivo: Se partiendo desde lo general a particular, basada en las areniscas de la Formación Chimú y plegamiento del Anticlinal Algamarca por el cartografiado regional, sin embargo, en el interior de la excavación subterránea se identificó: Dique dacítico, vetas mineralizadas, labores a favor y contra de la

excavación, y agua subterránea que afecta directamente la sección del túnel; siendo basadas estas consideraciones en la observación y planificación del tajeo, mediante: Hechos, reglas, patrones y tendencias; así mismo lo inductivo partió desde la obtención de información de cada variable: Dependiente e independiente, actualizando la base regional y local de la zona de investigación mediante información obtenida del cartografiado de campo, para posteriormente dar respuesta a los objetivos: Específicos y general. Sirviendo de vital importancia para investigaciones posteriores en el ámbito de la geomecánica, en las excavaciones subterráneas

3.8.2 Población

Mina Descubridora del Nivel IV

3.8.3 Muestra

Los puntos de la galería de la Mina Descubridora (PI. + 00 a PI. + 69.70) y las labores: Arco iris (PI. + 00 a PI. + 142.45) y Gallito (PI. + 00 a PI. + 213.65).

3.8.4 Unidad de Análisis

Las estaciones geomecánicas están evaluadas en función de las variables: Litología, geoestructuras, infiltración, campo tensional, sismicidad y tajeo; mostrando los parámetros de la roca, sostenimiento y estado tenso-deformacional de la sección del túnel, para mejorar las instalaciones subterráneas.

3.8.5 Etapas de Recolección de Información

Pre-Campo: Está conformada por las siguientes etapas de: Asesoramiento, búsqueda y compra de información constituida por: Libros, planos, tesis, ponencias, artículos científicos, revistas y seminarios; que darán el enriquecimiento científico y profesional para el desarrollo de la tesis. Así mismo por tener enfoque geológico-minero se apoya en información de entidades de bases graficas profesionales y

educacionales como: ROCSCIENCE, MINEM, SENAMHI, INGEMMET, GEOCATMIN y OSINERGMIN; siendo vinculados a programas numéricos: RocData, AutoCad, RS2, ArcGis, Global Mapper, SASPlanet, Google Earth Pro y Google Maps; utilizándose progresivamente en el desarrollo de la tesis siendo cada uno de ellos el complemento del anterior.

Campo: Está fundamentado en cinco salidas de campo constituidas por 2 brigadas de cuatro personas; siendo cada brigada implementada con la utilización de: EPP, equipos, registros y libretas de campo geológico-minero, siendo cada uno de ellos calibrados y verificados de acuerdo con la toma de datos. La toma de información está basada en datos: Cualitativos y cuantitativos, siendo apuntados por cada brigada dando así a conocer la ocurrencia en las instalaciones subterráneas.

Post-Campo: Lo conforman la transcripción de información de registro o libretas de campo, a base excel o Word, para ser procesada siguiendo parámetros de cada capítulo de la tesis. Así mismo se definió el modelo numérico de cada estación geomecánica utilizando los criterios empíricos y notaciones mineras, para ver la interfaz de medio tensodeformacional de la sección subterránea con la variable: Independiente y dependiente, plasmando cada uno de los planos información relevante de procesamiento minero.

Informe Final: Estuvo conformado por varias etapas progresivas de avance, siendo cada capítulo el fundamento del anterior, dándose a conocer en el ámbito de la minera subterránea en que litología está emplazada, orientación de labores subterráneas, geoestructuras y cambios en las secciones subterráneas, siendo verificados y plasmados adecuadamente, mediante: Planos, cuadros y figuras, mostrando la calidad y veracidad de información; sirviendo como antecedente para proyectos geomecánicos en minería subterránea y guía para mejoramiento en estudios académicos ingenieriles, ya sea para mineros y geólogos.

3.8.6 EPP, Equipos, Materiales y Soporte Técnico

Este acápite está conformado por instrumentación fundamental e importante, que será utilizada en cada etapa de la obtención de información de campo, constituido por secuencias de monitoreo consecutivo, para así llegar a cubrir todas las expectativas de la tesis de investigación geomecánica. Describiéndose a continuación cada componente utilizado:

EPP: La empresa minera subterránea exige la utilización de equipo de protección personal de manera obligatoria cumpliendo todos los estándares de seguridad en sus instalaciones subterránea como: Casco, chaleco, pantalón, botas, zapatos de seguridad, guantes, respirador, corta vientos y orejeras.

Equipos: Basado en obtener información del entorno de investigación minero mediante: GPS Garmin , cámara fotográfica, linterna, brújula azimutal, protactor, rayador, wincha, lupa, flexómetro y picota.

Materiales: Utilizado para: Transcribir, dibujar y colorear, manifestado en planos, libretas y registro geológico-geomecánico; conformado por lo siguiente: Colores, plumones, lápices, borrador, corrector, tajador, regla, lapiceros, ácido clorhídrico, marcador indeleble y portapapeles.

Soporte Técnico: Fue utilizado desde la primera etapa hasta la culminación de tesis constituidos por modelos numéricos como: Word, Excel, NitroPro, Adobe AcrobatDC, SASPlanet, Google Earth Pro, Google Maps, Global Mapper, ArcGis, AutoCAD, RocData y Phase².

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1.1 Cartografiado Geológico

Las operaciones mineras de la Mina Descubridora, está emplazada en el flanco derecho del anticlinal Algamarca con orientación Az/Bz = N310°/52°NE constituidas por roca sedimentaria del Grupo Goyllarisquizga - Formación Chimú conformado por estratos de arenisca de grano medio de color blanquecino de espesor: 0.30 m. a 0.40 m. con persistencia 5.00 m. a 12.00 m.; cortado el dique diorita de amplitud de 20 m. a 25 m. de color gris oscuro compuesto por minerales máficos compuesto por: Plagioclasas, cuarzo y hornblendas; emplazándose un dique de dacita de 10 m. a 15 m. de diámetro de color gris blanquecino compuesta por minerales: Plagioclasas, cuarzo, biotita y hornblenda, de textura porfirítica constituyendo rocas fanerítica por su tamaño de minerales en su secuencia pseudoestratificación 0.25 m. a 0.45 m. constituida por roca competente de calidad: Buena a media, con apertura desde cerradas a 2 mm., generando este cuerpo intrusivo por su alta temperatura metamorfismo de contacto formando una aureola de cuarcitas de color blanco de fractura concoidea de textura granoblástica de estructura masiva de alta resistencia constituyendo un grosor 18.30 m. entre el contacto del dique dacítico y arenisca. EL cartografiado geológico – geomecánico muestra que el cuerpo dacítico se originó en el Cenozoico - Paleógeno, siendo la estructura principal para la mineralización en este sector del anticlinal Algamarca constituido por minerales polimetálicos de: Au-Ag-Cu de origen epitermal de baja temperatura, con controles estructurales mineralizados en las fallas geológicas de orientación SW- NE.



Figura 4.1. A. Galería de ingreso principal de la Mina Descubridora, delimitándose dos cuerpos volcánicos., B. El cuerpo ígneo dacita de color gris oscuro de textura vítrea con alto contenido de plagioclasas desde PI. + 00.00 m. a PI. + 25.00 m.; y C. Roca diorita de color gris claro de textura porfírica con contenido: plagioclasas, cuarzo, biotita y hornblenda desde Pi. + 45.00 m. a Pi. + 65.00 m.



Figura 4.2. A. Las galerías: Arco Iris y Gallito, están constituidas por roca sedimentaria arenisca de orientación estratigráfica $Az/Bz = N310^{\circ}/52^{\circ}NE$. con grosor: 0.30 m. a 0.50 m. B. Muestra de roca arenisca de grano medio de color blanquecino, conformando la sección transversal de la excavación subterránea.

La galería principal tiene dirección de avance contra el buzamiento afectando la pseudoestratificación cortando al cuerpo dacítico desde: $Pi + 00.00$ m. a $Pi + 30.30$ m., posteriormente a la roca metamórfica de cuarcitas desde: $Pi + 30.30$ m. a $Pi + 48.60$ m.; siguiendo el avance longitudinal de las labores: **Arco iris** Desde: $PiGI + 00.00$ m. a $PiGI + 89.10$ m. excavación a favor de buzamiento y Desde: $PiCI + 00.00$ m. a $PiCI + 48.30$ m. excavación paralela al eje del túnel y **Gallito** Desde: $PiG + 00.00$ m. a $PiG + 201.00$ m. excavación paralela al eje del túnel y Desde: $PiC + 00.00$ m. a $PiC + 69.90$ m. a favor de buzamiento, constituido por rocas areniscas.

4.1.2 Caracterización Geomecánica

La geoestructura principal es el anticlinal Algamarca, ubicándose el eje en la cima del cerro Algamarca, originándose por esfuerzos compresivos de orientación: NE-SW, originando la liberación de energía de dos fallas de rumbo sinestrales paralelas ubicándose a distancia de 3,100 m. cortando transversalmente al anticlinal desplazando 275 m. el eje del anticlinal Algamarca.

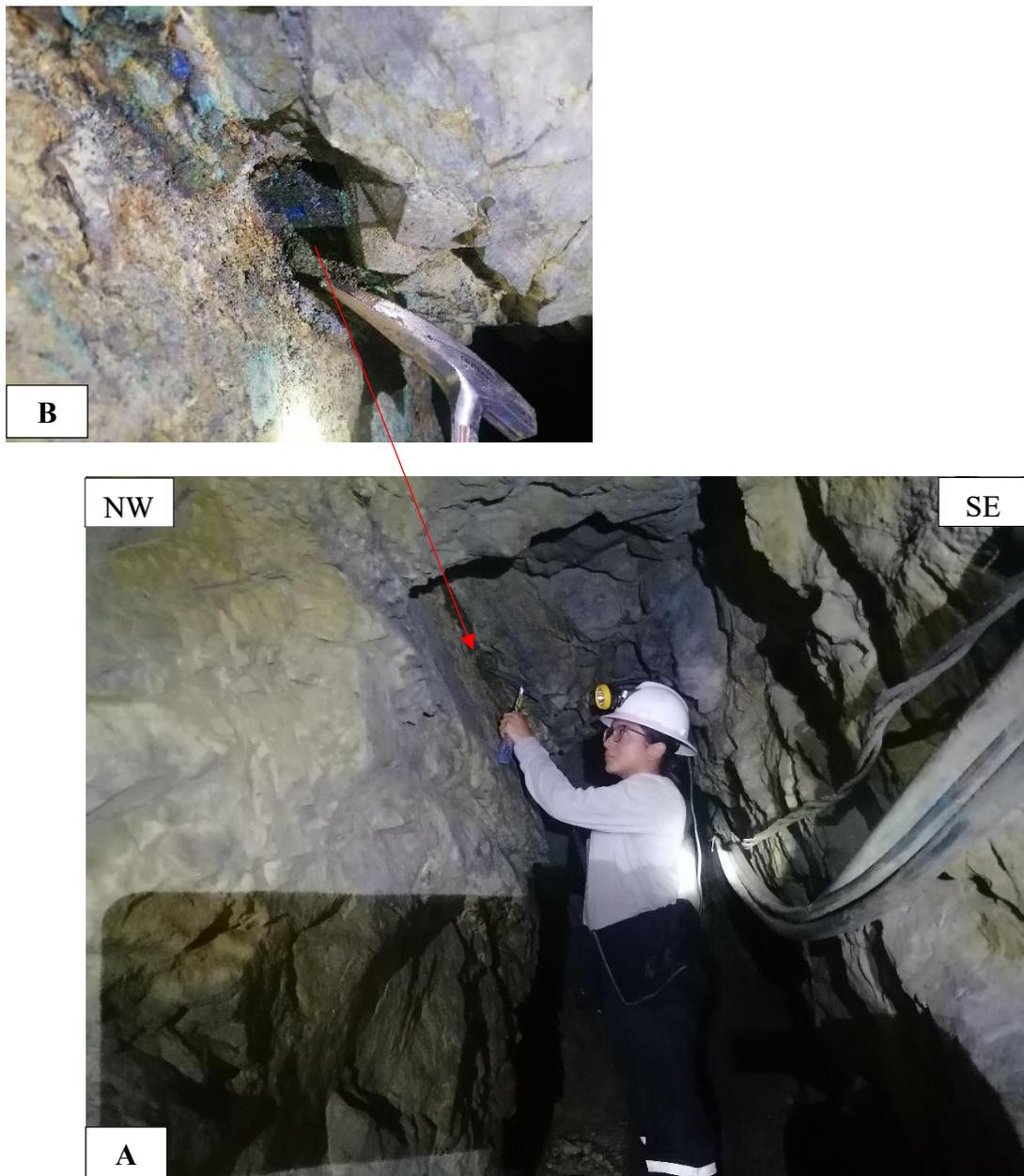


Figura 4.3. A. Tajeo exploratorio con orientación $Az = N64^\circ$, paralelo a la veta compuesta de: Cu, Ag y Au con orientación $Az/Bz = N45^\circ/76SE$. B. Veta de Cu, emplazado en el techo de la labor de espesor 0.10 m. a 0.15 m.

El anticlinal de Algamarca es asimétrico con orientación del flanco: Derecho ($Az/Bz = N310^{\circ}/52^{\circ}NE$) e izquierdo ($Az/Bz = N137^{\circ}/56^{\circ}SW$). Las instalaciones se ubican en el flanco derecho del anticlinal con orientación $Az/Bz = N310^{\circ}/52^{\circ}NE$. La zona de estudio presenta vetas compuestas: Ag, Au y Cu; importantes ubicada en la labor Gallito, la primera se ubica perpendicular en el $Pi_G + 201.00$ m. de la galería principal con orientación $Az/Bz = N77^{\circ}/80^{\circ}SE$, así mismo cortando transversalmente a esta veta con orientación $Az/Bz = N310^{\circ}/75^{\circ}NE$ en el $Pi_{GC} + 31.10$ m. Así mismo en la galería principal presenta tres fallas ubicadas en las siguientes progresivas: El $Pi_G + 109.50$ m. del hastial izquierdo una falla Nx con orientación $Az/Bz = N80^{\circ}/68^{\circ}SE$ siendo un ancho de falla 1.10 m. compuesto por milonita de color plomizo gris; El $Pi_G + 128.10$ m. del hastial izquierdo una falla lx con orientación $Az/Bz = N65^{\circ}/67^{\circ}SE$ con salto de falla 0.15 m.; y El $Pi_G + 149.50$ m. del hastial derecho una falla Nx con orientación $Az/Bz = N65^{\circ}/87^{\circ}SE$ con ancho de falla 1.20 m. compuesto de milonita y brecha de fragmentos angulosos. Por consiguiente, la labor Arco iris ubica una falla en el $Pi_{GI} + 73.80$ m. del hastial derecho una falla Nx con orientación $Az/Bz = N318^{\circ}/54^{\circ}NE$



Figura 4.4. Discontinuidades delimitan el desprendimiento de cuñas del macizo rocoso.

Las geoestructuras están relacionadas con el grado de fracturamiento de la

roca definiendo el desprendimiento de rocas de: Hastiales y clave, de formas geométricas como: Triedro, tetraedro, prisma truncado y prisma doblemente truncado; relacionadas por la intersección de juntas o discontinuidades, presentando diferente orientación (D/DD): 46°/32°, 35°/250°, 80°/156°. Presentando sectores: Fuertemente fracturado en bloques y fracturado en bloques, relacionadas con las condiciones de las discontinuidades y tensiones gravitatorias del afloramiento rocoso por columna de roca. La caracterización geomecánica está fundamentada en los cartografiados al largo de los tajeos del área de investigación, obteniendo así información importante aplicando los criterios empíricos par el macizo rocoso, mediante valores cuantitativos y cualitativos, de la calidad de roca y sostenimiento de acuerdo con la funcionalidad de las labores subterráneas. Así mismo los programas numéricos reportan la interacción de la sección del túnel con el entorno tensodeformacional en el medio: Plástico, elastoplástico y elástico, en función de las plastificaciones por esfuerzo: Tensional y cortante; y desplazamientos.

Cuadro 4.1. Caracterización Geomecánica de la Mina Descubridora.

Clasificación empírica	Estación geomecánica						
	EG-01	EG-02	EG-03	EG-04	EG-05	VETA	
σ_{ci} (MPa)	139	78	68	75	85	210	
RQD (%)	Cuantitativo	81.80	64.82	58.87	61.98	78.16	80.57
	Calidad	Buena	Regular	Regular	Regular	Buena	Buena
RMR	Cuantitativo	75.64	53.72	46.20	58.42	69.38	78.16
	Categoría	II-A	II-A	III-B	III-A	II-B	II-A
GSI	Cualitativo	Buena	Media	Media	Media	Buena	Buena
	Cuantitativo	70.09	48.18	41.43	53.67	64.49	73.72
Q	Cualitativo	Buena	Regular	Regular	Regular	Buena	Buena
	Cuantitativo	15	6	7	5	12	31
RMi	Cualitativo	Buena	Media	Media	Media	Buena	Buena
	Cuantitativo	29.78	0.96	0.925	1.01	17.90	9
	Cualitativo	Muy alto	Moderado	Moderado	Alto	Muy alto	Alto

4.1.3 Constantes Elásticas de la Roca

Las constantes elásticas están influenciadas por los parámetros de las discontinuidades cambiando valores de estimación: Hoek-Brown y Morh-Coulomb.

- **EG-01**

Definida desde: Pl. + 20.70 m. a Pl. + 30.70 m. constituido por roca dacita de color gris oscuro, con humedad la sección del túnel delimitada por el cartografiado geomecánico por cuatro familias con: $\sigma_{ci} = 139$ MPa, $ND = 24$, $L = 3.10$ y $\lambda = 7.74$; $RQD = 81.80\%$, $RMR = 75$, $GSI = 70$ y $Q = 15$; y parámetros elásticos de la roca de: $\sigma_{3max} = 7.90$ MPa, $m = 0.62$, $\sigma_1 = 15.88$ MPa, $\sigma_3 = 9.85$ MPa, con sección en forma de baúl con profundidad de columna de roca 512.40 m.

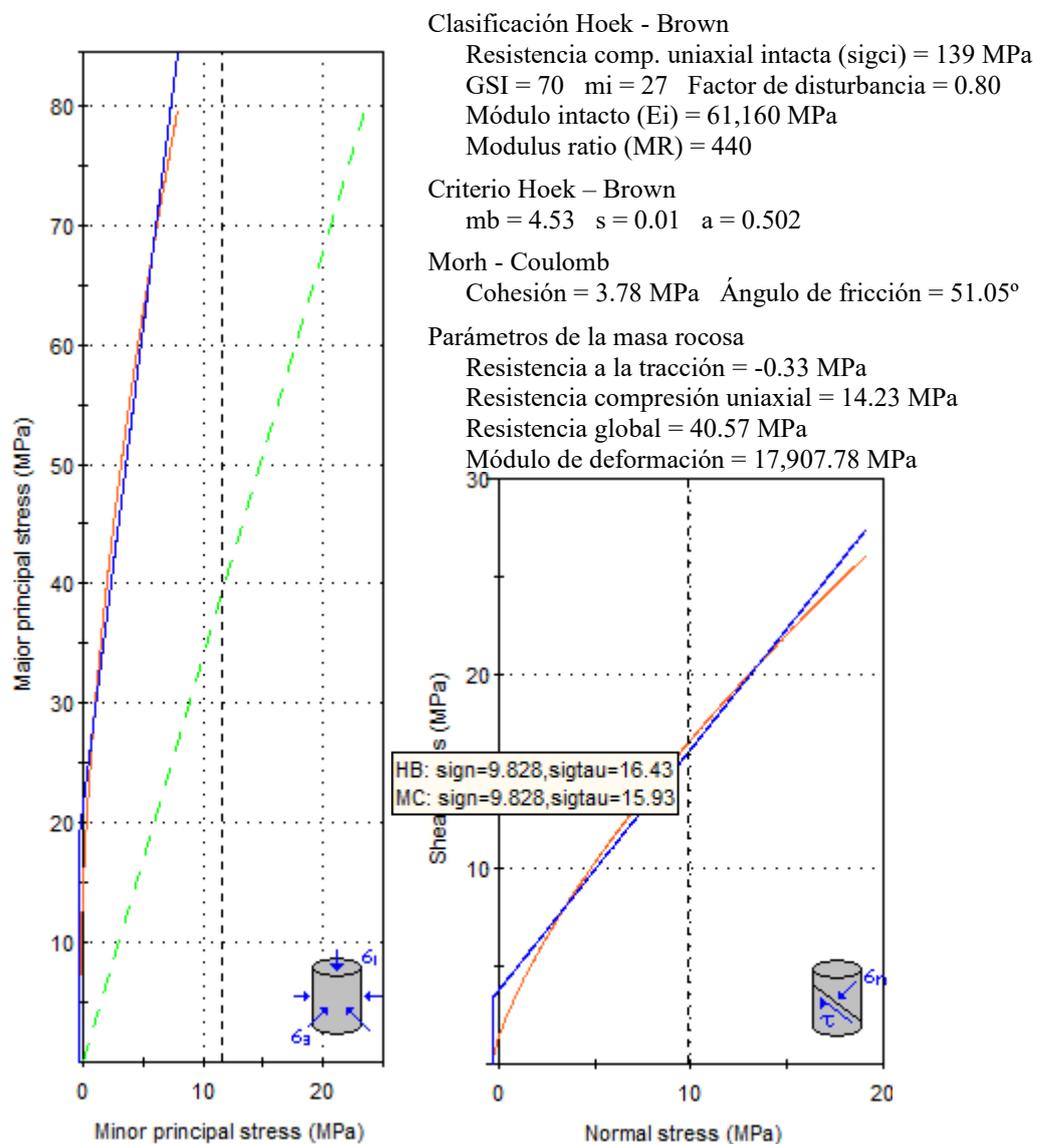


Figura 4.5. Estimación empírica de las constantes elásticas, mediante esfuerzo principal: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C); método equivalencia de áreas, EG-01.

