

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



TESIS

**CARTOGRAFIADO GEOMECÁNICO DEL SECTOR: NORTE Y SUR -
CRUCERO EL ÑATO NIVEL 2880 - SAN MIGUEL DE ALGAMARCA –
CAJABAMBA**

Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO DE MINAS

Autor:

Bach. Bautista Llanos Eldin Lenin

Asesor:

M.Cs. Ing. Gonzales Yana Roberto Severino

Cajamarca – Perú

– 2025 –

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

- Investigador:** ELDIN LENIN BAUTISTA LLANOS
DNI: 71961191
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:**
CARTOGRAFIADO GEOMECÁNICO DEL SECTOR: NORTE Y SUR - CRUCERO EL ÑATO NIVEL
2880 - SAN MIGUEL DE ALGAMARCA – CAJABAMBA
Fecha de evaluación: 21/08/2025
- Software antiplagio:** TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 8%
- Código Documento:** Oide:3117: 485479211
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 21/08/2025

	 <p>Firmado digitalmente por: BAZAN DIAZ Laura Sofia FAU 20148258801 soft Motivo: En señal de conformidad Fecha: 21/08/2025 22:49:17-0500</p>
<hr/> FIRMA DEL ASESOR <i>Roberto Severino Gonzales Yana</i>	<hr/> 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 : CARTOGRAFIADO GEOMECÁNICO DEL SECTOR: NORTE Y SUR – CRUCERO EL ÑATO NIVEL 2880 – SAN MIGUEL DE ALGAMARCA – CAJABAMBA.

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

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0564-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 29 de agosto de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **cinco días del mes de setiembre de 2025**, siendo las nueve horas (09:00 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. 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 **CARTOGRAFIADO GEOMECÁNICO DEL SECTOR: NORTE Y SUR – CRUCERO EL ÑATO NIVEL 2880 – SAN MIGUEL DE ALGAMARCA - CAJABAMBA**, presentado por el Bachiller en Ingeniería de Minas **ELDIN LENIN BAUTISTA LLANOS**, asesorado por el M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana, para la obtención del Título Profesional

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

EVALUACIÓN PRIVADA : 03 PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : 11 PTS.
EVALUACIÓN FINAL : 14 PTS. CATORCE (En letras)

En consecuencia, se lo declara APROBADO con el calificativo de CATORCE acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las 10:00 a.m. 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 sincero agradecimiento a Dios, por haberme dado la oportunidad de estudiar esta carrera profesional y proporcionarme así mismo conocimiento y sabiduría. También a la Universidad Nacional de Cajamarca, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, por formar parte del complemento competitivo de formación profesional en el mundo de la minería. Así mismo agradezco a la plana de docentes universitarios que dedicaron un espacio de su tiempo al impartir conocimiento, experiencias y aprendizaje profesional para ser mejores personas y profesionales.

Agradezco al M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana, por ser parte importante hacia la superación como: Alumno y persona; y haberme aceptado ser mi asesor de tesis.

E. L. B. LI.

DEDICATORIA

A mis queridos padres Isaac y Martina por formar parte fundamental de mi formación académica, brindarme su confianza, fortaleza, dedicación y apoyarme en los momentos más difíciles, Este logro es el reflejo de su amor y su apoyo constante. También dedico estas palabras con el más grande respeto, amor y cariño a mi hija Eliette, por ser mi mayor motivación de seguir adelante y a mis hermanos, por siempre darme ese aliento seguir luchando por mis anhelos mediante esfuerzo y perseverancia.

E. L. B. LI.

ÍNDICE

	Pág.
AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
LISTA DE ABREVIATURAS	vi
LISTA DE CUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS	4
2.1.1 Internacionales	4
2.1.2 Nacionales	6
2.1.3 Locales	7
2.2 BASES TEÓRICAS	10
2.2.1 Cartografiado geológico estructural	10
2.2.2 Caracterización geomecánica	11
2.2.3 Sostenimiento de excavaciones subterráneas	20
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	26

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN	28
3.2 ACCESIBILIDAD	28
3.3 CLIMA	31
3.4 HIDROLOGÍA	32
3.5 GEOLOGÍA LOCAL	35
3.6 HIDROGEOLOGÍA	37

	Pág.
3.7 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	38
3.8 SISMICIDAD	39
3.9 GEOMECAÁNICA	40
3.9.1 Eg-01	40
3.9.2 Eg-02	43
3.9.3 Eg-03	46
3.9.4 Eg-04	49
3.10 SOSTENIMIENTO SUBTERRÁNEO	52
3.11 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	52
3.11.1 Tipo, nivel, diseño, método de investigación.....	53
3.11.2 Población	54
3.11.3 Muestra	54
3.11.4 Unidad de análisis.....	54
3.11.5 Etapas e instrumentos de información.....	55
3.11.6 Equipos, materiales y soporte computacional.....	56

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	58
4.1.1 Cartografiado geológico-geoestructural	58
4.1.2 Caracterización geomecánica	60
4.1.3 Parámetros de las constantes elásticas.....	61
4.1.4 ESTADO TENSODEFORMACIONAL.....	63
4.1.5 Sostenimiento	66
4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	66
4.3 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	67

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES	68
5.2 RECOMENDACIONES	69
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	70

	Pág.
ANEXOS	76
ANEXO 01. AUTORIZACIÓN DE LA EMPRESA	77
ANEXO 02. REGISTRO GEOMECÁNICO	79
ANEXO 03. PLANOS	84
PLANO 01: IMAGEN SATELITAL SASPLANET – BING MAPS	85
PLANO 02: MODELO DIGITAL DE ELEVACION ES (MDE) – UBICACIÓN	86
PLANO 03: GEOLÓGICO ESTRUCTURAL LOCAL.....	87
PLANO 04: GEOMECÁNICO	88
PLANO 05: TENSODEFORMACIONAL	89
PLANO 06: ENTORNO DE PLASTIFICACIÓN.....	90

LISTA DE ABREVIATURAS

WGS-84	:	Sistema Geodésico Mundial 1984.
UTM	:	Universal Transversal de Mercator.
GPS	:	Sistema de posicionamiento global.
UNC	:	Universidad Nacional de Cajamarca.
M.Cs	:	Maestro en ciencias.
Ing.	:	Ingeniero.
Ingemmet	:	Instituto geológico minero y metalúrgico del Perú.
Osinergmin	:	Organismo supervisor de la inversión en energía y minería.
Senamhi	:	Servicio nacional de meteorología e hidrología del Perú.
EAFIT	:	Escuela de administración, finanzas e instituto tecnológico.
HNS	:	Hildebrando, Nahum y Salomon.
Ingeominas	:	Servicio geológico colombiano.
NGI	:	Instituto geotécnico de Noruega.
TBM	:	Máquina de perforación tuneladora
UCS	:	Resistencia a la compresión uniaxial.
UEA	:	Unidad económica administrativa.
MARSA	:	Minera aurífera Retamas.
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.
SASPlanet	:	SAS.Planeta.
SH	:	Shotcrete.
M	:	Malla.
@	:	Cada.
M-C	:	Morh-Coulomb.
H-B	:	Hoek-Brown.
σ_c	:	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.
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.
Q	:	Índice de calidad tunelera.
Qfrente	:	Índice de calidad tunelera frente.
Qhastial	:	Índice de calidad tunelera hastial.
Qmin	:	Índice de calidad tunelera mínimo.
Qmax	:	Índice de calidad tunelera máximo.
Qmed	:	Índice de calidad tunelera medio.
E	:	Energía.
N'	:	Numero de estabilidad.
J_n	:	Número de familias diaclasadas.
J_r	:	Número de rugosidad de las diaclasadas.
J_a	:	Número de alteración de las diaclasadas.
J_w	:	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.
V_b	:	Volumen de bloque.
JC	:	Factor de estado de las diaclasas.
E.30	:	Norma técnica.
Z3	:	Zona sísmica
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	:	Espectro de sísmica horizontal.
Sv	:	Espectro de sísmica vertical.
m o k	:	Coefficiente de reparto de tensiones.

α	:	Ángulo de orientación tensional.
R2, R3..	:	Grado de estimación de roca.
ND	:	Numero de discontinuidades
FS	:	Factor de Seguridad.
PF	:	Probabilidad de falla.
MPa	:	Mega pascales.
GPa	:	Giga pascales.
N	:	Newton.
KJ	:	Kilo Joule.
J	:	Joule.
Ix	:	Falla Inversa.
Nx	:	Falla Normal.
Pi.	:	Punto de inicio.
Pip	:	Punto de inicio by-pass
PicNE	:	Punto de inicio crucero Noreste.
PicSW	:	Punto de inicio crucero Suroeste.
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 et al., (1967).....	12
Cuadro 2.2. Clasificación geomecánica RMR ₈₉ . Fuente: González, (2002).	13
Cuadro 2.3. Corrección por orientación de las discontinuidades RMR ₈₉ . Fuente: González, (2002).	14
Cuadro 2.4. Calidad de la roca en función del índice RMR ₈₉ . Fuente: Jordá et al., (2016).	14
Cuadro 2.5. Índice geológico de resistencia (GSI). Fuente: Hoek, (2002).....	16
Cuadro 2.6. Valoraciones del Índice de calidad Q. Fuente: Barton, Lien y Lunde, 1974.	17
Cuadro 2.7. Clasificación del RMi - Palmstrom (1996) Fuente: Jordá et al., (2016).	19
Cuadro 2.8. Perfil HEB – europeas. Fuente: Gullón, (2011).	24
Cuadro 2.9. Perfil THN – perfil de entibación. Fuente: Gullón, (2011).	25
Cuadro 3.1. Coordenadas de las labores subterráneas.....	29
Cuadro 3.2. Ruta terrestre superficial al área de investigación – crucero El Ñato Nivel 2880.....	31
Cuadro 3.3. Ruta terrestre subterránea – crucero El Ñato Nivel 2880, sector: Norte y Sur – Veta Marina.....	31
Cuadro 3.4. Precipitación máxima desde el año: 2019 al 2024, mediante la estación Cachachi. Fuente: SENAMHI, 2019 a 2024.	35
Cuadro 3.5. Parámetros sismorresistentes del sector: Norte y Sur – Veta Marina.....	39
Cuadro 4.1. Caracterización geomecánica del sector: Norte y Sur – Veta Marina/Crucero El Ñato Nivel 2880.	60
Cuadro 4.2. Constantes elásticas del macizo rocoso, por cartografiado geomecánico del sector: Norte y Sur – Veta Marina/Crucero El Ñato Nivel 2880.....	62
Cuadro 4.3. Parámetros de influencia alrededor de la galería del sector: Norte y Sur – Veta Marina/Crucero El Ñato Nivel 2880.	62
Cuadro 4.4. Comportamiento tensional mediante métodos numéricos del sector: Norte y Sur – Veta Marina/Crucero El Ñato Nivel 2880.	63

	Pág.
Cuadro 4.5. Desplazamiento tensodeformacional Mediante el software RS2, en las etapas: Exploración y excavación, del sector: Norte y Sur – Veta Marina/Crucero El Ñato Nivel 2880.	65
Cuadro 4.6. Plastificación tensodeformacional etapa excavación, del sector: Norte y Sur – Veta Marina/Crucero El Ñato Nivel 2880.	65
Cuadro 5.1. Registro geomecánico EG-01.	80
Cuadro 5.2. Registro geomecánico EG-02.	81
Cuadro 5.3. Registro geomecánico EG-03.	82
Cuadro 5.4. Registro geomecánico EG-04.	83

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. Cartografiado geológico-estructural de la cuenca río Combeima. Fuente: INGEOMINAS, (2018).	10
Figura 2.2. Grafica de la ecuación de Priest y Hudson (1976) Fuente: Jordá et al., (2016).	12
Figura 2.3. Vallejo, (2011). Caracterización del macizo rocoso según GSI modificado. Fuente: Osinergmin, (2017).	15
Figura 2.4. Sistema Q - estimación del soporte de roca, en función del Q_{frente} (Clave y hastial). Fuente: Instituto Geotécnico de Noruega (NGI), 2014.	18
Figura 2.5. Esquema de cálculo del RMI. Fuente: Palmstrom, (2000).	19
Figura 2.6. Esquema de un cuadro recto. Fuente: Cruz, (2004).	21
Figura 2.7. Elemento de un cuadro cónico. Fuente: Baca, (2007).	21
Figura 2.8. Comportamiento de carga vs. desplazamiento de diferentes tipos de anclajes de roca. Fuente: Ghorbani et al., (2020).	22
Figura 2.9. Modelación de las zonas de daño alrededor de una excavación (Modificado de Villaescusa, 2014). Fuente: Osinergmin, (2017).	23
Figura 2.10. Colocación de las cimbras. Fuente: Cruz, (2004).	24
Figura 2.11. Métodos de inyección de cables de anclaje Fuente: Hoek, Kaiser, Bawden, (1995).	25
Figura 3.1. Recorrido de acceso de Cajamarca a Algamarca. Fuente: Google Maps, 2025.	28
Figura 3.2. Emboquille de ingreso al Cx – 126 El Ñato.	30
Figura 3.3. Ingreso al sector: Norte y Sur – Veta Marina, con sección: 2.30 m. x 2.90 m.	30
Figura 3.4. Diagrama meteorológico de la estación Cachachi tipo meteorológica convencional. Fuente: SENAMHI, 2024.	32
Figura 3.5. Delimitación de vertientes cercanas a las instalaciones subterráneas del sector: Norte y Sur – Veta Marina, ubicándose paralela a la galería el río Cañaris a 1,480 m. con orientación SSE-NNW.	34
Figura 3.6. Drenaje fluvial limítrofe de la zona de investigación, evacuando las aguas al Río Cañaris.	34

	Pág.
Figura 3.7. Variograma de barras de la precipitación máxima en 24 horas - estación de Cachachi. Fuente: SENAMHI, 2019 a 2024.	35
Figura 3.8. Galería del sector: Norte y Sur – Veta Marina, Ubicado Pi + 35.00 m., conformado por areniscas de la Formación Chimú.	36
Figura 3.9. Muestra de arenisca de grano medio con matriz cementante silicificada con superficie de roca plana granulada, constituyendo la sección de túnel.	37
Figura 3.10. Galería del sector: Norte y Sur – Veta Marina, ubicado Pi + 35.00 m., conformado por areniscas de la Formación Chimú.	38
Figura 3.11. A. Esfuerzo: Mayor vs. Menor (H-B) y B. Esfuerzo: Corte y normal (M-C); mediante el método equivalencia de área, EG-01.	40
Figura 3.12. Proyección deformacional del macizo rocoso frente a la sección subterránea, en la etapa de exploración delimitado por discontinuidades y espectros de franjas horizontales de variación del campo de carga constante, EG-01.	41
Figura 3.13. Muestra desplazamiento vertical de 0.01723 m., por la variación de los espectros de las franjas horizontes, observándose claramente en la solera de la sección de la galería, EG-01.	41
Figura 3.14. La etapa de excavación muestra plastificación concentrada alrededor del túnel, siendo por la redistribución tensional del medio plástico mediante la concentración del esfuerzo: Corte y tensional, con amplitud 0.95 m. en la sección transversal de la galería, en la EG-01.	42
Figura 3.15. Comportamiento de la diaclasa en la etapa: Exploración y explotación, ocasionando cambios importantes a partir de la octava intersección, logrando observar cambios importantes de desprendimiento desde los 4.50 m. de distancia transversal en la excavación subterránea, en la EG-01.	42
Figura 3.16. A. Esfuerzo: Mayor vs. Menor (H-B) y B. Esfuerzo: Corte y normal (M-C); mediante el método equivalencia de área, EG-02.	43
Figura 3.17. Proyección deformacional del macizo rocoso frente a la sección subterránea, en la etapa de exploración delimitado por discontinuidades y espectros de franjas horizontales de variación del campo de carga constante, EG-02.	44

Figura 3.18.	Los cambios de desplazamiento vertical son 0.0328278 m. por presión constante observando variaciones del entorno de asentamiento, disipándose en el color azul por los vectores de contorno de dirección, EG-02.	44
Figura 3.19.	Etapa de excavación en la EG-02, presenta el entorno de plastificación de la sección, mostrando cambios en: Hastiales (0.95 m. a 1.20 m.) y solera (0.85 m.), por esfuerzo: Cortantes y tensionales.	45
Figura 3.20.	Comportamiento de la junta en la etapa de exploración tiene desplazamiento uniforme, formándose a 10.95 m. desplazamiento interno por colapso de roca. Por consiguiente, en la etapa de explotación forman cambios importantes hasta 4.00 m. de profundidad transversal, en la excavación subterránea, de la EG-02.	45
Figura 3.21.	A. Esfuerzo: Mayor vs. Menor (H-B) y B. Esfuerzo: Corte y normal (M-C); mediante el método equivalencia de área, EG-03.	46
Figura 3.22.	Estado inicial de la EG-03 delimitado por el entorno de desplazamiento por variables numéricas que afecta progresivamente el entorno vectorial.	47
Figura 3.23.	Estado inicial de la EG-03 muestra desplazamientos 0.02053 m. en función de las franjas espectrales siendo influenciadas mínimamente por están ubicada a la por la carga 302.69 MPa.	47
Figura 3.24.	Los cambios de plastificación por esfuerzos: Tensiones y cortantes, se muestran en la periferie de la excavación con mayor concentración a la distancia 0.45 m. a 0.55 m. del medio plástico, por consiguiente, le medio elastoplástico esta influencia por el esfuerzo cortante; presentando forma elíptica por: Hastiales y solera, en la EG-03.	48
Figura 3.25.	El comportamiento del desplazamiento de la junta en la etapa de exploración es uniforme desde la distancia: 1.00 a 13.27, presentando colapsos por calidad de roca al inicio y final del eje. Por lo contrario, etapa de explotación forman cambios paralelos homogéneos en función de la profundidad de la excavación subterránea EG-03.	48

	Pág.
Figura 3.26. A. Esfuerzo: Mayor vs. Menor (H-B) y B. Esfuerzo: Corte y normal (M-C); mediante el método equivalencia de área, EG-04.	49
Figura 3.27. La EG-04 presenta variaciones del entorno formando zonas alveoladas por influencia de: Agua y discontinuidades, observándose variaciones en el campo de desplazamiento.	50
Figura 3.28. La EG-04 muestra desplazamiento vertical de 0.002544 m., siendo generado por movimientos tectónicos, en la sección de influencia de la excavación subterránea.	50
Figura 3.29. La EG-04 plasma cambios tensiones de plastificación en: Hastiales y solera, de forma irregular siendo influenciada por discontinuidades, concentrándose los esfuerzos: Cortantes y tensionales hasta el medio: Plástico y elastoplástico, proyectándose desde amplitudes: 1.50 m. a 1.95 m.	51
Figura 3.30. Los desplazamientos de la junta en la etapa de exploración muestra cambios importantes desde la distancia: 0.00 m. a 5.75 m., luego muestra cambios progresivos disminuyendo el desplazamiento. Por consiguiente, la etapa de excavación presenta cambios deformacionales hasta 7.15 m. de profundidad, luego cambiando a comportamiento uniformemente elástico el macizo rocoso, en la EG-04.	51
Figura 4.1. Proyección estereográfica de las juntas del macizo rocoso, mostrando la distribución de densidad relacionados diagrama: Pi y beta, mediante la falsilla de Wulff.	59

RESUMEN

El sector: Norte y Sur - Veta Marina/Crucero El Ñato Nivel 2880, se ubica al S del centro poblado San Miguel de Algamarca, distrito Cachachi, provincia Cajabamba y región Cajamarca, plantea como objetivos: Obtener el cartografiado geológico-geoestructural, realizar la caracterización geomecánica, y determinar y evaluar los parámetros de las constantes elásticas del macizo rocoso; aplicando metodología: Cuantitativa, transversal, diseño no experimental, método deductivo - inductivo. El túnel presenta estratos tabulares de arenisca grano medio de espesor: 0.25 m. a 0.35 m. de Az/Bz = N142°/ 58°SW pertenecientes a la Formación Chimú; ubicada en el flanco izquierdo del anticlinal Algamarca, dominada por fallas de rumbo: Las fallas Cruz y Santo Cristo-1; cortando transversalmente al eje del anticlinal, enriquecidas en: Au, Ag y Cu; así mismo la geomecánica muestra roca de calidad: Regular (EG-01/RQD = 65.33%, RMR = 58, GSI = 53, Q = 5 y R_{Mi} = 0.40, EG-02/RQD = 69.17%, RMR = 46, GSI = 41, Q = 8 y R_{Mi} = 0.60, y EG-03/RQD = 72.50%, RMR = 53, GSI = 48, Q = 9 y R_{Mi} = 0.75,) y buena (EG-04/RQD = 80.65%, RMR = 74, GSI = 69, Q = 12 y R_{Mi} = 6.40); aplicando el programa numérico muestran valores de $m_i > 19$, así mismo $s < 0.016$ y $a \neq 1/2$, mediante el criterio generalizado de Hoek y Brown, con valores de c : 1.286 a 2.630 y ϕ° : 44.87° a 54.73°, con módulo de elasticidad (E_i): 3.379 GPa a 13.292 GPa.; y estado tensodeformacional del medio plástico - etapa de exploración plasma cambios de desplazamiento: 0.002544 m. a 0.0328278 m. en el macizo rocoso, sin embargo, en la etapa de excavación la plastificación aumenta desde: 0.080 m. a 1.309 m. por apertura de galería con aureolas: Circular a irregular; aplicando sostenimiento por: Anclajes de fricción de longitud de 4 m. con malla 2.00 m. x 2.00 m. o HP-30 reforzado con fibra (500 J) 9 cm. de espesor las EG-01, EG-03 y EG-04; y anclajes con longitud 4.00 m. $\phi 25$ malla 1.50 m. x 1.50 m. en bóveda y de 6.00 m. $\phi 32$ malla 1.50 m. x 1.50 m. en hastiales; o HP-40 reforzado con fibra (700 J) 25 cm. de espesor la EG-02.

Palabras clave: Macizo rocoso, juntas, plastificación, deformación y sostenimiento.

ABSTRACT

The sector: North and South - Veta Marina/Crucero El Ñato Level 2880, is located south of the San Miguel de Algamarca populated center, Cachachi district, Cajabamba province and Cajamarca region, has the following objectives: Obtain geological-geostructural mapping, perform geomechanical characterization, and determine and evaluate the elastic constant parameters of the rock mass; applying methodology: Quantitative, transversal, non-experimental design, deductive - inductive method. The tunnel presents tabular strata of medium grain sandstone with a thickness of: 0.25 m. to 0.35 m. of Az / Bz = N142 ° / 58 ° SW belonging to the Chimú Formation; located on the left flank of the Algamarca anticline, dominated by strike-slip faults: La Cruz and Santo Cristo-1; cutting transversely to the anticline axis, enriched in: Au, Ag and Cu; Likewise, geomechanics shows rock quality: Regular (EG-01 / RQD = 65.33%, RMR = 58, GSI = 53, Q = 5 and RMi = 0.40, EG-02 / RQD = 69.17%, RMR = 46, GSI = 41, Q = 8 and RMi = 0.60, and EG-03 / RQD = 72.50%, RMR = 53, GSI = 48, Q = 9 and RMi = 0.75,) and good (EG-04 / RQD = 80.65%, RMR = 74, GSI = 69, Q = 12 and RMi = 6.40); applying the numerical program show values of $m_i > 19$, also $s < 0.016$ and $a \neq 1/2$, by the generalized criterion of Hoek and Brown, with values of c : 1.286 to 2.630 and ϕ °: 44.87 ° to 54.73 °, with modulus of elasticity (E_i): 3.379 GPa to 13.292 GPa .; and stress-strain state of the plastic medium - exploration stage plasma displacement changes: 0.002544 m. to 0.0328278 m. in the rock mass, however, in the excavation stage the plastification increases from: 0.080 m. to 1.309 m. by opening a gallery with halos: Circular to irregular; applying support by: Friction anchors length of 4 m. with mesh 2.00 m. x 2.00 m. or HP-30 fiber reinforced (500 J) 9 cm thick EG-01, EG-03 and EG-04; and anchors with a length of 4.00 m. $\phi 25$ mesh 1.50 m. x 1.50 m. in the vault and 6.00 m. $\phi 32$ mesh 1.50 m. x 1.50 m. in the gables; or HP-40 fiber reinforced (700 J) 25 cm thick EG-02.

Keywords: Rock mass, joints, plastification, deformation and supp.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El sector: Norte y Sur - Veta Marina/Crucero El Ñato Nivel 2880, está superpuesta en la concesión acumulación Shahuindo, ubicado en un sector del centro poblado de San Miguel de Algamarca, distrito de Cachachi, provincia de Cajabamba, región de Cajamarca. La empresa realiza actividades metálicas de extracción minerales: Au, Ag, Cu y óxidos, mediante la sección tunelera 1.8:2.30, del sector: Norte y Sur, aperturando secciones de avance tunelero en la Formación Chimú – Cretácico Inferior, constituido por estratos de areniscas y ortocuarcitas de grano fino, con grosor: 0.25 m. a 0.40 m., de color blanquecino, con secuencias de limos de color castaño de espesor: 2 mm. a 5 mm., delimitado por discontinuidades formando fallamientos: Tetraédricos, prismáticos, truncados y doblemente truncados, ocasionando desprendimiento de rocas por las intersecciones de discontinuidades o grietas de tracción: por esta razón, se realizara una evaluación del cartografiado geomecánico para evaluar la estabilidad de macizo rocoso.

La caracterización geomecánica plasmará el comportamiento geomecánico del túnel, por medio de la calidad de roca y cambio tensional. Por ello formulamos el problema principal: ¿Cuál es el resultado del cartografiado geomecánico del sector: Norte y Sur, del crucero el Ñato Nivel 2880, San Miguel de Algamarca – Cajabamba – Cajamarca?; y específico: ¿Cuál será el cartografiado geomecánico del frente al estado tensodeformacional en la epata: Exploración y excavación, mediante la geomecánica del crucero el Ñato Nivel 2880?.

Plasmando la hipótesis, que el sector: Norte y Sur, del crucero el Ñato, en la Veta Marina presenta estallido de rocas, desprendimiento y la influencia de la sismicidad: Geotectónica y efectos de la perforación y voladura, ocasionan inestabilidades que se reflejan en los cambios tensodeformacionales modificando el modelo numérico

del entorno de la excavación subterránea, mediante la interacción de las variables: Litológicas, geoestructuras, infiltración y estado tensional, obtenidos valores del entorno de la excavación, utilizándose sostenimiento por cuadros: cónicos y rectos, y anclajes, minimizando el cambio tensodeformacional de la sección subterránea.

Presenta como justificación, la realización de la caracterización geomecánica del sector: Norte y Sur, dará a conocer el comportamiento tensodeformacional alrededor de la excavación subterránea, mediante la influencia de las variables: Litología, geoestructuras, sismicidad, estado tensional e infiltración; afectando progresivamente la estabilidad del medio plástico del basamento rocoso, siendo válido mediante los modelos numéricos: RocData y RS2. Para demostrar los cambios alrededor del túnel en función de la etapa: Exploración y excavación. Siendo necesario realizar el cartografiado geomecánico, para obtener valores de la calidad de roca y entorno del túnel. Presentando limitaciones en los tiempos de ingreso al Nivel 2880, fundamentada en actividades como: Transporte, perforación, voladura, sostenimiento, ingreso y salida de personal, impactando directamente en los cartografiados de campo en función de las variables planteadas y levantamiento topográfico.