- **EG-02**

El cartografiado geomecánico se ubica en la galería Arco Iris desde la progresiva: PI. + 27.50 m. a PI. + 37.50 m. constituido por roca sedimentaria arenisca de grano medio de color blanquecino, con humedad la sección del túnel constituido por tres discontinuidades con: $\sigma_{ci} = 78$ MPa, $ND = 31$, $L = 2.50$ y $\lambda = 12.40$; $RQD = 64.82\%$, $RMR = 53$, $GSI = 48$ y $Q = 6$; y parámetros elásticos de la roca de: $\sigma_{3max} = 6.09$ MPa, $m = 0.31$, $\sigma_1 = 12.99$ MPa, $\sigma_3 = 4.03$ MPa, con sección en forma de herradura con profundidad de columna de roca 499.70 m.

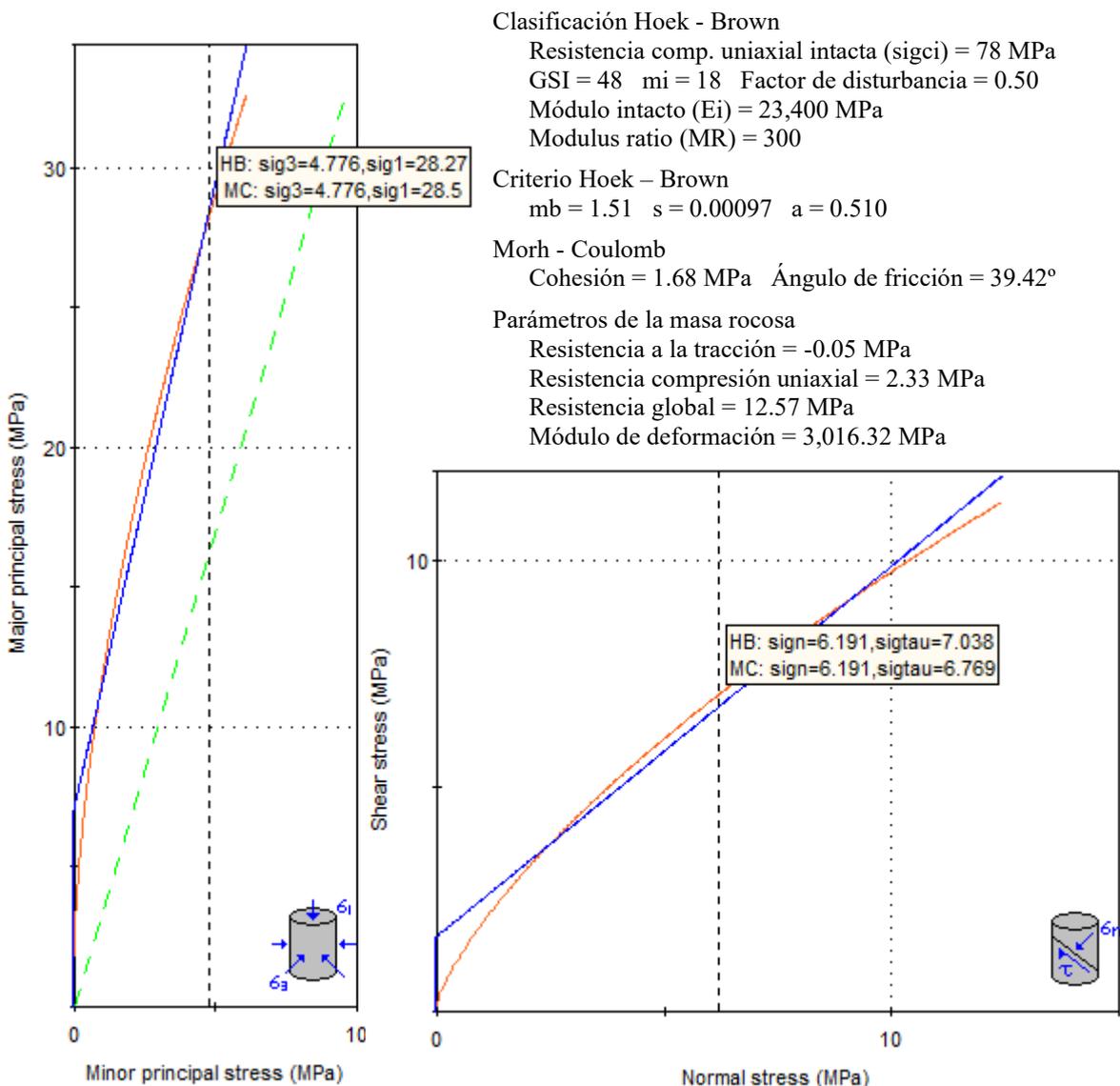


Figura 4.6. Estimación empírica de las constantes elásticas, mediante esfuerzo principal: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C); método equivalencia de áreas, EG-02.

- **EG-03**

Ubicada en la labor gallito desde la progresiva: PI. + 54.45 m. a PI. + 64.45 m. con orientación de galería N335°, definida por tres juntas obteniendo parámetros de la roca como: $\sigma_{ci} = 68$ MPa, ND = 31, L = 2.20 y $\lambda = 14.03$; RQD = 58.87%, RMR = 46, GSI = 41 y Q = 7; y constantes elásticas de la roca: $\sigma_{3max} = 6.20$ MPa, m = 0.31, $\sigma_1 = 13.32$ MPa, $\sigma_3 = 4.13$ MPa y sección de forma baúl a profundidad 512.12 m. Originándose desprendimiento de rocas en forma: Tetraedrita, prismática y truncada, siendo delimitada por la intersección de juntas.

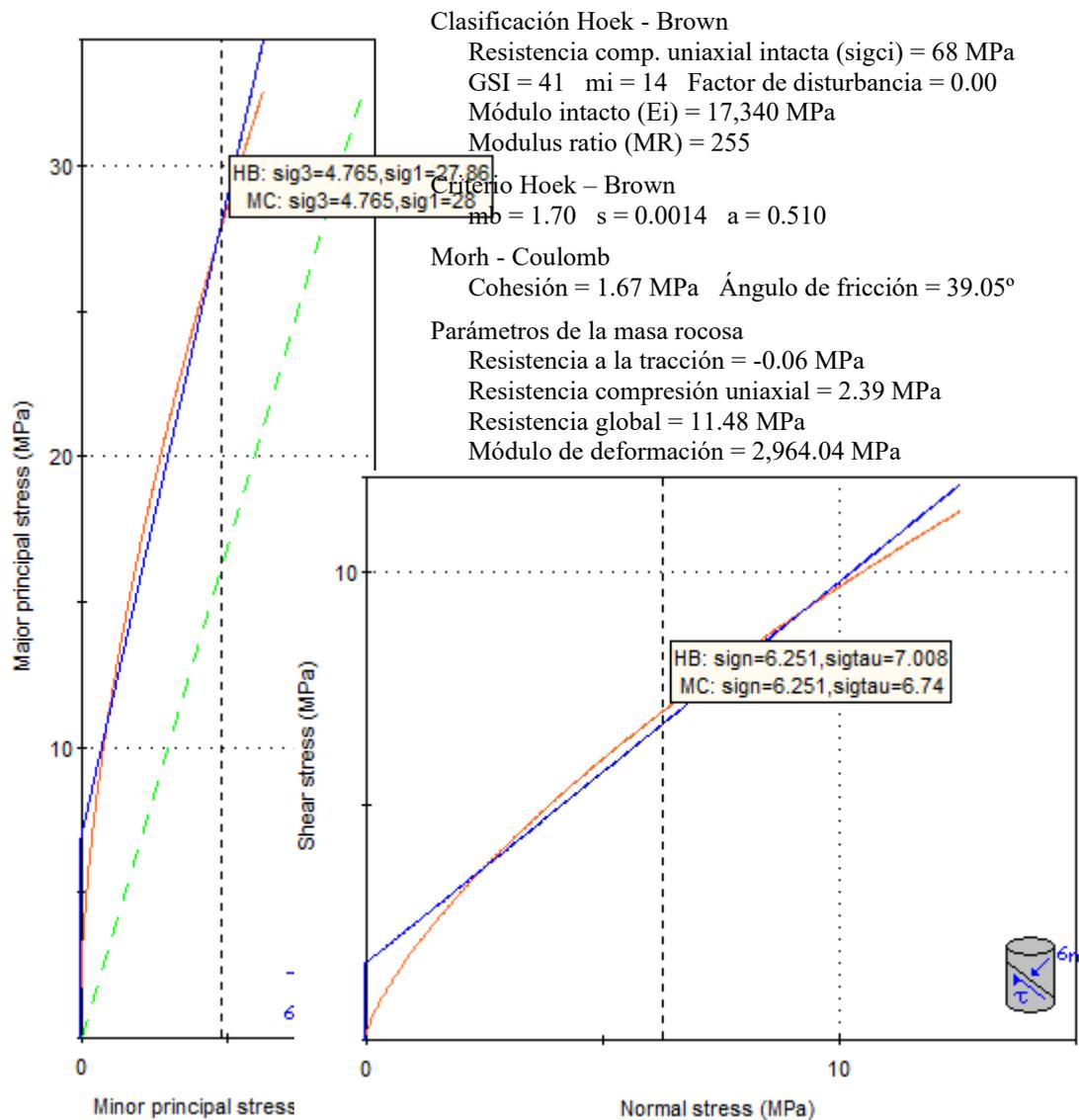


Figura 4.7. Estimación empírica de las constantes elásticas, mediante esfuerzo principal: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C); método equivalencia de áreas, EG-04.

- **EG-04**

Ubicada en el tajeo: PI. + 18.10 m. a PI. 28.05 m., compuesta la roca caja de arenisca de abertura: nada a 1 mm. y superficies onduladas a lisas; definidos por tres juntas con: $\sigma_{ci} = 75$ MPa, RQD = 61.98%, RMR = 58, GSI = 53 y Q = 5; y constantes elásticas $\sigma_{3max} = 6.41$ MPa, $m = 0.45$, $\sigma_1 = 12.66$ MPa, $\sigma_3 = 5.70$ MPa.

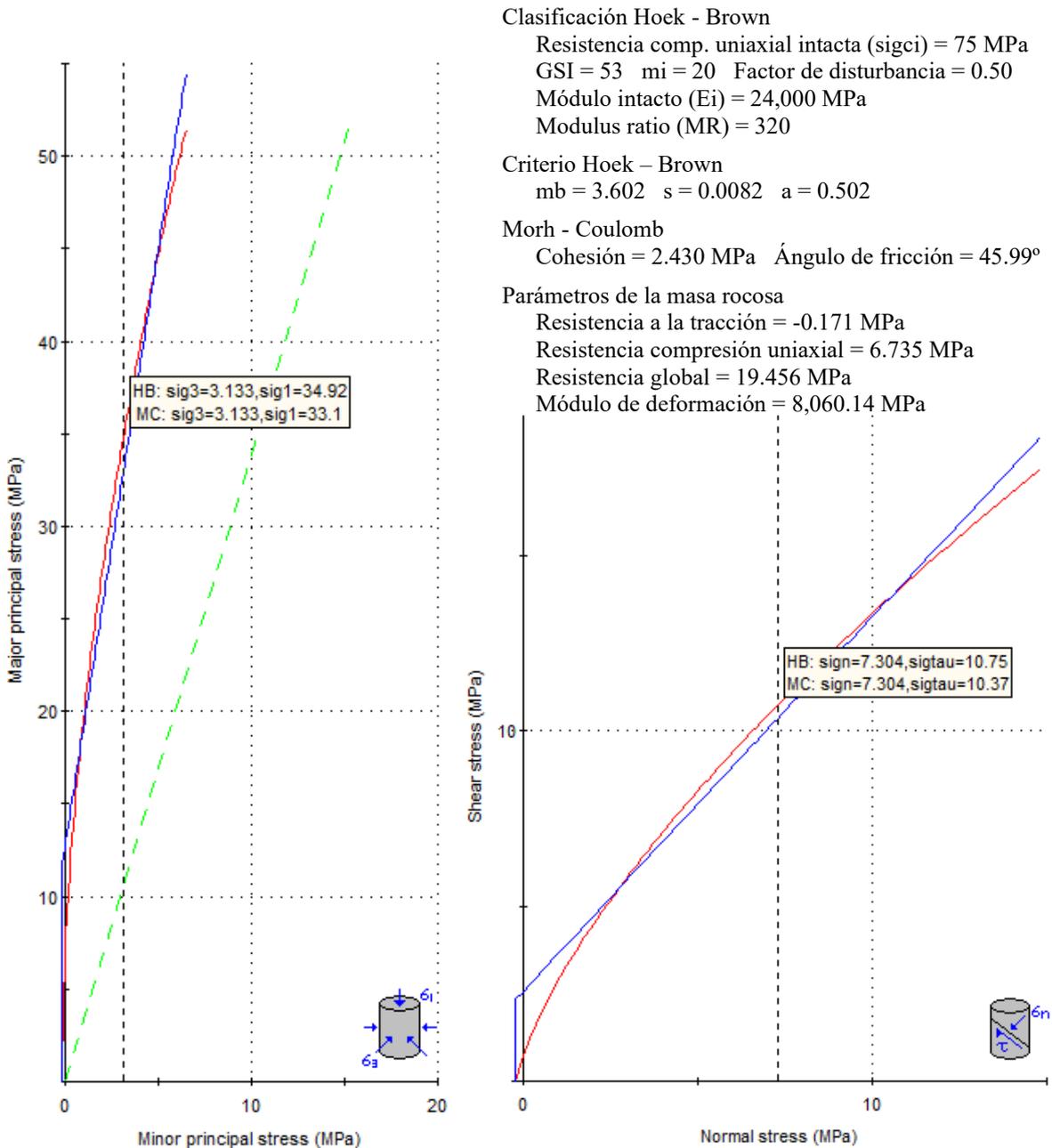


Figura 4.8. Estimación empírica de las constantes elásticas, mediante esfuerzo principal: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C); método equivalencia de áreas, EG-05.

- **EG-05**

Se ubica en el tajeo en la progresiva: PI. + 50.26 m. a PI. + 70.26 m., emplazado en areniscas de calidad regular y parámetros como: Espaciado 0.15 m. a 0.37 m., persistencia 0.30 m. a 1.00m., abertura cerrada a 1 mm., rugosidad ondulada a suave y humedad constante; y con: $\sigma_{ci} = 85$ MPa; RQD = 61.98%, RMR = 58, GSI = 53 y $Q = 5$; y constantes elásticas: $\sigma_{3max} = 6.57$ MPa, $m = 0.47$, $\sigma_1 = 13.60$ MPa, $\sigma_3 = 6.57$ MPa y sección de forma baúl a profundidad 523.08 m.

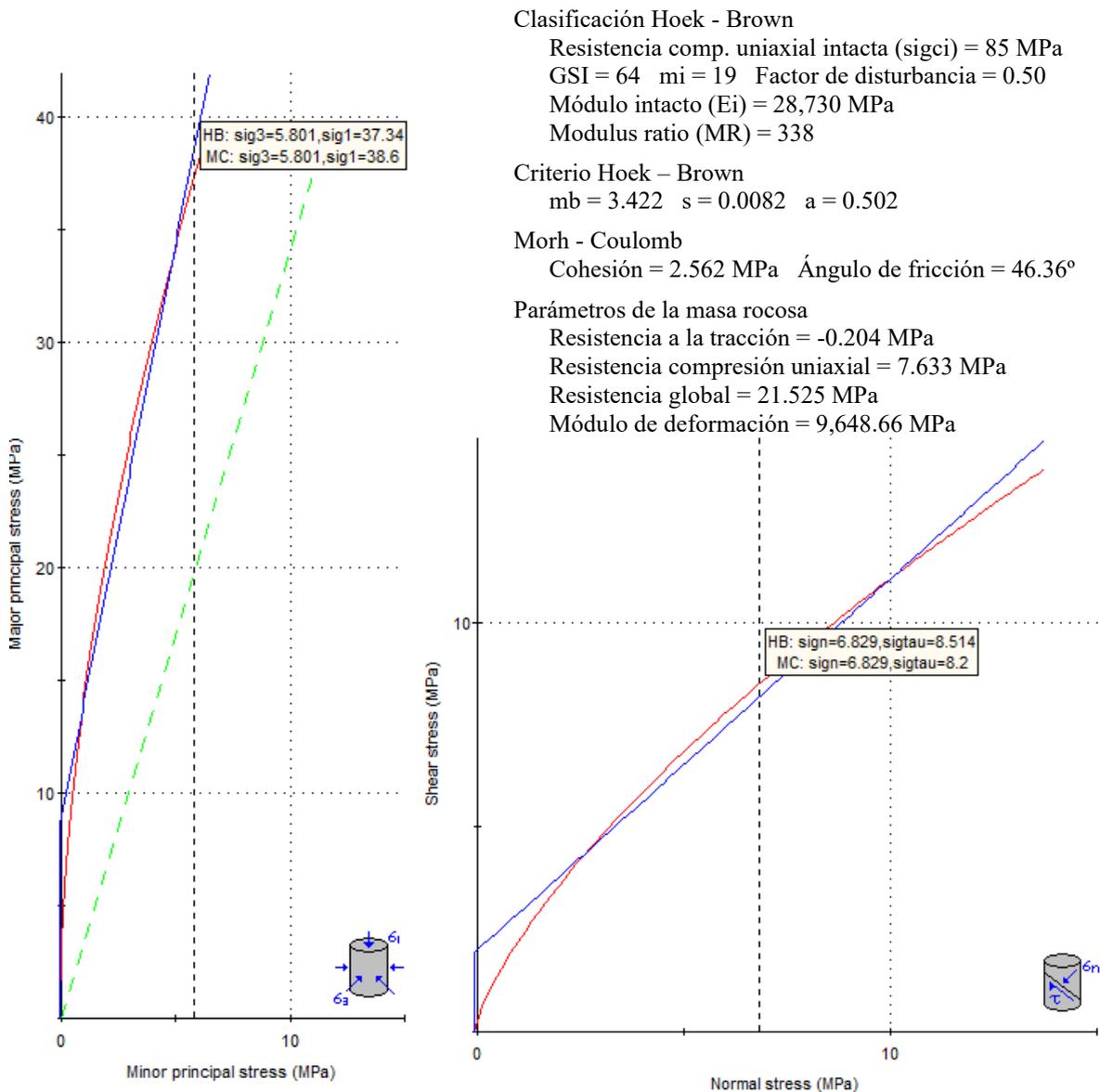


Figura 4.9. Estimación empírica de las constantes elásticas, mediante esfuerzo principal: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C); método equivalencia de áreas, EG-05.

- **EG-Veta**

Está ubicada de extracción de mineral sulfurado, con orientación Az/Bz: N75°/80°SE, conformado por galena argentífera de alta ley y covelina.

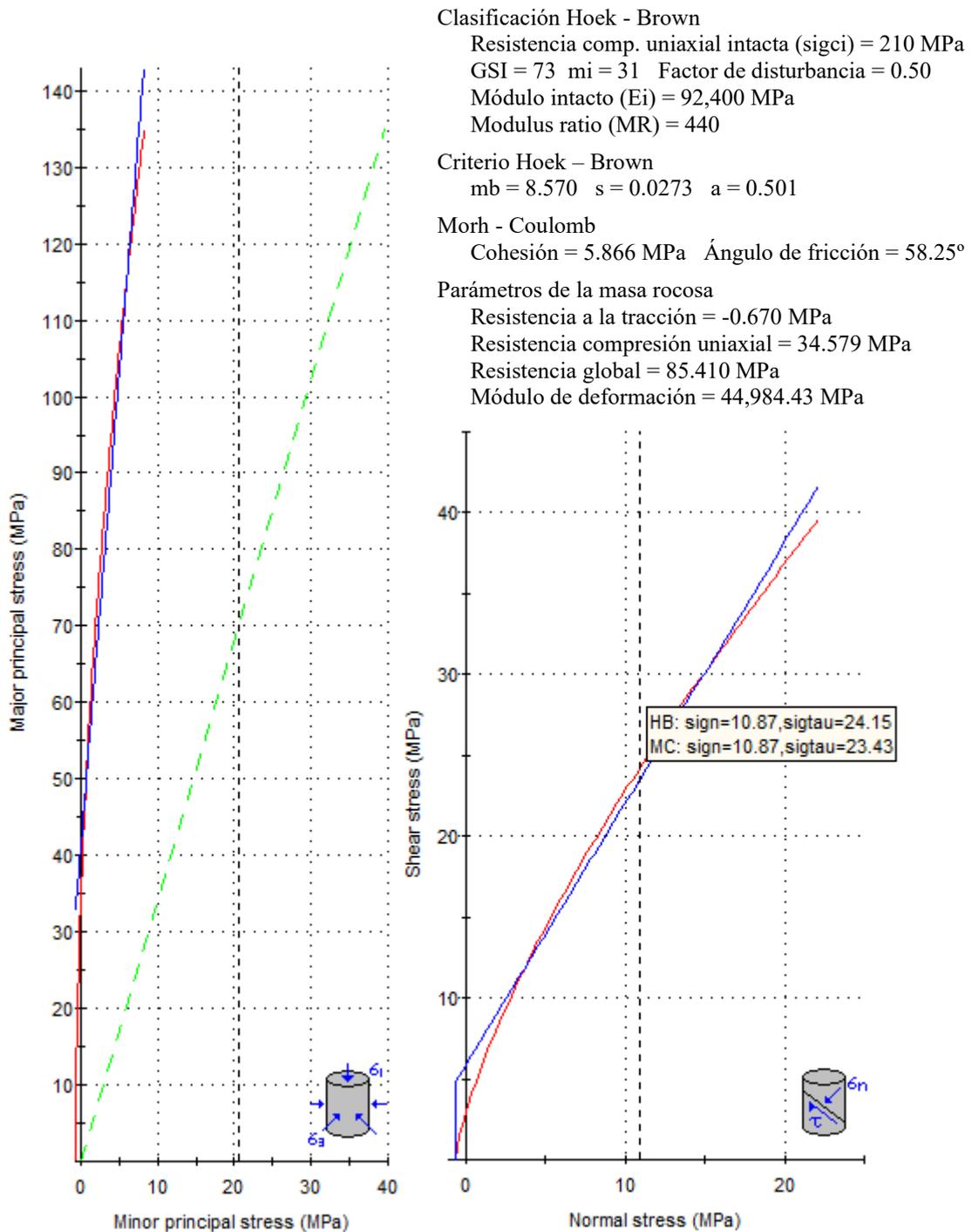


Figura 4.10. Estimación empírica de las constantes elásticas, mediante esfuerzo principal: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C); método equivalencia de áreas, EG-Veta.

Cuadro 4.2. Constantes elásticas del macizo rocoso de los tajeos de la Mina Descubridora.

Criterios empíricos	EG-01	EG-02	EG-03	EG-04	EG-05	VETA
	σ_{ci} (MPa)	139	78	68	75	85
Constantes elásticas						
mi	27	18	14	20	19	31
D	0.50	0.50	0.00	0.50	0.50	0.50
MR	440	300	255	320	338	440
Ei (MPa)	61,160	23,400	17,340	24,000	28,730	92,400
mb	4.53	1.51	1.70	3.602	3.422	8.570
s	0.01	0.00097	0.0014	0.0082	0.0082	0.0273
a	0.502	0.51	0.51	0.502	0.502	0.501
C (MPa)	3.78	1.68	1.67	2.430	2.562	5.866
φ°	51.05	39.42	39.05	45.99	46.32	58.25
σ_t (Mpa)	-0.33	-0.05	-0.06	-0.71	-0.204	58.25
σ_c (MPa)	14.23	2.33	2.39	6.735	7.633	-0.670
σ_{ct} (MPa)	40.57	12.57	11.48	19.456	21.525	34.579
Em (MPa)	17,907.78	3,016.32	2,964.04	8,060.14	9,648.66	44,984.43

4.1.4 Secciones de Corte Subterráneo

Los cálculos en cada estación geomecánica cambian los esfuerzos tensionales alrededor de la sección de tajeo y columna de roca vertical, que afecta constate interactuando de forma horizontal y vertical; interactuando con el módulo de deformación tensional, para obtener el coeficiente de reparto tensional.

Cuadro 4.3. Esfuerzos tensionales alrededor de la excavación subterránea - Mina Descubridora.

Campo tensional	Estación Geomecánica				
	EG-01	EG-02	EG-03	EG-04	EG-05
H(m.)	512.40	499.70	512.12	512.97	823.08
Qcarga (MPa)	15.50	12.66	13.00	13.31	13.35
Eh(GPa)	17.91	3.02	2.96	8.06	9.65
σ_1 (MPa)	15.88	12.99	13.32	13.34	13.60
σ_3 (MPa)	9.85	4.03	4.13	6.41	6.57
k	0.62	0.31	0.31	0.48	0.47
α	90°	90°	90°	90°	90°
Forma sección	Baúl	Herradura	Baúl	Baúl	Baúl

4.1.5 Sostenimiento Subterráneo

La geomecánica reporta rocas de calidad: Regular a buena, ubicándose en el sector 1 de la caracterización de la Figura 2.26, siendo necesario la utilización de sostenimiento pasivo constituido por: Anclajes y cuadros de madera. Se sugiere la instalación de anclajes de fierro corrugado de 3/4'' de diámetro y longitud 7 pies distribuidos en sistema sistemático tresbolillo con lechada o cartuchos de concreto; mejorando así la estabilidad del tajeo de las excavaciones subterráneas para mejor funcionalidad del sostenimiento y estabilidad de la roca.

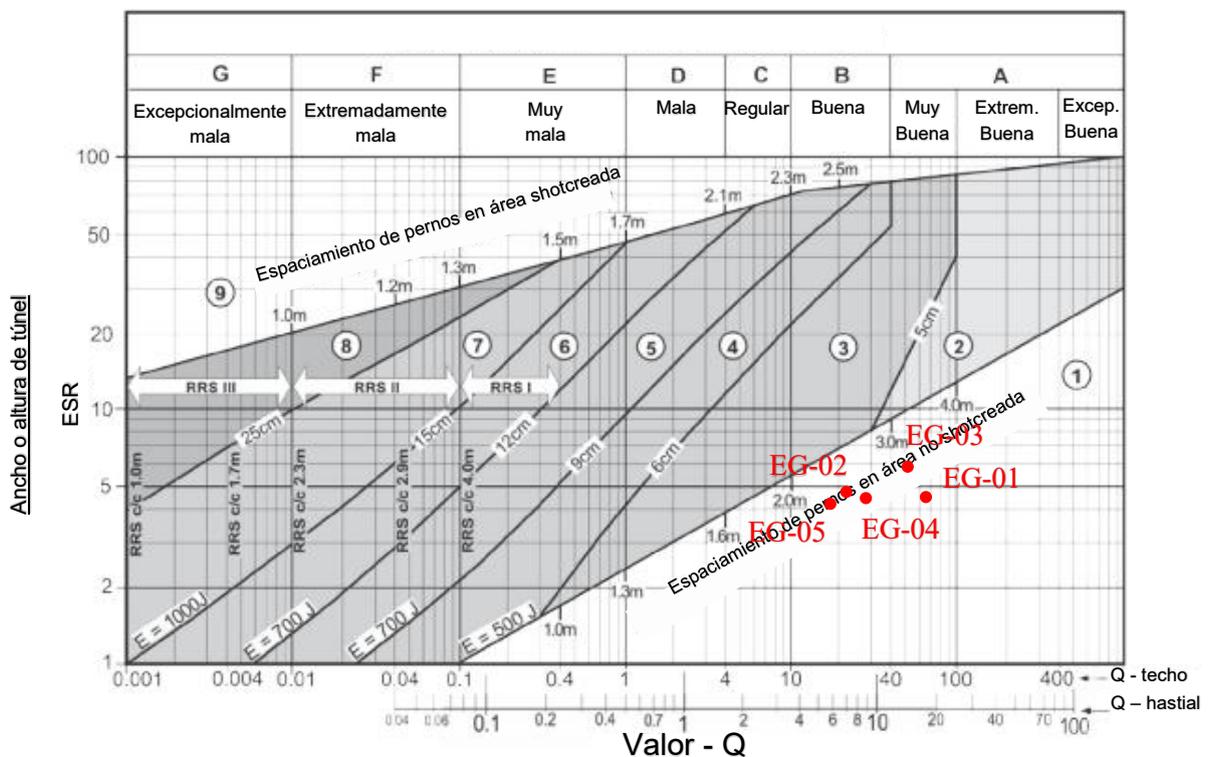


Figura 4.11. Ubicación de la cuantificación de macizo rocoso mediante el sostenimiento del sistema Q.

Cuadro 4.4. Tiempo de estabilidad de la excavación subterránea de la Mina Descubridora.

Estación geomecánica	Tiempo de estabilidad
EG-01	2 años + 9 meses + 5 días + 0.08 horas
EG-02	1 mes + 2 semanas + 1 día + 22.56 horas
EG-03	9 meses + 18 días + 23.28 horas
EG-04	9 días + 21.84 horas
EG-05	1 meses + 24 días + 13.20 horas



Figura 4.12. Sostenimiento por cuadros trapezoidales desde PI. + 196.20 m. a PI + 198.70 m. constituidos por maderos de eucalipto.

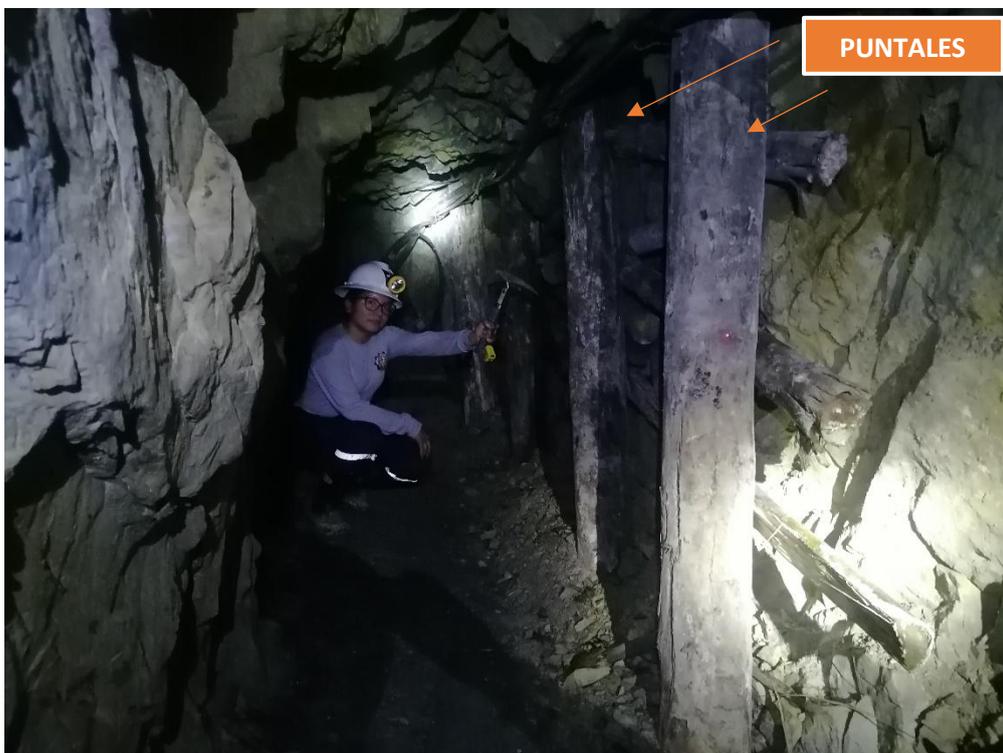


Figura 4.13. Sostenimiento por puntales de sección circular de diámetro 0.15 m. desde PIGX1. + 16.60 m. a PIGX1. + 22.60 m., ubicados en el hastial derecho del tajeo.

Así mismo se utilizó maderos de sección circular 0.15 m. de diámetro de eucalipto habilitándose en los sectores desde PI. + 196.20 m. a PI + 198.70 m. siendo cuadros trapezoidales conformado por postes de altura 1.80 m., sombrero 2.20 m., tirantes 0.50 m. y emparrillado entre contacto de maderos y clave de macizo rocoso para funcionalidad de maderos; así mismo se utilizó puntales de longitud 1.20 m. verticales e inclinados ubicándose perpendicular a las cajas de la roca, con espaciado 1.00 m. entre cada puntal, para mejor acoplamiento se colocó plantillas o Jack-pot excavadas en la roca para su empotramiento en el crucero de la galería Gallito desde PIGX1. + 16.60 m. a PIGX1. + 22.60 m. y también crucero de la galería Gallito desde PIGX2. + 00.00 m. a PIGX1. + 15.20 m.

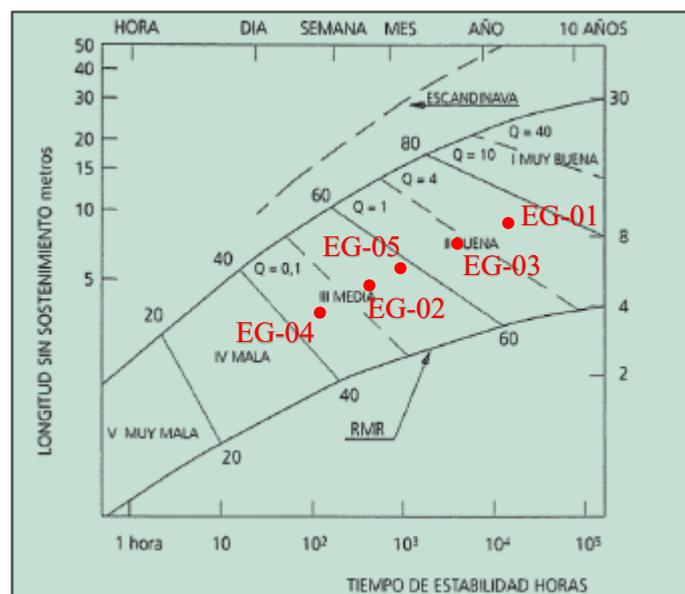


Figura 4.14. Tiempo de estabilidad, en la excavación subterránea.

4.1.6 Estado Tensional – Software Phase

- **EG-01:** El comportamiento del estado tensional es muy variante alrededor de la sección subterránea sobre todo en la afectación del medio plástico, ocasionando cambios importantes alrededor del túnel proyectando interacciones de las plastificaciones alrededor del túnel mediante el esfuerzo: Corte y tensional, proyectándose desde: 0.10 m. a 0.55 m., constituyendo aureolas de deformación constantemente.

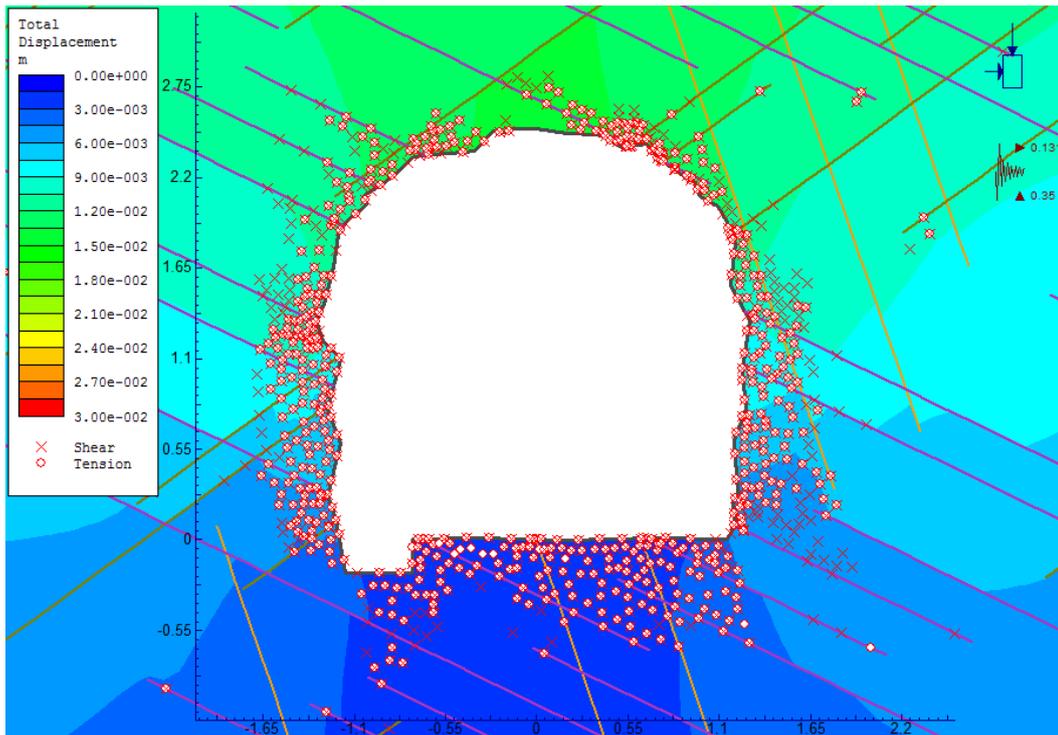


Figura 4.15. Deformación y asentamiento en la sección de la galería, con desplazamiento máximo 0.21 m. en la clave y empuje activo y desplazamiento en hastiales 0.033. originado por presión constante en la columna de roca EG-01.

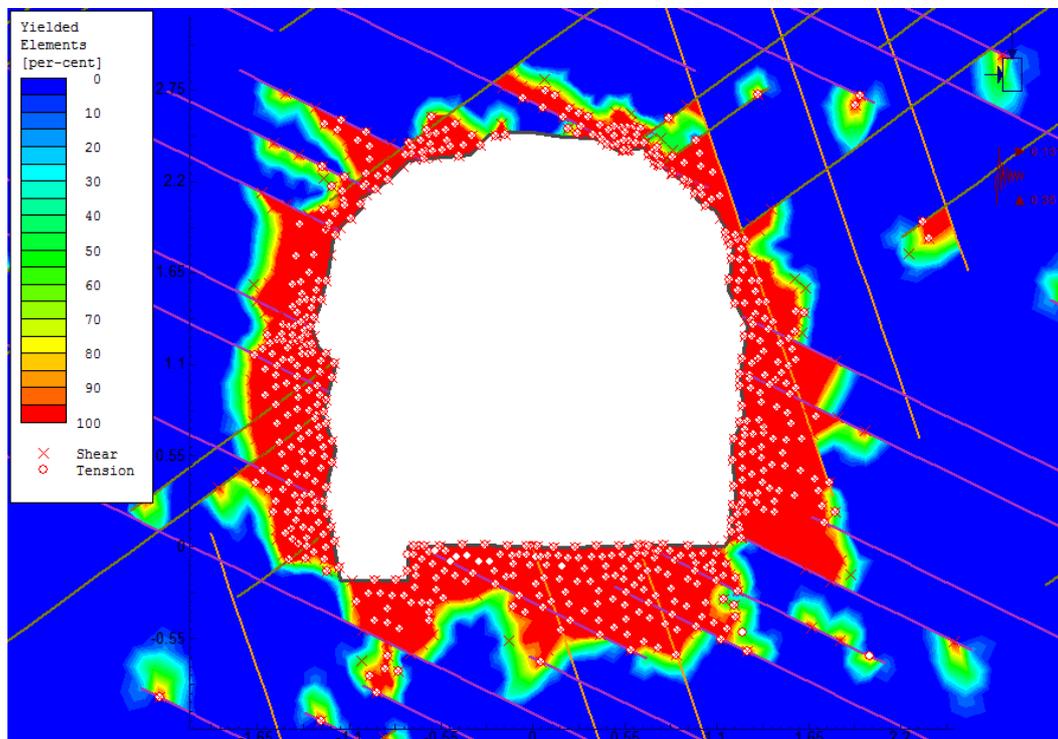


Figura 4.16. Campo tensodeformacional alrededor del túnel, delimitado por plastificaciones por cortante y tensión desde: 0.10 m. a 0.55 m. alrededor de túnel relacionado con el medio plástico o desprendimiento de rocas por la intersección de juntas EG-01.

- EG-02:** El modelo numérico muestra campo tensional constante, con $q = 15.50$ MPa. y $Z > 485$ m.; en estado: Inicial - no presenta ningún cambio tensional por sobrecarga alrededor de la sección; y excavación – presenta cambios importantes tensodeformacionales en dirección transversal ampliando el esfuerzo cortante.

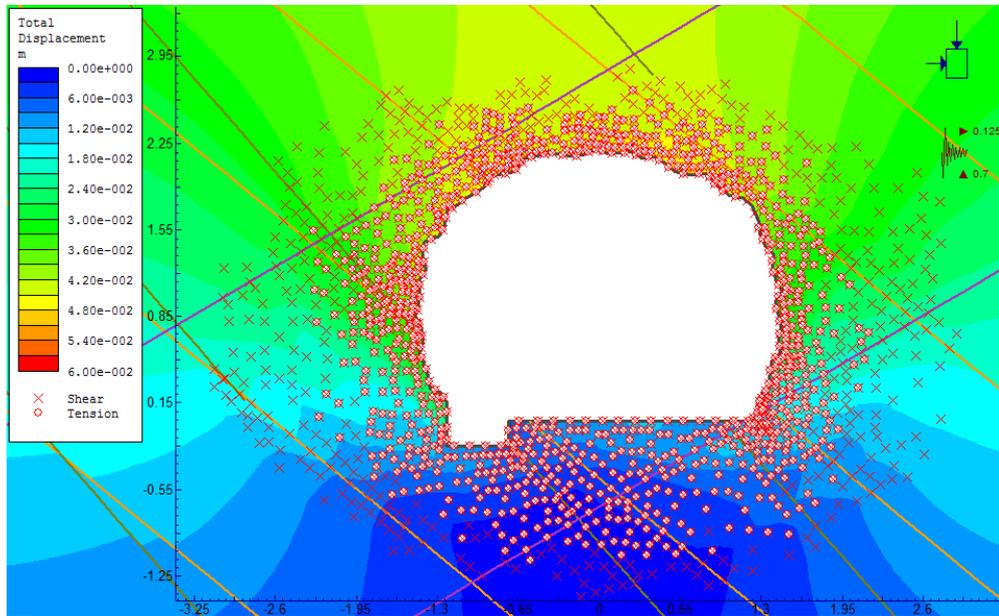


Figura 4.17. El campo tensional es constante generando deformación vertical en la excavación de túnel desplazando 0.40 m. en la clave y hastiales 0.10 m. delimitado por los vectores de deformación alrededor del túnel EG-02.