La presente investigación tiene como objetivo principal: Determinar el cartografiado geomecánico del sector: Norte y Sur – cruce El Ñato Nivel 2880, mediante caracterización del macizo rocoso y modelo numérico RS2; y específicos: Obtener la evaluación geológico-geoestructural, realizar la caracterización geomecánica, determinar las constantes elásticas y estado tensodeformacional en la etapa: Exploración y excavación, determinar las zonas inestables para mejorar el sostenimiento.

La investigación se divide en cinco capítulos: el capítulo I corresponde a la introducción, formulación de problema que va relacionado con la justificación y los objetivos planteados, el capítulo II abarca los antecedentes internacionales, nacionales y locales de la investigación, asimismo; las bases teóricas y finalmente la definición de términos básicos. En el capítulo III, describe los materiales y métodos del área de investigación y la metodología a utilizar, que abarca el tipo de estudio, diseño, métodos aplicados, así como la descripción de las técnicas, y

procedimientos utilizados para la recolección y análisis de datos. En el capítulo IV, presenta análisis y discusión de resultados, de acuerdo con los resultados obtenidos y contrastarlos con la hipótesis de la investigación y finalmente en el capítulo V, describe las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y los anexos.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1.1 Internacionales

Gómez (2022), en su tesis “Caracterización, zonificación geomecánica y recomendación del sostenimiento necesario para la estabilidad de labores y temporales y permanentes del macizo rocoso en el Nivel 1712 del cuerpo Zeus de la Mina Roble”. La estructura principal: NWW-SEE y SWW-NEE y secundaria N-S; delimita cinco juntas D/DD: 85/173, 54/180, 85/265, 35/249 y 70/335. Reporta 4 litologías: Basalto (RQD = 45% a 59%, RMR: Tipo 1-IVA (39.40), GSI: IF/R; y tipo 2-IIIB (47.40), MF/R), chert negro (RQD = 41% a 49%, RMR: Tipo 1-IIIB (42.40), GSI: MF/R; y tipo 2-IVA, GSI: IF/R; (37.30)), sulfuro (RQD = <30% a 61%, RMR: Tipo 1-IVA (36.50), GSI: IF/R; tipo 2-IIB (45.50), GSI: MF/R; y tipo 3-IIIA (52.30), GSI: MF/R;) y dique (RQD = 45% a 65%, RMR: Tipo 1-IVA (41.20) GSI: IF/R; y tipo 2-IIB (52.20), GSI: MF/R); de calidad: Mala a regular; siendo: Inestables, baja resistencia, muy fracturados, deformados y alterados.

Betancur y López (2019), en su tesis “Caracterización y clasificación geomecánica del macizo rocoso en el nivel veintiuno en el nivel veintiuno de la Mina La Maruja (Distrito minero de Marmato, Caldas) para estimar las recomendaciones de estabilidad y soporte en la excavación y su correlación con las alteraciones hidrotermales”. El yacimiento está emplazado en el stock Marmato - pórfido andesítico a dacítico, predominado alteración hidrotermal argílica la roca caja, mediante la clasificación geomecánica RMR de calidad: Buena, regular y mala; y Q de calidad: Muy buena, buena, regular y pobre; influenciadas por Vetas: Invasores Norte y Dolores, siendo estructuras: Muy fracturadas y altamente meteorizadas, requiriendo sostenimiento por cimbras.

Villota (2022), en su tesis “Evaluación y caracterización del macizo rocoso para la identificación del comportamiento de los diferentes tipos de sostenimiento en la Mina El Roble, El Carmen de Atrato, Choco, Colombia”. La litología muestra: Basaltos, chert negro y gris, secuencia sedimentaria, sulfuro masivo y diques andesíticos. Plasmando calidad de roca: Regular a moderada, Tipo: IV-A y III-B, RMR: 31 y 50 y GSI: IF-MF/R-P; disminuyendo en la calidad de roca en el contacto litológico con RMR: 24 a 31, tipo IV-B y GSI: IF-MF/P-MP; con sostenimiento Tipo: C, D (Shotcrete, pernos Split set, pernos helicoidales y malla electrosoldada) y E (Enfilajes); aplicándose por la formación de cuñas desfavorables al avance W-N, siendo las favorables los tajeos de avance E. Presentando dos estructuras principales la falla: La Mansa con tendencia SE-NW y D/DD: $87^{\circ}/180^{\circ}$ y San Lorenzo con tendencia N-E y D/DD: $43^{\circ}/85^{\circ}$

Jordá et al., (2017), realizaron el artículo “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”. Yacimiento paleo-kárstico con mineralización Pb-Zn - galena argentífera; con valores de calidad de roca: Índice de Barton (Cámara: Oeste ($Q_{min} = 11.10$, $Q_{max} = 37.50$ y $Q_{med} = 20.00$; $D_q = 7.50$ m., $Sc = 10.31$ m., $Cs = 0.93$ m., $FoS = 11.09$ y $Pf(\%) = 0.39\%$) y este ($Q = 5.00$ y $D_q = 5.60$ m., $Sc = 2.03$ m., $Cs = 0.78$ m., $FoS = 2.06$ y $Pf(\%) = 0.12\%$), con modelación numérica Phase² muestra plastificación, con desplazamientos totales < 4.00 cm.; con tensiones máximas en la clave originando desprendimiento de cuñas. Presentando inestabilidades locales con $FS > 2.00$ y $PF < 0.50\%$; siendo necesario realizar monitoreos por subsidencias a original.

Marín y Piragauta (2018), en su tesis “Caracterización geológica y geomecánica de la mina San Joaquín, para el diseño de explotación por el método de cámaras y pilares”. Permitieron definir rocas de calidad media: RQD = 55%, RMR = 57 – tipo III, GSI = 52, $\sigma_{ci} = 46.93$ MPa y orientación de estrato Az/Bz = N135°/17°SW, constituido por cinco juntas influyendo la estabilidad del macizo rocoso; con mantos espesores: 1.80 m., 1.40 m. y 1.30 m. Presentando recuperación desde: 63.90%-M1, 67.00%-M2 y 80.00%-M3, FS techo: 7.70-M1, 6.90-M2, 7.90 -M3, FS pilar: 2.00-M1_{PP} y 1.80-M1_{PB}, 2.00-M2_{PP} y 2.00-M2_{PB}, 2.00-M3_{PP} y 1.80-M3_{PB}; siendo las

dimensiones Wo: 4-M1_{PP-PB}, 6.50-M2_{PP-PB} y 6.00-M3_{PP-PB}; Wp: 10-M1_{PB} y 8-M1_{PP}, 10-M2_{PP-PB} y 6-M3_{PP-PB}; y Lp: 24-M1_{PB} y 1-M1_{PP}, 18.50-M2_{PB} y 7.50-M2_{PP}; y 12-M3_{PB} y 4-M3_{PP}.

2.1.2 Nacionales

Cusi (2022), en su tesis “Implementación de sostenimiento con cable bolting en intersección de labores en el Nivel 2170 para controlar estallidos de roca – Minera Tauro S.A.C. U.E.A. Retamas”. Ubicado en el batolito de Pataz por vetas auríferas, influenciada por la falla: Silvestre, NS y Los Loros Ramal 1, con mineralización de veta Daniela; constituido por: Diorita (UCS = 54.42 MPa, E = 31.38 GPa y $\nu = 0.06$), granito (UCS = 35.38 MPa a 94.78 MPa), granodiorita (UCS = 37.42 MPa a 134.56 MPa, E = 13.33 GPa a 25.11 GPa y $\nu = 0.03$ a 0.11), diorita (UCS = 63.08 MPa a 108.54 MPa.) y veta (UCS = 51.41 MPa a 83.64 MPa, E = 20.61 GPa a 21.73 GPa y $\nu = 0.06$ a 0.09); con sostenimiento: Shotcrete 2’’ + malla electrosoldada + perno helicoidal de 8 pies y shotcrete 2’’ + malla electrosoldada; y cables bolting de 4.00 m. largo + malla 2.00 m. x 2.00 m.; en galería 9150: AS (FS_{sCB} 1.50 y FS_{cCB} 2.70, Δ 80%) y AN (FS_{nCB} 1.80 y FS_{cCB} 3.20, Δ 78%); y XC10173 (FS_{sCB} 1.20 y FS_{cCB} 2.10, Δ 75%) y XC91520 (FS_{sCB} 1.70 y FS_{cCB} 3.24, Δ 91%).

Orellana (2020), en su tesis “Selección de la alternativa óptima de sostenimiento en rampas para el control de inestabilidades subterráneas”. La geomecánica en la rampa RP 315 muestra: Espaciado: 0.30 m. a 0.50 m., persistencia: 1.00 m. a 3.00 m, abertura < 0.10 cm, rugosidad media, y relleno de cuarzo; con RQD = 83.30% y RMR = 71; de calidad buena clase II bajo grado de fracturamiento. Aplicando estabilidad con pernos de anclaje hydrabolt de 6 pies, distribuidas en la malla metálica electrosoldada galvanizada de 1.00 m. x 1.00 m., controlando el desprendimiento de rocas con shotcrete 350 Kg/cm². con espesor shotcrete de 2’’ vía húmeda, a distancia de 0.80 m. a 1.20 m.

Inga (2023), en su tesis “Clasificación geomecánica para selección del sostenimiento de las labores subterráneas en la mina Andaychagua – Volcán Compañía Minera S.A.A.”. 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, conformada por roca: Filita silicificada, con bajo grado de alteración e inyección de cuarzo en sus fracturas; con reporte geomecánico: RQD = 81%, RMR₈₉ = 62/regular III-A, GSI = MF/R y Q = 6/Regular; con sostenimiento: Shotcrete 2'' + fibra metálica + malla + perno hydrabolt espaciado 1.20 m.; obteniendo en la clave ($FS_{sin\ sostenimiento} = 1.38$ y $FS_{con\ sostenimiento} = 3.27$) y hastial ($FS_{sin\ sostenimiento} = 0.95$ y $FS_{con\ sostenimiento} = 1.49$).

Rivera (2023), en su tesis "Caracterización geomecánica y elección del sostenimiento para labor permanente en mina Cachi Cachi – Sociedad Minera Corona S.A." La geomecánica muestra granodiorita con relleno: Calcita, hematita, cuarzo y sericita; con: RMR_{CX6631NE} = 43 y RMR_{CX5536SW} = 49, del Tipo: III-B, regular B y $\sigma_{ci} = 156$ MPa. Utilizando los cruceros: CX6631NE y CX5536SW del Nv. 870, con: pernos helicoidales de 7'' y 10'' y espaciamiento 0.85 m. x 1.20 m. + shotcrete 2'' + 30 Kg/m³, con resistencia mínima de 240 Kg/cm². Obteniendo valores del análisis numéricos desplazamientos máximos de 0.024 m, sin considerar sostenimiento y altura plastificada de 1.68 m. hasta 1.92 m.

Limaco (2023), en su tesis "Evaluación geomecánica para el diseño del sostenimiento de labores subterráneas en la Mina Azulcocha, 2023". Está conformado por: Formación Condorsinga, Grupo Goyllarisquizga y diques andesíticos. Mediante orientación de geoestructuras N45°W - N60°W, cerca de 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 Tipo II: shotcrete 3 plug. + pernos de sistemático @ 1.50 m. con longitud de 3 m.; 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.

2.1.3 Locales

Benel (2019), en su tesis "Comportamiento geomecánico según los métodos RMR y Q de Barton del Nivel 3 de la Mina Paredones San Pablo Cajamarca". Está emplazada en la Formación Chilete de roca andesita de orientación Az/Bz =

235°/32°NW, relacionada con alineamientos estructurales con las Vetas: Murciélagos, Valenciana, Pacasmayo, Pílancones, West Pacasmayo, Animas y Veta Norte, cortando transversalmente a la Veta Esperanza, con mineralizaciones: Zinc, plomo, galena, pirita, calcopirita y galena argentífera. Presentando deformaciones como: Desprendimiento de bloques y estados tensionales, siendo: Estación 1 y 2 - deformaciones en clave, estación 3 deformaciones por tensiones en hastiales y estación 4 y 5, presenta deformaciones periféricas uniformes por la consistencia de la roca. Conformado por roca de calidad RMR: Mala E-2; media E-1, E-3 y E-5 y buena E-4 y Q: Muy mala E-2, mala E-1, media E-3, E-5 y buena E-4. Aplicando sostenimiento por cuadros de madera rectos, puntales y anclajes sistemáticos.

Castrejon (2024), en su tesis “Estallido de rocas del cruce El Ñato, Nivel 2880 - Empresa Minera HNS Consorcio S.R.L., San Miguel de Algamarca – Cajabamba - Cajamarca”. Delimitado por el flanco izquierdo del anticlinal Algamarca con Az = N125° y esfuerzos compresivos de orientación: NNE-SSW a NE-SW, originando plegamientos. Conformada por rocas de las Formaciones: Chimú, Santa y Carhuaz; de orientación Az/Bz = N140°/62°SW; y cuerpos volcánicos: Dacíticos, riolíticos y andesíticos. Plasmando estallidos de rocas en medio plástico desde: 0.67 m. a 1.80 m de forma: Semicirculares, elípticas y homogéneas. Por consiguiente, la calidad es: Mala, media y buena, con 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.

Montoya (2018), en su tesis “Relación geotécnica y litomorfoestructural del túnel de la Mina Paredones Nivel 5”. Geológicamente está emplazado en el Volcánico Chilete con paleoesfuerzos de deformación: Compresiva, desgarre y distensivo, de orientación: WNW-ESE, NNE-SSW y ENE-WSW. Aplicando la geomecánica muestra redistribución de esfuerzos tenso-deformacionales de manera continua y progresiva, logrando un valor promedio $m = 0.55$ y $\alpha = 55^\circ$, siendo 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. afectando la estabilidad de las labores, corroborando por Phase2 muestra valores de FS: 0.54, 2.35, 3.42, 3.47 y 0.54. Además, utilizando el método

empírico de Potvin define cuatro zonas críticas: sostenimiento, estable, transición con sostenimiento y hundimiento.

Muñoz (2023), en su 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 - Volcánico Chilete, compuesto por Andesita y alteraciones: Argílica avanzada y silicificada; siendo la estructura principal la Veta Murciélago de orientación: NW-SE, Nx, Az/Bz = N300°/80°NE y pitch = 86°. Reportando rocas: Q (Muy mala, mala, media y buena) y RMi (Moderada a alta resistencia), con deformaciones tenso-deformacionales gravitacionales 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), en su tesis “Propuesta de sostenimiento y controles para reducir la liberación de energía del Nivel 4 de Mina Paredones, San Pablo – Cajamarca”. La instalación minera está compuesta por roca andesita de grano medio de textura afanítica de color gris verdusco con pseudoestratificación Az/Bz: N229°/30°NW, con estructuras como: Diatrema, veta (Murciélago y West Pacasmayo) y alteración sílica. La geomecánica muestra rocas de calidad: Mala, regular y buena; ocasionada liberación de energía con FS de 0.60 m. a 1.10 m., afectado hastiales y corona de la sección. El mejoramiento recomienda sostenimiento por: Anclajes adherente - sistemáticos de 8 pies + shotcrete 2 pulg. como preventivo y 2 pulg. + malla; reduciendo la amplitud de la aureola tensodeformacional.

Zabala y Rosado (2011). Investigó “Riesgos geológico en la región Cajamarca: Boletín N° 44 Serie C geodinámica e ingeniería geológica”. Realizó investigación a nivel regional conformado por estudios: Litológicos, geomorfológicos, hidrológico e hidrogeológico, estructurales, evaluación de peligros, susceptibilidad de peligros, amenazas y vulnerabilidad. Mostrando características de los diferentes tipos de rocas por sus condiciones geomecánicas y resistencia. Plasmando mapas

litoestructurales conteniendo información base de los estudios de levantamiento geológico de la carta geológico nacional a escala 1:100,000.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Cartografiado geológico estructural

El cartografiado geológico es indispensable en muchos estudios de campo que algunas veces se considera como sinónimo de “geología de campo”. Los mapas se usan para medir cuerpos de rocas, trazar mediciones de carácter estructural y para relacionar muchas clases de datos. Con frecuencia permiten hacer interpretaciones de detalles que son bastante grandes para ser estudiados en afloramientos aislados (Compton, 1970).

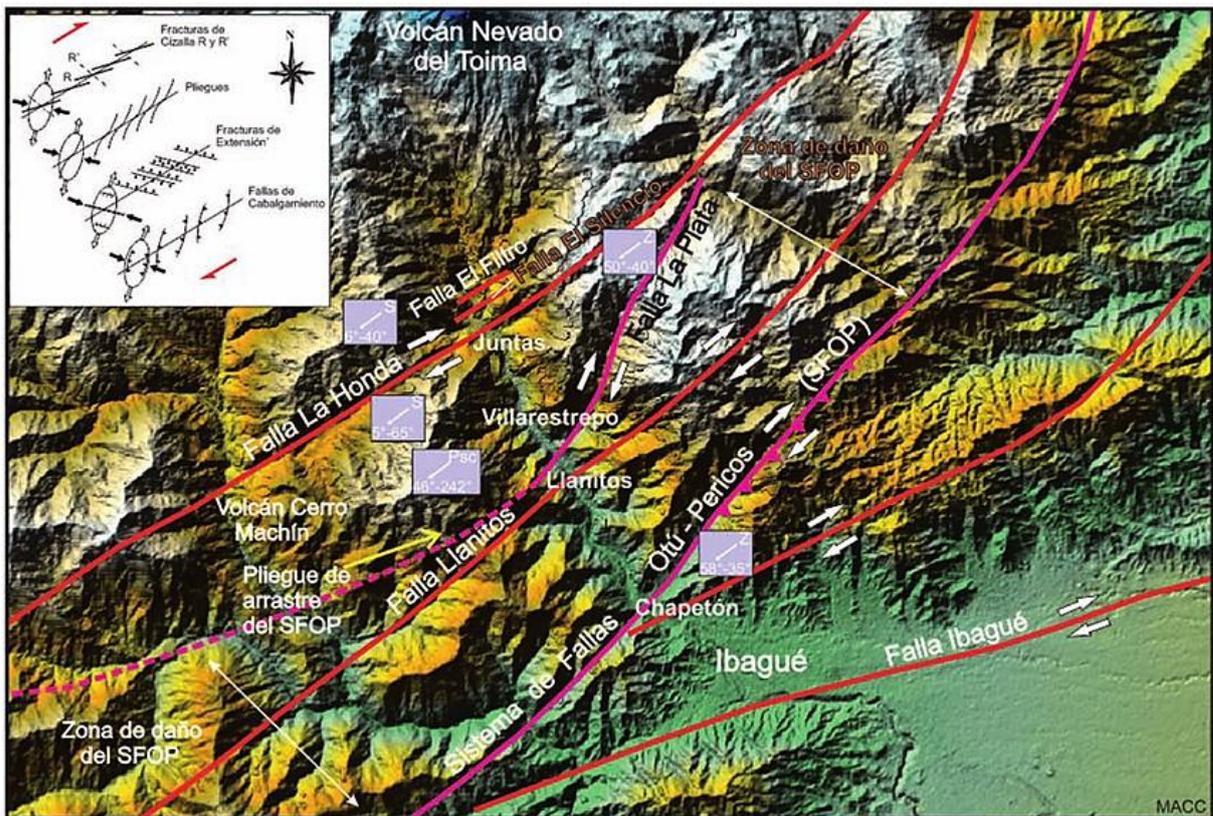


Figura 2.1. Cartografiado geológico-estructural de la cuenca río Combeima. Fuente: INGEOMINAS, (2018).

Por ejemplo, muchos pliegues y fallas solamente se pueden ser descubiertos mediante el levantamiento geológico, aun cuando se les pueda ver en los

afloramientos, se les debe levantar en grandes áreas para poder entenderlos. Los mapas geológicos se usan también para construir proyecciones tan importantes como lo son las secciones transversales. Juntos, los mapas y las secciones son un medio ideal para presentar grandes cantidades de información a otras personas (Compton, 1970).

El mapa geológico representa intersección de elementos geológicos con la superficie terrestre. Estos elementos geológicos normalmente son volúmenes (Estrato) o planos (Contactos entre materiales, fallas). Al representar la intersección de estos elementos sobre un plano (Superficie topográfica) quedan bien definidos por superficies (Capas), o líneas. La información geológica en un mapa debe permitirnos interpretar la estructura geológica en el espacio (Cortes geológicos) y tiempo (Reconstrucción de la historia geológica), siendo acompañado de: Litología, edad y estructuras (Pozo, González y Giner, 2003).

2.2.2 Caracterización geomecánica

Índice de calidad de roca (RQD)

Las formulaciones propuestas se basan en la correlación de que los espaciados de las discontinuidades siguen una distribución estadística exponencial negativa, correspondiente a un proceso de Poisson. La primera de las formulaciones propuestas es la debida a Priest y Hudson (1976), que presenta la siguiente expresión:

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

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

Para determinar el valor de frecuencia lineal λ es decir número de juntas por unidad de longitud del macizo, se deberá trazar una línea imaginaria de registro (Scanline) en el afloramiento del macizo rocoso que se está investigando. Esta línea será

generalmente recta. Se contabilizará el número total de juntas existentes, y se dividirá entre la longitud total de la línea de registro (Jordá et al., 2016).

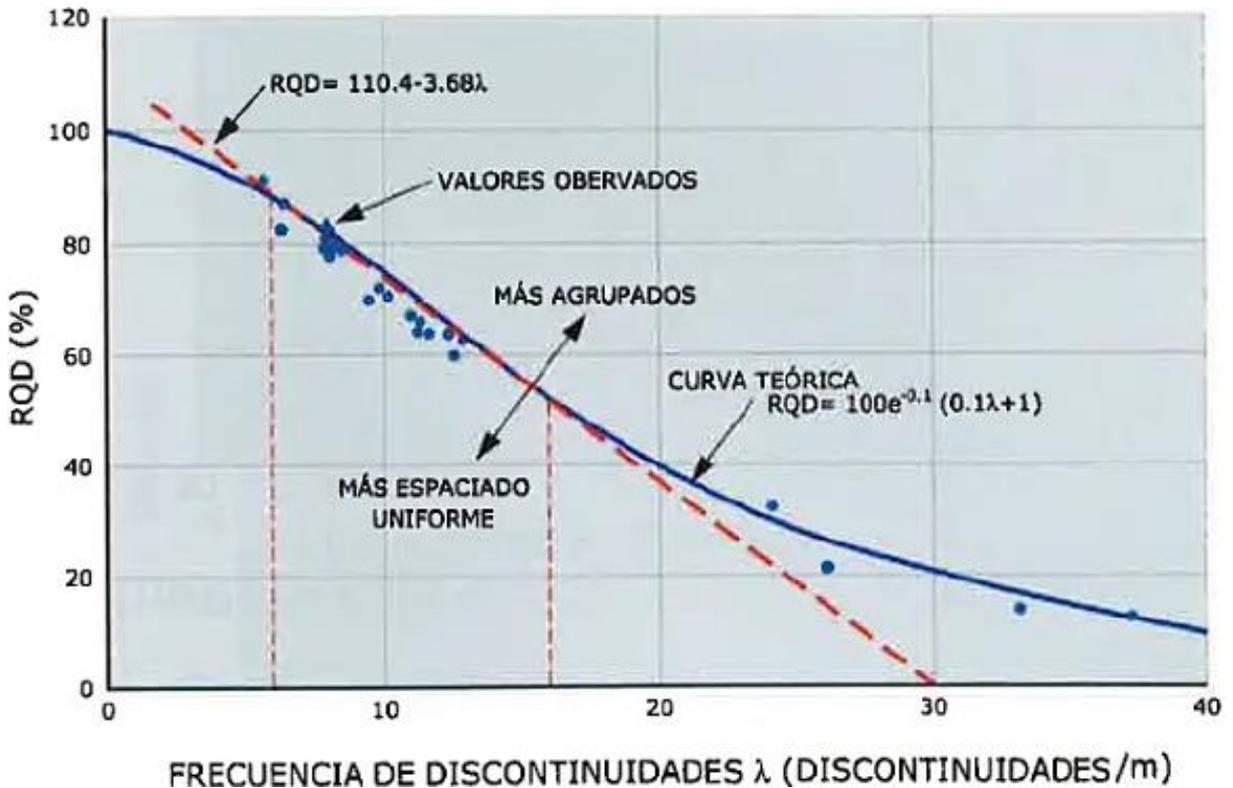


Figura 2.2. Gráfica de la ecuación de Priest y Hudson (1976)
Fuente: Jordá et al., (2016).

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 et al., (1967).

Valoración de la masa rocosa (RMR)

Esta clasificación, idea por el ingeniero Bieniawski (1973, 1976), constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros de diseño y de sostenimiento de túneles. Esta clasificación tiene en cuenta los siguientes parámetros:

- La resistencia de la roca matriz.
- Las condiciones de las discontinuidades.
- El efecto de agua (Condiciones hidráulicas).
- La posición relativa de las discontinuidades respecto a la excavación.

Cuadro 2.2. Clasificación geomecánica RMR₈₉.

1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión Simple (MPa)			
		Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1	
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%			
	Puntuación		20	17	13	6	5			
3	Separación entre diaclasas		>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m	<0.06m			
	Puntuación		20	15	10	8	5			
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m			
		Puntuación		6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	<0.1 mm	0.1-1.0mm	1-5mm	>5mm			
		Puntuación		6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave			
		Puntuación		6	4	3	2	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm			
		Puntuación		6	4	3	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta			
		Puntuación		6	5	3	1	0		
5	Agua freática	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	>125 litros/min			
		Relación de agua / Tensión principal mayor	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5			
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo			
	Puntuación		15	10	7	4	0			

Fuente: González, (2002).

La incidencia de estos parámetros en el comportamiento de la excavación se expresa por medio de un índice de calidad denominado Rock Mass Rating o, abreviamente, RMR, cuyo valor se obtiene por suma de una serie de términos y está comprendido entre 0 (Pésima calidad, clase V) y 100 (Óptima calidad, clase I) (Jordá et al., 2016).

Los diferentes términos que intervienen en la clasificación del macizo o de los taludes o túneles quedan expresadas en el Cuadro 2.2. Las correcciones hechas por la orientación de las discontinuidades se obtienen a partir del Cuadro 2.3 y 2.4, se expresa la valoración a considerar para cada orientación relativa talud – discontinuidad (Jordá et al., 2016).

Cuadro 2.3. Corrección por orientación de las discontinuidades RMR_{89}

Dirección y buzamiento		Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable
Puntuación	Túnel	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentación	0	-2	-7	-15	-25
	Talud	0	-5	-25	-50	-60

Fuente: González, (2002).

Cuadro 2.4. Calidad de la roca en función del índice RMR_{89}

Clasificación	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Valoración	100-81	80-61	60-41	40-21	< 20

Fuente: Jordá et al., (2016).