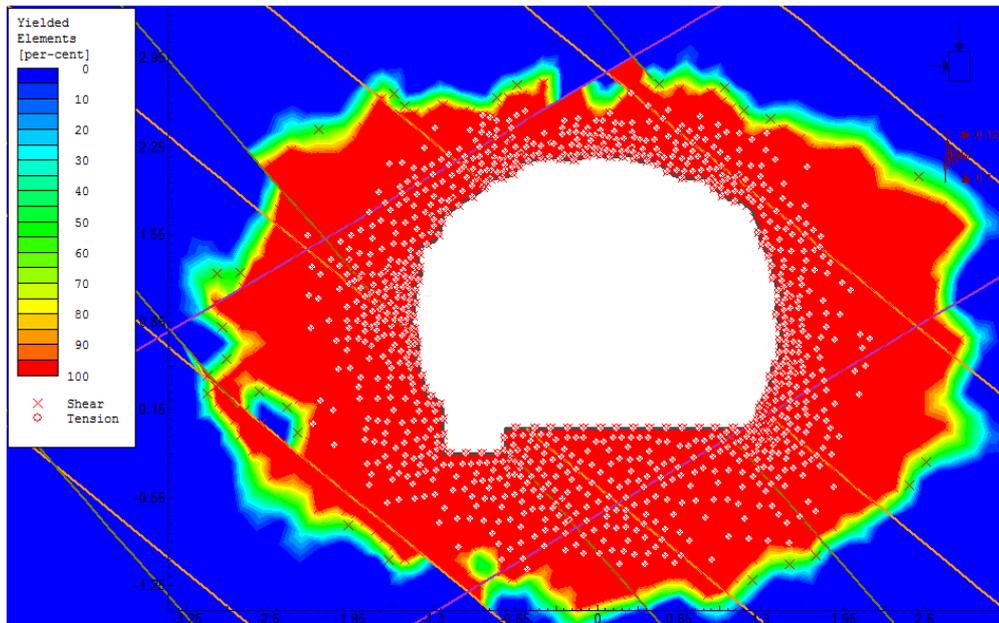


Figura 4.18. El campo plastificaciones se encuentra ampliado por el esfuerzo cortante alrededor del túnel ampliándose en los hastiales desde: 1.27 m. a 1.35 m., clave 0.55 m. y solera 1.15 m.; por lo contrario, el esfuerzo tensional solo se evidencia alrededor de la sección desde amplitudes 0.30 m. a 0.50 m. de la EG-02.

- EG-03:** Se puntualizó con carga $q = 12.32 \text{ MPa}$. y $Z > 470 \text{ m}$.; con comportamiento tensional en estado: **Inicial** - no presenta ningún cambio tensional y **excavación** muestra cambio tensodeformacional formando aureola semicircular interactuando el esfuerzo: Cortante y tensional de la roca.

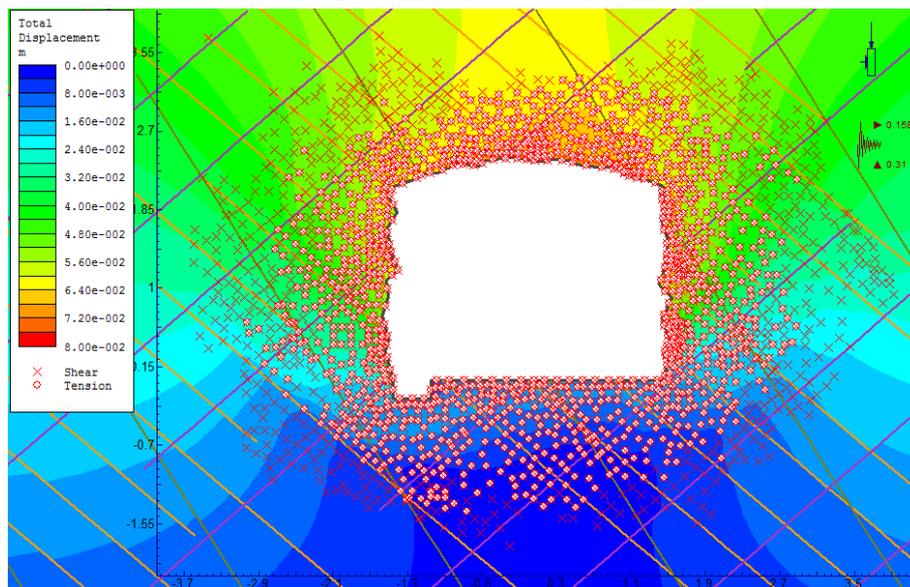


Figura 4.19. La EG-03 muestra desplazamiento por carga constante de la columna de roca en la clave 0.25 m. y hastales 0.10 m. a 0.15 m., delimitados por el flujo de vectores que se desarrollan alrededor de la excavación subterránea.

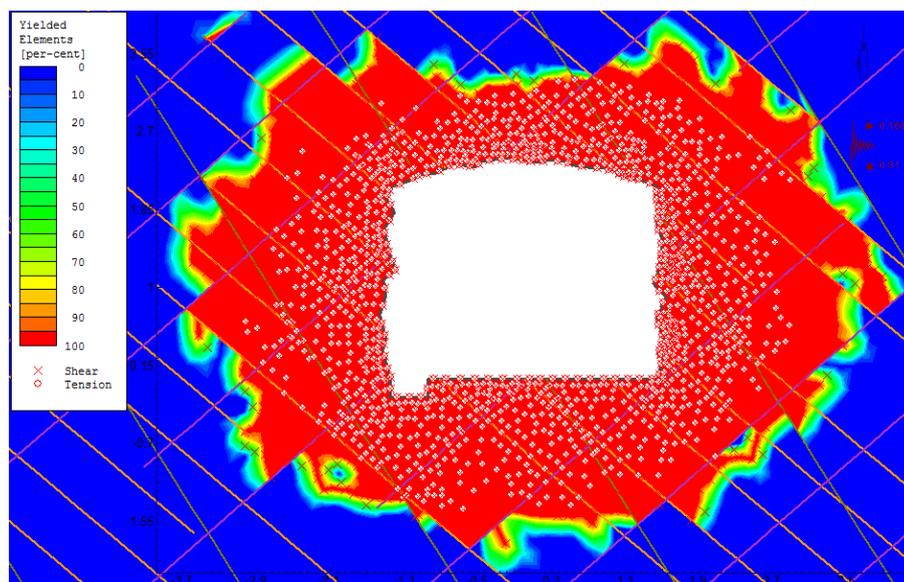


Figura 4.20. Estado de plastificaciones en la EG-03, formando aureola alrededor de la sección de forma semicircular amplificada por el esfuerzo cortante delimitado por el medio tensodeformacional: Plástico 0.80 m. a 1.35 m., y elástico 0.20 m. a 0.30 m.; ubicándose el medio elástico o presión de confinamiento 1.10 m. a 1.55 m.

- **EG-04:** El modelo matemático utilizado fue **Body Force Only**, en el medio plástico para mejor interacción de la sección frente al área libre del tajeo.

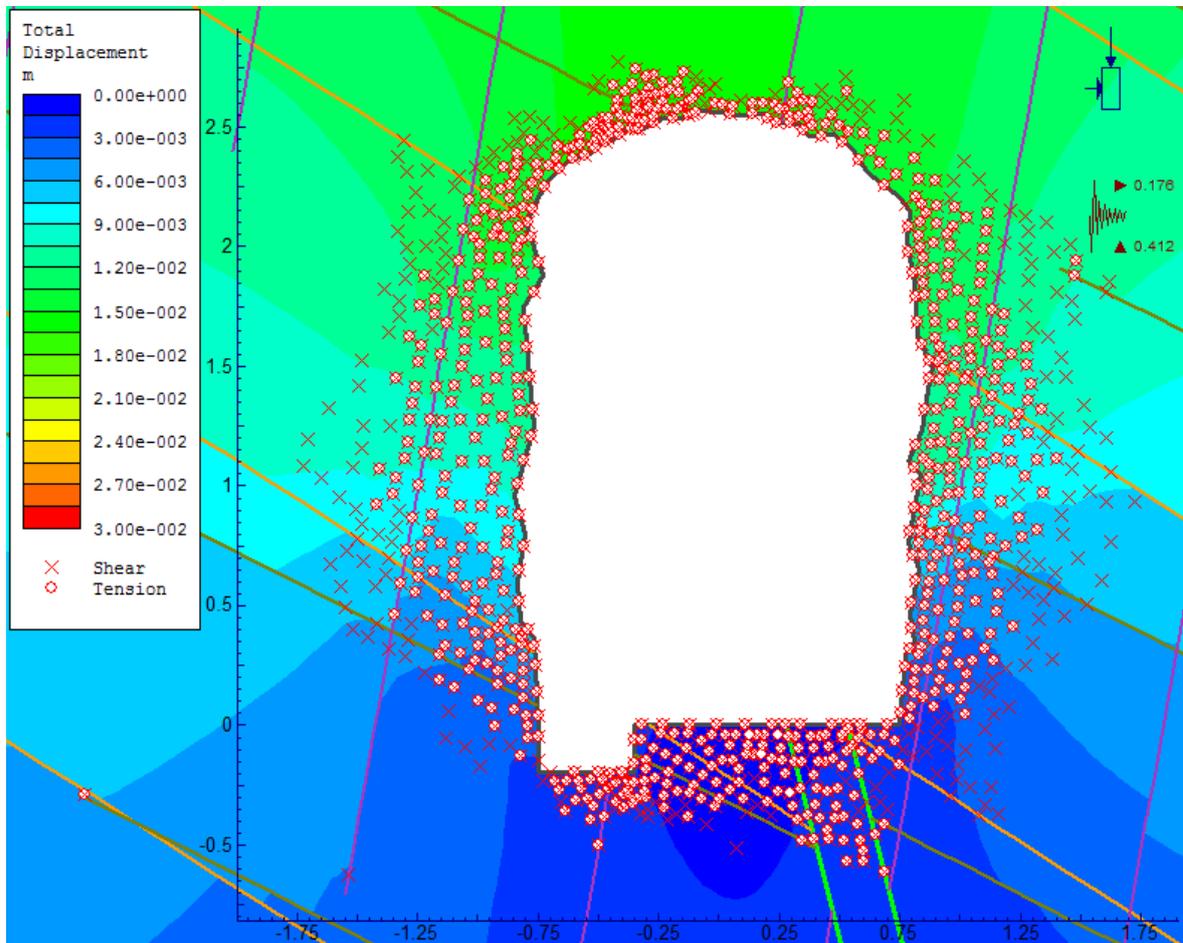


Figura 4.21. Los desplazamientos alrededor de la excavación EG-04 son ocasionados por carga constante por la ubicación $Z > 500$ del túnel afectando su entorno de la excavación, observando cambios en los colores de desplazamiento y flujo de vectores presentando mayor incidencia en clave 0.39 m. y hastiales 0.32 m.

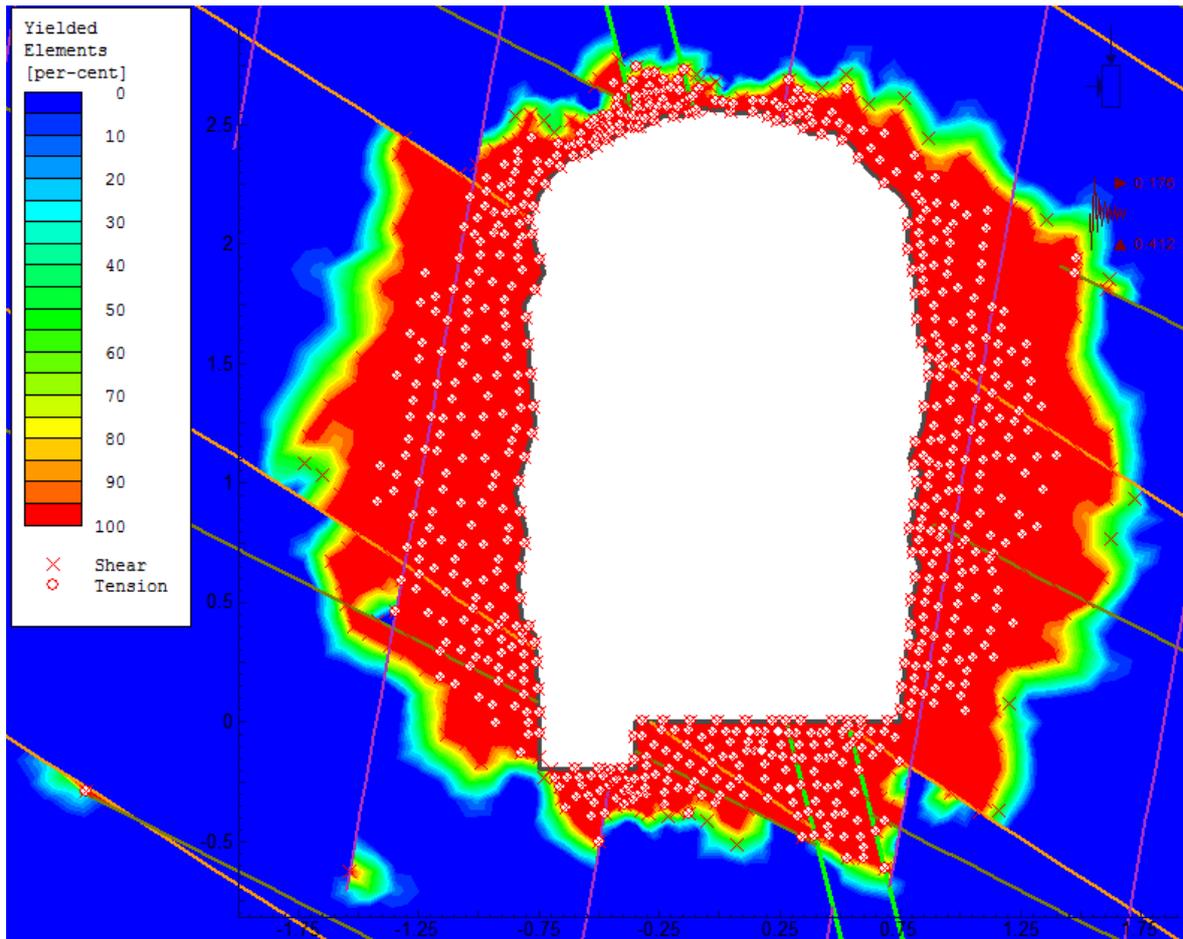


Figura 4.22. Estado de plastificación en la EG-04, formando alrededor aureola afectación de forma semicircular delimitada por las discontinuidades, observándose la amplitud del esfuerzo: Tensional 1.38 m. y cortante 2.40 m. delimitándose con el medio elástico.

- **EG-05:** Plasma el comportamiento del tajeo con sección en forma de baúl, presentando amplitudes del campo tensional constante por su profundidad superando $Z > 500$ m.

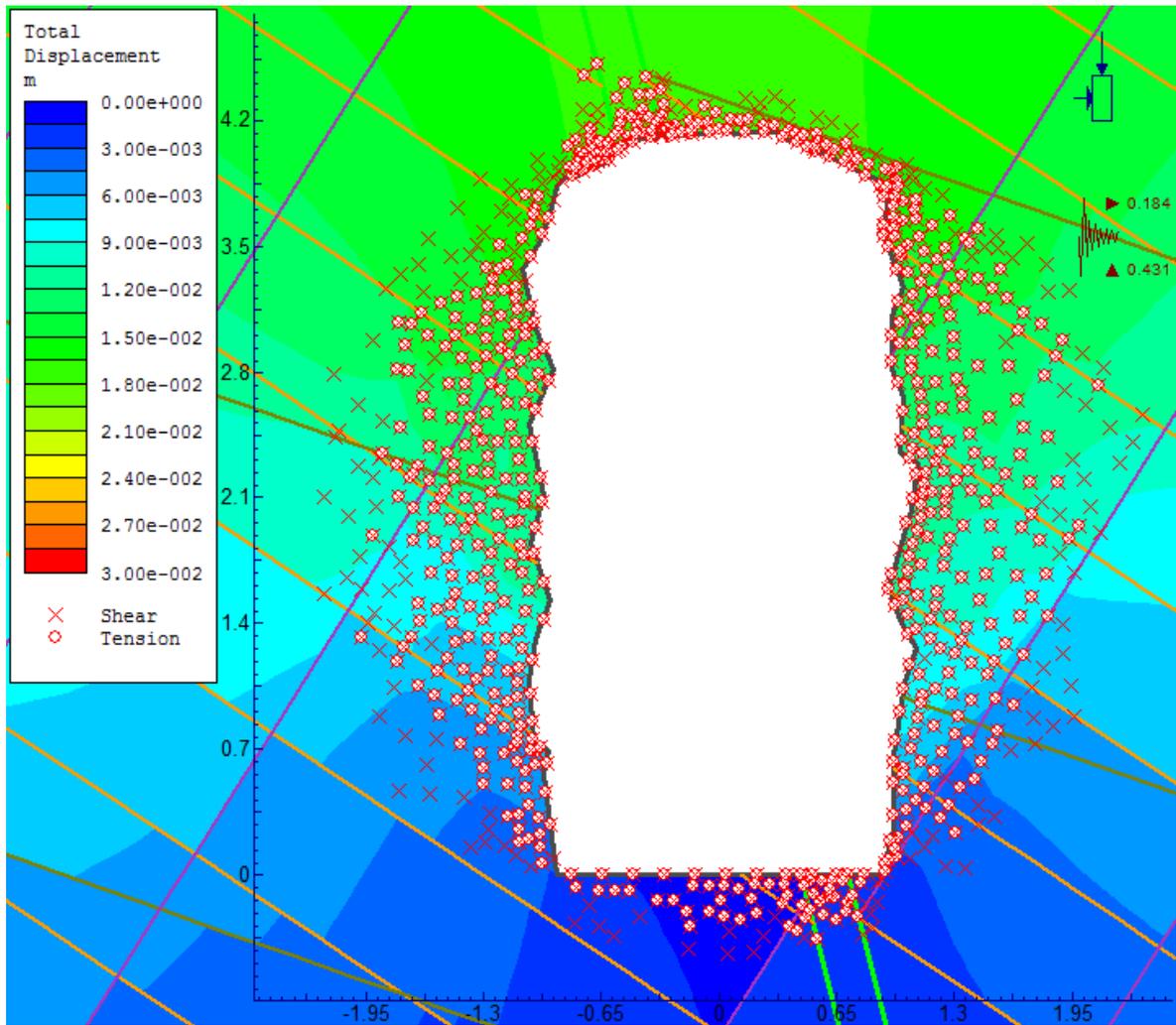


Figura 4.23. La concentración y cambios tensionales se concentran en la abertura en forma de baúl ocasionada por la excavación subterránea, presentando cambios sustanciales de desplazamientos gravitatorios de sobrecarga incidiendo en la clave y hastiales, por el flujo vectorial de deformación EG-05.

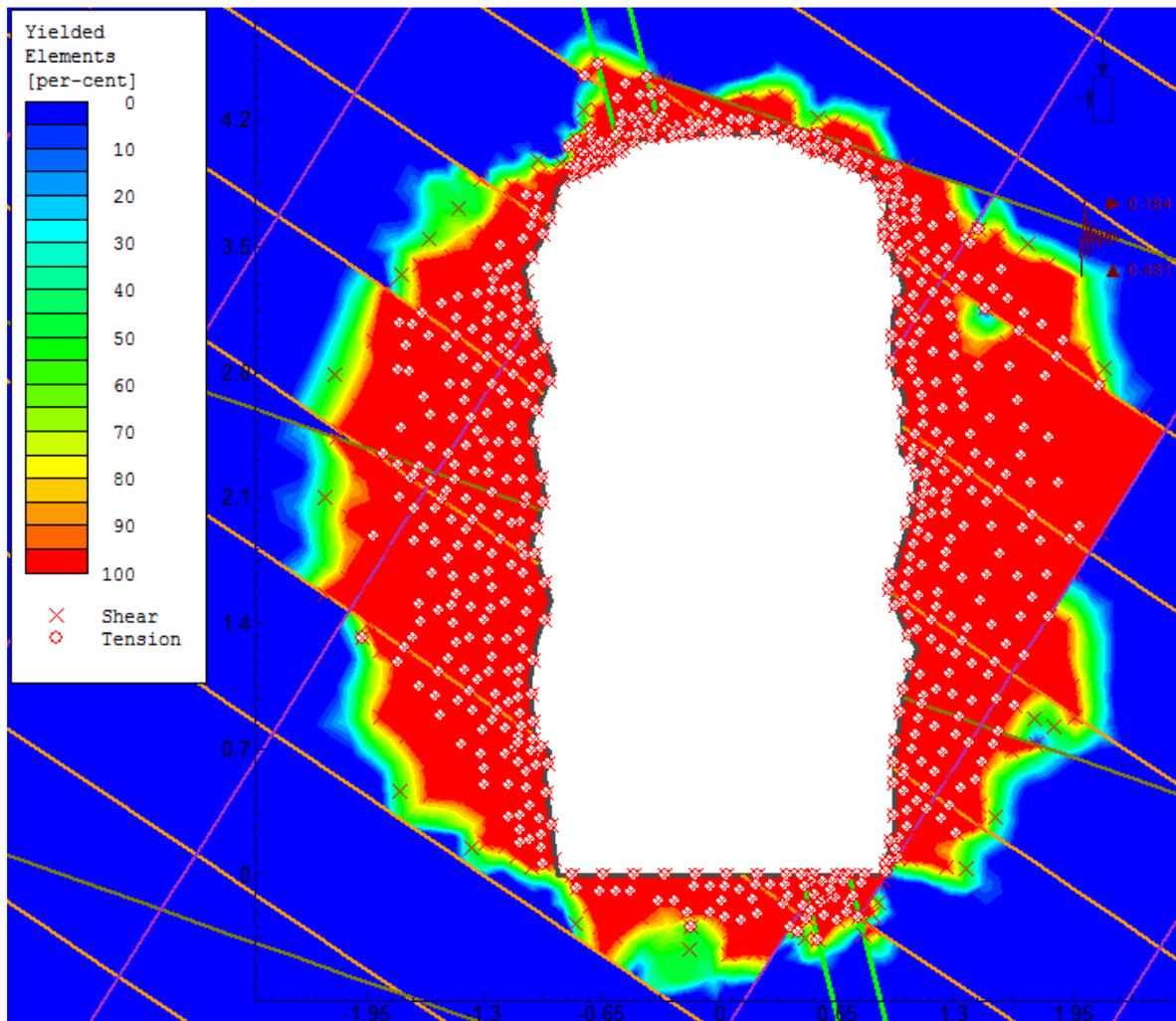


Figura 4.24. La EG-05 muestra aureola de plastificación delimitada por juntas en forma de elipse observándose la amplitud del esfuerzo: Tensional 0.35 m. a 0.75 m. y cortante 0.40 m. a 1.70 m. delimitándose con el medio elástico tensodeformacional por cambios tensiones constantes.

4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Las geología de la Mina Descubridora se ingresa por el Nivel 4, ubicándose las operaciones mineras a la profundidad vertical: 486.80 m. a 512.40 m. y longitud de bocamina 1,560 m., emplazada en el flanco derecho del anticlinal Algamarca con orientación Az/Bz = N310°/52°NE, presentando arenisca de grano medio de color blanquecino de espesor: 0.30 m. a 0.40 m. de la Formación Chimú, y dique intrusivo de diorita de amplitud de 20 m. a 25 m. de color gris oscuro y dique dacítico de 10 m. a 15 m. de ancho de color gris blanquecino de textura porfírica, siendo estructura principal para la mineralización polimetálica: Au-Ag-Cu de origen epitermal de baja sulfuración, conformando dos labores de avance: Arco iris

(Desde: $Pi_{GI} + 00.00$ m. a $Pi_{GI} + 89.10$ m. excavación a favor de buzamiento y Desde: $Pi_{CI} + 00.00$ m. a $Pi_{CI} + 48.30$ m. excavación paralela al eje del túnel) y Gallito (Desde: $Pi_G + 00.00$ m. a $Pi_G + 201.00$ m. excavación paralela al eje del túnel y Desde: $Pi_C + 00.00$ m. a $Pi_C + 69.90$ m. a favor de buzamiento), constituido por rocas areniscas. Por consiguiente, Bustamante (2023) y Castrejón (2024), confirma que el anticlinal Algamarca está compuesto por areniscas cuarzosas de grano medio, siendo cortado por cuerpos volcánicos en formada diques, ubicándose estas investigaciones en el flanco izquierdo del anticlinal de orientación $Az/Bz = N137^\circ/60^\circ SW$).

La hidrología del Nivel 4 está delimitado por el cerro Algamarca formando dos vertientes por su estructura plegada del anticlinal Algamarca de Vista: **SW:** Delimitado por la quebrada Santo Cristo iniciando su nacimiento a 3,150 msnm. en la parte alta del anticlinal de Algamarca con orientación NE-SW con longitud 1.62 Km., evacuando las aguas a la altitud de 2,627 al río Cañarís con orientación SSE-NNW con longitud 1.65 Km., confluyendo con el río Huancaday, nacimiento en el centro poblado Cerrochugo, presentando orientación SW-NE, con longitud 8.70 Km. a la altitud 2,550 msnm.; formando el río Chimin del Centro Poblado La Succha presentando orientación S-N y WSW-ENE, con longitud 22.55 Km. pasando por el centro poblado Hda Tabacal, evacuando las aguas al río Condebamba a la altitud 2,030 msnm.; y **NE:** Inicia su nacimiento a 3,350 msnm. la quebrada Shingomate con orientación SW-NE con longitud 12.30 Km. pasando por la margen izquierda ubicándose el centro poblado El chorro, evacuando las aguas al río Condebamba a la altitud 2,048 msnm. confluyendo con el río Cajamarquino a altitud 1980 msnm.; formando el río Crisnejas desembocando en el Océano Atlántico. Por consiguiente, Bustamante (2023) y Castrejón (2024), se encuentran a 1,000 m. siendo afectados por escorrentía de agua de diferente índole influenciada por: Pendiente, tipo cobertura, tipo de material, etc. que cambian el caudal de flujo en cada ámbito de estudio.

Las filtraciones están definidas por la permeabilidad: Primaria y secundaria de la roca caja arenisca de la Formación Chimú relacionándose con líneas de flujo del agua hacia NE por la secuencia estratigráfica presentando humedad constante la excavación subterránea, ubicada en el flanco derecho del anticlinal Algamarca con

orientación Az/Bz = N310°/52°NE. siendo delimitada por las labores: Arco iris y Gallito. La labor Arco Iris presenta humedad en la clave y hastiales, no llegando a acumular agua representativa; en cambio la labor Gallito presenta humedad desde Pi + 00.00 m. a Pi + 201.00 m. no afectando la operatividad de las instalaciones, por consiguiente, presenta acuífero en el Pi + 210.00 m. en la clave con caudal 4 lt/s. inundando este sector final del tramo con dirección paralela al eje del túnel, así mismo se relaciona con una falla mineralizada de Cu y Ag de orientación Az/Bz = N315°/75°NE. En cambio, Castrejón (2024), afirma que está emplazado en acuitardo sedimentario, cambiando la dirección de flujo al SW por estar ubicado en el flanco izquierdo del anticlinal, observando en este sector aguas subterráneas calientes relacionados con acuíferos artesianos.

El anticlinal Algamarca estructura principal de orientación: NE-SW, con orientación del flanco: Derecho (Az/Bz = N310°/52°NE) e izquierdo (Az/Bz = N137°/56°SW); presentado dos fallas de rumbo sinestrales paralelas ubicándose a 3,100 m. cortando transversalmente al anticlinal desplazando 275 m. al eje del anticlinal. Así mismo la labor: **Gallito** presenta falla perpendicular en el Pi_G + 201.00 m. de la galería principal con orientación Az/Bz = N77°/80°SE, así mismo cortando transversalmente a la veta con orientación Az/Bz = N310°/75°NE en el Pi_{GC} + 31.10 m.; y **Arco iris** presenta falla en el Pi_{GI} + 73.80 m. del hastial derecho una falla Nx con orientación Az/Bz = N318°/54°NE. Siendo delimitado por tres discontinuidades de orientación (D/DD): 46°/32°, 35°/250°, 80°/156°, ocasionado desprendimiento en: Hastiales y clave, de formas geométricas como: Triedro, tetraedro, prisma truncado y prisma doblemente truncado; por la intersección de juntas y tensiones gravitatorias de la columna de roca. En cambio, Bustamante (2023) y Castrejón (2024), presentan resultados similares definiendo anticlinal Algamarca con Az = N125° y esfuerzos compresivos: NNE-SSW a NE-SW, originando: sinclinales y anticlinales, desplazando al eje del anticlinal por las fallas: Santo Cristo y Dominga; delimitada por las juntas (Az/Bz): N168°/75°SW, N258°/52°NW, N73°/39°SW y N312°/43°NE; definiendo el fracturamiento y blocosidad del macizo rocoso.

La geomecánica reportó resultados de la calidad de roca mediante los criterios empíricos mediante valores cuantitativos y cualitativos: RQD: Buena (EG-01 y EG-03) y regular (EG-02, EG-04 y EG-05), RMR: Buena (EG-01 y EG-03) y

regular (EG-02, EG-04 y EG-05), Q: Buena (EG-01 y EG-03) y regular (EG-02, EG-04 y EG-05) y RMI: Muy alto (EG-01 y EG-03), moderado (EG-02 y EG-04) y alto (EG-05). Obteniendo así mismo las constantes elásticas y variación del campo tensional de la excavación subterránea en función: σ_1 : 12.66 MPa a 15.88 MPa, σ_3 : 4.03 MPa a 9.85 MPa, k : 0.31 a 0.62 y E_h : 2.96 GPa a 17.91 GPa.

Así mismo los programas numéricos reportan la interacción de la sección del túnel con el entorno tensodeformacional en el medio: Plástico, elastoplástico y elástico, en función de las plastificaciones por esfuerzo: Tensional y cortante de forma elíptica; y desplazamientos. Por consiguiente, Castrejón (2024), de acuerdo a los cartografiados geomecánicos por línea de detalle cuantifico rocas de calidad: Mala, media y buena; y RMI categorizándolo como: Deformación plástica, tensiones bajas, hinchamiento y ruptura gradual; considerando sostenimiento por cuadros de maderos de eucalipto de sección cuadra: 0.25 m. x 0.30 m. o circular es $D = 0.30$ m., con altura de poste 2.45 m., ancho de sombrero 2.35 m., longitud de tirante: 1.00 m. a 1.50 m. implementando cuadros cónicos o rectos.

Cuadro 4.5. Plastificaciones del campo tensodeformacional en las secciones de la excavación subterránea de la Mina Descubridora.

Estación geomecánica	Desplazamiento (m.)	Medio: Plástico + elastoplástico			Esfuerzos: Corte y tensionales	Deformación
		Hastial	Piso	Clave		
EG-01	0.0251320	0.50	0.65	0.10	Hastiales y piso	Circular
EG-02	0.0598832	1.50	1.15	0.50	Hastiales clave y piso	Elíptica
EG-03	0.0272135	1.62	1.45	1.05	Hastiales clave y piso	Elíptica
EG-04	0.0653792	2.45	1.60	0.60	Hastiales clave y piso	Elíptica
EG-05	0.0413426	1.65	0.90	0.55	Hastiales clave y piso	Elíptica
EG-06						

4.3 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Si se contrastó la hipótesis mencionada, donde la evaluación geomecánica de la Mina Descubridora muestra que la roca caja presenta areniscas de grano medio siendo alterados por diques volcánicos: Dacita y diorita, desplazando y mineralizando al anticlinal Algamarca de orientación: NE-SW. Por consiguiente, la geomecánica reporta rocas de calidad: Regular a buena, con valoraciones: RQD: Buena (EG-01 y EG-03) y regular (EG-02, EG-04 y EG-05), RMR: Buena (EG-01 y EG-03) y regular (EG-02, EG-04 y EG-05), Q: Buena (EG-01 y EG-03) y regular (EG-02, EG-04 y EG-05) y RMI: Muy alto (EG-01 y EG-03), moderado (EG-02 y EG-04) y alto (EG-05). Obteniendo constantes elásticas y variación del campo tensional de la excavación subterránea en función: σ_1 : 12.66 MPa a 15.88 MPa, σ_3 : 4.03 MPa a 9.85 MPa, k : 0.31 a 0.62 y E_h : 2.96 GPa a 17.91 GPa.; y mediante el software RS² muestra plastificaciones con desplazamiento: 0.0251320 m. a 0.0653792 m., proyectándose en: Hastiales, piso y clave, de forma circular a elíptica, por la concentración de esfuerzos tensionales y cortantes, requiriendo sostenimiento por: Anclajes, puntales y cuadros de madera, para mejor funcionalidad de la roca caja de la veta.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El cartografiado geológico muestra que la roca caja está conformado por arenisca de grano medio de espesor: 0.30 m. a 0.40 m. de orientación Az/Bz = N310°/52°NE, y estructuras de diques volcánicos: Dacita y diorita; y veta de galena argentífera.
- La caracterización geomecánica reporta roca como: Diorita de buena calidad con $\sigma_{ci} = 139$ MPa, RQD = 81.80%, RMR = 75.64, GSI = 70.09, Q = 15 y R_{Mi} = 29.78, arenisca de regular a buena calidad con $\sigma_{ci} = 68$ MPa a 85 MPa, RQD = 58.87 a 78.16, RMR = 46.20 a 69.38, GSI = 41.43 a 64.49, Q = 5 a 12 y R_{Mi} = 0.925 a 17.90 y veta de galena argentífera de buena calidad con $\sigma_{ci} = 210$ MPa, RQD = 80.57%, RMR = 78.16, GSI = 73.72, Q = 31 y R_{Mi} = 9.
- Las constantes elásticas fueron definidas por roca: Diorita con $\mu_i = 27$, D = 0.50, E_i = 61,160, MR = 440, E_m = 17,907.78, c = 3.78 y $\phi = 51.05^\circ$; arenisca $\mu_i = 14$ a 20, D = 0.00 a 0.50, E_i = 17,340 a 28,7300, MR = 255 a 338, E_m = 2,964.04 a 9,648.66, c = 1.68 a 2.56 y $\phi = 45.99^\circ$ a 46.32° y veta de galena argentífera $\mu_i = 31$, D = 0.50, E_i = 92,400, MR = 440, E_m = 44,984.43, c = 5.866 y $\phi = 58.25^\circ$, obtenido altos parámetros de calidad de roca aplicando el criterio generalizado de Hoek-Brown.
- El software RS², muestran deformaciones de forma: Circular y elíptica, alrededor de la sección con desplazamiento: 0.0251320 m. a 0.0653792 m., proyectándose desde el medio: Plástico y elastoplástico hasta profundidades transversales desde: Hastial (0.50 m. a 2.45 m.), piso (0.65 m. a 1.60 m.) y clave (0.10 m. a 1.05 m.); en la etapa de excavación disturbando al macizo rocoso.

- Se propone sostenimiento pasivo: Anclajes de fierro corrugado de 3/4'' de diámetro y longitud 7 pies distribuidos en sistema sistemático tresbolillo con lechada o cartuchos de concreto; y cuadros de madera trapezoidales y rectos de 0.20 m. de diámetro de eucalipto y puntales con plantillas o Jackpot para mejor adherencia roca sostenimiento.

5.2 RECOMENDACIONES

- Realizar ensayos de laboratorio para obtener parámetros físicos-químicos y constantes elásticas del macizo rocoso.
- Realizar desquinchado y estabilización a las cajas de la veta del tajeo para evitar desprendimiento y cambios deformaciones de la sección tajeada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcon, K. 2023. Tesis de pregrado: “Evaluación geomecánica para proponer el método de minado en la mina Sumaq Rumi 2022” . Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Ayes, J. 2011. Teoría de bloques aplicada a la mecánica de rocas. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería y arquitectura.
- Barton, N; Lien, R; 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
- Barton, N. 1995. The influence of joint properties in modelling jointed rock masses. Keynote Lecture, 8th ISRM Congress (págs. 1023-1032). Tokyo: Balkema.
- Benel, R. 2019. Tesis de pregrado: “Comportamiento geomecánico según los métodos RMR y Q de Barton del Nivel 3 de la Mina Paredones San Pablo – Cajamarca” . Universidad Nacional de Cajamarca.
- Berrocal, M. 2015. Estabilidad de Excavaciones Subterráneas. Lima - Perú: Ventura Graf.
- Bieniawski, Z. 1989. Engineering Rock Mass Classifications. Pennsylvania - USA: John Wiley & Sons.
- Brady, B., y Brown, E. 2006. Rock mechanics for underground mining 3ra edition. Trad. Franklin Montoya. Ámsterdam - The Netherlands: Springer.
- Castrejon 2019. Tesis de pregrado : “Estallido de rocas del crucero El Ñato, Nivel 2880 - Empresa Minera HNS Consorcio S.R.L., San Miguel de Algamarca – Cajabamba – Cajamarca” . Universidad Nacional de Cajamarca.
- Ccatamayo, J. 2022. Tesis de pregrado : “Evaluación geomecánica para el diseño de sostenimiento del túnel de integración Animon – Islay, 2022 . Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Cueva L. 2023. Tesis de pregrado : “Modelamiento geológico y cálculo de reservas minerales de la veta Lucerito – Mina Nueva Esperanza Nivel 2 – Algamarca – Cajabamba” . Universidad Nacional de Cajamarca.
- Deere, D. 1963. Technical description of rock cores for engineering purposes. *Rock Mech. And Rock Engrg.*, 1, págs. 107-116.

- Deere, D; Hendron, A; Patton, F; 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.
- Duque, G. 2020. Manual de geología para ingenieros. Medellín – Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Eissa, E. A. 1980. Stress Analysis of Underground Excavations in Isotropic and Stratified Rock using the Boundary Element Method. PhD thesis, University of London.
- García, R. 2018. El termino diaclasa y su aplicación adecuada a la valoración de macizos rocosos. Rev Tekhné – Revista de la Facultad de Ingeniería. Vol. 21, Numero 3 (2018), págs.: 72 a 79
- Gavilanes, J; 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).
- Guerra, T. 2011. Manual de túneles y obras subterráneas: Emboquille de túneles. Tomo II. Madrid – España: Gráficas Arias Montano, S.A.
- Gisel, K. 2015. Tesis de pregrado : “Caracterización geomecánica del macizo de rampa Laboreo Oeste de Mina Alto de la Blenda para determinar la estabilidad y necesidad de sostenimiento de la labor” . Universidad Nacional de Catamarca.
- Giselle, E. 2018. Tesis de pregrado : “Caracterización del macizo rocoso en el sector del túnel Corta Veta Ortiz y su clasificación geomecánica desde El Portal de acceso hasta La Progresiva 130; complejo minero Capillitas Andalgalá – Catamarca – Argentina” . Universidad Nacional de Catamarca. Recuperado de
- González, de V. 2002. Ingeniería Geológica. Madrid: Prentice Hall.
- Gualacata, J. 2018. Tesis de pregrado : “Caracterización geomecánica y propuesta de técnica de sostenimiento para las principales galerías de explotación de la Mina Liga de Oro” . Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Hoek, E., y Brown, E. 1997. Practical estimates of rock mass strength. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 34, pp. 1165-1186.

- Hoek, E., Carranza, T.; y Corkum, B. 2002. El criterio de rotura de Hoek –Brown – Edición 2002. London: Consulting Engineer & University of Minnesota & RocScience Inc. Recuperado de https://www.rocsience.com/documents/pdfs/library/RL_3.pdf
- Hudson, J. 2010. Engineering properties of rocks: Elsevier geo-engineering book series. 4 volume. Londres – Inglaterra. Pergamon Press
- Inga, A. 2023. Tesis de pregrado : “Clasificación geomecánica para selección del sostenimiento de las labores subterráneas en la mina Andaychagua – Volcán Compañía Minera S.A.A. . Universidad Nacional del Centro del Perú.
- INGEOMINAS. 2003. Glosario técnico minero. Medellín – Colombia: República de Colombia – Ministerio de minas y energía.
- Jing, L. 2003. A review of techniques, advances and outstanding issues in numerical modelling for rock mechanics and rock engineering. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, pp. 283-353.
- Jordá, B.; Jordá, B.; y Fernández, A;. 2010. Contribución al conocimiento geotécnico de la Mina Mochi de cara a su musealización. Ingeopres: Actualidad técnica de ingeniería civil, minería y medio ambiente, ISSN 1136-4785, N°. 195, 2010 AGO, págs. 28 - 33. Recuperado de : https://www.researchgate.net/publication/318338944_Contribucion_al_conocimiento_geotecnico_de_la_Mina_Monchi_de_cara_a_su_musealizacion . (consultada 12 octubre 2017).
- Jordá, L., Tomás R., Arlandi, M., y Abellán A. 2016. Manual de estaciones geomecánicas: Descripción de macizos rocosos en afloramientos. Madrid – España: Graficas Arias Montano, S.A.
- 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, ISSN 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_geomecanicas_metodos_empiricos_y_analisis_numerico_-_enfocado.