Índice de resistencia geológica (GSI)

El empírico de resistencia del macizo rocoso de Hoek-Brown, Hoek (1994) y Hoek et al. (1995) introdujeron un nuevo esquema de clasificación del macizo rocoso conocido como Índice de resistencia geológica (GSI). El GSI fue desarrollado para superar algunas de las deficiencias que se habían identificado al utilizar el esquema RMR con el criterio de resistencia del macizo rocoso. (Brady y Brown, 2006). Tampoco incluye tolerancias para condiciones de agua o estrés que se tienen en

cuenta en los análisis tensional y estabilidad con los que se utiliza el criterio de Hoek-Brown.

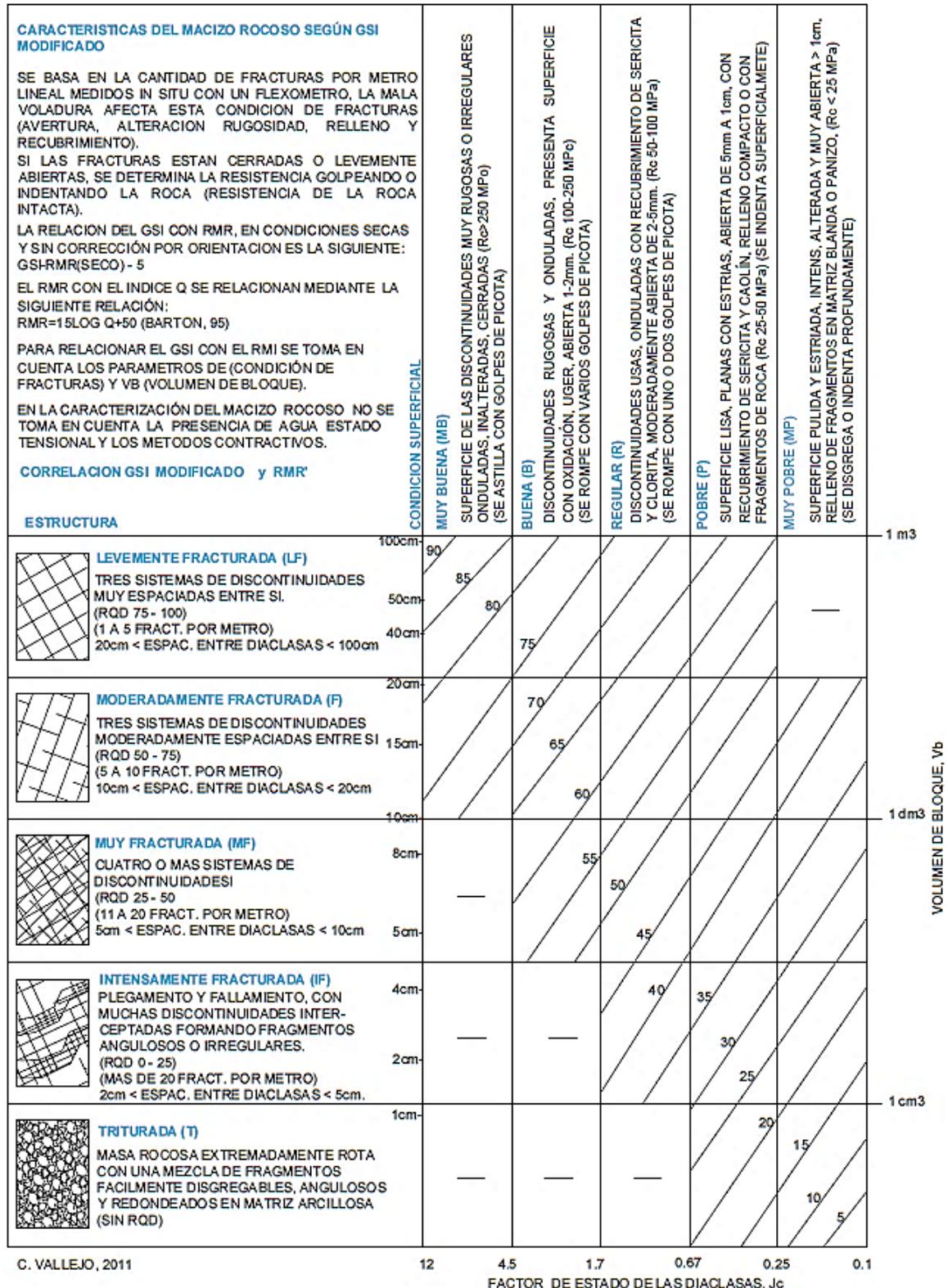


Figura 2.3. Vallejo, (2011). Caracterización del macizo rocoso según GSI modificado. Fuente: Osinergmin, (2017).

Marinos and Hoek (2000) presenta una serie de gráficos indicativos que muestran las situaciones más probables rangos de valores GSI para macizos rocosos de varias rocas genéricas. (Brady y Brown, 2006).

A partir de 1998 a la fecha se ha desarrollado el sistema GSI con el objetivo de incluir macizos rocosos de mala calidad (Hoek et al., 1997; Marinos y Hoek, 2000; Marinos et al., 2005; Hoek et al., 2005). El índice GSI fue modificado por Vallejo (2002) con el objetivo de utilizar las tablas originales de manera práctica y sencilla de clasificar cualitativamente al macizo rocoso y recomendar el sostenimiento requerido. Cabe señalar que el índice GSI fue originalmente desarrollado con la finalidad de obtener parámetros para el criterio de falla: Hoek y Brown, por lo que Vallejo recurre a las equivalencias del GSI con RMR para recomendar y dimensionar el sostenimiento (Osinergmin, 2017).

Cuadro 2.5. Índice geológico de resistencia (GSI).

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

Fuente: Hoek, (2002).

- **ÍNDICE DE CALIDAD Q DE BARTON**

El sistema Q o comúnmente conocido por “Clasificación de Barton” fue desarrollado en el instituto Geotécnico Noruego de Noruega (NGI) entre 1971 y 1974 por: Barton, Lien y Lunde (1974). Su estudio se basó en el análisis de cientos de casos de túneles construidos principalmente en Escandinavia. Asignando a cada terreno un índice de calidad Q, tanto mayor cuanto mejor es la calidad de la roca. Su variación no es lineal como la del RMR, sino exponencial, y oscila entre Q = 0.001 para terrenos muy malos y Q = 1000 para terrenos muy buenos (Jordá et al., 2016).

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

Ecuación 3

Donde:

RQD = Índice de calidad de roca.

Jn = Número de familias de discontinuidades.

Jr = Rugosidad de las discontinuidades.

Ja = Alteración de las discontinuidades.

Jw = Presencia de agua.

SRF = Factor de reducción de esfuerzos.

Cuadro 2.6. Valoraciones del Índice de calidad Q.

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

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

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:

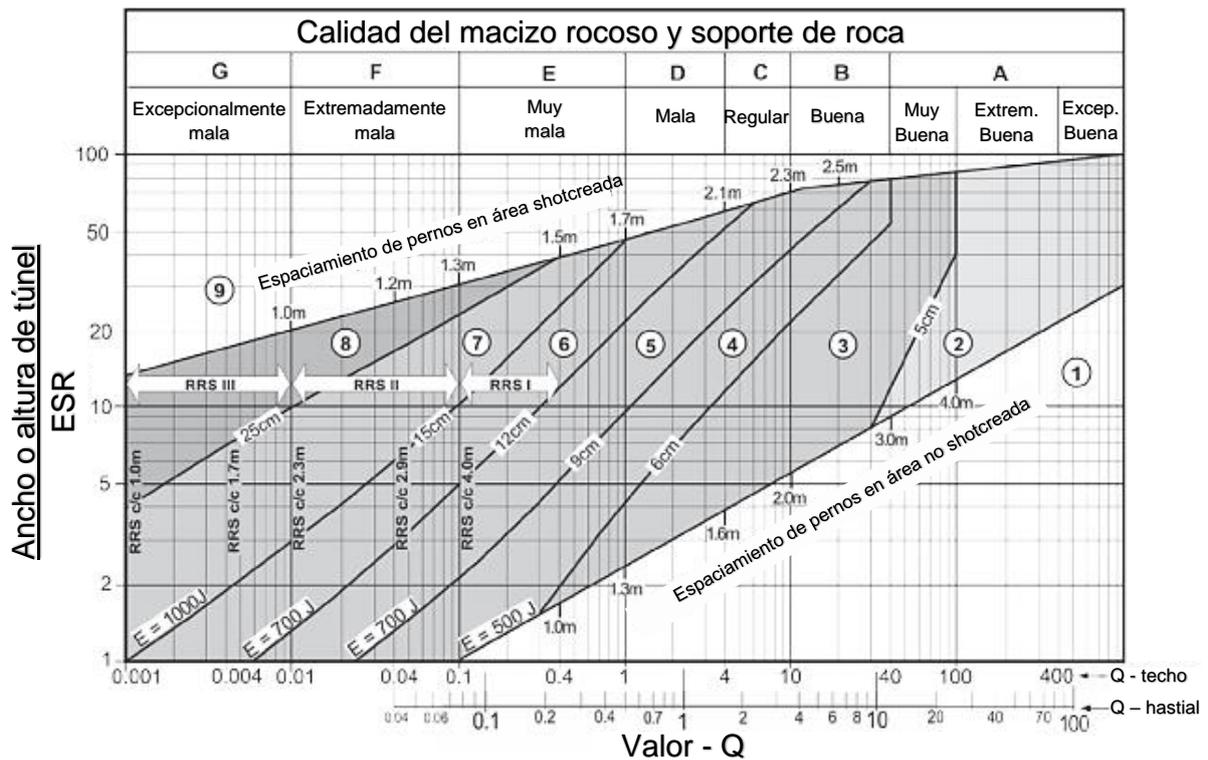


Figura 2.4. Sistema Q - estimación del soporte de roca, en función del Q_{frente} (Clave y hastial).

Fuente: NGI, (2014).

- Para $Q > 10$ usar $Q_{\text{Frente}} = 5Q$
- Para $0.10 < Q < 10$ usar $Q_{\text{Frente}} = 2.5Q$
- Para $Q < 0.10$ usar $Q_{\text{Frente}} = Q$

- **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 $RMi = \sigma_{ci} * J_p$

Para roca masiva $RMi = \sigma_{ci} * f_\sigma$

Donde:

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

JP = Parámetro de diaclasado.

$J\sigma$ = Parámetro de la masividad



Figura 2.5. Esquema de cálculo del RMI.
Fuente: Palmstrom, (2000).

Cuadro 2.7. Clasificación del RMI - Palmstrom (1996).

RMI	Resistencia del macizo rocoso	Valor RMI
Extremadamente bajo	Extremadamente débil	< 0.001
Muy bajo	Muy débil	0.001 - 0.01
Bajo	Débil	0.01 - 0.10
Moderado	Medio	0.1 - 1.0
Alto	Fuerte	1.0 - 10
Muy alto	Muy fuerte	10 - 100
Extremadamente alto	Extremadamente fuerte	> 100

Fuente: Jordá et al., (2016).

Aplicándose, adicionalmente a su uso en la estimación del sostenimiento, tales como:

- Caracterización de la resistencia y deformabilidad del macizo rocoso.
- Cálculo de constantes el criterio de rotura Hoek-Brown.
- Estimación del grado de penetración de máquinas tuneladoras a sección completa (TBM).

2.2.3 Sostenimiento de excavaciones subterráneas

El sostenimiento de la labor minera es mantener las condiciones de seguridad durante el tiempo que está en servicio. Las labores de acceso requieren casi siempre estar abiertas hasta terminar la mina o yacimiento. Teniendo en consideración las reglamentaciones de seguridad concernientes y la ventilación de la mina (Donaires, 1977). Clasificando los sistemas de sostenimiento:

- **Cuadros de madera**

El sostenimiento con madera se utiliza por su adaptabilidad a todo tipo de terreno, como versátil para soportar todo tipo de esfuerzo y de deformabilidad, permitiendo detectar en forma temprana los desplazamientos hacia el interior de la excavación. Sus inconvenientes son: Costo relativamente alto, elevado uso de mano de obra por el tiempo comparativamente largo de su instalación, limitada duración y riesgo de fuego. El uso de la madera como elemento de sostenimiento, también tiene otros usos en el minado subterráneo, como: Buzones, tolvas, piques, chimeneas, barreras de contención de relleno de tajeos, etc. También utilizándose en forma: Puntales, paquetes, cuadros y conjunto de cuadros (Cruz, 2004).

Cuadros rectos

Son usados cuando la mayor presión procede del techo. Están compuestos por tres piezas: Un sombrero y dos postes, asegurados con bloques y cuñas, formando ángulo de 90° con el poste con el sombrero. En ciertos casos los postes van sobre una solera (Cruz, 2004).

Cuadros cónicos

Son usados cuando la mayor presión procede de los hastiales. La diferencia con los cuadros rectos solo radica en el hecho de que en los cuadros cónicos se reduce la longitud del sombrero, inclinando los postes, de tal manera de formar ángulos de 78° a 82° respecto al piso, quedando el cuadro de forma trapezoidal (Cruz, 2004).

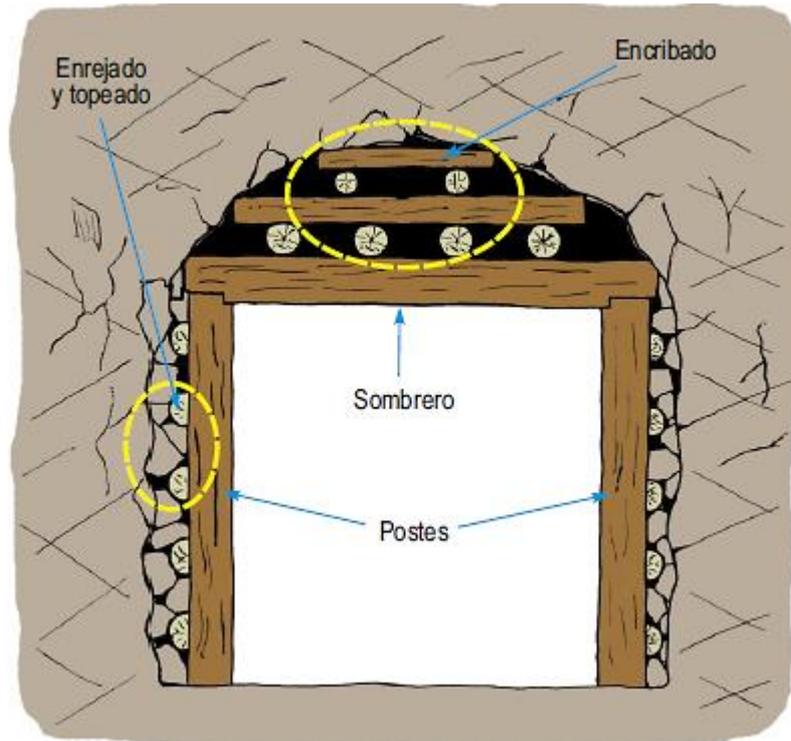


Figura 2.6. Esquema de un cuadro recto.
Fuente: Cruz, (2004).

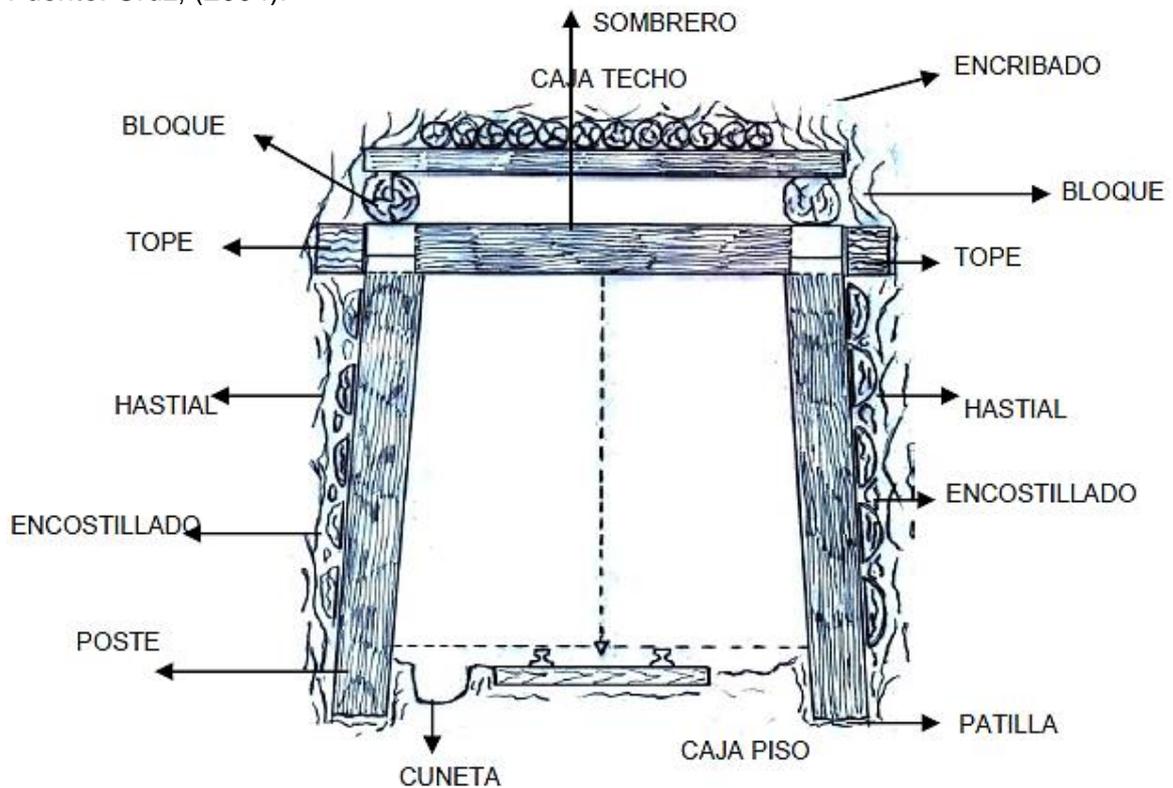


Figura 2.7. Elemento de un cuadro cónico.
Fuente: Baca, (2007).

- **Pernos de anclaje**

Técnica de sostenimiento que consiste en introducir unas barras resistentes en taladros perforados en el terreno, solidarizándolos mediante procedimientos químicos o mecánicos para aumentar su resistencia. Los elementos básicos del bulonaje son: Barras de anclaje, encargadas de reforzar el terreno, el sistema de anclaje tiene como misión solidarizar las barras de anclaje al terreno; y las placas de reparto sirve para transmitir a la superficie del terreno la reacción de bulones (Celada, 2011).

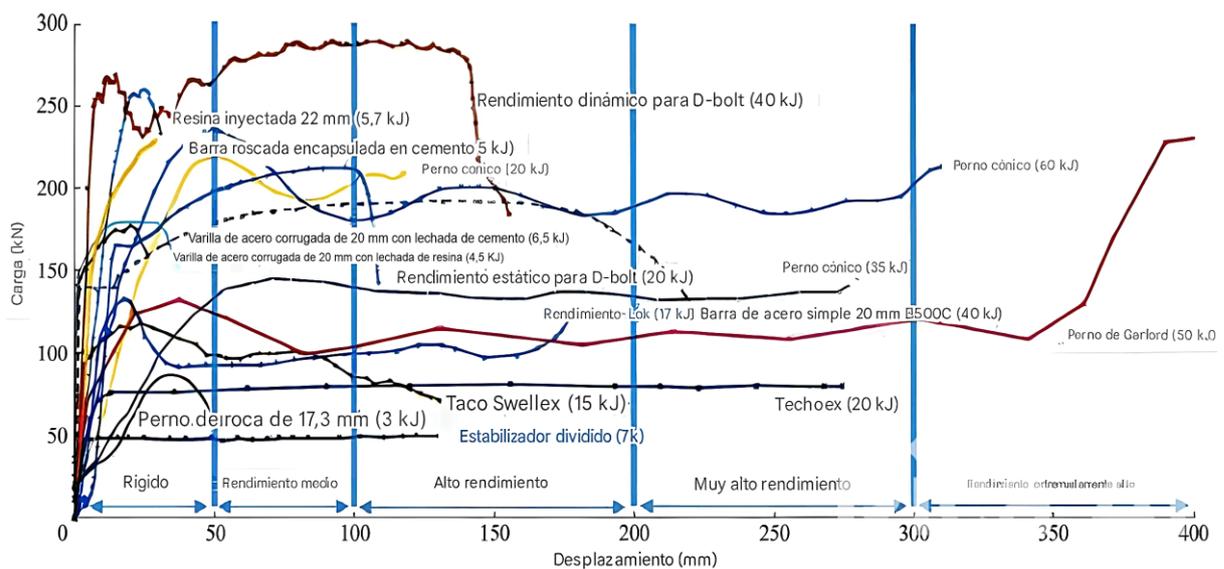


Figura 2.8. Comportamiento de carga vs. desplazamiento de diferentes tipos de anclajes de roca.

Fuente: Ghorbani et al., (2020).

Barras de anclaje: Suelen fabricarse con sección redonda de acero corrugado, cuyos diámetros están comprendidos entre: 20 mm. a 32 mm. El extremo queda al aire libre, con objeto de enroscarse permitiendo fijar la placa de reparto al terreno (Celada, 2011).

Sistemas de anclaje: Se clasifican en dos grandes grupos: Químicos y por fricción. El anclaje químico, consiste en rellenar el espacio anular que queda entre la barra y terreno con un producto que, posteriormente solidifica, creando una interfase adherente entre la barra y terreno.; y El anclaje de fricción, alcanzaron mayor éxito como son: Split-set y swellex,

ambos tienen una diferencia en común respecto a las barras ancladas con resina o cemento; en el caso de Split-set tiene diámetro del tubo superior al del taladro en el que debe alojarse, introduciéndolo en el taladro, ya perforado, a percusión, mediante el propio martillo. En el caso del swellex, es muy sencilla, una vez introducida en el taladro, se los infla con inyecciones de agua 30 MPa. (Celada, 2011).

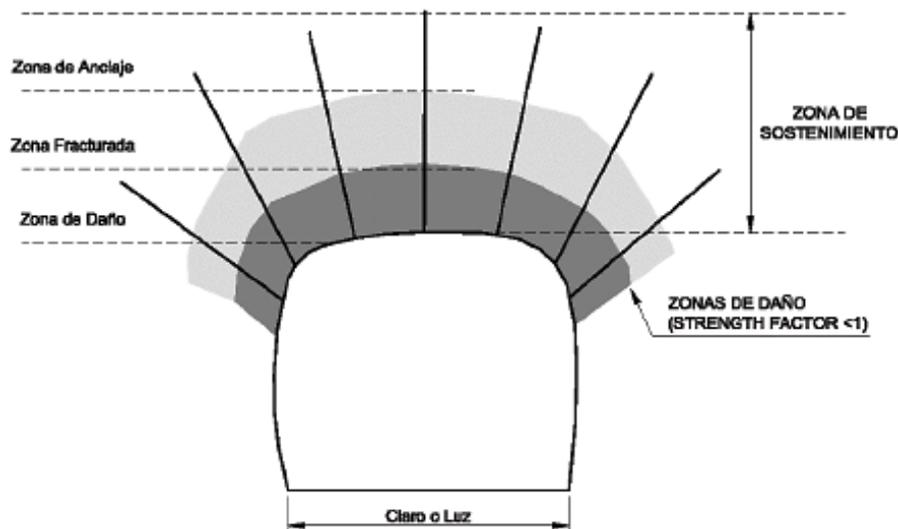


Figura 2.9. Modelación de las zonas de daño alrededor de una excavación (Modificado de Villaescusa, 2014).
Fuente: Osinergmin, (2017).

- **Cimbras**

Sostenimiento pasivo utilizado generalmente para el sostenimiento permanente en labores de avance, en condiciones de masa rocosa intensamente fracturada y/o muy débil, que le confieren calidad mala a muy mala, sometida a condiciones de altos esfuerzos. Para lograr un control efectivo de la estabilidad en tales condiciones de terreno, las cimbras son utilizadas debido a su excelente resistencia mecánica y sus propiedades de deformación, lo cual contrarresta el cierre de la excavación y evita su ruptura prematura. La ventaja es que este sistema continúa proporcionando soporte después que hayan ocurrido deformaciones importantes (Cruz, 2004).

Las cimbras son construidas con perfiles de acero, según los requerimientos de la forma de la sección de la excavación, es decir, en forma de baúl, herradura o

incluso circulares, siendo recomendable que éstos sean de alma llena. Hay dos tipos de cimbras: Rígidas Las primeras usan comúnmente perfiles como la W, H, e I, conformadas por dos o tres segmentos que son unidos por platinas y pernos con tuerca; y deslizantes o fluyentes: Usan perfiles como las V y \bar{U} , conformadas usualmente por tres segmentos que se deslizan entre sí, sujetos y ajustados con uniones de tornillo (Cruz, 2004).



Figura 2.10. Colocación de las cimbras.
Fuente: Cruz, (2004).

Cuadro 2.8. Perfil HEB – europeas.

HEB	Dimensiones (mm.)						Sección (A) cm ² .	Peso (P) Kg/m	Referido al eje x-x			Referido al eje y-y		
	h	b	e	ei	r	hi			I _x (cm ⁴ .)	W _x (cm ³ .)	I _x (cm.)	I _y (cm ⁴ .)	W _y (cm ³ .)	I _y (cm.)
100	100	100	6	10	12	56	26	20.4	450	89.9	4.16	167	33.5	25.3
120	120	120	6.5	11	12	74	34	26.7	864	144	5.04	318	52.9	3.06
140	140	140	7	12	12	92	43	33.7	1.51	216	5.93	550	78.5	3.58
160	160	160	8	13	15	104	54.3	42.6	2.49	311	6.78	889	111	4.05
180	180	180	8.5	14	15	12	65.3	51.2	3.83	426	7.66	1360	151	4.57
200	200	200	9	15	18	134	78.1	61.3	5.7	570	8.54	2000	200	5.07

Fuente: Gullón, (2011).

Cuadro 2.9. Perfil THN – perfil de entibación.

THN	Dimensiones (mm.)							Sección (A) cm ² .	Peso (P) Kg/m	Referido al eje x-x		Referido al eje y-y	
	a	b	c	d	e	f	g			I _x (cm ⁴ .)	W _x (cm ³ .)	I _y (cm ⁴ .)	W _y (cm ³ .)
16.5	31	106	90	26.5	13	44	80	21.26	16.5	172.84	38.4	227.09	42.84
21	35	127	108	27	12	54	96	26.55	21	318.16	59.1	415.07	65.5
29	44	150.5	124	28.5	16	57.5	116	36.77	29	586.42	94.58	763.31	101.43

Fuente: Gullón, (2011).

- **Cable bolting**

En minería subterránea, los cables de anclaje son efectivos para detener el movimiento de la roca encajonante de los tajeos de explotación y otras excavaciones mayores. Los cables de anclaje, en labores mineras, por lo general son del tipo cementados sin tensión y se instalan antes del comienzo de la explotación del tajeo y podrán continuar colocándose conforme avanza ésta (Osinergmin, 2017).