- Lascano, F. 2022. Tesis de pregrado : “Caracterización geomecánica para el diseño de sostenimiento de la abscisa 0+2100 a la 0+2400 del decline localizado en el área minera Cascabel” . Universidad Central del Ecuador.
- Limaco, P. 2023. Tesis de pregrado : “Evaluación geomecánica para el diseño del sostenimiento de labores subterráneas en la Mina Azulcocha, 2023”. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Lorig, L. 2009. Aplicación de Modelos Numéricos Continuos y Discontinuos al Análisis de Excavaciones Subterráneas en Macizos Rocosos. Jornada Técnica de Cálculo de Túneles. Madrid: Sociedad Española de Mecánica de Rocas (SEMR).
- Lorig, L. and Brady, B. 1982. A hybrid discrete element-boundary element method of stress analysis. Issues in Rock Mechanics, Proc. 23rd U. S. Symp. Rock Mech., Berkeley (eds R. E. Goodman and F. E. Heuze), 628–36. AIME: New York.
- Lozada, C. 2016. Manual de carreteras: Manual de túneles, muros y obras complementarias. Lima – Perú: MTC.
- Montoya, T. 2018. Tesis de Maestría: “Relación Geotécnica y Litomorfoestructural del túnel de la Mina Paredones Nivel 5 San Pablo – Cajamarca”. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca.
- Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento 2019. Norma técnica: E.30 Diseño sismorresistente. 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
- Muñoz, P. 2003. Tesis de Pregrado: “Evaluación geomecánica del Nivel 4 de la Mina Paredones según los métodos Q de Barton y RMI para la aplicación de sostenimientos, San Pablo – Cajamarca”. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Niemeyer, R. 1999. Apuntes de geología estructural primera parte: estructuras frágiles. Antofagasta – Chile. Recuperado de:
https://www.ucursos.cl/usuario/c19094b1ea89f1f08e243796b671e2e5/mi_blog/r/geologia_estructural_-_hans_niemeyer.pdf

- 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.
- Palmstrom A. 1995. Characterising the strength of rock masses for use in desing of underground structures, conf. Desing and construction of underground structures, New Delhi, 43-52.
- Priest, S., y Hudson, J. 1976. Discontinuity spacing in rock. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 13, págs. 135-148.
- Puell, F., Arenillas, M.; y De La Puente, P. 2004. La linealización del criterio de hoek-brown en el análisis de la estabilidad de taludes en roca. Dialnet: Revista de Obras Públicas: Órgano profesional de los ingenieros de caminos, canales y puertos, ISSN 0034-8619, N°. 3446, 2004. págs. 37-44. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=937330>
- 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.
- Rodríguez, J. 2021. Caracterización del macizo rocoso para proponer un diseño sostenimiento en la compañía Minera Marsa S.A. 2021 (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Romana, M. 2003. Nuevas Recomendaciones de Excavación y Sostenimiento para Túneles y Boquillas. Jornadas Hispano-Lusas sobre Obras Subterráneas. Madrid.
- 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).
- Sen, Z. 1993. RQD-fracture frequency chart based on a Weibull distribution. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 30, pp. 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, pp. 203-212.
- Sheorey, P. 1994. Teoría para de tensiones in situ en rocas isotrópicas y transversalmente isotrópicas. Revista internacional de mecánica de rocas y ciencia en minería y geomecánica abstracta, 31(1). págs. 23 - 34. Recuperado de:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0148906294923124?via%3DIihub>

Senamhi. 2025. Datos hidrometeorológicos en Cajamarca: Estación Cachachi. Recuperado de:

<https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=cajamarca&p=estaciones>

Soberón, R. 2024. Tesis de pregrado: “Propuesta de sostenimiento y controles para reducir la liberación de energía del Nivel 4 de Mina Paredones, San Pablo – Cajamarca” .Universidad Nacional de Cajamarca.

Weather, S 2023. El clima y el tiempo promedio en todo el año en CajabambaPerú . Recuperado de:

[https://es.weatherspark.com/y/19957/Clima-promedio-en-Cajabamba- Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o](https://es.weatherspark.com/y/19957/Clima-promedio-en-Cajabamba-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o)

Vallejo, C. 2011. Aplicaciones del Índice GSI para el Mapeo Geomecánico y la definición del Sostenimiento de labores Mineras subterráneas. XI Congreso Peruano de Geología. Lima – Perú.

ANEXO A
AUTORIZACIÓN DE LA EMPRESA



R.U.C
10269507727

Para: M.CS. ING. ALEJANDRO CLAUDIO LAGOS MANRIQUE.
DIRECTOR DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

De: Luis Enrique Chávez Rodríguez
TITULAR MINERO DE LA MINA DESCUBRIDORA NIVEL 4

De mi consideración.

Es grato dirigirme a usted para saludarle cordialmente y a la vez indicarle que yo **LUIS ENRIQUE CHAVEZ RODRIGUEZ** identificado con DNI: 26950772 doy conformidad de aceptación para la realización de tesis a la señorita **MARIA DOLORES ROMERO GUERRA**, identificada con DNI: 70199499 la que actualmente labora en el área de SSOMA en la mina descubridora Nivel 4 Algamarca-Cajabamba-Cajamarca con RUC: 10269507727.

Se expide el presente a solicitud de la interesada, para fines que estime conveniente.

Algamarca, 01 de octubre del 2024

Atentamente:

MINA LA DESCUBRIDORA NIVEL 4 TO


Luis Enrique Chávez Rodríguez
TITULAR GERENTE

ANEXO B
CARTOGRAFIADO GEOMECÁNICO

Cuadro 5.1. Registro Geológico Geomecánico EG-1.

REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO										TESIS	EVALUACIÓN GEOMECAÁNICA PARA TAJEOS DE LA MINA DESCUBRIDORA DEL NIVEL 4 SAN MIGUEL DE ALGAMARCA - CACHACHI - CAJABAMBA - CAJAMARCA										TENSIONES		Subterráneo																																						
UBICACIÓN										E-1	GALERÍA PRINCIPAL										Parametros	valores																																							
CÓDIGO	E-1									TRAMO	1	DE	PL + 20.70 m.	A	PL + 30.70 m.	Profundidad (m.)	512.40																																												
RESPONSABLE	Maria Dolores Romero Guerra									HOJA N°	1	COORDENADAS	-	ESTE (m.)	-	NORTE (m.)	-	COTA (msnm.)	-	15.88																																									
SISTEMA	WGS 84									ZONA 17S	EJECUTADO POR	Maria Dolores Romero Guerra										FECHA	1/10/2025	σ3 (Mpa)	7.90	m	0.50																																		
DIS. Nro	DIMENSIONES DE EXCAVACIÓN					OPCIÓN	MACIZO ROCOSO					TIPOS		RESIST. COMP. UNIAx.	RQD TRAMO	ORIENTACIÓN					ESPACIADO(m)		PERIST. (m)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC. METEOR.	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN																																
	FORMA DE EXCAVACIÓN		ANCHO DE CÁMARA (m.)				GRADO FRACT.		GSI		E=Estratificada o Seudo D=Diaclasa		DIRECCIÓN			ESPACIADO(m)		DUREZA																																											
1= Bauli	2= Circular	3= Herradura	4= Cuadrada	5= Rectangular	6= Elíptica	7= Irregular	1=Fresco	2= Lev. Met.	3= Mod	4= Alt. Met.	5= Compl.	1=Alto	2=Mediano	3=Bajo	1=Bloq-Regul.	2=Bloq-Irreg.	3=Bloq-Capas	4=Fract-Intenso	E=Normal	F=Inversa	F=Directa	m=Microfalla	SE=Sobrees.	C=Contacto	ND	L	A	Yp	Z/R	DIP	DD	COMPROBACION V: verdadero F: Falso	1=>2	2=>0.6	3=>0.6-0.2	4=>0.2-0.06	5=><0.06	1=<1	2= 1-3	3= 0.1-1	4= 1-5	5=> >20	1=Nada	2=Rugosa	3=Lig. Rug.	4=Ondulad.-lisa	5=Suave	1=Arcilloso	2=Qz	3=Calcita	4=Óxidos	5=Roca Tritur.	1=Ninguna	2=Duro<5mm	3=Mod. Alt.	4=Muy Alt.	5=Suave<5mm	1=Seco	2=Húmedo	3=Mojado	4=Flujo
1	2.45	2.50	2.30	2.30	0.25	0.40	Volcánico	1	1	3	E	R5 (139 MPa)	81.80	18	78	108	V	3	3	5	5	3	3	5	5	1	5	1	2	1																															
2												R5 (139 MPa)	81.80	21	75	111	V	4	3	4	5	4	3	4	5	-	-	-	2	1																															
3												R5 (139 MPa)	81.80	19	79	109	V	3	3	5	5	3	3	5	5	1	5	1	2	1																															
4												R5 (139 MPa)	81.80	23	71	113	V	4	3	4	5	4	3	4	5	-	-	-	2	1																															
5												R5 (139 MPa)	81.80	17	74	107	V	3	3	5	5	3	3	5	5	-	-	-	2	1																															
6												R5 (139 MPa)	81.80	20	79	110	V	4	3	4	5	4	3	4	5	1	5	1	2	1																															
7												R5 (139 MPa)	81.80	19	70	109	V	3	3	5	5	3	3	5	5	-	-	-	2	1																															
8												R5 (139 MPa)	81.80	24	75	114	V	3	3	5	5	3	3	5	5	-	-	-	2	1																															
9												R5 (139 MPa)	81.80	16	73	106	V	4	3	5	5	4	3	5	5	1	5	1	2	1																															
10												R5 (139 MPa)	81.80	21	78	111	V	3	3	4	5	3	3	4	5	1	5	1	2	1																															
11												R5 (139 MPa)	81.80	17	80	107	V	3	3	4	5	3	3	4	5	-	-	-	2	1																															
12												R5 (139 MPa)	81.80	24	72	114	V	4	3	5	5	4	3	5	5	-	-	-	2	1																															
13												R5 (139 MPa)	81.80	21	65	111	V	4	3	4	5	4	3	4	5	-	-	-	2	1																															
14											D-1	R5 (139 MPa)	81.80	258	48	348	V	4	1	4	5	4	1	4	5	1	5	1	2	1																															
15												R5 (139 MPa)	81.80	241	44	331	V	3	1	4	4	3	1	4	4	1	5	1	2	1																															
16												R5 (139 MPa)	81.80	245	60	335	V	4	1	2	5	4	1	2	5	4	2	1	2	1																															
17												R5 (139 MPa)	81.80	252	42	342	V	4	1	4	5	4	1	4	5	-	-	-	2	1																															
18												R5 (139 MPa)	81.80	244	51	334	V	3	1	4	5	3	1	4	5	1	5	1	2	1																															
19												R5 (139 MPa)	81.80	256	43	346	V	3	1	2	5	3	1	2	5	1	5	1	2	1																															
20												R5 (139 MPa)	81.80	251	52	341	V	4	1	4	4	4	1	4	4	-	-	-	2	1																															
21												R5 (139 MPa)	81.80	249	58	339	V	3	1	4	5	3	1	4	5	-	-	-	2	1																															
22												R5 (139 MPa)	81.80	237	47	327	V	4	1	2	5	4	1	2	5	-	-	-	2	1																															
23												R5 (139 MPa)	81.80	242	40	332	V	3	1	2	4	3	1	2	4	4	2	1	2	1																															
24												R5 (139 MPa)	81.80	253	49	343	V	4	1	2	5	4	1	2	5	4	2	1	2	1																															
25												R5 (139 MPa)	81.80	255	50	345	V	4	1	4	5	4	1	4	5	-	-	-	2	1																															
26												R5 (139 MPa)	81.80	64	43	154	V	4	1	4	4	4	1	4	4	1	5	1	2	1																															
27											D-2	R5 (139 MPa)	81.80	55	40	145	V	4	1	4	5	4	1	4	5	4	5	1	2	1																															
28												R5 (139 MPa)	81.80	51	38	141	V	3	1	5	5	3	1	5	5	-	-	-	2	1																															
29												R5 (139 MPa)	81.80	69	41	159	V	4	1	4	5	4	1	4	5	1	5	1	2	1																															
30												R5 (139 MPa)	81.80	50	51	140	V	3	1	4	5	4	1	4	5	4	2	2	2	1																															
31												R5 (139 MPa)	81.80	63	38	153	V	3	1	4	5	3	1	4	5	1	5	2	2	1																															
32												R5 (139 MPa)	81.80	61	47	151	V	4	1	5	5	4	1	5	5	-	-	-	2	1																															
33												R5 (139 MPa)	81.80	52	42	142	V	3	1	4	5	3	1	4	5	1	5	1	2	1																															
34												R5 (139 MPa)	81.80	60	34	150	V	3	1	4	5	4	1	4	5	4	2	1	2	1																															
35												R5 (139 MPa)	81.80	58	38	148	V	4	1	4	5	4	1	4	5	1	5	1	2	1																															
36												R5 (139 MPa)	81.80	61	41	151	V	3	1	5	5	3	1	5	5	-	-	-	2	1																															
37												R5 (139 MPa)	81.80	53	36	143	V	3	1	4	5	4	1	4	5	4	2	2	2	1																															
38												R5 (139 MPa)	81.80	62	40	152	V	3	1	4	5	3	1	4	5	-	-	-	2	1																															
39												R5 (139 MPa)	81.80	52	37	142	V	3	1	5	5	4	1	5	5	1	5	1	2	1																															
40											D-3	R5 (139 MPa)	81.80	290	74	20	V	4	1	5	4	4	1	5	4	1	5	1	2	1																															
41												R5 (139 MPa)	81.80	301	76	31	V	4	1	5	5	4	1	5	5	4	2	1	2	1																															
42												R5 (139 MPa)	81.80	312	62	42	V	2	1	3	5	2	1	3	5	-	5	1	2	1																															
43												R5 (139 MPa)	81.80	297	68	27	V	4	1	5	5	4	1	5	5	1	5	1	2	1																															
44												R5 (139 MPa)	81.80	305	70	35	V	4	1	5	5	4	1	5	5	1	5	1	2	1																															
45												R5 (139 MPa)	81.80	297	69	27	V	4	1	3	4	4	1	3	4	4	2	1	2	1																															
46												R5 (139 MPa)	81.80	315	73	45	V	2	1	5	5	2	1	5	5	1	5	2	2	1																															
47												R5 (139 MPa)	81.80	299	68	29	V	4	1	4	5	4	1	4	5	-	-	-	2	1																															
48												R5 (139 MPa)	81.80	308	62	38	V	4	1	4	5	4	1	4	5	-	-	-	2	1																															
49												R5 (139 MPa)	81.80	289	70	19	V	4	1	3	4	4	1	3	4	-	-	-	2	1																															
50												R5 (139 MPa)	81.80	314	74	44	V	2	1	3	5	2	1	3	5	-	-	-	2	1																															
51												R5 (139 MPa)	81.80	304	72	34	V	4	1	4	5	4	1	4	5	4	2	2	2	1																															
52												R5 (139 MPa)	81.80	312	68	42	V	2	1	2	5	2	1	2	5	-	-	-	2	1																															
												Túnel																																																	

Cuadro 5.2. Registro Geológico Geomecánico EG-2.

REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO							TESIS	EVALUACIÓN GEOMECAÁNICA PARA TAJEOS DE LA MINA DESCUBRIDORA DEL NIVEL 4 SAN MIGUEL DE ALGAMARCA - CACHACHI - CAJABAMBA - CAJAMARCA										TENSIONES		Subterráneo																			
UBICACIÓN							GALERÍA ARCO IRIS										Parametros	valores																					
CÓDIGO	E-2						TRAMO	2		DE	PI. + 27.50 m.		A		PI. + 37.50 m.		Profundidad (m.)	499.70																					
RESPONSABLE	María Dolores Romero Guerra						HOJA N°	2		COORDENADAS	-		ESTE (m.)	-		NORTE (m.)	-		COTA (msnm.)	-	Ø1 (Mpa.)	12.99	Ø	90°															
SISTEMA	WGS 84		ZONA 17S		EJECUTADO POR		María Dolores Romero Guerra										FECHA	1/10/2025		Ø3 (Mpa.)	6.09	m	0.47																
DIS. Nro	DIMENSIONES DE EXCAVACIÓN						MACIZO ROCOSO						PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS																										
	FORMA DE EXCAVACIÓN			OPCION			METEORIZACIÓN			GRADO FRACT.			GSI			E=Estratificada o Seudo D=Diaclasa		RESIST. COMP. UNIAJ.		RQD TRAMO		ORIENTACIÓN		ESPACIADO(m)		PERSIST. (m)		ABERTURA (mm)		RUGOS.		RELLENO		ALTERAC. METEOR.		AGUA		CALIDAD DE INFORMACIÓN	
	1= Bañl			3			1=Fresco			1=Alto			1=Bloq-Regul.			F=F.Normal		ND		-		1=Nada		1=Muy Rug.		1=Arcilloso		1=Ninguna		1=Inalterada		1=Seco		1=Lec. Real					
	2= Circular						2=Lev. Met.			2=Mediano			2=Bloq-Irreg.			FI=F.Inversa		L		2=2-0.6		2=1-3		2=Rugosa		2=Qz		2=Duro<5mm		2=Lig. Alt.		2=Humedo		2=Lec. Apar.					
	3= Herradura						3=Mod			3=Bajo			3=Bloq-Capas			Fd=F.Directa		A		3=0.6-0.2		3=3-10		3=0.1-1		3=Lig. Rug.		3=Calcita		3=Duro>5mm		3=Mod. Alt.		3=Mojado		3=Lec. Proy.			
	4= Cuadrada						4=Alt. Met.			4=Fract-Intenso			mf=Microfalla		Prom. Golpes		-		4=0.2-0.06		4=10-20		4=1-5		4=Ondulad.-lisa		4=Óxidos		4=Suave>5mm		4=Muy Alt.		4=Goteo						
	5= Rectangular						5=Compl.			Agregar MB,B,M,P,MP			SE=Sobrees. C=Contacto		2 Golp		Yp		64.82		5=<0.06		5=>20		5=>5		5=Suave		5=Roca Tritur.		5=Suave>5mm		5=Descomp.		5=Flujo				
	6= Elíptica																																						
	7= Irregular																																						
	HASTIAL DER. (m.)		APICE MAYOR (m.)		HASTIAL IZQ. (m.)		ANCHO DE CÁMARA (m.)		CUNETA (m.)																														
Altura (m.)		Ancho (m.)																																					
1	2.13	2.20	1.88	2.45	0.20	0.50	Chimú		1	1	3	E		R4 (78 MPa)	64.82	310	52	40	V	3	2	1	5	12=	-	-	1	2	1	2	1								
2														R4 (78 MPa)	64.82	305	51	38	V	3	2	2	5	1	5	1	5	1	2	1	1								
3														R4 (78 MPa)	64.82	312	48	42	V	3	2	2	5	1	5	1	5	1	2	1	1								
4														R4 (78 MPa)	64.82	301	47	34	V	3	3	2	5	1	5	2	3	3	1	1	1								
5														R4 (78 MPa)	64.82	308	50	39	V	4	2	1	5	-	-	-	1	2	1	1	1								
6														R4 (78 MPa)	64.82	299	42	41	V	3	2	2	5	1	5	1	5	1	2	1	1								
7														R4 (78 MPa)	64.82	306	53	32	V	3	3	2	5	1	5	1	5	1	2	1	1								
8														R4 (78 MPa)	64.82	294	48	41	V	4	2	1	5	-	-	-	1	2	1	1	1								
9														R4 (78 MPa)	64.82	307	42	36	V	3	2	1	5	-	-	-	2	3	1	1	1								
10														R4 (78 MPa)	64.82	306	51	39	V	4	2	2	5	1	5	1	5	1	2	1	1								
11														R4 (78 MPa)	64.82	304	56	34	V	3	3	2	5	1	5	1	5	1	2	1	1	1							
12														R4 (78 MPa)	64.82	311	49	45	V	3	2	1	5	1	5	1	5	1	2	1	1	1							
13														R4 (78 MPa)	64.82	309	53	41	V	4	3	2	5	1	5	1	5	1	3	1	1	1							
14														R4 (78 MPa)	64.82	303	40	37	V	4	2	2	5	1	5	2	2	2	1	1	1								
15														R4 (78 MPa)	64.82	300	44	49	V	4	2	1	5	1	5	1	5	1	2	1	1	1							
16													D-1	R4 (78 MPa)	64.82	54	63	144	V	3	1	2	5	1	5	1	5	1	2	1	1	1							
17														R4 (78 MPa)	64.82	46	70	136	V	3	1	2	5	1	5	1	5	1	3	1	1	1							
18														R4 (78 MPa)	64.82	50	68	140	V	4	1	1	5	-	-	-	1	2	1	1	1	1							
19														R4 (78 MPa)	64.82	53	65	143	V	3	1	2	5	1	5	2	2	2	1	1	1	1							
20														R4 (78 MPa)	64.82	48	58	138	V	3	1	2	5	1	5	1	5	1	3	1	1	1							
21														R4 (78 MPa)	64.82	56	70	146	V	4	1	2	5	1	5	1	5	1	2	1	1	1							
22														R4 (78 MPa)	64.82	47	61	137	V	3	1	1	5	-	-	-	1	2	1	1	1	1							
23														R4 (78 MPa)	64.82	42	59	132	V	3	1	1	5	-	-	-	1	2	1	1	1	1							
24														R4 (78 MPa)	64.82	58	68	148	V	4	1	2	5	1	5	1	5	1	2	1	1	1							
25														R4 (78 MPa)	64.82	49	71	139	V	3	1	2	5	1	5	2	3	1	1	1	1								
26														R4 (78 MPa)	64.82	56	59	146	V	3	1	2	5	1	5	1	5	1	2	1	1	1							
27														R4 (78 MPa)	64.82	53	61	143	V	3	1	2	5	1	5	1	5	1	2	1	1	1							
28														R4 (78 MPa)	64.82	51	63	141	V	3	1	1	5	1	5	1	5	1	2	1	1	1							
29														R4 (78 MPa)	64.82	47	58	137	V	3	1	1	5	1	5	1	5	1	2	1	1	1							
30														R4 (78 MPa)	64.82	42	59	132	V	4	1	2	5	1	5	2	3	1	1	1	1								
31														R4 (78 MPa)	64.82	51	68	141	V	3	1	2	5	1	5	1	5	1	2	1	1	1							
32														R4 (78 MPa)	64.82	58	63	148	V	3	1	2	5	1	5	2	2	1	1	1	1								
33														R4 (78 MPa)	64.82	49	57	139	V	4	1	1	5	1	5	1	5	1	2	1	1	1							
34														R4 (78 MPa)	64.82	141	28	231	V	3	1	1	5	1	5	1	5	1	2	1	1	1							
35														R4 (78 MPa)	64.82	159	23	249	V	3	1	1	5	1	5	1	5	1	3	1	1	1							
36														R4 (78 MPa)	64.82	152	56	242	V	3	1	1	5	1	5	1	5	1	2	1	1	1							
37														R4 (78 MPa)	64.82	145	36	235	V	4	1	1	5	1	5	1	5	1	2	1	1	1							
38														R4 (78 MPa)	64.82	153	48	243	V	3	1	3	5	-	-	-	1	2	1	1	1								
39														R4 (78 MPa)	64.82	147	37	237	V	3	1	2	5	1	5	2	3	1	1	1	1								
40														R4 (78 MPa)	64.82	150	28	240	V	4	1	1	5	1	5	1	5	1	2	1	1	1							
41														R4 (78 MPa)	64.82	141	32	231	V	3	1	3	5	-	-	-	1	3	1	1	1								
42														R4 (78 MPa)	64.82	153	39	243	V	3	1	2	5	1	5	1	5	1	2	1	1	1							
43														R4 (78 MPa)	64.82	146	45	236	V	3	1	1	5	1	5	1	5	1	3	1	1	1							

ANEXO C

PLANOS

PLANO 01	:	IMAGEN SATELITAL SASPLANET – BING MAPS
PLANO 02	:	MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES (MDE)
PLANO 03	:	GEOLÓGICO ESTRUCTURAL REGIONAL
PLANO 04	:	GEOLÓGICO ESTRUCTURAL LOCAL
PLANO 05	:	GEOMECÁNICO
PLANO 06	:	TENSO-DEFORMACIONAL
PLANO 07	:	SOSTENIMIENTO
PLANO 08	:	HIDROLÓGICO

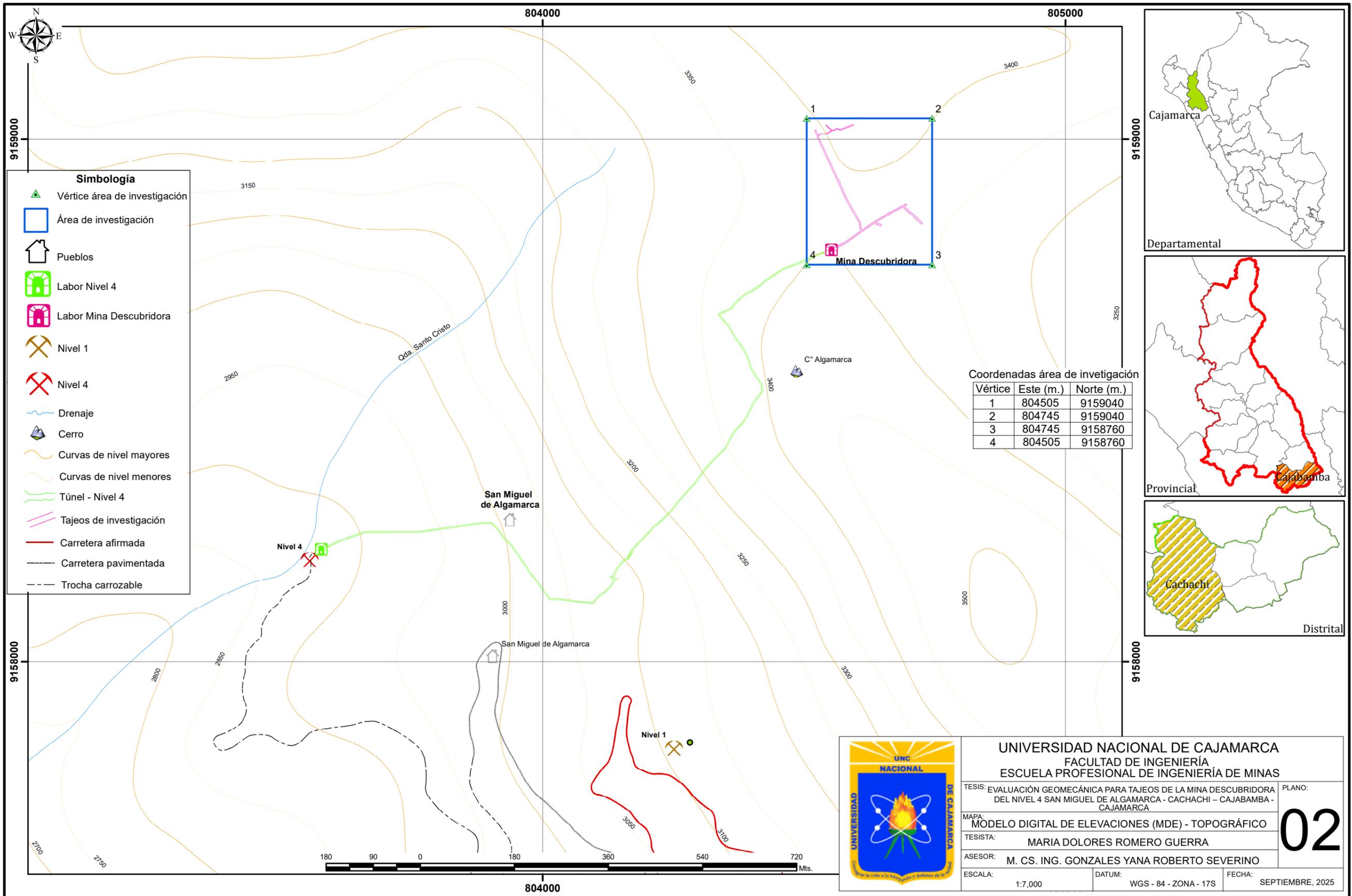


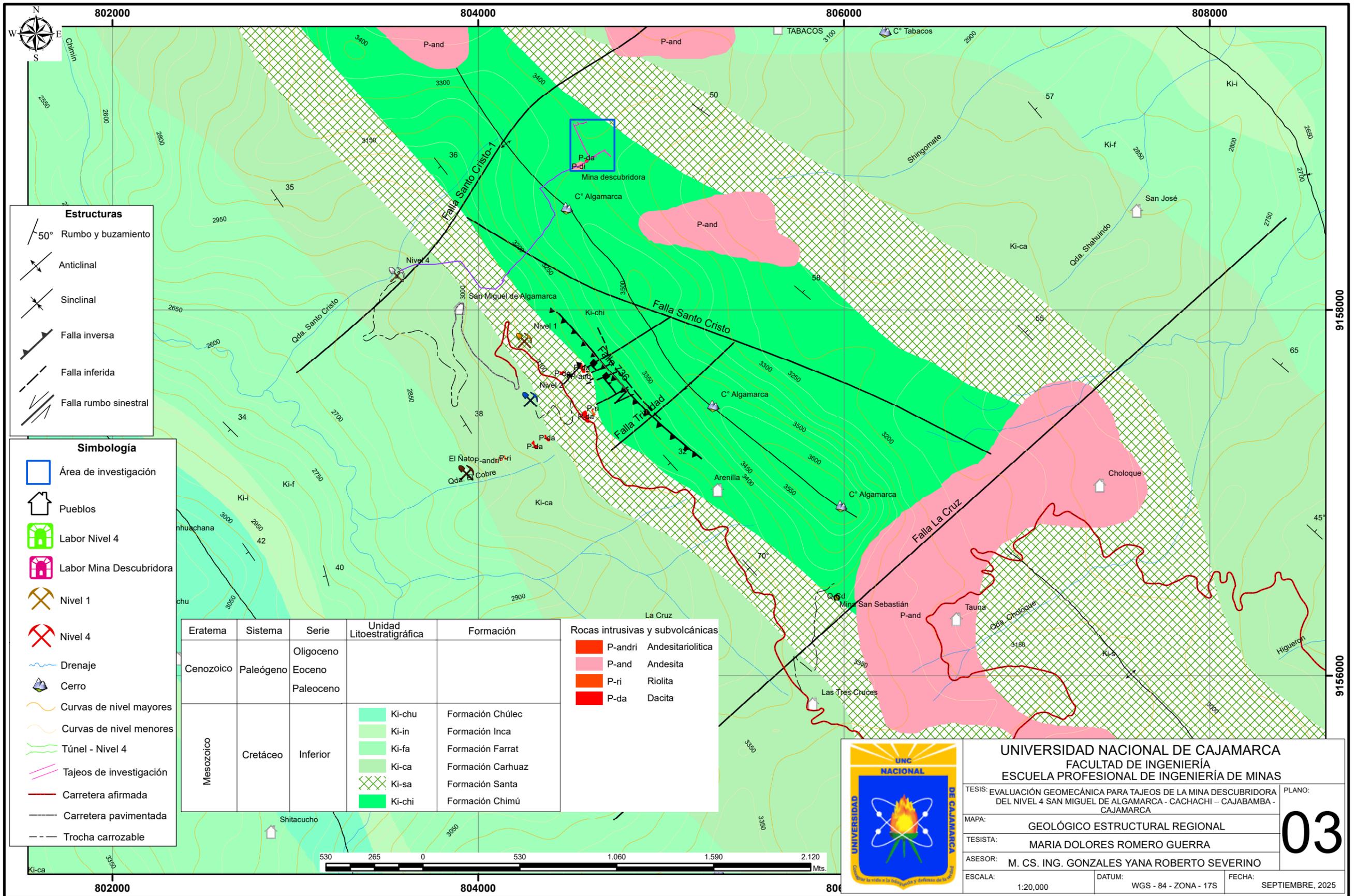
Simbología

	Pueblos
	Labor Nivel 4
	Labor Mina Descubridora
	Nivel 4
	Drenaje
	Cerro
	Curvas de nivel mayores
	Curvas de nivel menores
	Túnel - Nivel 4
	Tajeos de investigación
	Carretera afirmada
	Carretera pavimentada
	Trocha carrozable



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS	
TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA TAJEOS DE LA MINA DESCUBRIDORA DEL NIVEL 4 SAN MIGUEL DE ALGAMARCA - CACHACHI - CAJABAMBA - CAJAMARCA	PLANO: 01
MAPA: IMAGEN SATELITAL SASPLANET - BING MAPS	
TESISTA: MARIA DOLORES ROMERO GUERRA	
ASESOR: M. CS. ING. GONZALES YANA ROBERTO SEVERINO	
ESCALA: 1:4,000	DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S
	FECHA: SEPTIEMBRE, 2025





- Estructuras**
- 50° Rumbo y buzamiento
 - Anticinal
 - Sinclinal
 - Falla inversa
 - Falla inferida
 - Falla rumbo sinistral

- Simbología**
- Área de investigación
 - Pueblos
 - Labor Nivel 4
 - Labor Mina Descubridora
 - Nivel 1
 - Nivel 4
 - Drenaje
 - Cerro
 - Curvas de nivel mayores
 - Curvas de nivel menores
 - Túnel - Nivel 4
 - Tajeos de investigación
 - Carretera afirmada
 - Carretera pavimentada
 - Trocha carrozable

Eratema	Sistema	Serie	Unidad Litoestratigráfica	Formación
Cenozoico	Paleógeno	Oligoceno		
		Eoceno		
		Paleoceno		
Mesozoico	Cretáceo	Inferior	Ki-chu	Formación Chúlec
			Ki-in	Formación Inca
			Ki-fa	Formación Farrat
			Ki-ca	Formación Carhuaz
			Ki-sa	Formación Santa
			Ki-chi	Formación Chimú

- Rocas intrusivas y subvolcánicas**
- P-andri Andesitariolítica
 - P-and Andesita
 - P-ri Riolita
 - P-da Dacita



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

TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA TAJEOS DE LA MINA DESCUBRIDORA DEL NIVEL 4 SAN MIGUEL DE ALGAMARCA - CACHACHI - CAJABAMBA - CAJAMARCA

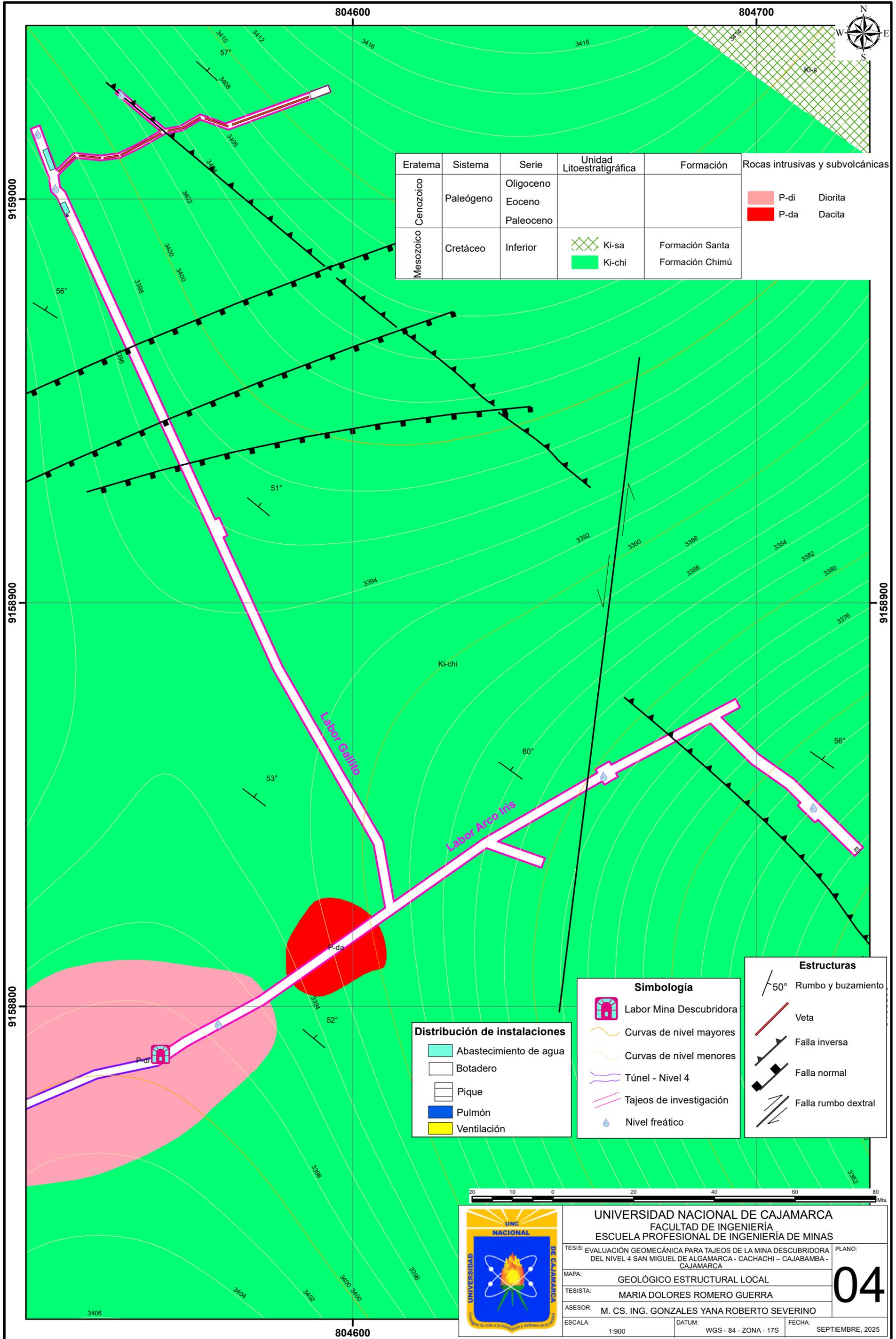
MAPA: **GEOLÓGICO ESTRUCTURAL REGIONAL**

TESISTA: **MARIA DOLORES ROMERO GUERRA**

ASESOR: **M. CS. ING. GONZALES YANA ROBERTO SEVERINO**

ESCALA: 1:20,000 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: SEPTIEMBRE, 2025

PLANO: 03



Eratema	Sistema	Serie	Unidad Litoestratigráfica	Formación
Cenozoico	Paleógeno	Oligoceno		
		Eoceno		
		Paleoceno		
Mesozoico	Cretáceo	Inferior	Ki-sa Ki-chi	Formación Santa Formación Chimú

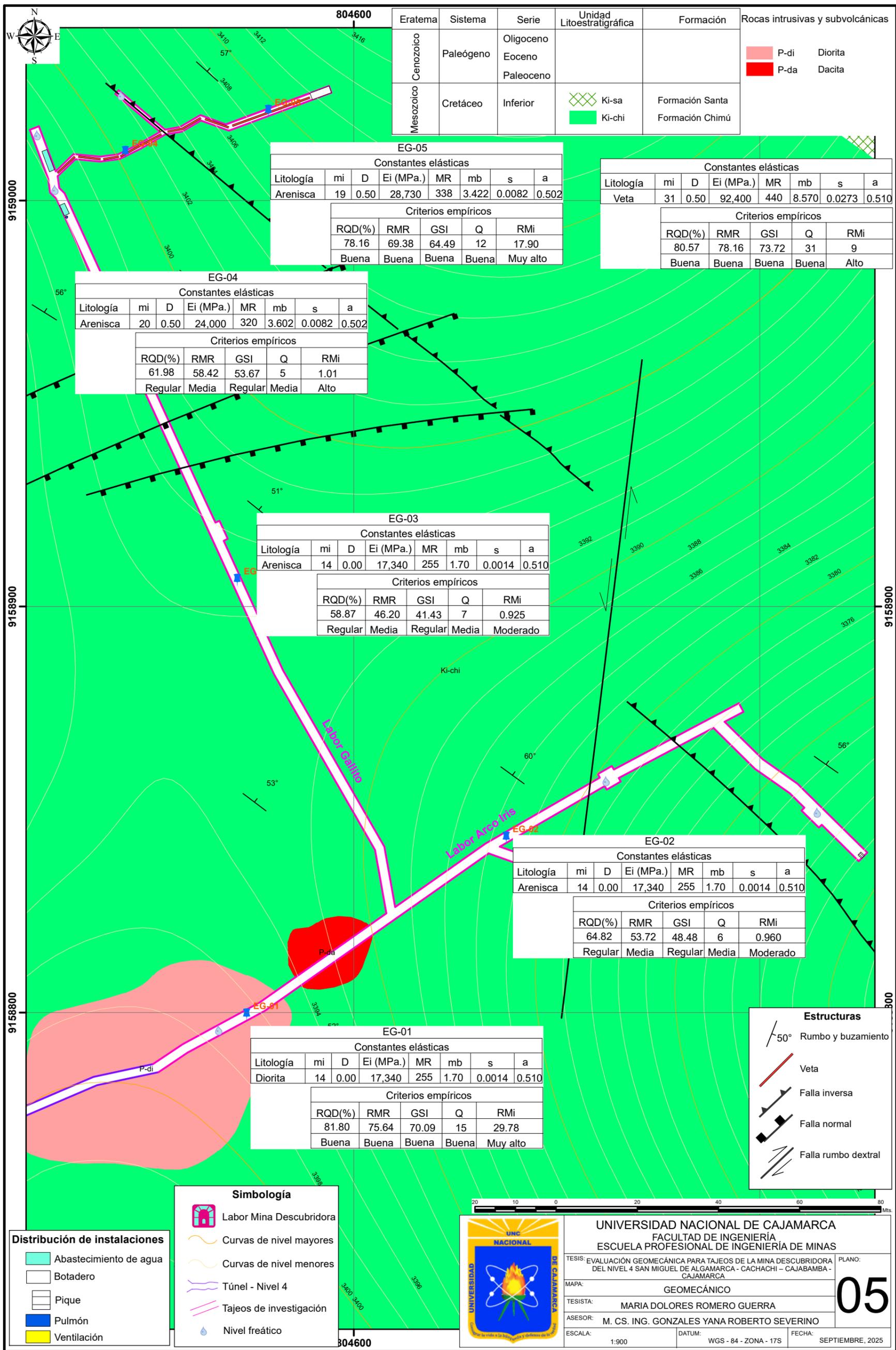
Rocas intrusivas y subvolcánicas	
P-di	Diorita
P-da	Dacita

Distribución de instalaciones	
	Abastecimiento de agua
	Botadero
	Pique
	Pulmón
	Ventilación

Simbología	
	Labor Mina Descubridora
	Curvas de nivel mayores
	Curvas de nivel menores
	Túnel - Nivel 4
	Tajeos de investigación
	Nivel freático

Estructuras	
	Rumbo y buzamiento
	Veta
	Falla inversa
	Falla normal
	Falla rumbo dextral

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS	
	TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA TAJEOS DE LA MINA DESCUBRIDORA DEL NIVEL 4 SAN MIGUEL DE ALGAMARCA - CACHACHI - CAJABAMBA - CAJAMARCA	PLANO:
	MAPA: GEOLÓGICO ESTRUCTURAL LOCAL	04
	TESISISTA: MARIA DOLORES ROMERO GUERRA ASESOR: M. CS. ING. GONZALES YANA ROBERTO SEVERINO	ESCALA: 1:900 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: SEPTIEMBRE, 2025



Eratema	Sistema	Serie	Unidad Litoestratigráfica	Formación	Rocas intrusivas y subvolcánicas
Cenozoico	Paleógeno	Oligoceno			P-di Diorita
		Eoceno			P-da Dacita
		Paleoceno			
Mesozoico	Cretáceo	Inferior	Ki-sa	Formación Santa	
			Ki-chi	Formación Chimú	

EG-05

Constantes elásticas							
Litología	mi	D	Ei (MPa.)	MR	mb	s	a
Arenisca	19	0.50	28,730	338	3.422	0.0082	0.502

Criterios empíricos				
RQD(%)	RMR	GSI	Q	RMi
78.16	69.38	64.49	12	17.90
Buena	Buena	Buena	Buena	Muy alto

Constantes elásticas

Litología	mi	D	Ei (MPa.)	MR	mb	s	a
Veta	31	0.50	92,400	440	8.570	0.0273	0.510

Criterios empíricos				
RQD(%)	RMR	GSI	Q	RMi
80.57	78.16	73.72	31	9
Buena	Buena	Buena	Buena	Alto