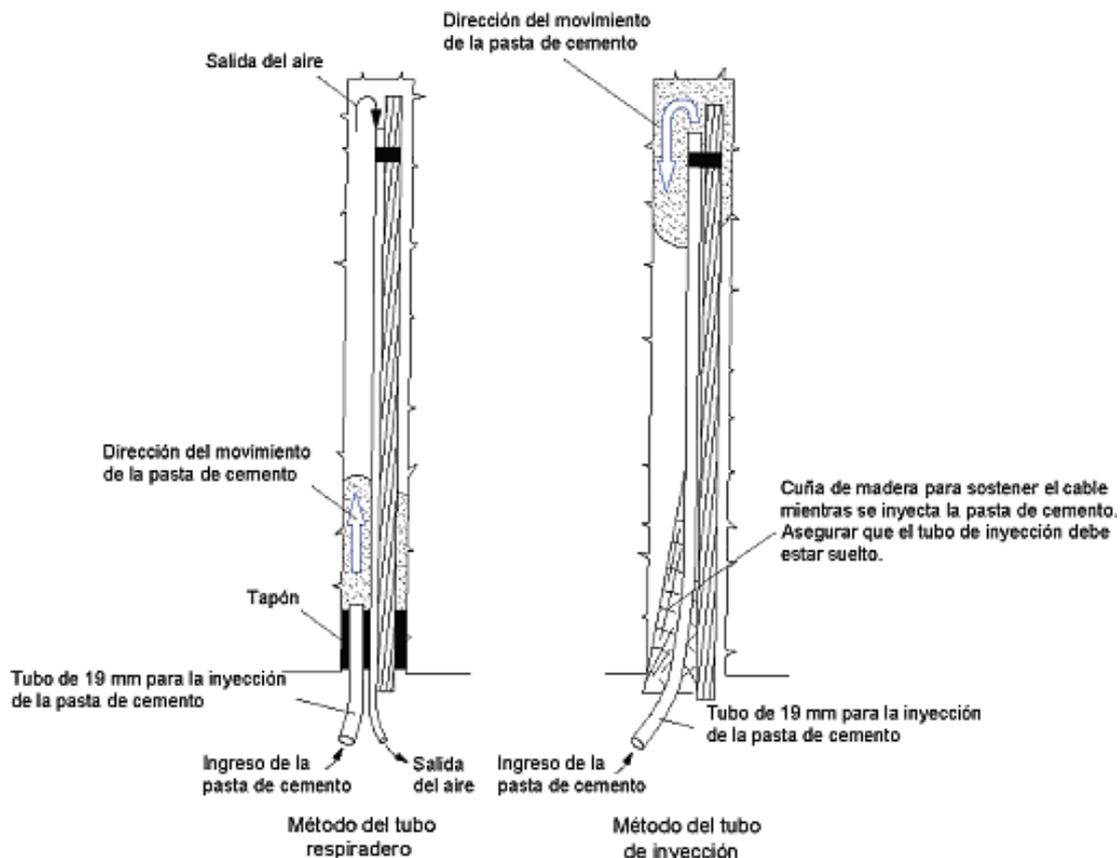


Figura 2.11. Métodos de inyección de cables de anclaje
Fuente: Hoek, Kaiser, Bawden, (1995).

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

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

Criterio de rotura: La estabilidad de macizos rocosos es la práctica habitual linealizar la envolvente del criterio de rotura: Hoek y Brown, para reducir la resistencia a tracción especialmente en macizos rocosos malos y la resistencia no crece tanto como en el estado de confinamiento como en la envolvente Mohr-Coulomb (Puell, De la Puente y Arenillas, 2004).

Dominio estructural: Es la masa de roca delimitada por discontinuidades geológicas, dentro de la cual la estructura es prácticamente homogénea (Gavilanes y Andrade, 2004).

Litología: Ciencia que estudia el origen, evolución y clasificación de las rocas. Se podría considerar como un sinónimo de petrología (Dávila, 2011).

Métodos tenso-deformacionales: Estos métodos constituyen una alternativa a los métodos de equilibrio límite, siempre y cuando su utilización esté justificada y sea apropiada para el análisis (González, 2002).

Macizo rocoso: Conjunto de matriz rocosa y discontinuidades. Presenta carácter heterogéneo comportamiento discontinuo y normalmente anisótropo, consecuencia de la naturaleza, frecuencia y orientación de los planos de discontinuidad, que condicionan su comportamiento geomecánico e hidráulico (Rodríguez, 2007).

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

Orientación: Disposición de un plano o línea estructural en el espacio, por lo general relacionado con una dirección geográfica horizontal, por ejemplo: Norte geográfico o norte magnético (Delgado, Padilla y Barrientos, 2010).

Soporte: Describir los procedimientos y materiales utilizados para mejorar la estabilidad y mantener la capacidad de carga de la roca cerca de los límites de las excavaciones subterráneas. Como se expondrá en este capítulo, el objetivo principal de la práctica de apoyo es impedir y conservar la fuerza inherente de la masa rocosa para que se auto-soporte (Brady y Brown, 2004).

Sostenimiento pasivo: Actúan en la superficie de la excavación o en su interior (Ejemplo: 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 (Osinermin, 2017).

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN

El sector: Norte y Sur – Veta Marina, del cruce El Ñato Nivel 2880, son labores subterráneas exploratorias de mineral metálico con orientación Az = N130°, paralela al flanco del anticlinal. Geográficamente el emboquille El Ñato Nivel 2880, se ubica al S del centro poblado San Miguel de Algamarca, distrito Cachachi, provincia Cajabamba y región Cajamarca, evacuando las aguas de escorrentía al río Cañaris y finalmente al Océano Pacífico; cartográficamente en el cuadrángulo de Cajabamba 16-g, con sistema de coordenadas: UTM DATUM WGS-84 - ZONA 17S.

Cuadro 3.1. Coordenadas de las labores subterráneas.

Mina	Sector	Distancia (m.)	Este (m.)	Norte (m.)	Cota (msnm.)
HNS	El Ñato	0.00	803937.000	9157125.000	2880.000
	Veta Marina	813.20	804564.242	9158796.490	2884.080

3.2 ACCESIBILIDAD

El punto de partida a la zona de investigación se inició desde la plaza de armas de Cajamarca con orientación SE a E llegando al distrito Namora, siguiendo el recorrido asfaltado de la carretera a la provincia San Marcos e distrito Ichocán con orientación SE, luego cambiando a orientación S llegando al distrito Aguas Calientes, luego cambiando a orientación SW a SE llegó al centro poblado Pomabamba, constituida por carretera asfaltada provincial en buenas condiciones. Por consiguiente, se cambió a carretera afirmada distrital con orientación SW

llegando al centro poblado Moyan alto, cambiando a orientación NW llegando a centro poblado Choloque luego cambiando de orientación SW llegando a centro poblado Tres Cruces, luego cambiando a orientación NW llegando al centro poblado San Miguel de Algamarca, siguiendo el recorrido cambiado a trocha carrozable con orientación S llegando al cruceo El Ñato Nivel 2880.

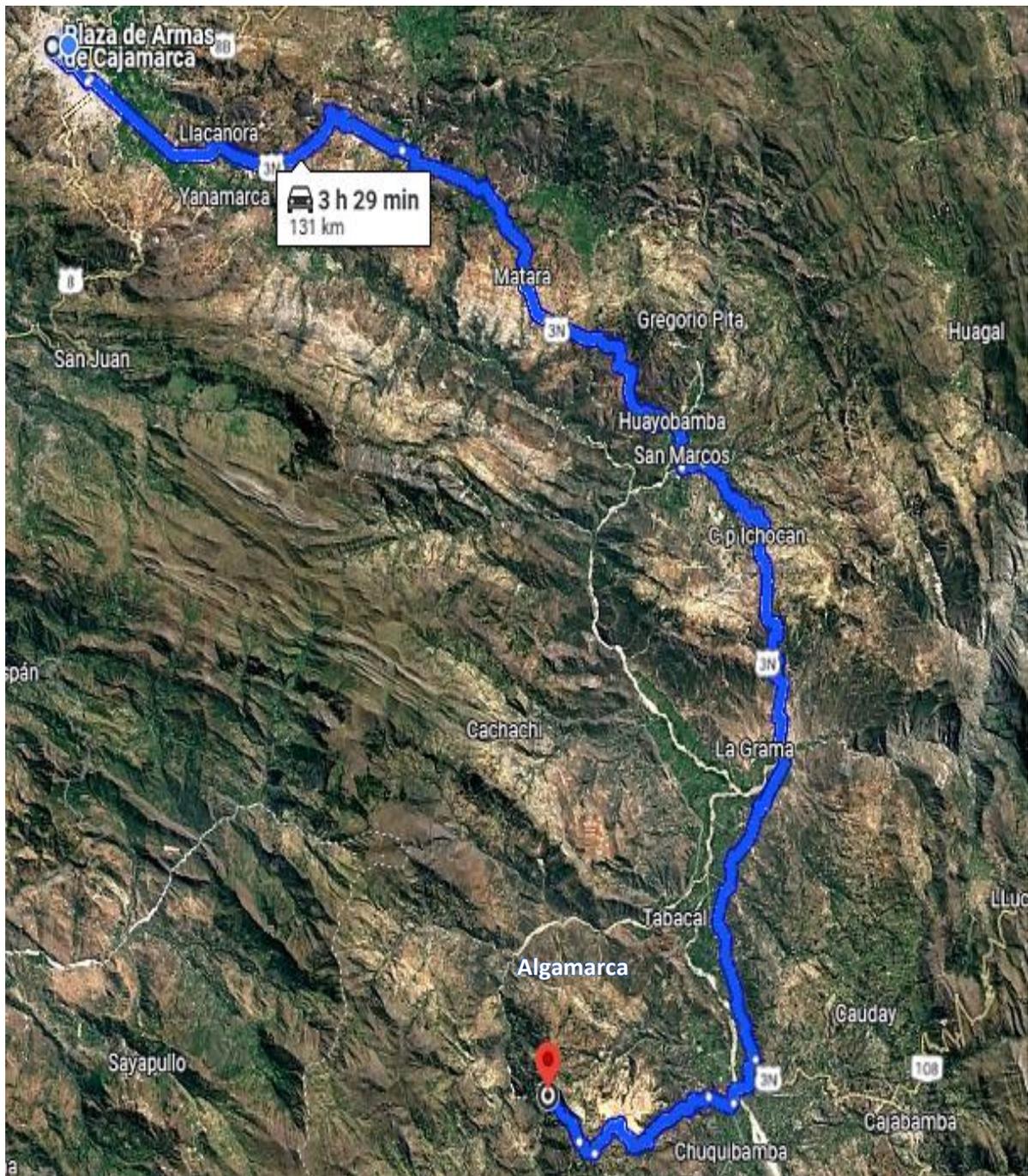


Figura 3.1. Recorrido de acceso de Cajamarca a Algamarca.
Fuente: Google Maps, 2025.



Figura 3.2. Emboquille de ingreso al Cx – 126 El Ñato.



Figura 3.3. Ingreso al sector: Norte y Sur – Veta Marina, con sección: 2.30 m. x 2.90 m.

Cuadro 3.2. Ruta terrestre superficial al área de investigación – cruceo El Ñato Nivel 2880.

Tramo		Estado	Vía	Transporte	Recorrido	
De	A	de Vía			Distancia (Km.)	Tiempo (h.)
Cajamarca	Namora	Buena	Terrestre	Combi	28+800	00:49
Namora	Ichocán	Buena	Terrestre	Combi	42+800	01:01
Ichocán	Pomabamba	Buena	Terrestre	Combi	34+400	00:41
Pomabamba	San Miguel de Algamarca	Regular a mala	Terrestre	Combi	22+600	01:51
San Miguel de Algamarca	Crucero el Ñato Nivel 2880	Mala	Terrestre	Camioneta	01+600	00:06
Total					130+200	03:47

Cuadro 3.3. Ruta terrestre subterránea – cruceo El Ñato Nivel 2880, sector: Norte y Sur – Veta Marina.

Tramo		Estado de Vía	Dimensión sección (m.)	Vía	Transporte	Recorrido	
De	A					Distancia (Km.)	Tiempo (h.)
El Ñato Nivel 2880	Norte y Sur	Regular	2.50x2.80	Terrestre	Ninguno	00+813.20	00:03
Total						00+813.20	00:03

3.3 CLIMA

El clima en las instalaciones exteriores o superficiales son muy variantes conformados por veranos: frescos y nublados; inviernos: Fríos, secos y parcialmente nublados; y calurosos, durante todo el año desde temperaturas: 4°C a 16°C, descendiendo la temperatura, así como 17°C a 23°C conformando climas abrigados. Así mismo los cambios de temperatura afectan las instalaciones mineras: superficiales y subterráneas, para la extracción de mineral aumentando o disminuyendo la precipitación e infiltraciones en las labores del túnel como la temperatura cambia bruscamente fatigando al personal de producción y seleccionamiento de mineral metálico. Las precipitaciones son intensas en los meses: Noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo, desde: 197 mm/mes a 115 mm/mes y baja precipitación en los meses: Abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre, fluctuando desde: 46 mm. a 2 mm. Así mismo se evidencia humedad no muy cambiante variando desde: Bochornoso, opresivo o insoportable.

Por consiguiente, la velocidad de los vientos es importantes variando: 9.60 Km/h a 12.20 Km/h, ayudando en la ventilación de las labores subterráneas. (El clima y el tiempo promedio en todo el año en Cajabamba-Perú, 2023).

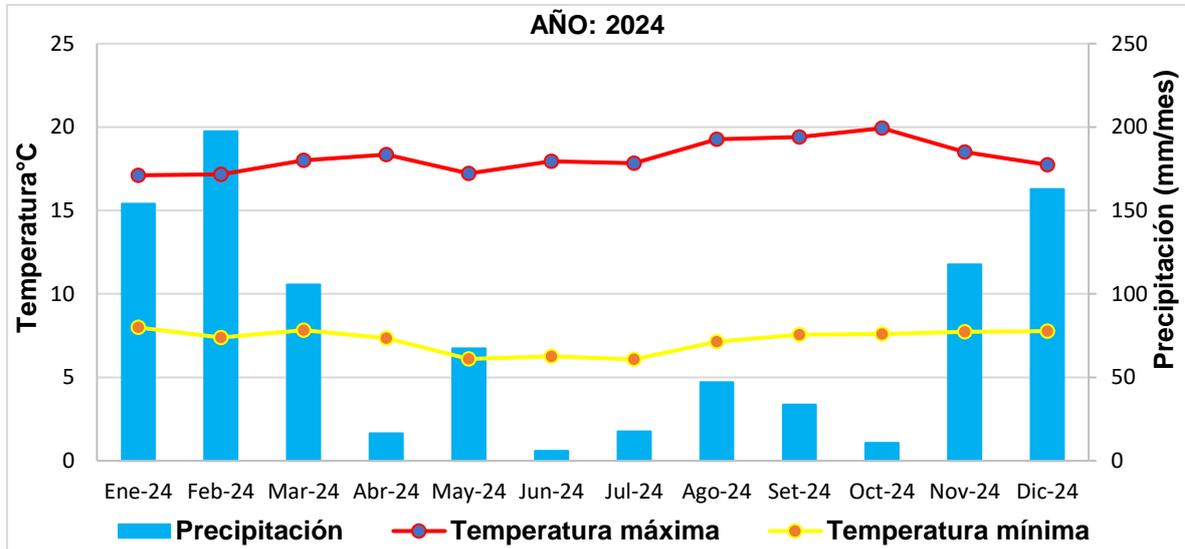


Figura 3.4. Diagrama meteorológico de la estación Cachachi tipo meteorológica convencional.
Fuente: SENAMHI, 2024.

Los factores climáticos en las labores subterráneas tienen gran implicancia aumentado con la profundidad vertical el gradiente geotérmico ($H = 100 \text{ m.} / 2.5^{\circ}\text{C}$ a 3°C), ya se para oxigenación y liberación de gases tóxicos, así mismo las fuentes de los gases son por: Equipos diésel, voladura de rocas, metabolismo humano, tendido de las tuberías de agua, putrefacción de maderos, casos generando gas metano.

3.4 HIDROLOGÍA

La hidrología por escorrentía superficial del sector: Norte y Sur – Veta Marina, está delimitada por las quebradas: **El Cobre** su nacimiento se ubica en el centro poblado Arenilla a la altitud 3,300 msnm. con orientación ENE-WSW, con longitud 1.70 Km. confluyendo con el río Quinual a la altitud 2,980 msnm. formando el río Cañaris; y **Santo Cristo** inicia su nacimiento a los 3,150 msnm. en la parte alta del cerro Algamarca con orientación NE-SW con longitud 2.34 Km., evacuando las aguas al río Cañaris a la altitud 2,625 msnm. Ambos ríos evacúan sus aguas en el río

Cañaris (La naciente se ubica en el centro poblado Cabildillo a altitud de 3,950 msnm., delimitado por las quebradas: Almagre que presenta una orientación SSW-NNE, con longitud de 2.38 Km. y Laguna Tapada presentando orientación WSW-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 S-N con longitud 4.10 Km., confluyendo con la Qda. E Cobre originando río Cañaris con orientación SSE-NNW con longitud 2.70 Km.). Por consiguiente, los efluentes de los ríos: Cañaris Huancaday (Naciente en el centro poblado Cerrochugo, presenta orientación SW-NE, con longitud 8.70 Km.); confluyen a la altitud 2,550 msnm. formando el río Chimin del Centro Poblado La Succha con orientación S-N y WSW-ENE, con longitud 22.55 Km.; evacuando al río Condebamba con longitud 29.75 Km a la altitud 2,030 msnm., cambiando a orientación a S-N y W-E, confluyendo al río Cajamarquino a altitud 1980 msnm.; formando el río Crisnejas, presentando orientación W-E y SW-NE bruscamente, con longitud de 38.30 Km., desembocando al río Marañón que nace al SW del departamento de Huánuco a 1,050 msnm. con orientación SSE-NNW, recorriendo 253,28 Km. interceptando al río Chinchipe a 390 msnm. con orientación NE-SW, siendo el principal afluente del río Amazonas, desembocando al Océano Atlántico.

Las instalaciones subterráneas del sector: Norte-Sur, se encuentra paralelo a la Qda El Cobre ubicándose a distancia 105 m., presentando dirección de flujo NE-SW, evacuando sus aguas al río Cañaris 625 m. Por consiguiente, la quebrada Santo Cristo 1,109 m.



Figura 3.5. Delimitación de vertientes cercanas a las instalaciones subterráneas del sector: Norte y Sur – Veta Marina, ubicándose paralela a la galería el río Cañaris a 1,480 m. con orientación SSE-NNW.

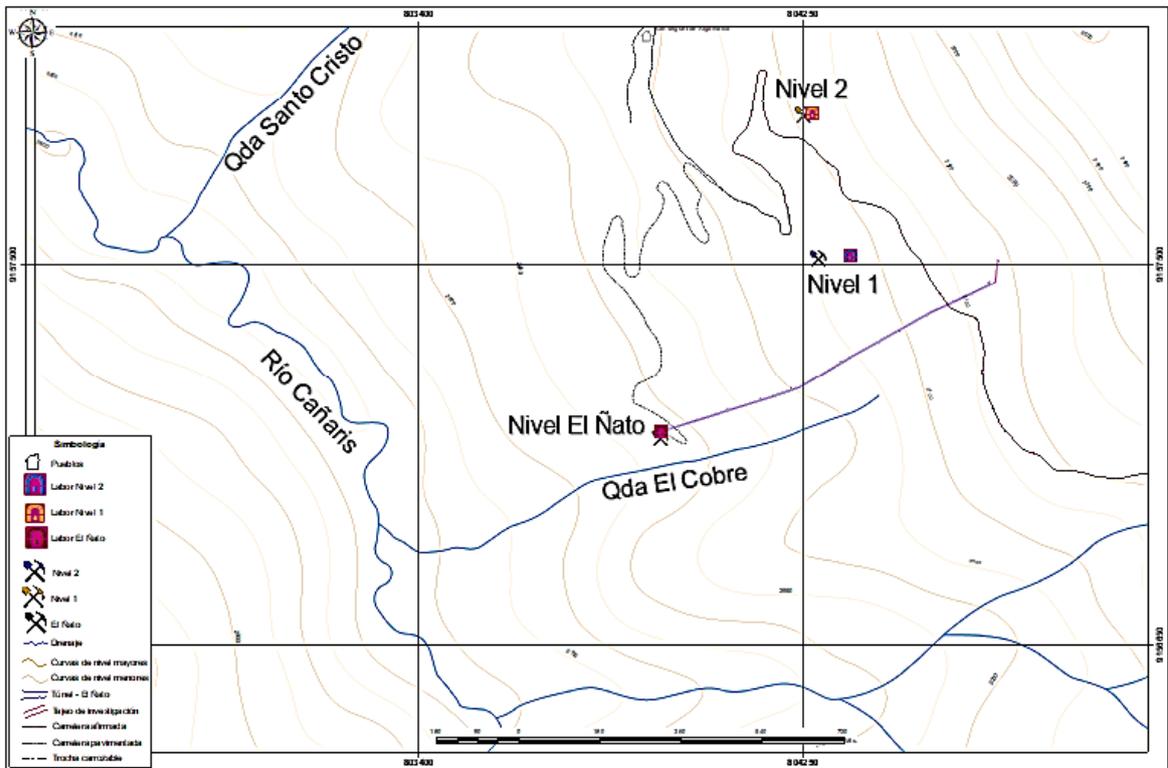


Figura 3.6. Drenaje fluvial limítrofe de la zona de investigación, evacuando las aguas al Río Cañaris.

Cuadro 3.4. Precipitación máxima desde el año: 2019 al 2024, mediante la estación Cachachi.

AÑO	MES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2019	46.50	193.00	269.80	80.30	32.60	1.80	7.50	0.00	23.00	147.10	107.40	191.40
2020	74.70	64.40	157.30	47.80	36.70	23.60	54.30	4.00	11.50	42.80	64.70	269.40
2021	165.00	64.90	241.80	131.40	76.80	25.90	3.90	27.20	25.30	184.30	191.80	147.40
2022	80.00	154.00	197.40	105.60	16.50	67.40	6.00	17.60	47.00	33.60	10.80	117.70
2023	162.90	131.20	222.60	69.30	87.10	2.00	0.80	2.80	7.90	114.20	130.40	259.80
2024	114.60	152.80	145.30	95.20	36.40	22.30	2.00	11.30	11.70	31.10	80.40	150.30

Fuente: SENAMHI, 2019 a 2024.

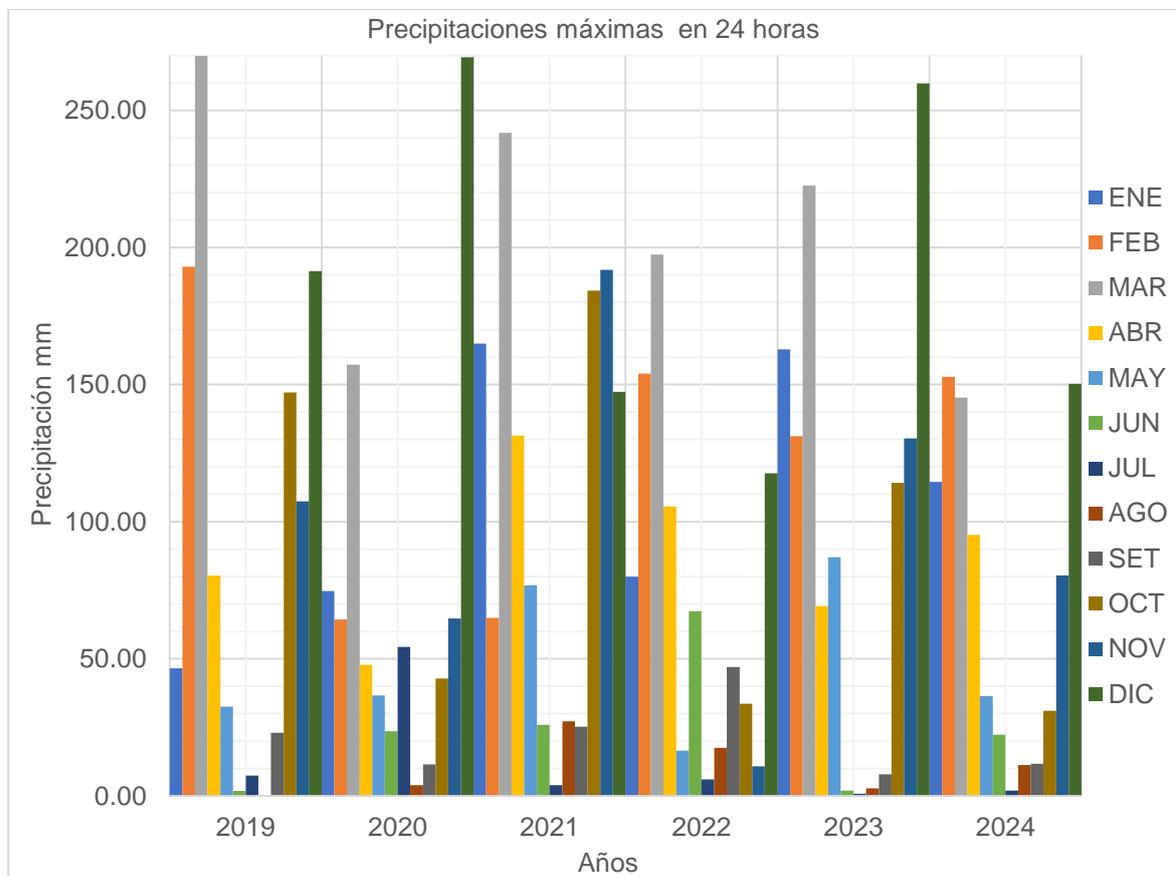


Figura 3.7. Variograma de barras de la precipitación máxima en 24 horas - estación de Cachachi.

Fuente: SENAMHI, 2019 a 2024.

3.5 GEOLOGÍA LOCAL

El túnel exploratorio subterráneo del sector: Norte y Sur - Veta Marina, tiene orientación N7° del crucero el Ñato, se ubica en el flanco izquierdo del anticlinal Algamarca, conformado por secuencias estratigráficas uniformes de rocas

areniscas de grano medio de la Formación Chimú de espesor: 0.25 m. a 0.35 m. de color blanquecino con $Az = N142^\circ$ y $Bz = 58^\circ SW$, con geometría de estratos tabulares, perteneciente al Grupo Goyllarisquizga de la edad Berresiano – Valanginiano de la época Inferior, periodo Cretácica de la era Mesozoica formado hace 140 Ma. así mismo con superficies de estatificación de materiales blandos limolíticos de espesor 0.5 mm. a 2 mm. y en otros sectores cerrados sin relleno entre superficies; con rugosidad de superficies: Planas a irregulares. Por consiguiente, la sección del túnel está conformado por roca de calidad media la roca caja: Techo y piso, con dirección muy favorable al eje del túnel por el buzamiento del estrato.



Figura 3.8. Galería del sector: Norte y Sur – Veta Marina, ubicado Pi + 35.00 m., conformado por areniscas de la Formación Chimú.

Así mismo se evidencias mineralizaciones que cortan transversalmente al anticlinal, siendo emplazado en las grietas de tracción de la roca arenisca compuesto por: Au, Ag y Cu, relacionados con minerales como: Galena, plata argentífera, bornita, calcopirita, pirita, jarosita, hematita, cuarzo, goetita, covelina,

calcosina y calcantita, relacionados con el yacimiento de epitermal alta sulfuración, por las pulsaciones magmáticas de mineralizaron la roca caja.



Figura 3.9. Muestra de arenisca de grano medio con matriz cementante silicificada con superficie de roca plana granulada, constituyendo la sección de túnel.

3.6 HIDROGEOLOGÍA

La sección del túnel presenta humedad por las líneas de flujo del anticlinal con dirección de flujo SW, por la secuencia de estratos ocasionando debilitamiento de la roca caja en la clave y hastiales, afectando progresivamente la inestabilidad de la excavación subterránea, disminuyendo la cohesión y ángulo de fricción de la roca. Hidrogeológicamente está emplazado en un acuífero fisurado sedimentario semiconfinado permitiendo que lleguen las filtraciones a través de la permeabilidad primaria y secundaria por la interacción física prismática de las fracturas o discontinuidades del macizo rocoso conformada por: Agua y fase solida de la roca. Sin embargo, el potencial hidráulico está cortando perpendicular a las líneas de flujo alrededor de la excavación subterránea, ocasionando afectaciones de continuidades de flujo hacia las partes bajas de abastecimiento hidráulico. Así mismo en este sector: Norte y Sur – Veta Marina, no se encuentra afectada por

inundaciones o acumulaciones de agua constante no afectando las actividades mineras metálicas, tendiendo en consideración que la humedad es relativamente baja alrededor de la excavación subterránea, generando un caudal $Q = 0.05 \text{ Lt/s}$.



Figura 3.10. Galería del sector: Norte y Sur – Veta Marina, ubicado Pi + 35.00 m., conformado por areniscas de la Formación Chimú.

3.7 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Las operaciones mineras metálicas están operando en el flanco izquierdo del anticlinal Algamarca con orientación $Az = N142^\circ$ y $Bz = 58^\circ SW$, delimitada por dos fallas de rumbo paralelas: La Cruz y Santo Cristo-1, desplazando al eje del anticlinal, formando una serie de fallas conjugadas paralelas transversales relacionadas con la falla Santo Cristo. Así mismo la mineralización tiene orientación SW-NE emplazándose transversalmente al eje del anticlinal, por consiguiente, en el sector: Norte y Sur – Veta Marina, se proyecta una veta de cobre de 0.10 m. a 0.15 m. de ancho cortada por el túnel en ambos hastiales ubicada en el Pi + 19.00 m. y Pi + 46.20 m. se está explotando la veta Marina ambas presentando orientación $Az = N231^\circ$ y $Bz = 75^\circ NW$. Por consiguiente, presenta

discontinuidades: Principales y secundarias, definiendo el grado de blocosidad del macizo rocoso y estabilidad del macizo rocoso.

3.8 SISMICIDAD

Las operaciones mineras subterráneas actualmente presentan constante actividad extractiva metálica generando abertura de tajeos, manifestando por vibraciones: Naturales e inducidas, mediante las actividades: Perforación, transporte de maquinaria, voladura y actividades colindantes relacionada con la minería, afectando la estabilidad de roca, generándose en algunos sectores: Debilitamiento de la roca circundante, desprendimiento rocas y mayor proyección de las grietas de tracción. Así mismo los impulsos de vibraciones de energía sísmica: horizontal (Sh) y vertical (Sv), afectan la calidad de roca relacionada con las constantes elásticas de la roca, en el entorno próximo del medio plástico o de plastificaciones, mostrando cambio tensodeformacionales alrededor de la excavación subterránea, siendo afectado por la columna de roca; presentando vital importancia esta información cuando se ingrese al modelo numérico geomecánico RS², respaldada por la Norma Técnica E.30 Diseño sismorresistente, obtenido en función de cada estación geomecánica.

Cuadro 3.5. Parámetros sismorresistentes del sector: Norte y Sur – Veta Marina.

Zonificación sísmica		Estación geomecánica			
		E-1	E-2	E-3	E-4
Factor de zona		Z3 - 0.35			
Perfil de perfil		S1		S0	
Factor de suelo (S)		1.00		0.80	
Parámetros de sitio	T _P	0.40		0.30	
	T _L	2.50		3.00	
Aceleración espectral	Sh	0.185	0.216	0.204	0.197
	Sv	0.492	0.575	0.543	0.524

3.9 GEOMECÁNICA

3.9.1 Eg-01

La sección está constituida por areniscas de la Formación Chimú de grosor: 0.20 m. a 0.30 m., presentando 3 discontinuidades que delimitan el macizo rocoso, con patinas de óxidos y superficies planas de textura media; mostrando el cartografiado geomecánico $\sigma_{ci} = 109 \text{ MPa}$., $RQD = 65.33\%$, $RMR = 58$, $GSI = 53$ y $Q = 5$, cuantificándolo como roca de calidad media.

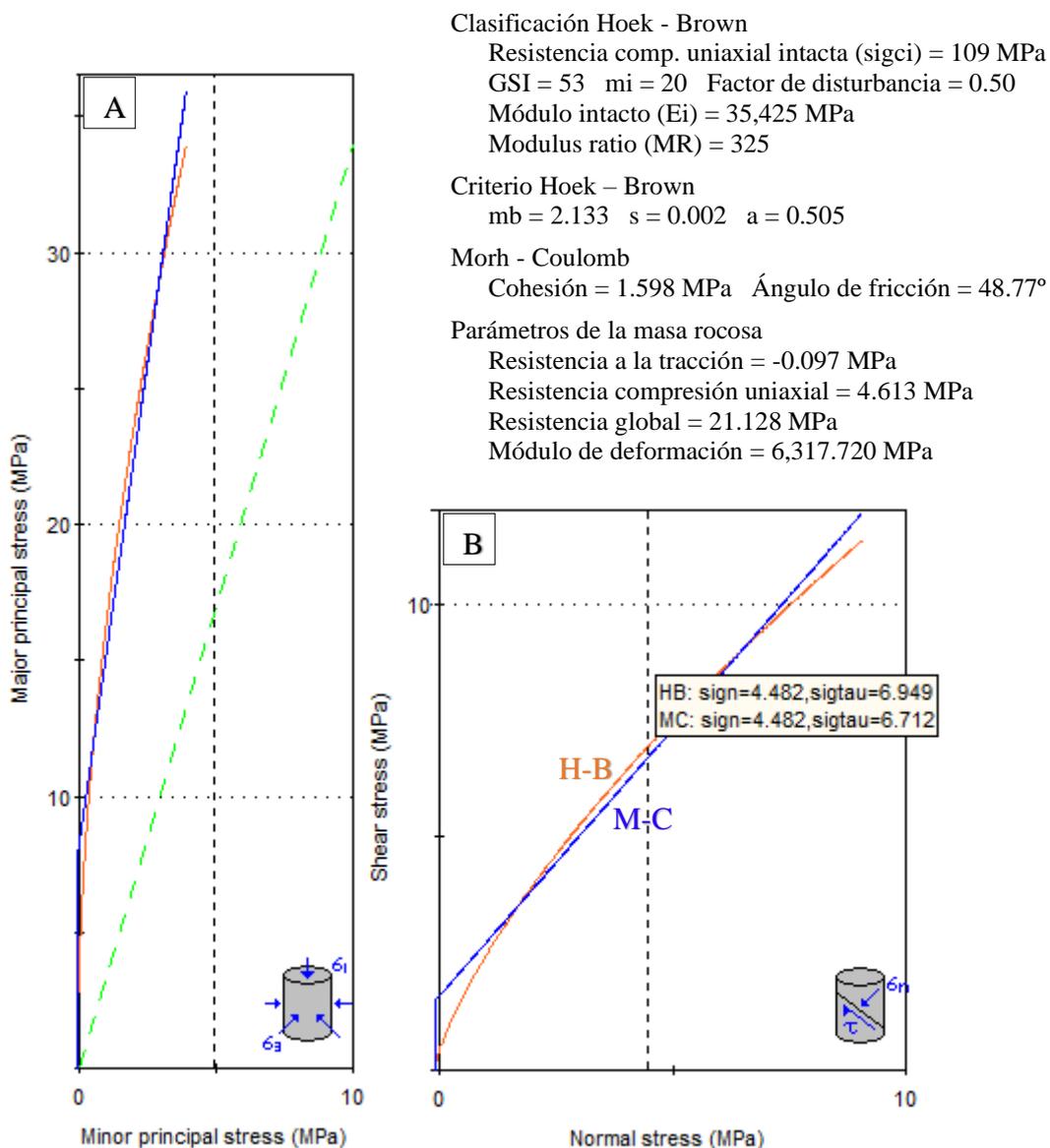


Figura 3.11. A. Esfuerzo: Mayor vs. Menor (H-B) y B. Esfuerzo: Corte y normal (M-C); mediante el método equivalencia de área, EG-01.

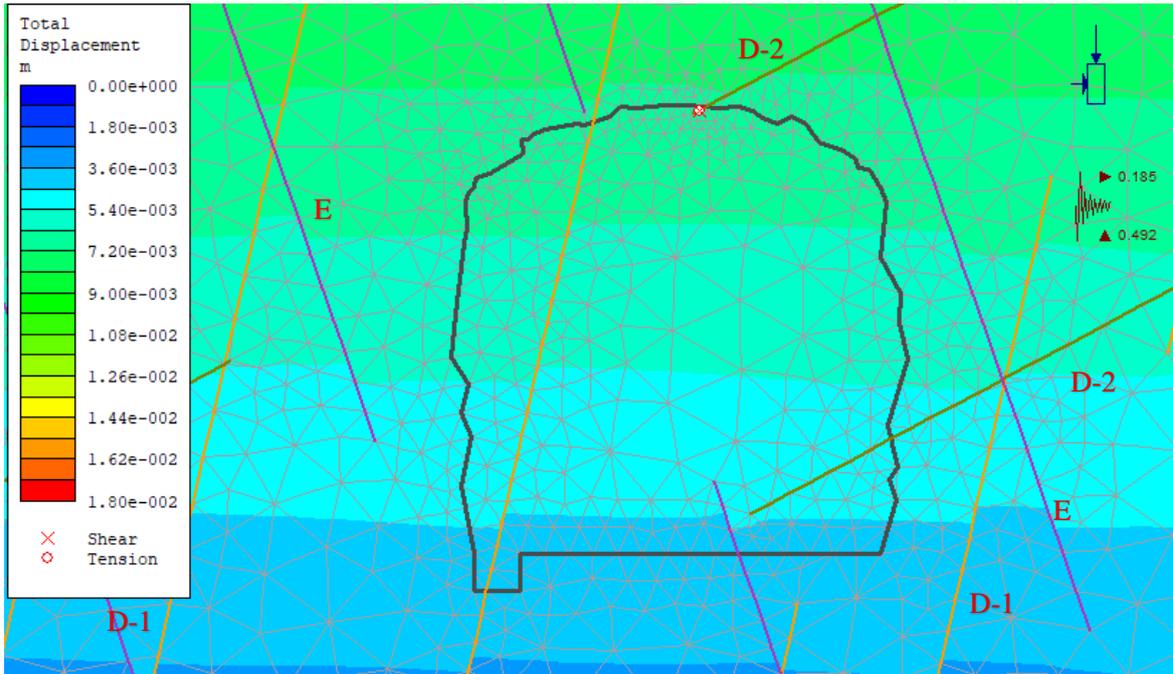


Figura 3.12. Proyección deformacional del macizo rocoso frente a la sección subterránea, en la etapa de exploración delimitado por discontinuidades y espectros de franjas horizontales de variación del campo de carga constante, EG-01.

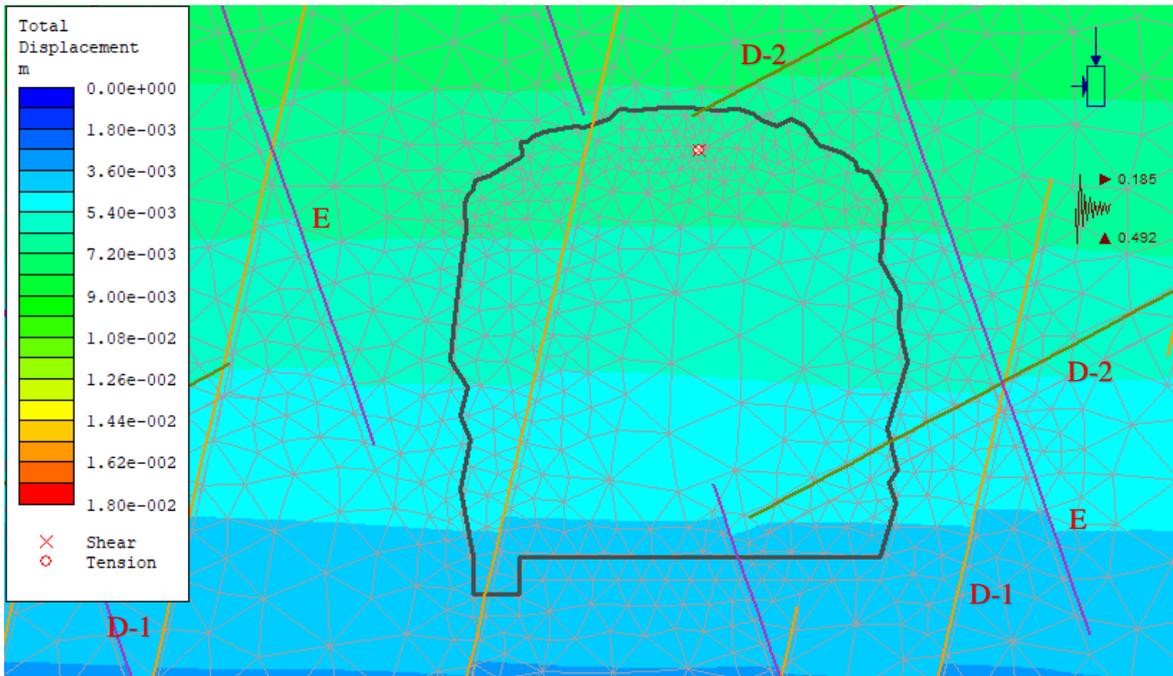


Figura 3.13. Muestra desplazamiento vertical de 0.01723 m., por la variación de los espectros de las franjas horizontes, observándose claramente en la solera de la sección de la galería, EG-01.

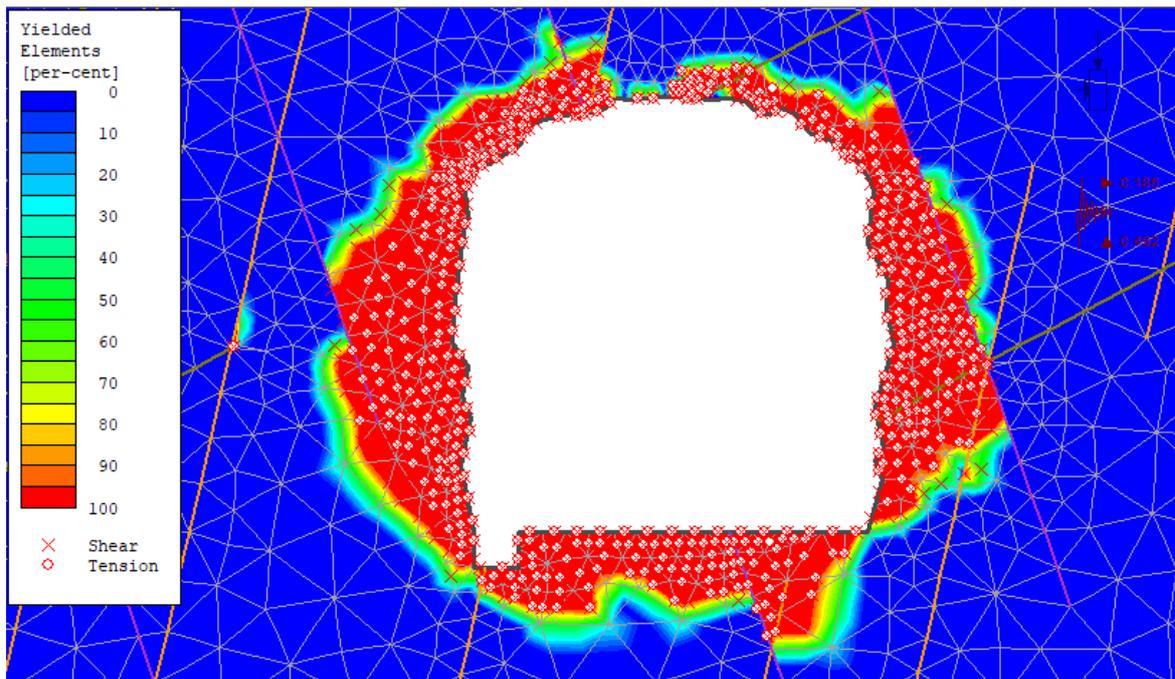


Figura 3.14. La etapa de excavación muestra plastificación concentrada alrededor del túnel, siendo por la redistribución tensional del medio plástico mediante la concentración del esfuerzo: Corte y tensional, con amplitud 0.95 m. en la sección transversal de la galería, en la EG-01.

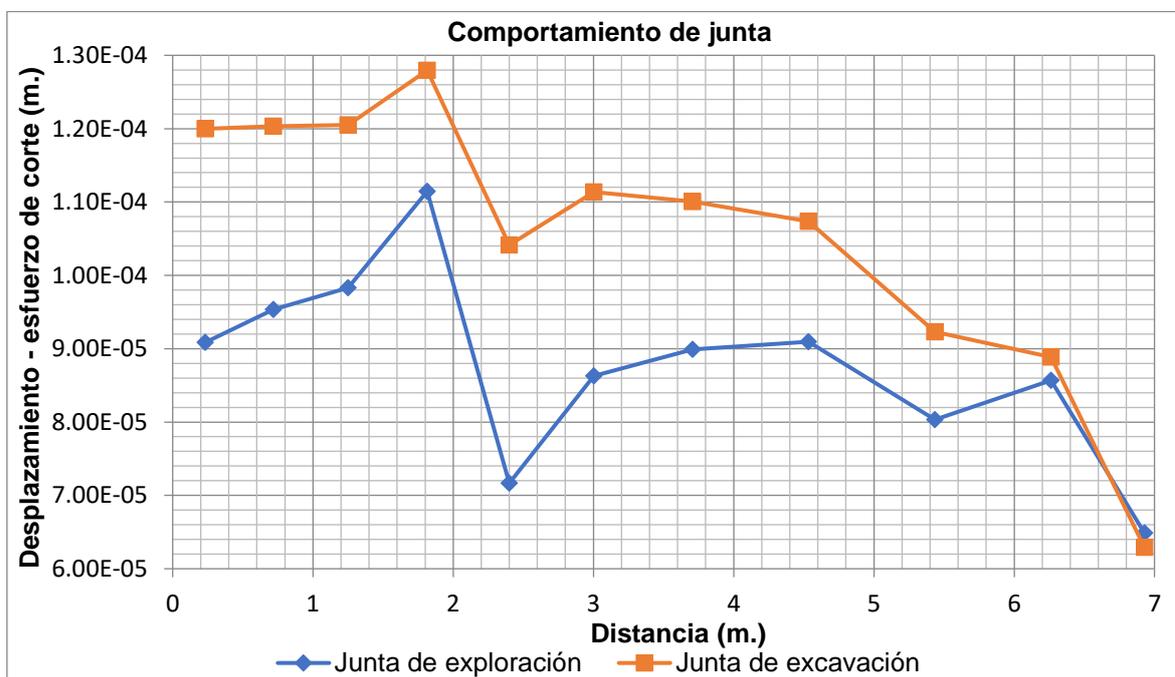


Figura 3.15. Comportamiento de la diaclasa en la etapa: Exploración y explotación, ocasionando cambios importantes a partir de la octava intersección, logrando observar cambios importantes de desprendimiento desde los 4.50 m. de distancia transversal en la excavación subterránea, en la EG-01.

3.9.2 Eg-02

Las dimensiones de la sección del túnel es: $H = 3.00 \text{ m.}$ x $A = 2.60 \text{ m.}$, conformada por areniscas blanquecinas de textura media de grosor: 0.15 m. a 0.25 m. , con parámetros geomecánico $\sigma_{ci} = 129 \text{ MPa.}$, $RQD = 69.17\%$, $RMR = 46$, $GSI = 41$ y $Q = 8$, caracterizada como roca de calidad media, siendo importante para obtener los parámetros de las constantes elásticas aplicando el criterio generalizado de H-B, luego siendo afectada por el entorno del medio plástico, ocasionando debilitamiento del macizo rocoso.

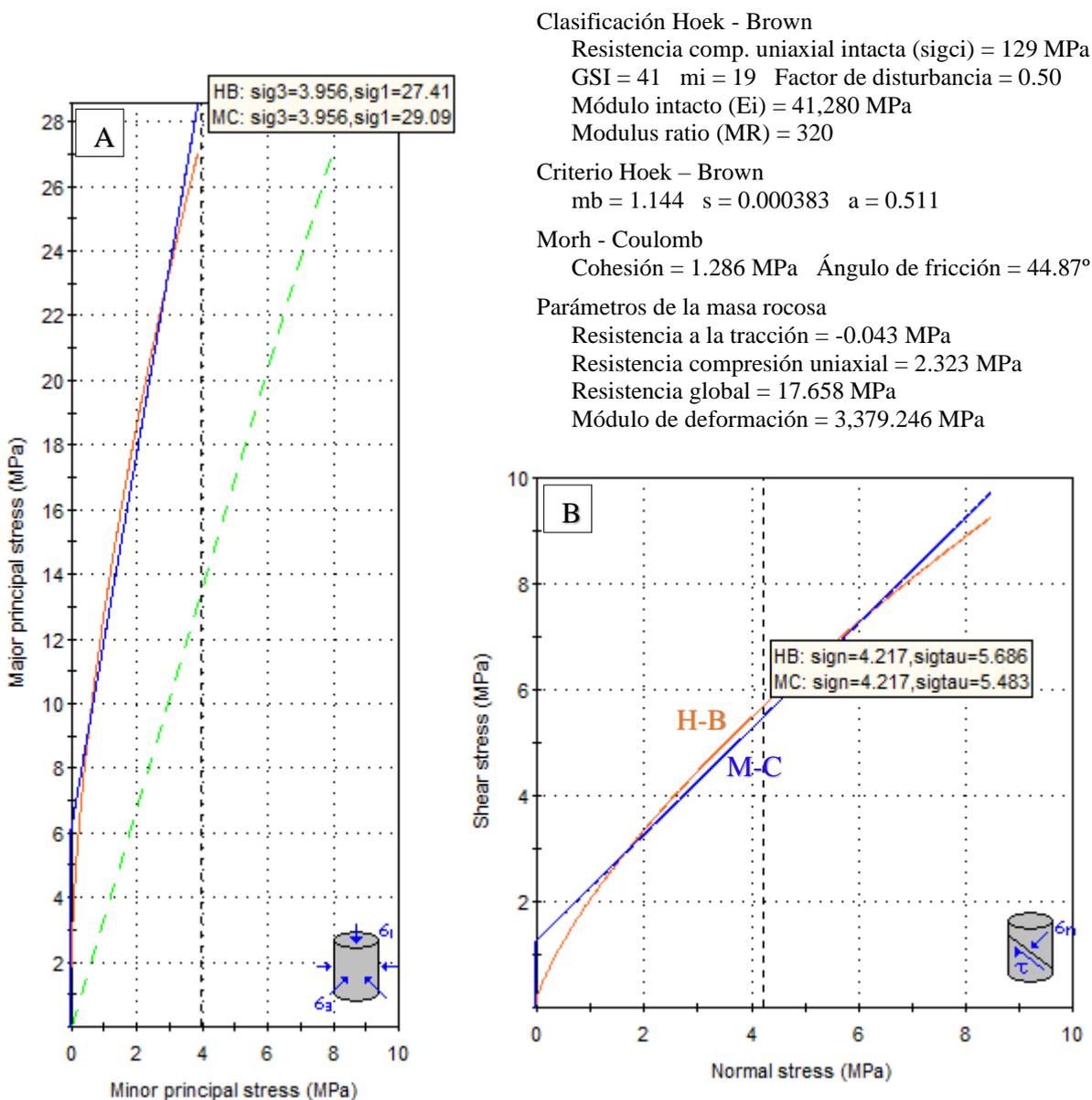


Figura 3.16. A. Esfuerzo: Mayor vs. Menor (H-B) y B. Esfuerzo: Corte y normal (M-C); mediante el método equivalencia de área, EG-02.

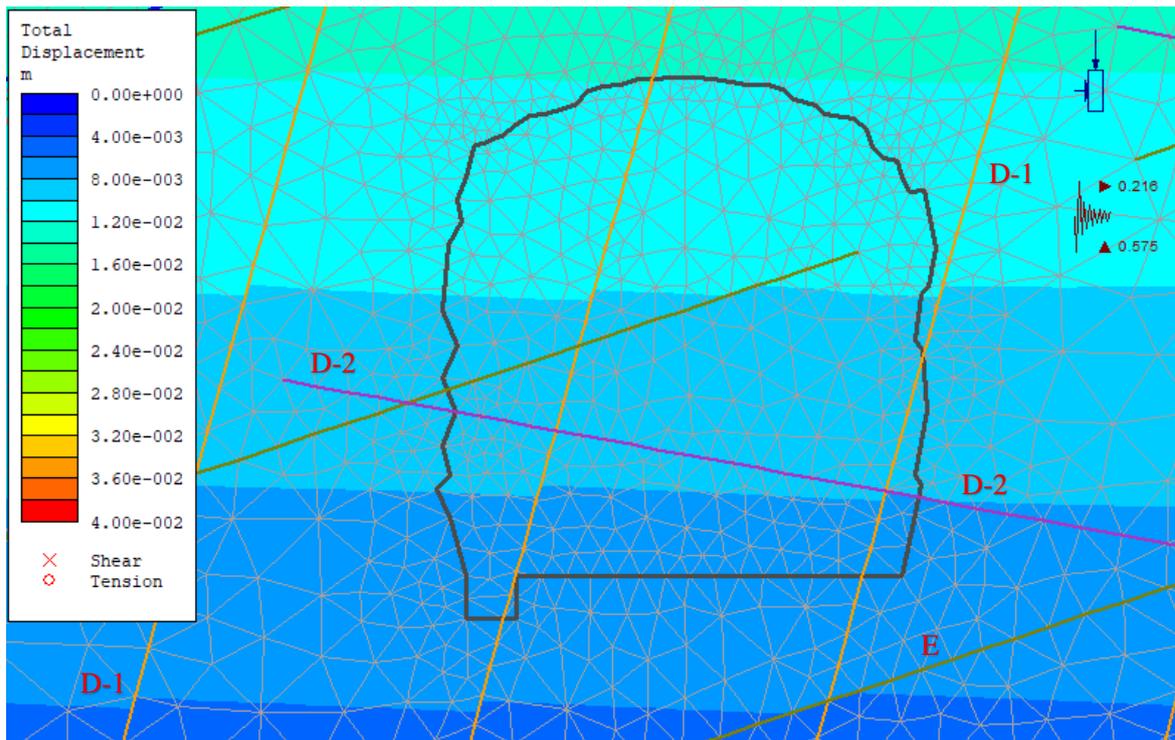


Figura 3.17. Proyección deformacional del macizo rocoso frente a la sección subterránea, en la etapa de exploración delimitado por discontinuidades y espectros de franjas horizontales de variación del campo de carga constante, EG-02.