EG-04

Constantes elásticas							
Litología	mi	D	Ei (MPa.)	MR	mb	s	a
Arenisca	20	0.50	24,000	320	3.602	0.0082	0.502

Criterios empíricos				
RQD(%)	RMR	GSI	Q	RMi
61.98	58.42	53.67	5	1.01
Regular	Media	Regular	Media	Alto

EG-03

Constantes elásticas							
Litología	mi	D	Ei (MPa.)	MR	mb	s	a
Arenisca	14	0.00	17,340	255	1.70	0.0014	0.510

Criterios empíricos				
RQD(%)	RMR	GSI	Q	RMi
58.87	46.20	41.43	7	0.925
Regular	Media	Regular	Media	Moderado

EG-02

Constantes elásticas							
Litología	mi	D	Ei (MPa.)	MR	mb	s	a
Arenisca	14	0.00	17,340	255	1.70	0.0014	0.510

Criterios empíricos				
RQD(%)	RMR	GSI	Q	RMi
64.82	53.72	48.48	6	0.960
Regular	Media	Regular	Media	Moderado

EG-01

Constantes elásticas							
Litología	mi	D	Ei (MPa.)	MR	mb	s	a
Diorita	14	0.00	17,340	255	1.70	0.0014	0.510

Criterios empíricos				
RQD(%)	RMR	GSI	Q	RMi
81.80	75.64	70.09	15	29.78
Buena	Buena	Buena	Buena	Muy alto

Distribución de instalaciones

- Abastecimiento de agua
- Botadero
- Pique
- Pulmón
- Ventilación

Simbología

- Labor Mina Descubridora
- Curvas de nivel mayores
- Curvas de nivel menores
- Túnel - Nivel 4
- Tajeos de investigación
- Nivel freático

Estructuras

- 50° Rumbo y buzamiento
- Veta
- Falla inversa
- Falla normal
- Falla rumbo dextral

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

TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA TAJEOS DE LA MINA DESCUBRIDORA DEL NIVEL 4 SAN MIGUEL DE ALGAMARCA - CACHACHI - CAJABAMBA - CAJAMARCA

MAPA: GEOMECÁNICO

TESISTA: MARIA DOLORES ROMERO GUERRA

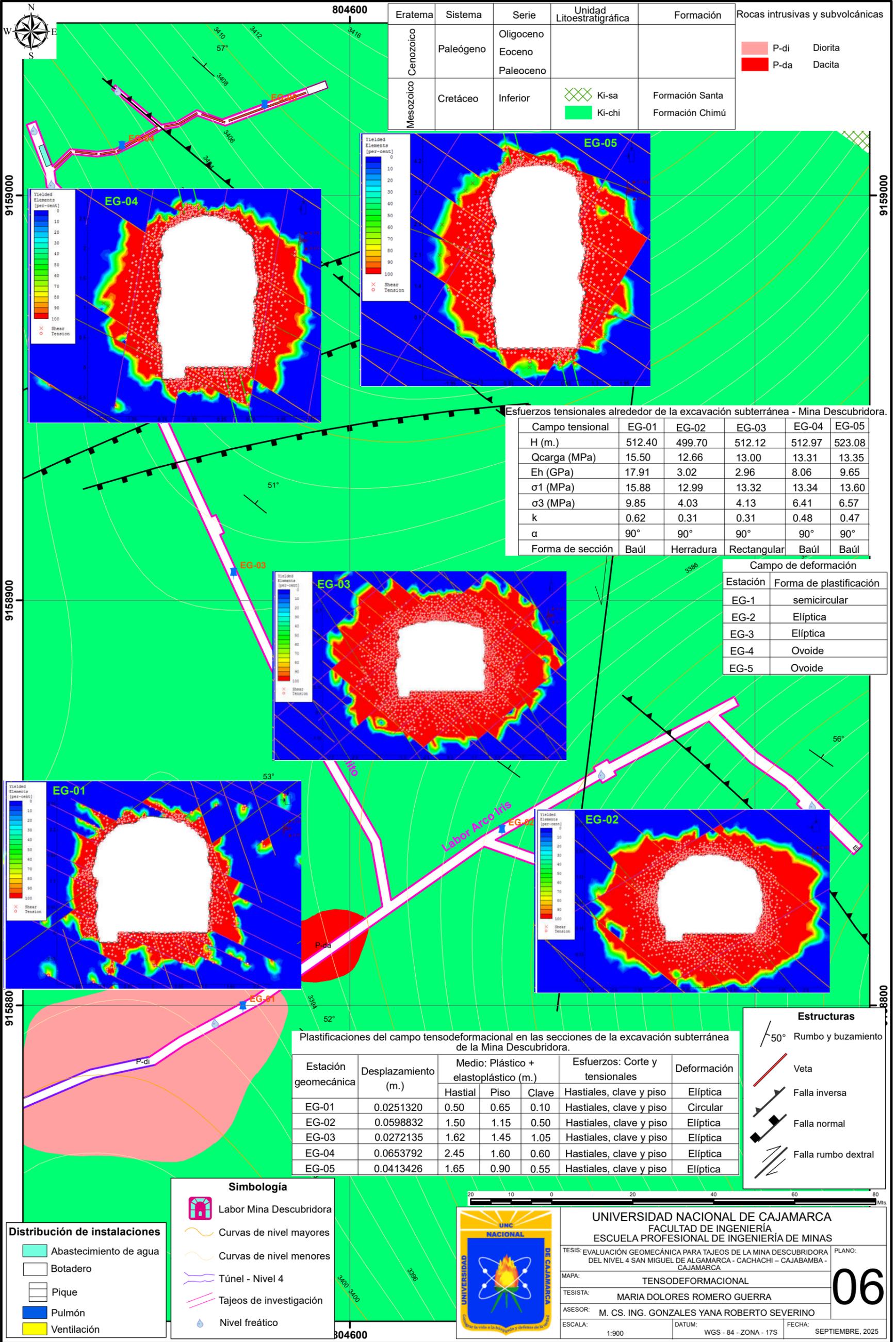
ASESOR: M. CS. ING. GONZALES YANA ROBERTO SEVERINO

ESCALA: 1:900

DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S

FECHA: SEPTIEMBRE, 2025

PLANO: **05**



Eratema	Sistema	Serie	Unidad Litoestratigráfica	Formación
Cenozoico	Paleógeno	Oligoceno		
		Eoceno		
		Paleoceno		
Mesozoico	Cretáceo	Inferior	Ki-sa Ki-chi	Formación Santa Formación Chimú

Rocas intrusivas y subvolcánicas	
P-di	Diorita
P-da	Dacita

Esfuerzos tensionales alrededor de la excavación subterránea - Mina Descubridora.

Campo tensional	EG-01	EG-02	EG-03	EG-04	EG-05
H (m.)	512.40	499.70	512.12	512.97	523.08
Qcarga (MPa)	15.50	12.66	13.00	13.31	13.35
Eh (GPa)	17.91	3.02	2.96	8.06	9.65
σ_1 (MPa)	15.88	12.99	13.32	13.34	13.60
σ_3 (MPa)	9.85	4.03	4.13	6.41	6.57
k	0.62	0.31	0.31	0.48	0.47
α	90°	90°	90°	90°	90°
Forma de sección	Baúl	Herradura	Rectangular	Baúl	Baúl

Campo de deformación

Estación	Forma de plastificación
EG-1	semicircular
EG-2	Elíptica
EG-3	Elíptica
EG-4	Ovoide
EG-5	Ovoide

Plastificaciones del campo tensodeformacional en las secciones de la excavación subterránea de la Mina Descubridora.

Estación geomecánica	Desplazamiento (m.)	Medio: Plástico + elastoplástico (m.)			Esfuerzos: Corte y tensionales	Deformación
		Hastial	Piso	Clave		
EG-01	0.0251320	0.50	0.65	0.10	Hastiales, clave y piso	Elíptica
EG-02	0.0598832	1.50	1.15	0.50	Hastiales, clave y piso	Circular
EG-03	0.0272135	1.62	1.45	1.05	Hastiales, clave y piso	Elíptica
EG-04	0.0653792	2.45	1.60	0.60	Hastiales, clave y piso	Elíptica
EG-05	0.0413426	1.65	0.90	0.55	Hastiales, clave y piso	Elíptica

Simbología

- Labor Mina Descubridora
- Curvas de nivel mayores
- Curvas de nivel menores
- Túnel - Nivel 4
- Tajeos de investigación
- Nivel freático

Distribución de instalaciones

- Abastecimiento de agua
- Botadero
- Pique
- Pulmón
- Ventilación

Estructuras

- 50° Rumbo y buzamiento
- Veta
- Falla inversa
- Falla normal
- Falla rumbo dextral

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

TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA TAJEOS DE LA MINA DESCUBRIDORA DEL NIVEL 4 SAN MIGUEL DE ALGAMARCA - CACHACHI - CAJAMARCA

MAPA: TENSODEFORMACIONAL

TESISTA: MARIA DOLORES ROMERO GUERRA

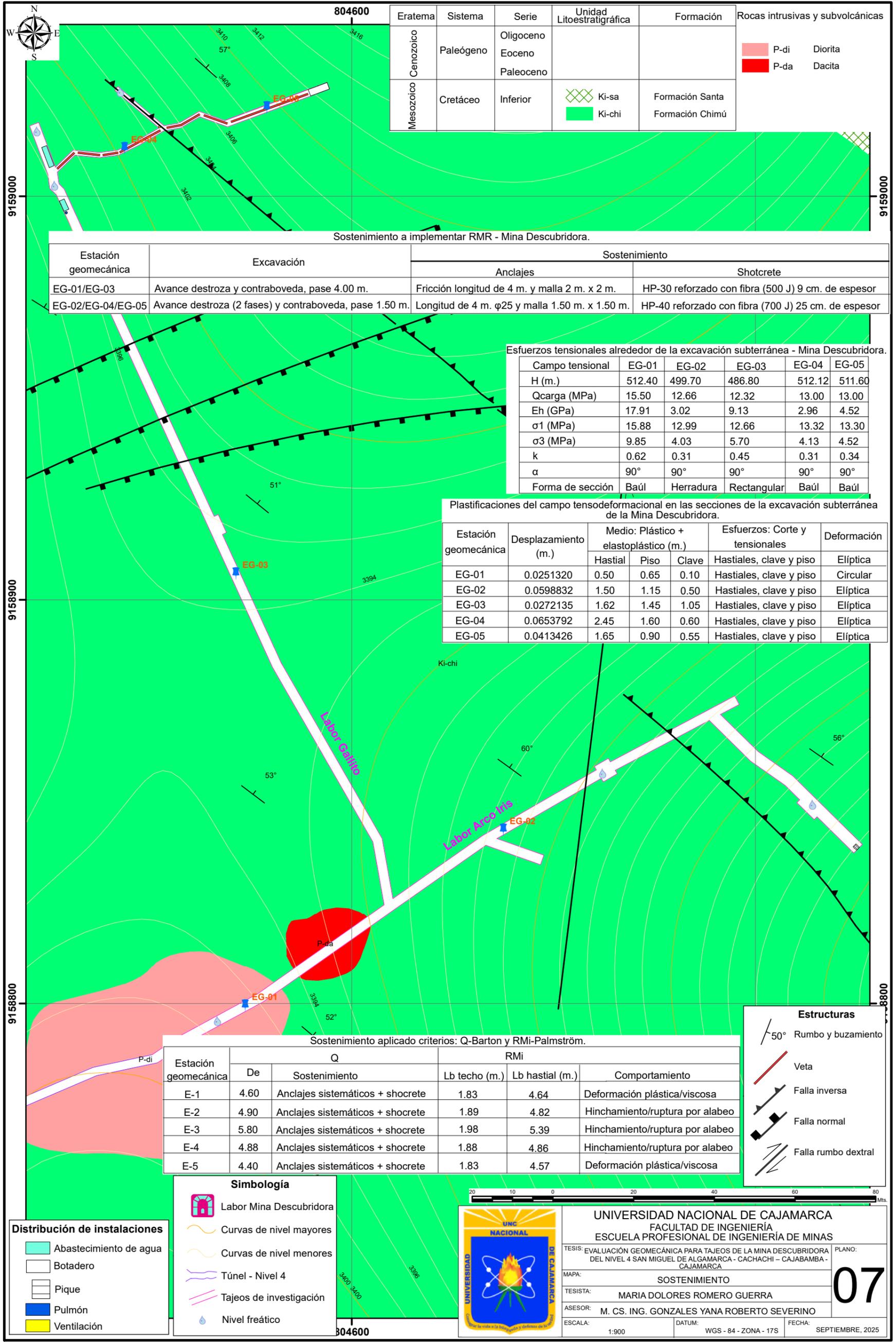
ASESOR: M. CS. ING. GONZALES YANA ROBERTO SEVERINO

ESCALA: 1:900

DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S

FECHA: SEPTIEMBRE, 2025

PLANO: **06**



Eratema	Sistema	Serie	Unidad Litoestratigráfica	Formación
Cenozoico	Paleógeno	Oligoceno		
		Eoceno		
		Paleoceno		
Mesozoico	Cretáceo	Inferior	Ki-sa Ki-chi	Formación Santa Formación Chimú

Rocas intrusivas y subvolcánicas	
■ P-di	Diorita
■ P-da	Dacita

Estación geomecánica	Excavación	Sostenimiento	
		Anclajes	Shotcrete
EG-01/EG-03	Avance destroza y contraboveda, pase 4.00 m.	Fricción longitud de 4 m. y malla 2 m. x 2 m.	HP-30 reforzado con fibra (500 J) 9 cm. de espesor
EG-02/EG-04/EG-05	Avance destroza (2 fases) y contraboveda, pase 1.50 m.	Longitud de 4 m. φ25 y malla 1.50 m. x 1.50 m.	HP-40 reforzado con fibra (700 J) 25 cm. de espesor

Esfuerzos tensionales alrededor de la excavación subterránea - Mina Descubridora.

Campo tensional	EG-01	EG-02	EG-03	EG-04	EG-05
H (m.)	512.40	499.70	486.80	512.12	511.60
Qcarga (MPa)	15.50	12.66	12.32	13.00	13.00
Eh (GPa)	17.91	3.02	9.13	2.96	4.52
σ1 (MPa)	15.88	12.99	12.66	13.32	13.30
σ3 (MPa)	9.85	4.03	5.70	4.13	4.52
k	0.62	0.31	0.45	0.31	0.34
α	90°	90°	90°	90°	90°
Forma de sección	Baúl	Herradura	Rectangular	Baúl	Baúl

Plasticaciones del campo tensodeformacional en las secciones de la excavación subterránea de la Mina Descubridora.

Estación geomecánica	Desplazamiento (m.)	Medio: Plástico + elastoplástico (m.)			Esfuerzos: Corte y tensionales	Deformación
		Hastial	Piso	Clave		
EG-01	0.0251320	0.50	0.65	0.10	Hastiales, clave y piso	Circular
EG-02	0.0598832	1.50	1.15	0.50	Hastiales, clave y piso	Elíptica
EG-03	0.0272135	1.62	1.45	1.05	Hastiales, clave y piso	Elíptica
EG-04	0.0653792	2.45	1.60	0.60	Hastiales, clave y piso	Elíptica
EG-05	0.0413426	1.65	0.90	0.55	Hastiales, clave y piso	Elíptica

Sostenimiento aplicado criterios: Q-Barton y Rmi-Palmström.

Estación geomecánica	De	Q	Rmi		Comportamiento
			Sostenimiento	Lb techo (m.)	
E-1	4.60	Anclajes sistemáticos + shocrete	1.83	4.64	Deformación plástica/viscosa
E-2	4.90	Anclajes sistemáticos + shocrete	1.89	4.82	Hinchamiento/ruptura por alabeo
E-3	5.80	Anclajes sistemáticos + shocrete	1.98	5.39	Hinchamiento/ruptura por alabeo
E-4	4.88	Anclajes sistemáticos + shocrete	1.88	4.86	Hinchamiento/ruptura por alabeo
E-5	4.40	Anclajes sistemáticos + shocrete	1.83	4.57	Deformación plástica/viscosa

Simbología

- Labor Mina Descubridora
- Curvas de nivel mayores
- Curvas de nivel menores
- Túnel - Nivel 4
- Tajeos de investigación
- Nivel freático

Distribución de instalaciones

- Abastecimiento de agua
- Botadero
- Pique
- Pulmón
- Ventilación

Estructuras

- 50° Rumbo y buzamiento
- Veta
- Falla inversa
- Falla normal
- Falla rumbo dextral

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

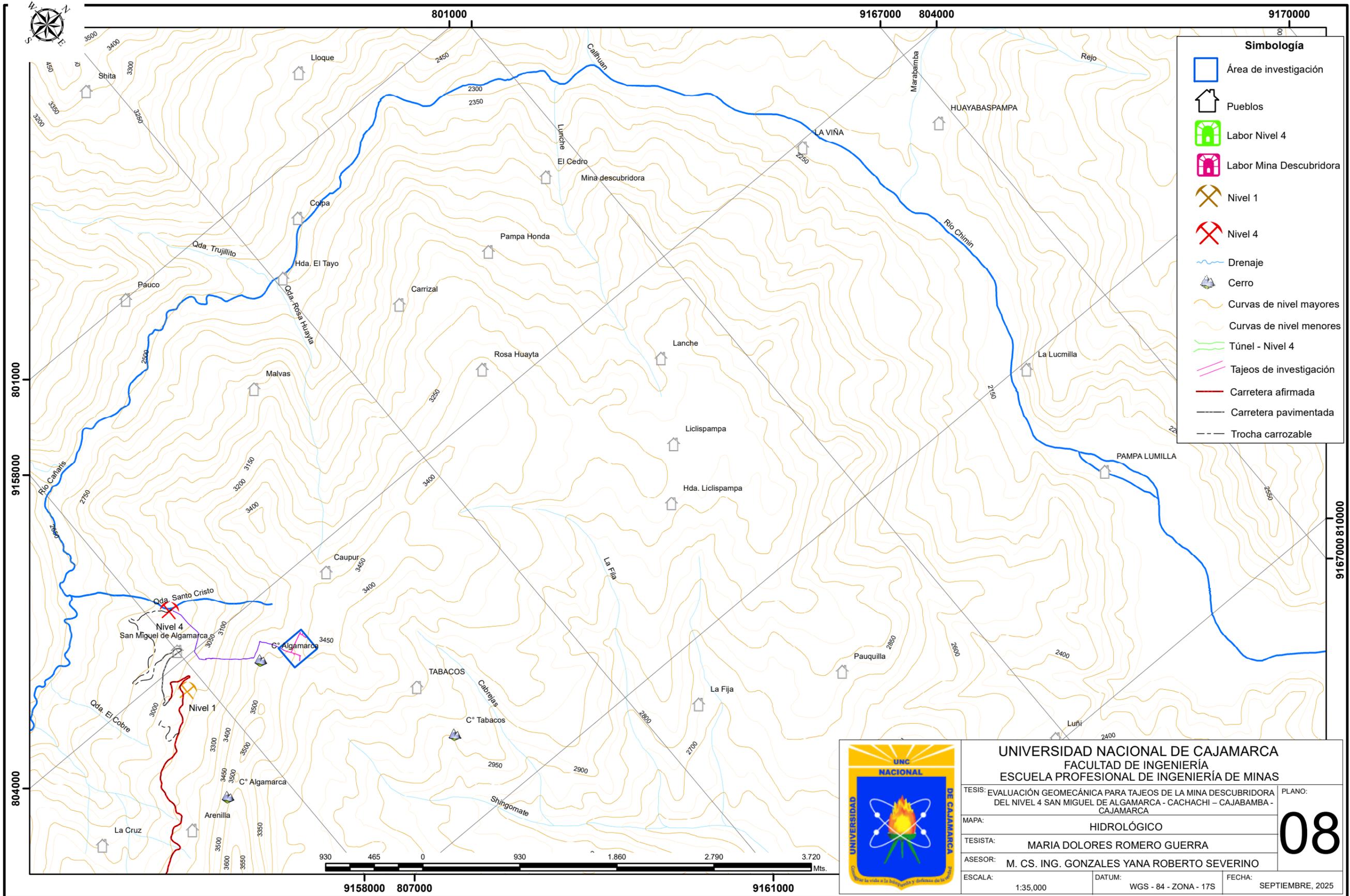
TESISTA: **MARIA DOLORES ROMERO GUERRA**

ASESOR: **M. CS. ING. GONZALES YANA ROBERTO SEVERINO**

ESCALA: 1:900 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: SEPTIEMBRE, 2025

PLANO: **07**

MAPA: **SOSTENIMIENTO**



Simbología

- Área de investigación
- Pueblos
- Labor Nivel 4
- Labor Mina Descubridora
- Nivel 1
- Nivel 4
- Drenaje
- Cerro
- Curvas de nivel mayores
- Curvas de nivel menores
- Túnel - Nivel 4
- Tajeos de investigación
- Carretera afirmada
- Carretera pavimentada
- Trocha carrozable



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		08
FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		
TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA TAJEOS DE LA MINA DESCUBRIDORA DEL NIVEL 4 SAN MIGUEL DE ALGAMARCA - CACHACHI - CAJABAMBA - CAJAMARCA		PLANO:
MAPA:	HIDROLÓGICO	
TESISTA:	MARIA DOLORES ROMERO GUERRA	
ASESOR:	M. CS. ING. GONZALES YANA ROBERTO SEVERINO	
ESCALA:	1:35.000	DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S
		FECHA: SEPTIEMBRE, 2025