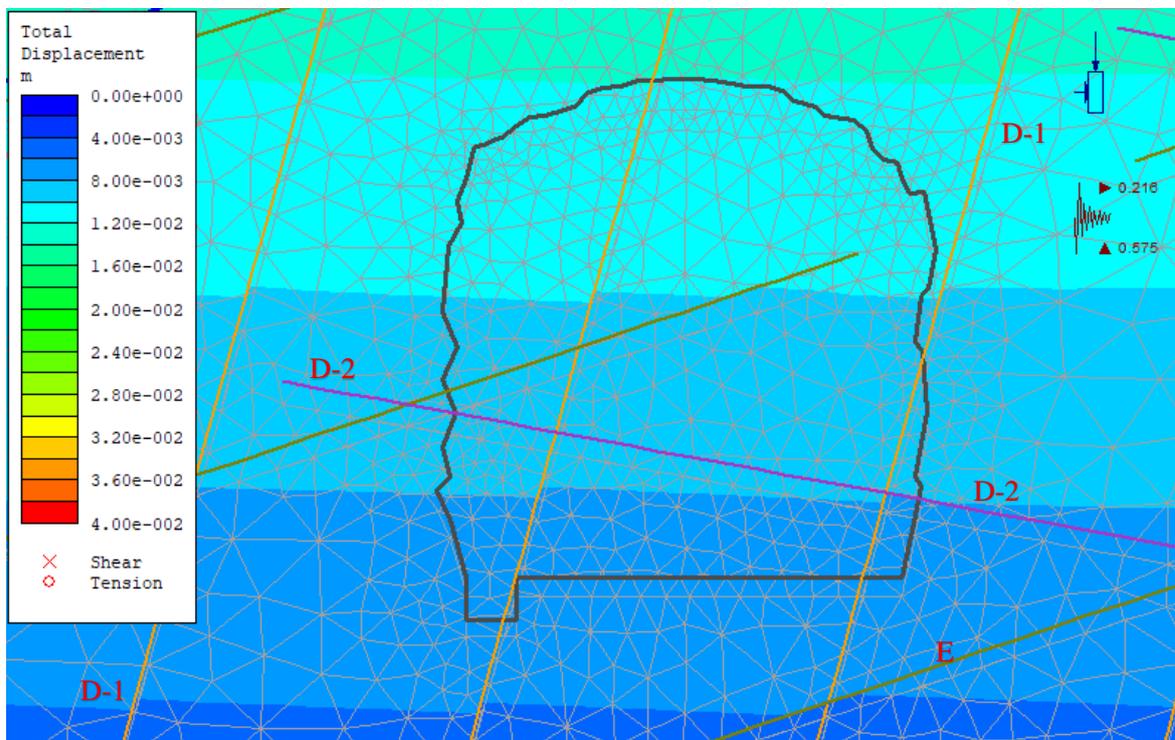


Figura 3.18. Los cambios de desplazamiento vertical es 0.0328278 m. por presión constante observando variaciones del entorno de asentamiento, disipándose en el color azul por los vectores de contorno de dirección, EG-02.

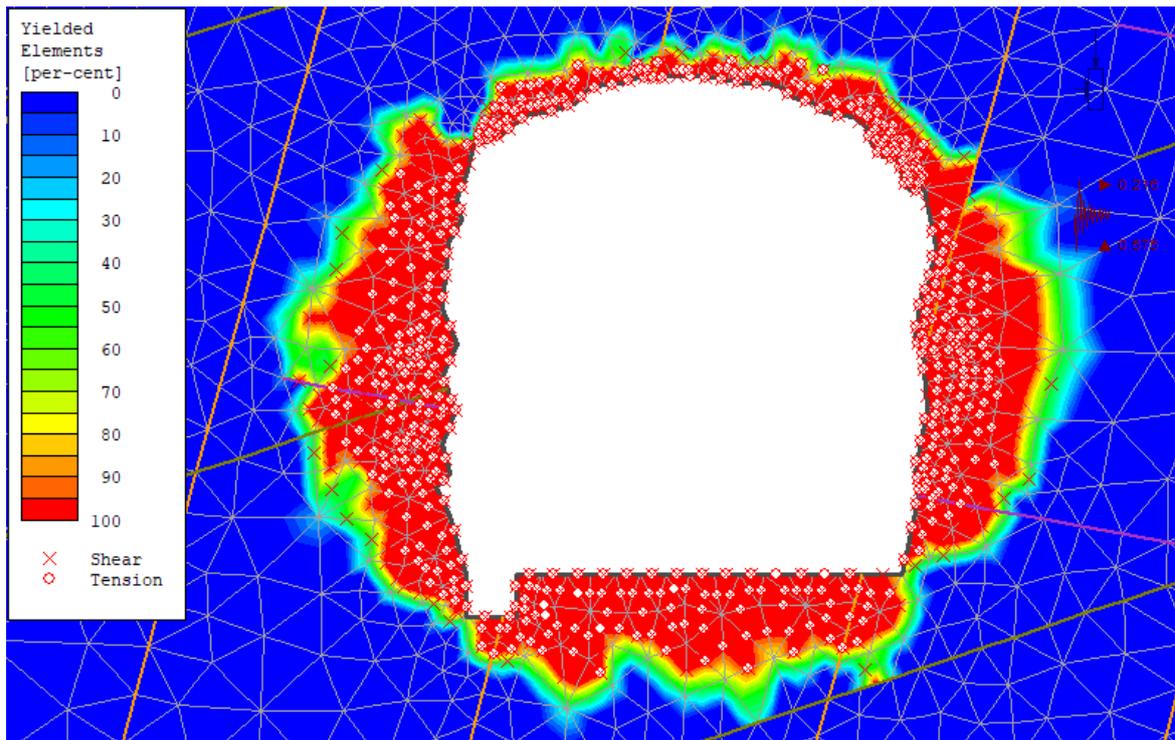


Figura 3.19. Etapa de excavación en la EG-02, presenta el entorno de plastificación de la sección, mostrando cambios en: Hastiales (0.95 m. a 1.20 m.) y solera (0.85 m.), por esfuerzo: Cortantes y tensionales.

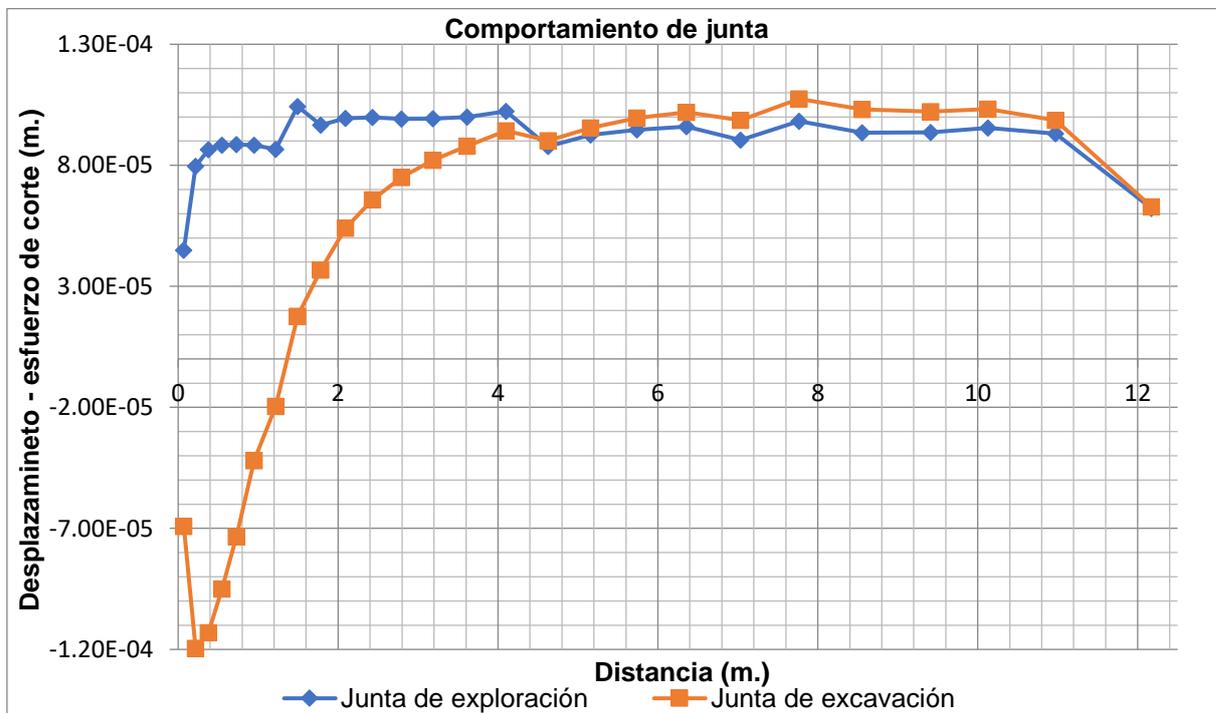


Figura 3.20. Comportamiento de la junta en la etapa de exploración tiene desplazamiento uniforme, formándose a 10.95 m. desplazamiento interno por colapso de roca. Por consiguiente, en la etapa de explotación forman cambios importantes hasta 4.00 m. de profundidad transversal, en la excavación subterránea, de la EG-02.

3.9.3 Eg-03

El cartografiado por línea de detalle muestra valores de la calidad de roca arenisca como: $\sigma_{ci} = 134$ MPa., RQD = 72.50%, RMR = 53, GSI = 48 y $Q = 9$, con dimensiones de sección: $H = 3.05$ m. x $A = 2.75$ m. Por consiguiente, el grado de fracturamiento está originando cuñas en la sección, siendo en algunos casos de volumen: Pequeño y grande, desde 0.15 m³ a 0.35 m³, por la disminución de los parámetros: Cohesión y ángulo de fricción, desplazándose en función de planos de debilidad. Sin embargo, el campo tensional reporta elevado nivel tensional con valor 7.834 MPa, siendo desfavorable para la estabilidad de hastiales.

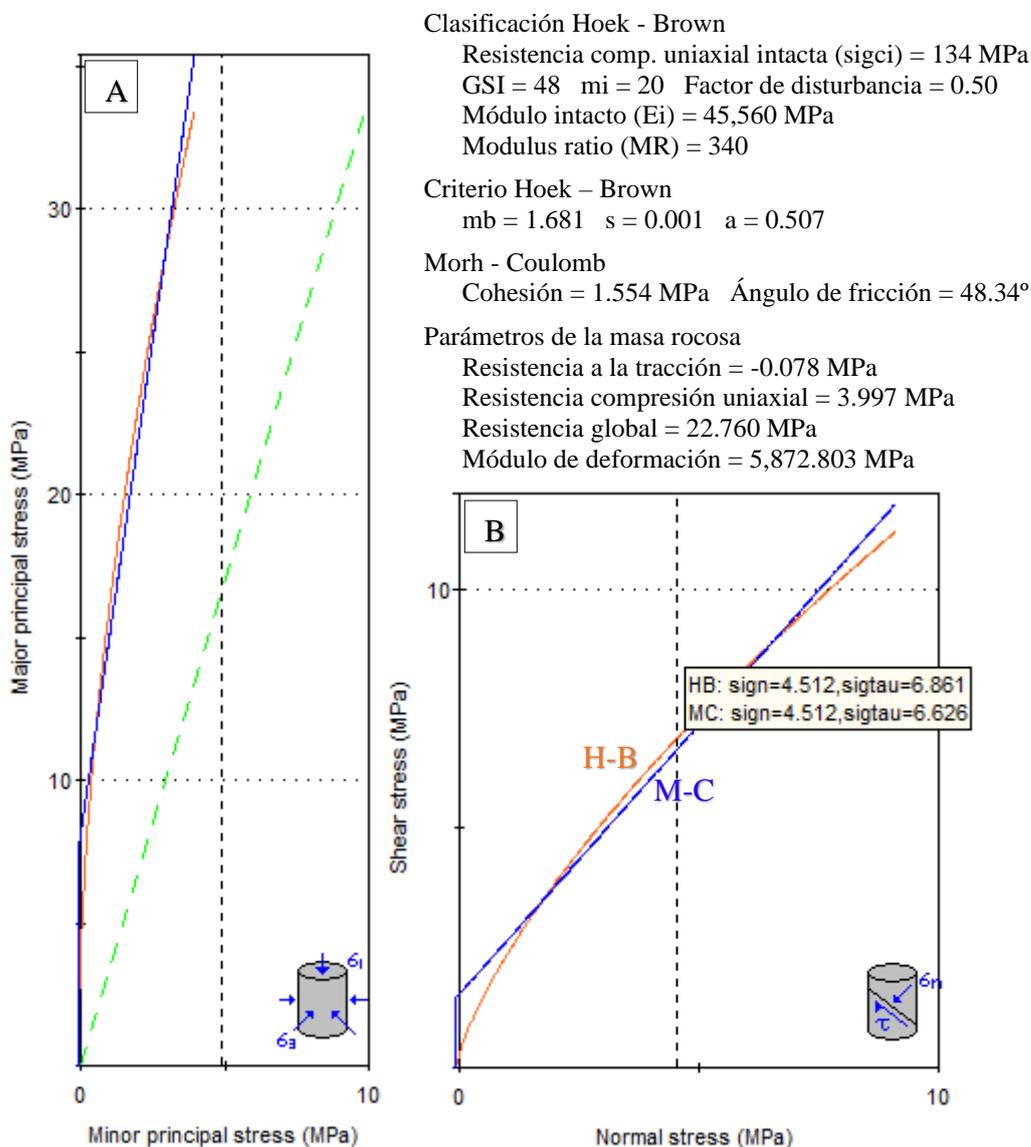


Figura 3.21. A. Esfuerzo: Mayor vs. Menor (H-B) y B. Esfuerzo: Corte y normal (M-C); mediante el método equivalencia de área, EG-03.

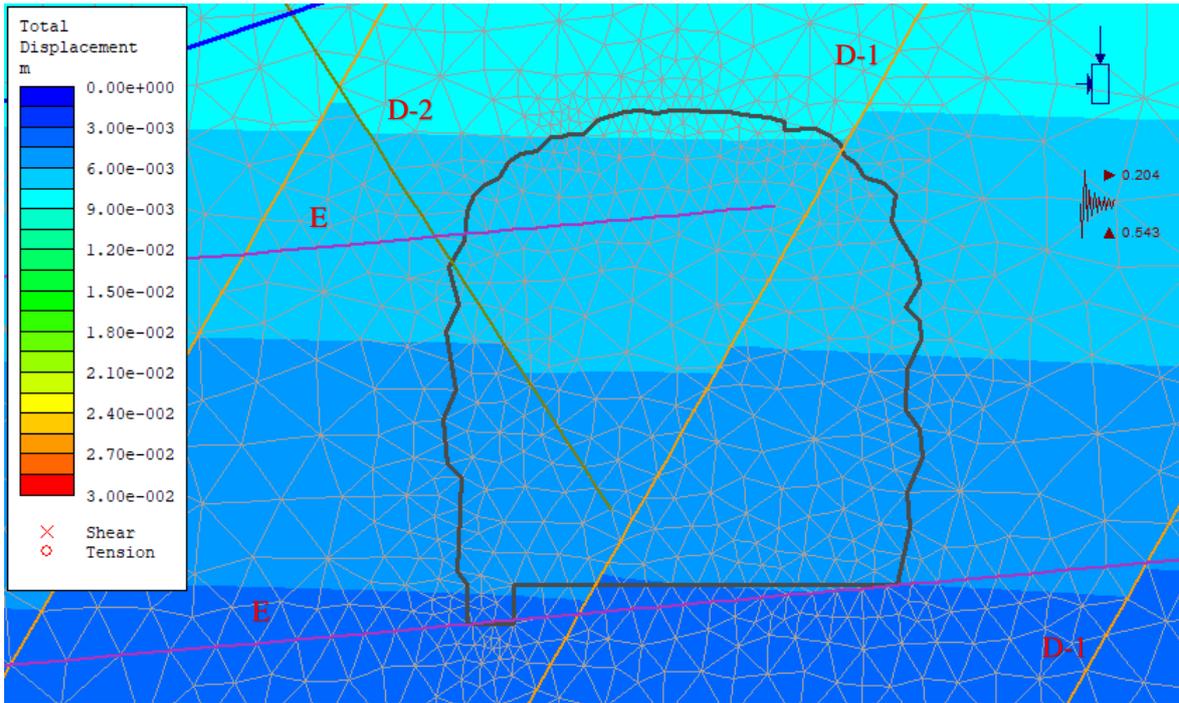


Figura 3.22. Estado inicial de la EG-03 delimitado por el entorno de desplazamiento por variables numéricas que afecta progresivamente el entono vectorial.

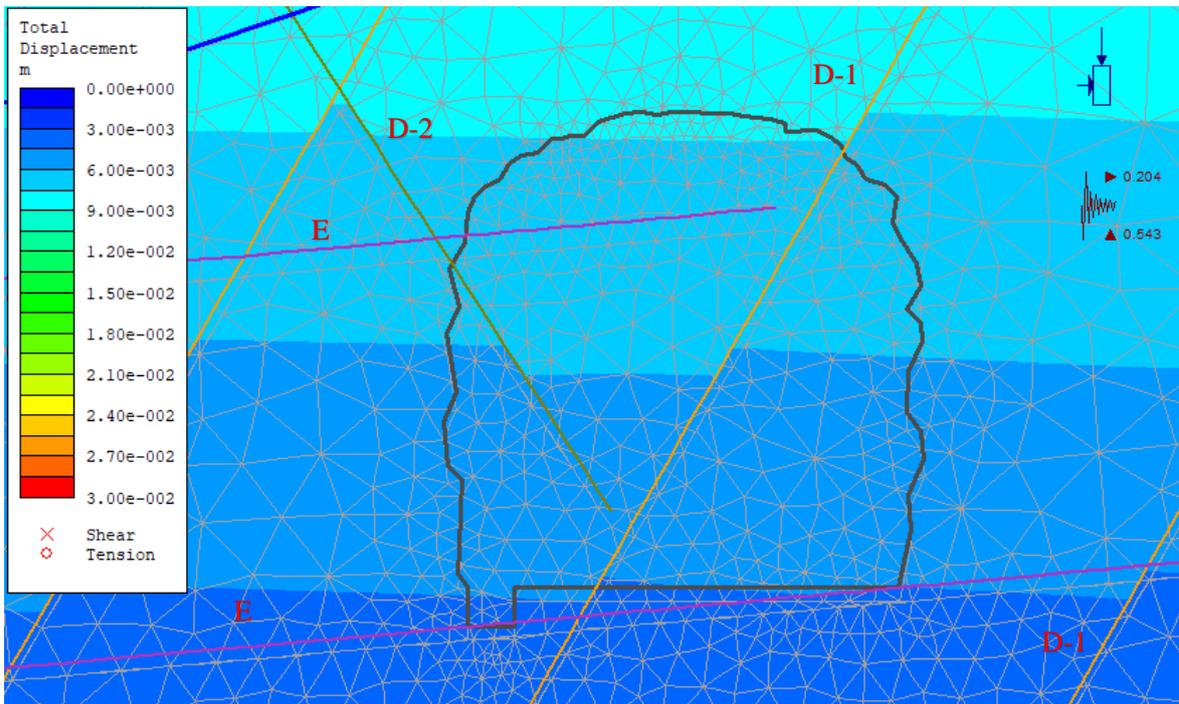


Figura 3.23. Estado inicial de la EG-03 muestra desplazamientos 0.02053 m. en función de las franjas espectrales siendo influenciadas mínimamente por están ubicada a la por la carga 302.69 MPa.

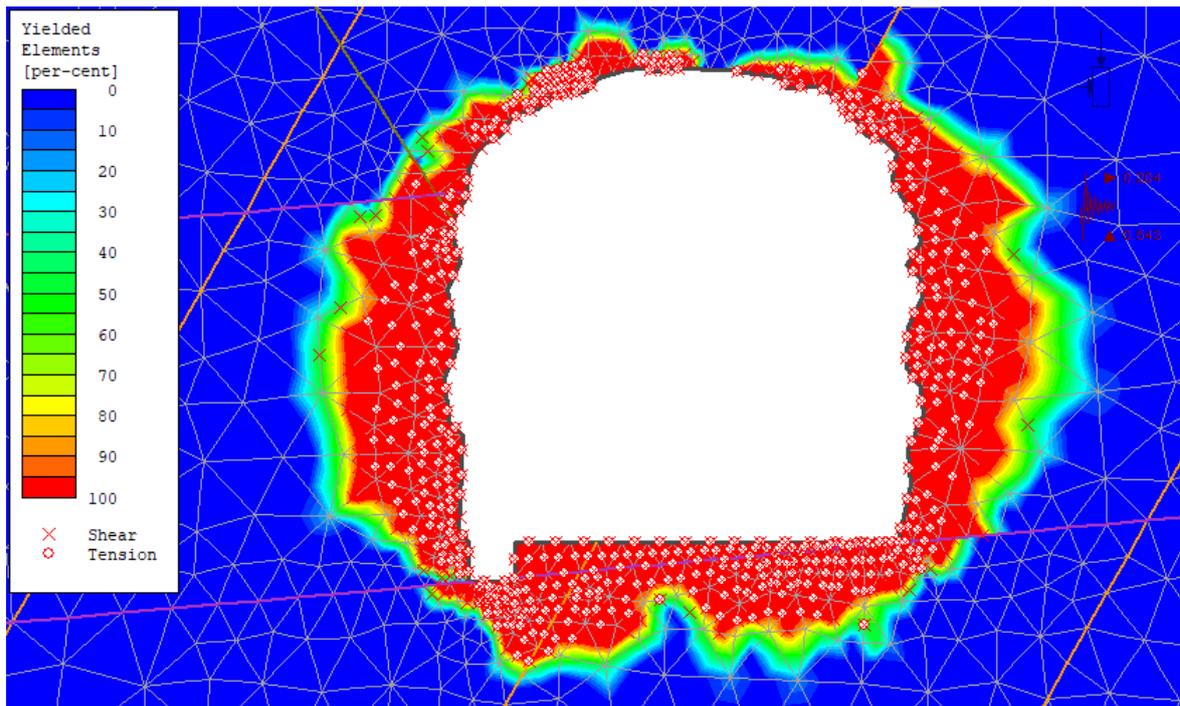


Figura 3.24. Los cambios de plastificación por esfuerzos: Tensiones y cortantes, se muestran en la periferie de la excavación con mayor concentración a la distancia 0.45 m. a 0.55 m. del medio plástico, por consiguiente, le medio elastoplástico esta influencia por el esfuerzo cortante; presentando forma elíptica por: Hastiales y solera, en la EG-03.

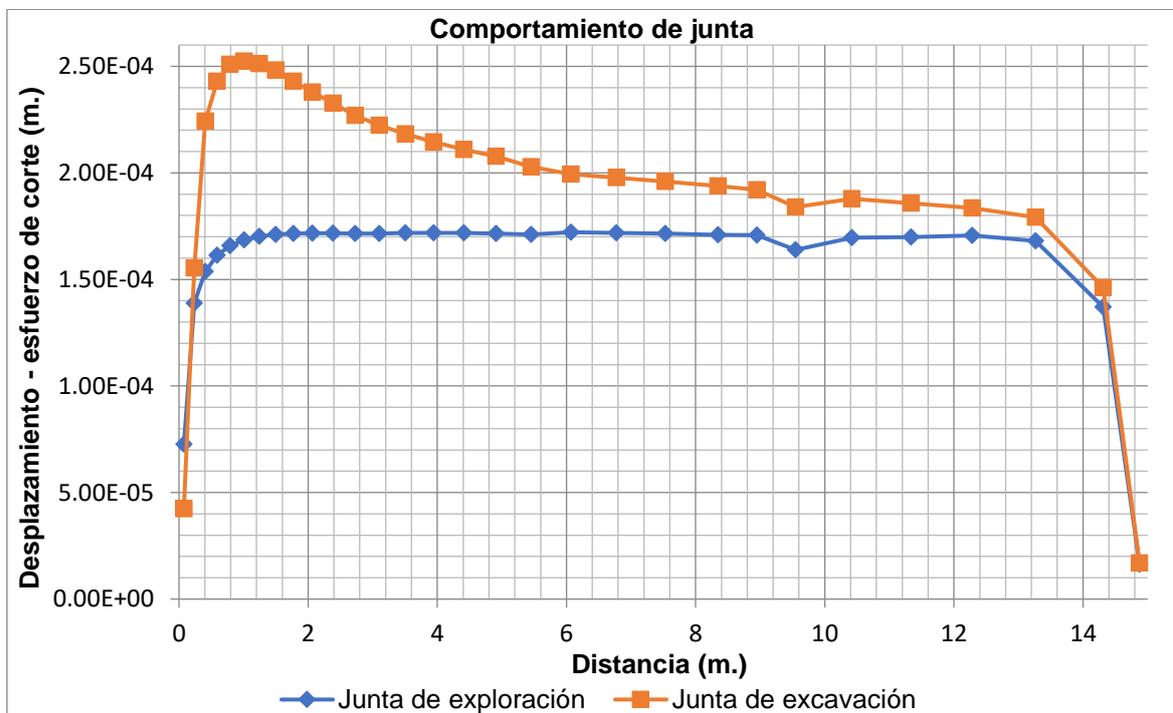


Figura 3.25. El comportamiento del desplazamiento de la junta en la etapa de exploración es uniforme desde la distancia: 1.00 a 13.27, presentando colapsos por calidad de roca al inicio y final del eje. Por lo contrario, etapa de explotación forman cambios paralelos homogéneos en función de la profundidad de la excavación subterránea EG-03.

3.9.4 Eg-04

El cartografiado geomecánico se ubica en el pique reportando la calidad de roca arenisca como: $\sigma_{ci} = 115$ MPa., RQD = 80.65%, RMR = 74, GSI = 69 y $Q = 12$, con dimensiones de sección: $H = 4.00$ m. x $A = 3.05$ m. La intersección de juntas origina cuñas alrededor de la sección, siendo en algunos casos de volumen: Pequeño y grande, desde 0.10 m³ a 0.55 m³, afectando la operatividad de la mina subterránea, así mismo debilitando el macizo rocoso, siendo correlacionado con las plastificaciones que se forman alrededor de la excavación subterránea.

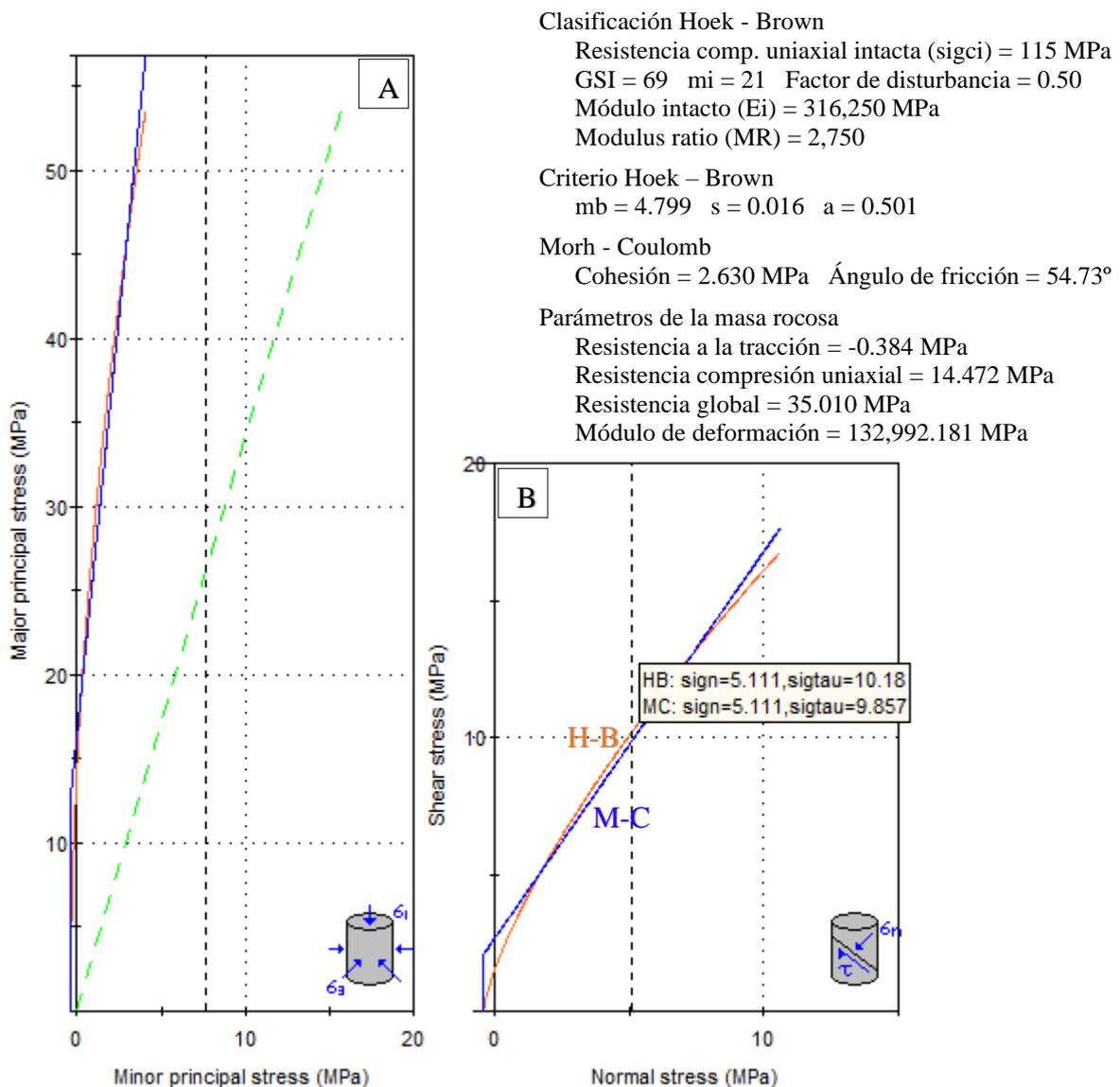


Figura 3.26. A. Esfuerzo: Mayor vs. Menor (H-B) y B. Esfuerzo: Corte y normal (M-C); mediante el método equivalencia de área, EG-04.

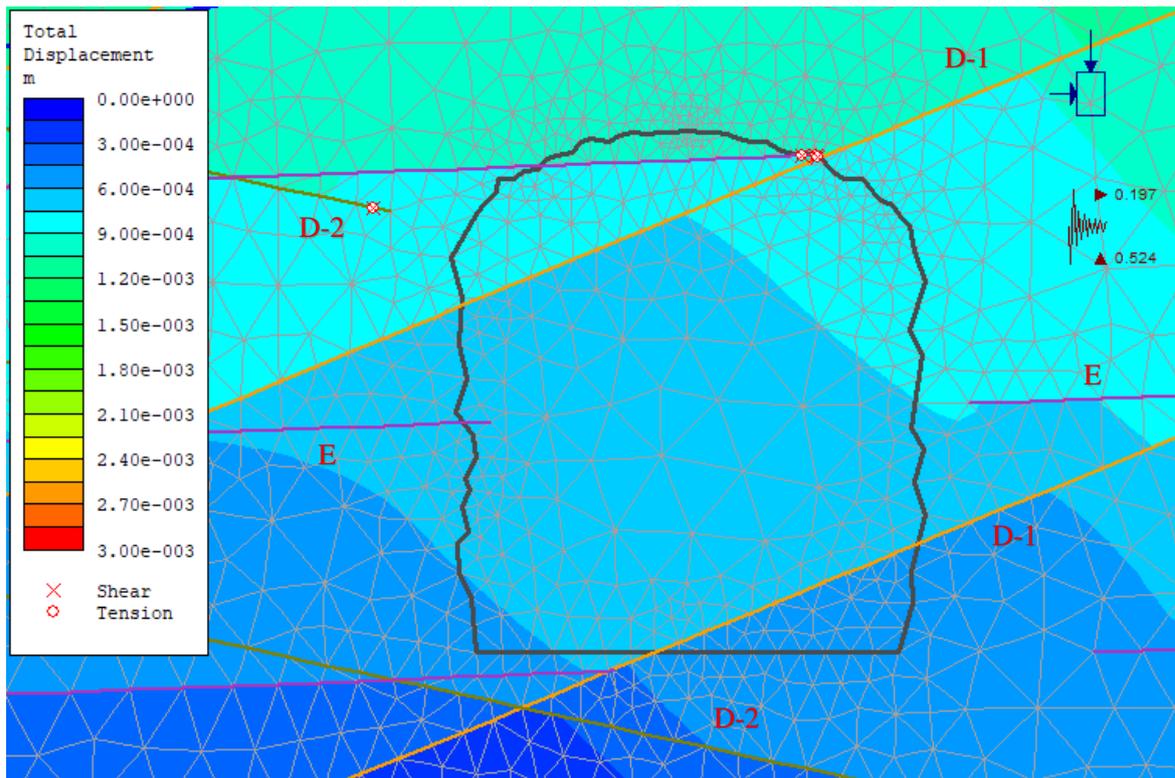


Figura 3.27. La EG-04 presenta variaciones del entorno formando zonas alveoladas por influencia de: Agua y discontinuidades, observándose variaciones en el campo de desplazamiento.

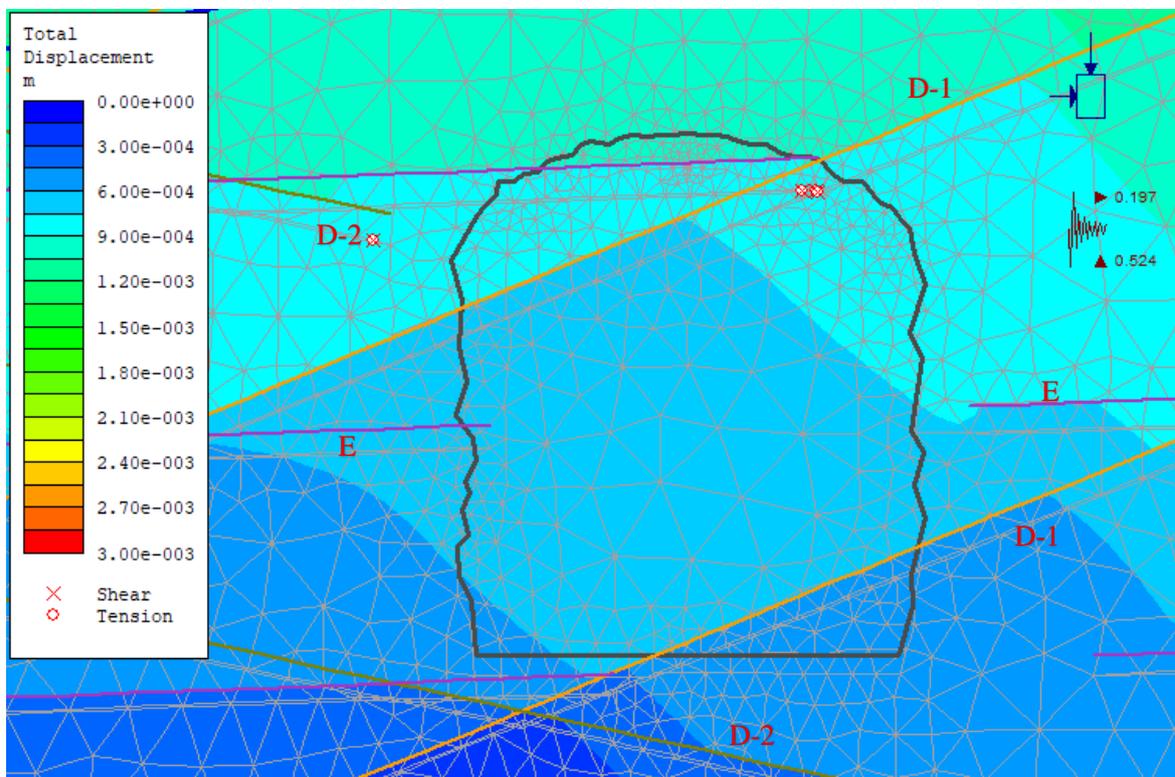


Figura 3.28. La EG-04 muestra desplazamiento vertical de 0.002544 m., siendo generado por movimientos tectónicos, en la sección de influencia de la excavación subterránea.

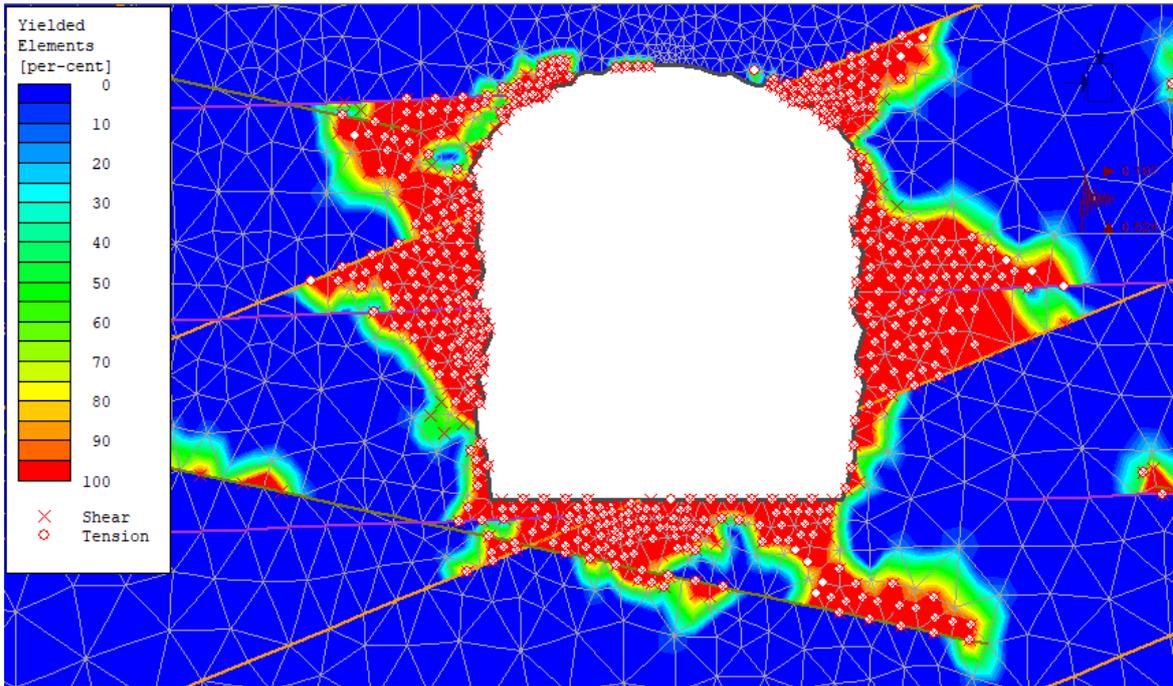


Figura 3.29. La EG-04 plasma cambios tensiones de plastificación en: Hastiales y solera, de forma irregular siendo influenciada por discontinuidades, concentrándose los esfuerzos: Cortantes y tensionales hasta el medio: Plástico y elastoplástico, proyectándose desde amplitudes: 1.50 m. a 1.95 m.

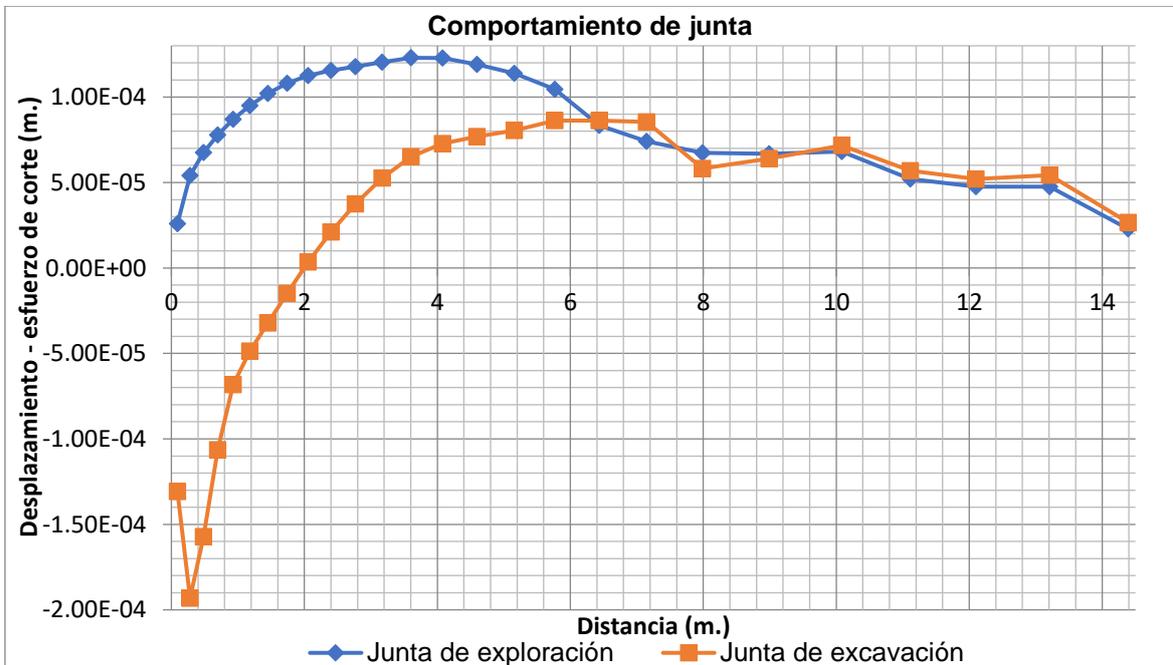


Figura 3.30. Los desplazamientos de la junta en la etapa de exploración muestran cambios importantes desde la distancia: 0.00 m. a 5.75 m., luego muestra cambios progresivos disminuyendo el desplazamiento. Por consiguiente, la etapa de excavación presenta cambios deformacionales hasta 7.15 m. de profundidad, luego cambiando a comportamiento uniformemente elástico el macizo rocoso, en la EG-04.

3.10 SOSTENIMIENTO SUBTERRÁNEO

El cartografiado geomecánico reporta roca de calidad: Regular a buena, con espesor de roca: 0.30 m. a 0.40 m., presentado actualmente autosostenimiento natural por la roca circundante. Sin embargo, se debe aplicar sostenimiento con el paso del tiempo por el debilitamiento progresivo del entorno rocoso, en función de las estaciones geomecánicas:

- Las EG-01, EG-03 y EG-04, debe aplicarse por: Excavación avance de destroza y contrabóveda con pase de 4.00 m.; y sostenimiento por: Anclajes de fricción de longitud de 4 m. con malla 2.00 m. x 2.00 m. o HP-30 reforzado con fibra (500 J) 9 cm. de espesor.
- La EG-02, debe aplicarse por: Excavación avance de destroza (Dos fases) y contrabóveda con pase de 1.00 m., y sostenimiento por: Anclajes con longitud 4.00 m. ϕ 25 malla 1.50 m. x 1.50 m. en bóveda y de 6.00 m. ϕ 32 malla 1.50 m. x 1.50 m. en hastiales; o HP-40 reforzado con fibra (700 J) 25 cm. de espesor.

3.11 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología empleada en la realización de la tesis estuvo fundamentada por las metodologías: Cuantitativa, transversal, diseño no experimental, método deductivo – inductivo; dando cada una de ellas información clara de la ocurrencia y documental en la excavación subterránea, dando así la credibilidad científica de acuerdo con el título planteado para la investigación enmarcada en la geomecánica de excavación subterráneas. Por consiguiente, la información obtenida es cualitativa observacional, fue la primera base importante en el cartografiado de campo en relación con las variables plantadas, siendo enlazada con información cuantitativa y modelos numéricos definiendo el comportamiento del túnel respecto a las etapas: Exploración y excavación, respecto a la calidad de roca en el entorno del macizo rocoso, dando vital importancia en la ingeniería de rocas enfocada a la minería de operaciones mineras.

3.11.1 Tipo, nivel, diseño, método de investigación

Cuantitativa: Basada en el conjunto de estrategias científicas de información numérica, teniendo en consideración características medibles o cuantificadas con exactitud como: Espesor del estrato, propiedades de las discontinuidades, orientación de juntas, dimensiones de la excavación, cálculos de campo tensional, etc. que servirán como base, para modelamientos numéricos computaciones como: RocData y RS²; siendo elementos de investigación de forma: Clara, precisa y limitada. Dando como respuesta información generalizada de la población en estudio proporcionando gran precisión en los resultados, capaces de confirmar o descartar la hipótesis, teniendo como finalidad: Describir, comprobar y predecir lo que va a ocurrir.

Transversal: Está basada en la ocurriendo observacional descriptivo del entorno de la excavación subterránea fundamentadas en la obtención de información por medio del desarrollo de variables, logrando obtener gran cantidad de información cuantitativa y cualitativa, para mejorar las instalaciones subterráneas basadas en: Descripciones y análisis, del comportamiento de cada variable estudiada por la investigación del Sector: Norte y Sur – Veta Marina, no lográndose manipular ninguna variable, logrando observar mediante los modelos numéricos el comportamiento de plastificación tensodeformacional en las labores subterráneas.

Diseño no experimental: Fundamentada en la parte observacional del entorno de la excavación subterránea en su estado natural frente a sus cambios del entorno de la sección como: Formación de grietas de tracción por presión gravitatoria y columna de roca, humedad en el entorno de la galería, afectación del sostenimiento por sobrecarga y putrefacción de maderos. Siendo posteriormente validados por los programas matemáticos del comportamiento tensodeformacional del medio: Plástico y elastoplástico.

Método deductivo: Está basado en el comportamiento del macizo rocoso frente a la inestabilidad de la galería del sector: Norte y Sur – Veta Marina, partiendo del objetivo general para posteriormente llegar a lo particular sostenido por el desarrollo de cada variable, mediante la obtención de información de campo cualitativa y cuantitativa, para finalmente mostrar el comportamiento de la galería

frente inestabilidad por cambios tensionales, para obtener conclusiones lógicas en función de la respuesta a los objetivos específicos de la tesis de investigación.

Método inductivo: Basada en el desarrollo: Observacional, comparativo y respuesta, partiendo de objetivos específico hasta llegar al conocimiento general del planteamiento del problema de la investigación enfocado en la geomecánica. Basándose en su primera instancia observacional de la ocurrencia del comportamiento del macizo rocoso frente a la abertura de la excavación fundamentadas en la recolección de información de cartografiado de campo de toda la sección del túnel, para posteriormente esta información independiente obtenida sea procesada e ingresada a programas numéricos para obtener la calidad de roca y la amplitud del comportamiento de plastificación de la galería subterránea frente a la inestabilidad proyectada por la redistribución tensional del entorno rocoso.

3.11.2 Población

Está constituida por el cruce el Ñato – Nivel 2880, siendo la galería principal de ingreso a las labores operativas de la mina subterránea metálicas de extracción de minerales: Au, Ag y Cu; presentando una longitud Pl. + 815.00 m. y ancho de sección desde: 2.50 a 3.05 m.

3.11.3 Muestra

Lo delimita el sector: Norte y Sur – Veta Marina, conformado desde: Pl. + 00.00 m. a Pl. + 45.00 m.

3.11.4 Unidad de análisis

Están relacionadas con las estaciones geomecánicas en función de la recopilación de información del desarrollo de variables: Dependiente (Litología, geoestructuras, infiltración y tensiones) e independiente (Inestabilidad), con el entorno del macizo rocoso.

3.11.5 Etapas e instrumentos de información

Está constituida por una serie de etapas o eventos, de adquisición o recopilación de información de la zona de investigación, utilizando secuencias paulatinas de recopilación y procesamiento, como se plantean a continuación:

Primera etapa:

- Precisar zona y tema de investigación, en función de la aprobación y autorización de la empresa, para realizar actividades académico profesionales.
- Se basó en las siguientes actividades como: Planificación, búsqueda, recopilación, análisis y procesamiento; enfocadas en el desarrollo de las variables dependiente e independientes.
- Basado en la adquisición de equipos y materiales, para el desarrollo de la tesis y así mismo obtener información de calidad y avance.

Segunda etapa:

- Constituido por el cartografiado subterráneo distribuido en 5 salidas de campo, para obtener información del entorno en función del desarrollo de las variables basadas en información: Cuantitativa y cualitativa, siendo registrados en planos o libretas que muestren la calidad de información relacionada con la geomecánica. Siendo indispensable conocer aspectos teóricos y prácticos, para ser aplicados en el interior de la mina subterránea, ser generalmente una sección confinada. Así mismo en esta etapa se realiza la calibración de equipos ya sea de escritorio o campo, para obtener información de calidad.

Tercera etapa:

- Está conformada por la recopilación de información en bruto procedente de campo, transcribiéndola a base digital, para posteriormente procesarla en

función de cada variable; sabiendo además que presenta diferente procesamiento e interpretación cada una de las variables propuestas. Aportando información valiosa para conocer el entorno de investigación del sector: Norte y Sur – Veta Marina. Así mismo mostrar y mejorar mediante los cartografiados que se evidencia en la zona de estudio.

Cuarta etapa:

- Definida por la redacción de la tesis cumpliendo la estructura del reglamento de grados y títulos de la Universidad Nacional de Cajamarca, fundamentada en etapas progresivas de adquisición de información en función del desarrollo de las variables: Independientes y dependientes, basa en respuesta a los objetivos específicos planteados, siendo cada uno de ellos concluidos paulatinamente por ser un complemento geomecánico de estudio del sector: Norte y Sur – Veta Marina, El Ñato.

Quinta etapa:

- Fundamenta en la elaboración de: Planos y registros, mostrado de manera concreta información: Cuantitativa y cualitativa, del cartografiado geomecánico del sector: Norte y Sur – Veta Marina, así mismo concluyendo y recomendando, en función de la información obtenida y procesada, en cada etapa realizada.

3.11.6 Equipos, materiales y soporte computacional

Equipos: Los equipos utilizados están relacionados con la información a cartografiar en campo, basadas en información numérica mediante: Mediciones o lecturas. Por consiguiente, se describe el equipo utilizado: GPS Garmin, celular, cámara fotográfica 15MPx, brújula geotécnica, protactor, rayador, lupa, wincha y picota.

Materiales: Está constituido por la utilización de elementos de escritorio siendo importante al momento de transcribir o anotar documentación como se utilizó lo siguiente: Registro geomecánico, imágenes satelitales, carta geológica (16-g), colores, plumones, lápices, borrador, corrector, tajador, regla, lapiceros, libreta de campo, ácido clorhídrico, marcador indeleble, portapapeles y flexómetro.

Software: Base también importante para: Redactar y transcribir, documentación editable, siendo compendiadas de las etapas anteriormente suscritas al proyecto de investigación, siendo todo generalmente programas numéricos o matemáticos de aplicación como: Word, Excel, Adobe AcrobatDC, SASPlanet, Google Earth Pro, Google Maps, Global Mapper, ArcGis, AutoCAD, Faultkin, RocData y Phase².

CAPÍTULO IV

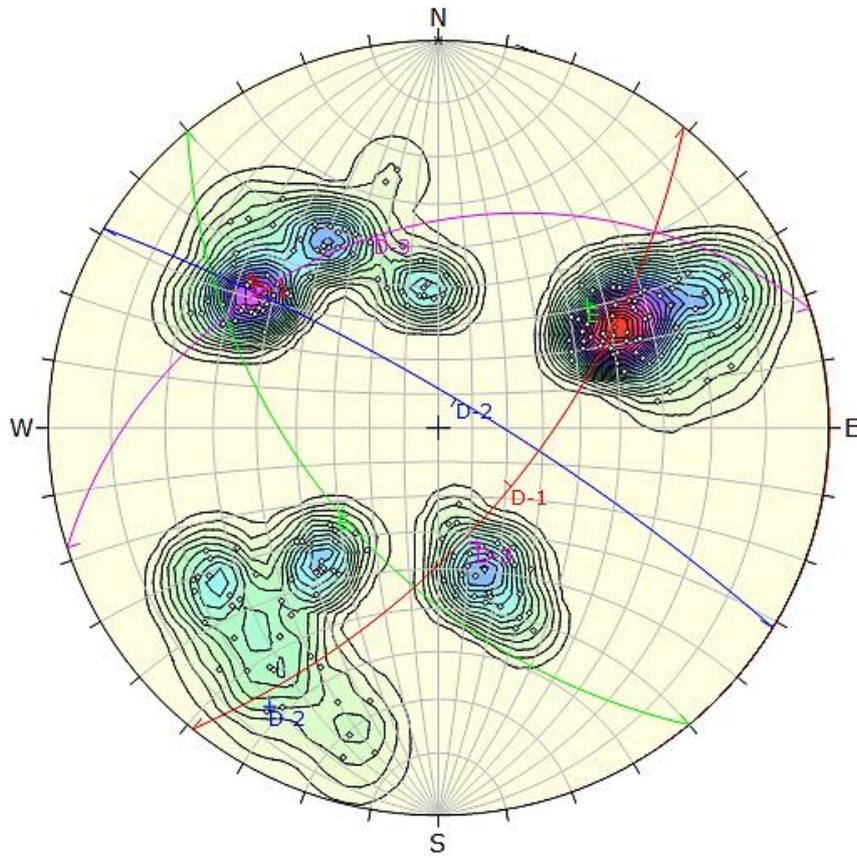
PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1.1 Cartografiado geológico-geoestructural

La galería subterránea del sector: Norte y Sur – Veta Marina, tiene orientación N7° ubicada en el flanco izquierdo del anticlinal Algamarca, con secuencias de estratos tabulares de grano medio de areniscas de espesor: 0.25 m. a 0.35 m. presentando características en su abertura: Cerrada, abierta y rellenada, con material limoso conformando espesor: 0.5 mm. a 2 mm. entre superficies; con parámetro de superficie de rugosidad: Lisa e irregular; constituyendo orientación Az/Bz = N142°/58°SW, pertenecientes a la Formación Chimú del Grupo Goyllarisquizga de la edad Berresiano – Valanginiano del Cretáceo Inferior, litoestratigráficamente las operaciones mineras se ubican en rocas macizas, presentando roca de calidad media la caja: Techo y piso, cortando transversal al anticlinal Algamarca, formando grietas de tracción la roca delimitado por discontinuidades muy favorable al eje del túnel por el buzamiento del estrato.

La geoestructura principal está definido por el anticlinal Algamarca, ubicándose en el flanco izquierdo de la estructura plegada presentando orientación Az = N142° y Bz = 58°SW, siendo la estructura asimétrica por lo cambios de buzamiento de ambos flancos. Así mismo presenta fallas de rumbo que cortan transversalmente al eje del anticlinal, desplazando y mineralizando al anticlinal, siendo las estructuras de fallas conjugadas principales de rumbo: La Cruz y Santo Cristo-1; siendo enriquecidas de mineralización por: Au, Ag y Cu, relacionados con minerales como: Galena, galena argentífera, bornita, calcopirita, pirita, jarosita, hematita, cuarzo, goetita, covelina, calcosina y calcantita.



Symbol	Feature
◦	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.20
	1.20 - 2.40
	2.40 - 3.60
	3.60 - 4.80
	4.80 - 6.00
	6.00 - 7.20
	7.20 - 8.40
	8.40 - 9.60
	9.60 - 10.80
	10.80 - 12.00

Maximum Density	11.56%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	■	53	230	E
2	■	63	129	D-1
3	■	80	31	D-2
4	■	35	342	D-3

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	208 (208 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Figura 4.1. Proyección estereográfica de las juntas del macizo rocoso, mostrando la distribución de densidad relacionados diagrama: Pi y beta, mediante la falsilla de Wulff.

Por consiguiente, está constituido por yacimiento de epitermal alta sulfuración, por las pulsaciones magmáticas de mineralizaron la roca caja mediante el transporte de los cuerpos volcánicos mineralizados, mineralizando a la Formación Chimú y actuando como trampa la Formación Santa.

4.1.2 Caracterización geomecánica

Por consiguiente, el sector: Norte y Sur – Veta Marina, presenta una veta de cobre: 0.10 m. a 0.15 m. de ancho cortando al túnel en ambos hastiales ubicada en el Pi + 19.00 m. y Pi + 46.20 m. relacionada con la veta Marina de orientación Az/Bz = N231°/75°NW. Por lo contrario, el conjunto de diaclasas muestra el grado de blocosidad que forma el interior de la galería subterránea estabilizando e inestabilizando por constante transitabilidad de maquinaria y personal, generándose en cada avance de apertura de galería nuevas grietas de tracción que afectan el avance de exploratorio y explotación formándose cuatro juntas siendo: Tres persistentes y una ocasional (D/DD): 53/230, 63/129, 80/31 y 35/342, por la distribución y forma del contorno de densidad, se concluye es están definidos por discontinuidades inclinadas.

Cuadro 4.1. Caracterización geomecánica del sector: Norte y Sur – Veta Marina/Crucero El Ñato Nivel 2880.

Caracterización geomecánica		Estación geomecánica			
		EG-01	EG-02	EG-03	EG-04
σ_{ci} (MPa)		109	129	134	115
RQD (%)	λ	12.26	11.20	10.27	8.06
	Valor	65.33	69.17	72.50	80.65
Cualitativo		Regular	Regular	Regular	Buena
RMR	Valor	58	46	53	74
	Clase	III	III	III	IV
	Calidad	Media	Media	Media	Buena
GSI	Valor	53	41	48	69
	Calidad	Regular	Regular	Regular	Buena
Q	Valor	5	8	9	12
	Calidad	Media	Media	Media	Buena
RMi	Valor	0.40	0.60	0.75	6.40
	Resistencia del macizo rocoso	Medio	Medio	Medio	Fuerte
	Calidad	Moderado	Moderado	Moderado	Alto

La geomecánica se realizó por línea de detalle, representado por estaciones geomecánicas en la excavación subterránea, mostrando que está emplazado en roca arenisca de calidad: Regular a buena, en función las propiedades de las discontinuidades mediante información: Cualitativa y cuantitativa, proyectando la vida útil del sector: Norte y Sur – Veta Marina/Crucero El Ñato, permitiendo entender el comportamiento y reacción del macizo rocoso mediante la utilización de los criterios empíricos como: RQD(%), RMR, GSI, Q y RMI; permitiendo obtener las características del macizo rocoso.

4.1.3 Parámetros de las constantes elásticas

Obtenida la data por cartografiado geomecánico se utilizó el modelo matemático como primera instancia por el software Rocscience – RocData, mediante la combinación de los criterios: Hoek – Brown generalizado y Mohr – Coulomb, en unidades MPa. reportando los valores numéricos de las constantes elásticas del macizo rocoso, así como la resistencia de la masa rocosa y módulo de deformación.

Por consiguiente, el tipo de roca reporte que está constituida por roca sedimentaria – arenisca de grano medio con valoraciones 17 ± 4 de acuerdo a las propiedades de las discontinuidades, seguida del factor de disturbación D con valor igual 0.50 significando sección tunelera de geométrica irregular con problemas de desprendimiento de roca; y finalmente el módulo de estimación intacta E_i (MPa) 275 ± 75 multiplicando valoración de roca MR (Tipo y textura, de roca) multiplicado σ_{ci} , de acuerdo con la calidad de roca. Ingresada la base anterior se obtuvo los parámetros de las constantes de la roca como: m , $s < 1$ y $a > 1/2$, obtenido valores relacionados con medio discontinuo o diaclasados. Finalmente se utilizó el rango de envolvente falla siendo importante tipo de labor “Túnel”, peso específico 0.026 MN/m^3 , profundidad de columna de roca (m.) y $\sigma_{3\text{max}}$.

Reportando las envolventes H-B y linealización M-C, mostrando la resistencia de la roca por: Tensión (-0.043 MPa a -0.384 MPa), compresión uniaxial (2.323 MPa a 14.472 MPa) y global (17.658 MPa a 35.010 MPa); mostrando la presión de confinamiento de la roca, mediante el método de equivalencia de áreas. Así mismo el Cuadro 4.4 muestra el comportamiento tensional mediante SRF de Q_{Barton}

variando desde: 13.999 a 14.570, ubicándose en tensiones del nivel medio siendo de fracturamiento: Moderado (EG-01, EG-03 y EG-04) y altamente (EG-02), por presentar profundidades desde: 229.47 m. a 3.3.59 m. afectando la carga constante por la columna de roca formando tipo de fallamiento: Rígida y rígida localizada.

Cuadro 4.2. Constantes elásticas del macizo rocoso, por cartografiado geomecánico del sector: Norte y Sur - Veta Marina/Crucero El Ñato Nivel 2880.

Criterio rotura		Estación geomecánica			
		EG-01	EG-02	EG-03	EG-04
Clasificación Hoek - Brown	mi	20	19	20	21
	D	0.50	0.50	0.50	0.50
	Ei (MPa)	35,425	41,280	45,560	316,250
	MR	325	320	340	2,750
Criterio Hoek - Brown	mb	2.133	1.144	1.681	4.799
	s	0.002	0.000383	0.001	0.016
	a	0.505	0.511	0.507	0.501
Parámetros masa rocosa	σ_t (MPa)	-0.097	-0.043	-0.078	-0.384
	σ_c (MPa)	4.613	2.323	3.997	14.472
	σ_{ct} (MPa)	21.128	17.658	22.760	35.010
	Em (MPa)	6,317.720	3,379.246	5,872.803	132,992.181
Criterio Mohr - Coulomb	c	1.598	1.286	1.554	2.630
	φ°	48.77	44.87	48.34	54.73

Cuadro 4.3. Parámetros de influencia alrededor de la galería del sector: Norte y Sur – Veta Marina/Crucero El Ñato Nivel 2880.

Parámetros influencia de galería	Estación geomecánica			
	EG-01	EG-02	EG-03	EG-04
H(m.)	299.47	301.33	302.69	303.59
Eh (MPa)	6,317.720	3,379.246	5,872.803	132,992.181
σ_1 (MPa)	7.786	7.834	7.870	7.893
σ_3 (MPa)	3.426	2.742	3.384	5.130
k	0.44	0.35	0.43	0.65
α	90°	90°	90°	90°
Forma sección	Baúl	Baúl	Baúl	Baúl

Los valores mostrados están relacionados con el estado de estimación tensional Sheorey⁹⁴, reportando fuentes de energía alrededor del túnel, ocasionando por la apertura de la excavación subterránea con dimensiones: A = 2.45 m. x H = 3.00 m. cambiando bruscamente los contornos tensionales: σ_1 y σ_3 proyectándose a lo largo del eje X = 25 m. e Y = 8.50 m. en forma de hipérbola; siendo más propensa

la parte libre hasta que llegue al estado de equilibrio roca o medio elástico del entorno rocoso. Así mismo la manifestación del desprendiendo de rocas tienen que ver con la proyección de juntas aumentando progresivamente las grietas de tracción alrededor del túnel, por la liberación de energía cinética, siendo necesario conocer: Modulo de elasticidad de la roca circundante y profundidad de columna de roca; obtenido coeficiente de reparto de tensiones variando: 0.35 a 0.65.

Cuadro 4.4. Comportamiento tensional mediante método numéricos del sector: Norte y Sur – Veta Marina/Crucero El Ñato Nivel 2880.

Comportamiento del macizo rocoso	Estación geomecánica			
	EG-01	EG-02	EG-03	EG-04
SRF	13.999	16.467	17.027	14.570
Estado tensional	Nivel medio			
Tipo de falla	Rígida localizada	Rígida	Rígida localizada	
Cinemática inestabilidad	Movimiento de bloques	Largo de juntas	Movimiento de bloques	

4.1.4 ESTADO TENSODEFORMACIONAL

Por consiguiente, el Cuadro 4.5 muestra valores de desplazamiento del macizo rocoso mediante el comportamiento tensodeformacional por las etapas: Exploración y excavación, mediante el software RS2 realizando por 6 nodos de unión triangular y discretización de malla gradual del macizo rocoso, aplicado en el medio plástico. La etapa de exploración proyecta la excavación subterránea en la sección de corte mostrando el comportamiento de los vectores direccionales verticales en la etapa de exploración disipándose por debajo de -10 m. de la solera del túnel.

Por lo contrario, la etapa de excavación tiene interacción directa entre: Macizo rocoso y abertura, presentando vectores direccionales en la clave y hastiales de forma geométrica concéntrica parabólica, afectado la estabilidad de la galería del sector: Norte y Sur – Veta Marina/Crucero El Ñato. Así mismo las plastificaciones tienen que ver con el medio plástico del entono de deformación presentando afectaciones en las partes del túnel siendo por medio de esfuerzo de: Corte y tensional, presentando mayor concentración de desprendimiento la parte roja

proyectándose desde: 0.120 m. a 1.309 m. de acuerdo con el grado debilidad del macizo rocoso, formando en algunas secciones en forma: Circular e irregular.

Cuadro 4.5. Desplazamiento tensodeformacional mediante el software RS2, en las etapas: Exploración y excavación, del sector: Norte y Sur – Veta Marina/Crucero El Ñato Nivel 2880.

Estación geomecánica	Etapa					
	Exploración			Excavación		
	Desplazamiento (m)	Forma del medio	Dirección vectorial	Desplazamiento (m)	Forma del medio	Dirección vectorial
EG-01	0.0172030			0.0192540		
EG-02	0.0328278	Horizontal	Vertical	0.0369612	Concéntrico parabólico	Carga y empuje
EG-03	0.0205300			0.0222570		
EG-04	0.0025440	Distorsionado		0.0029370		

Cuadro 4.6. Plastificación tensodeformacional etapa excavación, del sector: Norte y Sur – Veta Marina/Crucero El Ñato Nivel 2880.

Estación geomecánica	Medio plástico (m.)				Medio elastoplástico (m.)			Deformación	
	Hastial		Piso	Clave	Hastial		Piso		Clave
	Der.	Izqu.			Der.	Izqu.			
EG-01	0.745	0.603	0.486	0.322	0.142	0.176	0.224	0.099	Circular
EG-02	0.642	0.925	0.635	0.120	0.233	0.281	0.251	0.089	Circular
EG-03	0.788	0.669	0.424	0.080	0.263	0.243	0.211	0.106	Circular
EG-04	1.309	0.720	0.794	0.369	0.328	0.278	0.367	0.125	Irregular

4.1.5 Sostenimiento

La clave de la operatividad y seguridad, en la minería subterránea está dada en definir la calidad de roca, por consiguiente, los constantes avances de aberturas de secciones subterráneas necesitan de cartografiado geomecánico basados por: RQD, RMR, GSI, Q, teoría de Sheorey y RMI; acompañados de reportes o registros geomecánicos definiendo como primera instancia el desquinchado del entorno rocoso y sostenimiento. Planteando realizar **excavación**: Por avance de destroza y contrabóveda con pase de 4.00 m. las EG-01, EG-03 y EG-04; y avance de destroza (Dos fases) y contrabóveda con pase de 1.00 m. la EG-02; y **sostenimiento**: Anclajes de fricción de longitud de 4 m. con malla 2.00 m. x 2.00 m. o HP-30 reforzado con fibra (500 J) 9 cm. de espesor las EG-01, EG-03 y EG-04; y Anclajes con longitud 4.00 m. $\phi 25$ malla 1.50 m. x 1.50 m. en bóveda y de 6.00 m. $\phi 32$ malla 1.50 m. x 1.50 m. en hastiales; o HP-40 reforzado con fibra (700 J) 25 cm. de espesor la EG-02. Siendo de vital importancia el sostenimiento pasivo para iniciar a interactuar como soporte de roca.

4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Por consiguiente, Castrejon (2019), plasmó que la labor está ubicada en el flanco izquierdo del anticlinal Algamarca con $Az = N125^\circ$ con orientación: NNE-SSW a NE-SW, originando: Sinclinales y anticlinales. Litológicamente la galería principal está conformada por las Formaciones: Chimú (Arenisca de color blanquecino de grano medio), Santa (Estratos limolíticos compactos de color negruzco de grano fino) y Carhuaz (secuencias de limolitas y lutitas grises a bituminosas), con orientación estratigráfica $Az/Bz = N140^\circ/62^\circ SW$. Por consiguiente, Bautista (2024) muestra que se encuentra emplazada en la Formación Chimú con orientación estratigráfica semejante, reportando rocas de calidad: Regular a buena; presentando cambios tensodeformacionales por presentar estaciones constituidas de rocas limosas a lutáceas, coincidiendo con acumulación tensional media; presentando actualmente autosostenimiento el sector compuesto por areniscas.

En cambio, Benel (2024) aplicando el software RS2 muestra que los desplazamientos tensodeformacional son mínimos variando: 0.00010 m. a 0.0299

m., alrededor de la excavación subterránea en el medio plástico o propenso a desprendimiento de rocas; sin embargo, Montoya (2018) cambios tensionales bajos, ligados a fracturamientos moderados a altos, con desplazamientos máximos de geoestructuras del medio plástico desde: 0.003 m., a 0.782 m. en la periferie de la excavación; sin embargo, Muñoz (2023) muestra rocas de calidad: Muy mala, mala, media y buena, aplicando el modelo matemático RS2 reportan esfuerzos tensodeformacionales alrededor de la excavación siendo generalmente gravitacionales 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) y Finalmente Soberón (2024) aplica el método de plastificaciones observándose cambios deformacionales de afectación: 0.00 m. a 0.85 m. alrededor de la galería, presentando comparaciones casi similares del comportamiento de las plastificaciones de afectación de la de excavación la plastificación aumentando sustancialmente desde: 0.080 m. a 1.309 m. por apertura de galería generando aureolas: circular a irregular.

4.3 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Desarrollada la investigación en el sector: Norte y Sur – Veta Marina/Crucero El Ñato, se logra afirma la excavación subterránea está conformada por rocas areniscas de grano medio con grosor: 0.25 m. a 0.35 m. de color blanquecino, presentando en sectores aperturas relleno de material de óxidos y limosos de espesor: 2 mm. a 5 mm., perteneciente a la Formación Chimú. El cartografiado geomecánico reporta rocas de calidad: Regular a buena, aplicando los modelos numéricos como RocData y RS2, muestran las constantes elásticas del macizo rocoso, tiene afectación el entorno de la excavación en función del campo tensodeformaciones y plastificaciones, afectándose por el paso del tiempo del medio plástico y elastoplástico.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

El cartografiado geológico presenta estratos tabulares de arenisca de la Formación Chimú, de espesor: 0.25 m. a 0.35 m. con orientación Az/Bz = N142°/ 58°SW; ubicándose en el flanco izquierdo del anticlinal Algamarca, dominada por fallas de rumbo: La Cruz y Santo Cristo-1; cortando transversalmente al eje del anticlinal, siendo enriquecidas de mineralización de: Au, Ag y Cu.

La caracterización geomecánica plasma rocas de la calidad: Regular (EG-01/RQD = 65.33%, RMR = 58, GSI = 53, Q = 5 y R_{Mi} = 0.40, EG-02/RQD = 69.17%, RMR = 46, GSI = 41, Q = 8 y R_{Mi} = 0.60, y EG-03/RQD = 72.50%, RMR = 53, GSI = 48, Q = 9 y R_{Mi} = 0.75,) y buena (EG-04/RQD = 80.65%, RMR = 74, GSI = 69, Q = 12 y R_{Mi} = 6.40).

Las constantes elásticas fueron definidas medio anisotrópico generalizado de Hoek y Brown, obteniendo resultados como: $s < 0.016$, $a \neq 1/2$, $m_i > 19$, c : 1.286 MPa a 2.630 MPa, φ° : 44.87° a 54.73° y E_i : 3.379 GPa a 13.292 GPa; dominado por el grado de blocosidad el macizo rocoso.

El estado tensodeformacional del medio plástico en la etapa de exploración muestra desplazamiento: 0.002544 m. a 0.0328278 m. en el macizo rocoso, sin embargo, en la etapa de excavación la plastificación aumenta sustancialmente desde: 0.080 m. a 1.309 m. por apertura de galería generando aureolas: Circular a irregular.

El sostenimiento para utilizar será por: Anclajes de fricción de longitud de 4 m. con malla 2.00 m. x 2.00 m. o HP-30 reforzado con fibra (500 J) 9 cm. de espesor las EG-01, EG-03 y EG-04; y Anclajes con longitud 4.00 m. ϕ 25 malla 1.50 m. x 1.50 m. en bóveda y de 6.00 m. ϕ 32 malla 1.50 m. x 1.50 m. en hastiales; o HP-40 reforzado con fibra (700 J) 25 cm. de espesor la EG-02.

5.2 RECOMENDACIONES

La empresa HNS CONSORCIO SRL, debe realizar pruebas de sismicidad en sitios estratégicos con el fin de monitorear y mitigar inestabilidades inesperadas.

Al área de Geomecánica HNS CONSORCIO SRL, seguir con el cartografiado geomecánico para tener el diagnóstico oportuno del tipo de roca y aplicar de sostenimiento en forma inmediata.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Baca, L. 2007. Manual de capacitación para enmaderadores cuadros, puntales y tolvas. Lima – Perú: Marsa
- Barton, N., Lien, R., y Lunde, J. 1974. Clasificación ingenieril de la masa rocosa para el diseño del sostenimiento de túneles. *Mecánica de rocas* 6(4), págs. 189–236. Recuperado de:
https://www.researchgate.net/publication/226039636_Engineering_Classification_of_Rock_Masses_for_the_Design_of_Tunnel_Support
- Benel, R. 2019. Comportamiento geomecánico según los métodos RMR y Q de Barton del Nivel 3 de la Mina Paredones San Pablo – Cajamarca (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería de Minas.
- Berrocal, M. 2015. Estabilidad de Excavaciones Subterráneas. Lima - Perú: Ventura Graf.
- Betancur, B., y López, C. 2019. Caracterización y clasificación geomecánica del macizo rocoso en el nivel veintiuno en el nivel veintiuno de la Mina La Maruja (Distrito minero de Marmato, Caldas) para estimar las recomendaciones de estabilidad y soporte en la excavación y su correlación con las alteraciones hidrotermales (Tesis pregrado). Universidad escuela de administración, finanzas e instituto tecnológico, Escuela de ciencias, Departamento de geología. Recuperado de:
<https://www.semanticscholar.org/paper/Caracterizaci%C3%B3n-y-clasificaci%C3%B3n-geomec%C3%A1nica-del-en-Arenas-Balaguera/732ed2263ffe99bebb4eb5415d424d567518e7ef>
- Bieniawski, Z. 1976. Rock mass classification in rock engineering. In: *Exploration for Rock Engineering, Proc. Symp.* (ed. Z. T. Bieniawski) Vol. 1, Cape Town, Balkema, págs. 97–106.

- Bieniawski, Z. 1989. Clasificación de masa rocosa ingenieril. New York- Universidad del Estado de Pensilvania: Edición: Jhon Wiley & Sons.
- Brady, B., y Brown, E. 2004. Mecánica de rocas para minería subterránea 3ra edición. Ámsterdam - Holanda: Springer.
- Castrejon, L. 2024. Estallido de rocas del cruceo El Ñato, Nivel 2880 - Empresa Minera HNS Consorcio S.R.L., San Miguel de Algamarca – Cajabamba – Cajamarca (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería de Minas.
- Celada, B. 2011. Manual de túneles y obras subterránea 1: Tecnología del Bulonaje. Madrid – España: Graficas Arias Montano S.A.
- Cusi, R. 2022. Implementación de sostenimiento con cable bolting en intersección de labores en el Nivel 2170 para controlar estallidos de roca – Minera Tauro S.A.C. U.E.A. Retamas (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de Geología Geofísica y Minas, Escuela Profesional de Ingeniería de Minas
- Delgado, J., Padilla, F., y Barrientos, V. (2010). Práctica de geología: Mapas geológicos y problemas. Universidad Da Coruña.
- Compton, R. 1970. Geología de campo. República Argentina – México: Editorial Pax – México, Librería Carlos Cesarman S.A.
- Cruz, Y. 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.
- Dávila, J. 2011. Diccionario geológico. INGEMMET. Lima – Perú: Arth Grouting S.A.C.
- Deere, D., Hendron, A., Patton, F., y Cording, E. 1967. Diseño de superficies y superficies del entorno de excavación en roca. 8vo. Simposium de mecánica de rocas en procedimientos. Fracturamiento y reforzamiento en roca (ed. C Fairhurst), págs. 237 - 302. New York – Estados Unidos: AIME.
- Donaires, V. 1977. Sostenimiento de minas subterráneas. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería.
- El clima y el tiempo promedio en todo el año en Cajabamba Perú, 2023. Recuperado de: <https://es.weatherspark.com/y/19957/Clima-promedio-en-Cajabamba-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

- Gavilanes, J., y Andrade, H. 2004. Introducción a la ingeniería túneles: Caracterización, clasificación y análisis geomecánico de macizos rocosos. Quito – Ecuador. Asociación de ingenieros de minas del Ecuador (AIME).
- Ghorbani, M., Shahriar, K., Sharifzadeh, M., and Masoudi, R. 2020. A critical review on the developments of rock support systems in high stress ground conditions. Reviste Elsevier. International Journal of Mining and Science and Technology 30, pp. 55-572
- Gómez, M. 2022. Caracterización, zonificación geomecánica y recomendación del sostenimiento necesario para la estabilidad de labores y temporales y permanentes del macizo rocoso en el Nivel 1712 del cuerpo Zeus de la Mina Roble (Tesis pregrado). Universidad de Caldas, Facultad de ciencias exactas y naturales, programa de geología. Recuperado de https://repositorio.ucaldas.edu.co/bitstream/handle/ucaldas/17402/Mateo_Gomez_Rodriguez_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gonzales, de V. 2002. Ingeniería Geológica. Madrid - España: Prentice Hall.
- Gullón, A. 2011. Manual de túneles y obras subterráneas Tomo 2: Sostenimiento con cerchas metálicas. Madrid – España: Gráficas Arias Montano, S.A
- Hoek, E., Kaiser, A., y Bawden, F. (1995). Support of Underground Excavations in Hard Rock. Rotterdam.
- Hoek, E., y Brown, E. 1997. Practical estimates of rock mass strength. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 34, págs. 1165-1186.
- Inga, A. 2023. Clasificación geomecánica para selección del sostenimiento de las labores subterráneas en la mina Andaychagua – Volcán Compañía Minera S.A.A. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería de Minas.
- INGEOMINAS. 2018. Zonificación de amenaza por movimientos de masa tipo flujo en la cuenca del río Combeima – Ibagué – Tolima. Colombia: Ministerio de minería y energía.
- 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, ISS 0366-0176; CODEN BGMIA3; v. 128 (1); p. 3-24. 4 (Dec). Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/315063147_Evaluacion_de_la_estabilidad_de_las_labores_y_pilar_corona_en_las_minas_abandonadas_de_S'Argentera_Ibiza_Espana_combinando_clasificaciones_geomecanicas_metodos_empiricos_y_analisis_numerico_-_enfocado. (consultada 01 diciembre 2024).

- Limaco, P. (2023). Evaluación geomecánica para el diseño del sostenimiento de labores subterráneas en la Mina Azulcocha, 2023 (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Facultad de ingeniería de minas, geología y civil, Escuela Profesional de Ingeniería de Minas.
- Marín, M., y Piragauta, J. 2018. Caracterización geológica y geomecánica de la mina San Joaquín, para el diseño de explotación por el método de cámaras y pilares (Tesis de pregrado). Universidad EAFIT, Escuela de Ciencias, Departamento de Ciencias de la Tierra – Geología.
- Marinos, P., y Hoek, E. 2000. GSI: Una herramienta geológicamente sencilla para la estimación de resistencia de la masa rocosa. Conferencia en procedimientos de GeoEng2000 (ed. MC Erwin), Melbourne, vol. 1, págs. 1422-1440. Technomic, Lancaster, PA. Recuperado de <http://www.geoplanning.it/test/wp-content/uploads/2012/02/GSI.pdf>
- Montoya, F. 2018. Relación geotécnica y litomorfoestructural del túnel de la Mina Paredones Nivel 5 San Pablo – Cajamarca (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Cajamarca, Escuela de Posgrado, Maestría en Ciencias.
- Muñoz, P 2023. 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 (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería de Minas.
- Musy, A. 2001. Cours "Hydrologie générale". Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. IATE/HYDRAM. Laboratoire d'Hydrologie et Aménagement. Capoitulo 3. La precipitación. <http://dgrwww.epfl.ch/HYDRAM/e-drologie/>

- Orellana, E. 2020. Selección de la alternativa óptima de sostenimiento en rampas para el control de inestabilidades subterráneas (Tesis de posgrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de Minas.
- Osinergmin. 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.
- Palmstrom, A. 2000. Recientes desarrollos en la estimación del sostenimiento en roca mediante RMi. published in: Journal of Rock Mechanics and Tunnelling Technology, vol. 6, No. 1, May 2000, págs. 1-19
- Pozo, M., González, J., y Giner, J. 2003. Geología practica: Introducción al reconocimiento de materiales y análisis de mapas. Madrid – España: Pearson
- Priest, S., y Hudson, J. 1976. Espaciado en las discontinuidades de la roca. Introducción a la mecánica de rocas. Sociedad minera y geomecánica. Abstr., 13(5): 135–48.
- Puell, F., Arenillas, M., 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^o. 3446, 2004. págs. 37-44. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=937330>
- Soberón, R. 2024. Propuesta de sostenimiento y controles para reducir la liberación de energía del Nivel 4 de Mina Paredones, San Pablo – Cajamarca (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería de Minas.
- Ramírez, O., De La Cuadra, I., Laín, H., y Grijalbo, O. 2008. Mecánica de rocas aplicada a la minería metálica subterránea. Instituto geológico y minero de España.

- Reyes, R. 1980. Boletín N° 31 Serie A. Carta Geológica Nacional: Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. Lima – Perú: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).
- Rivera, B 2023. Caracterización geomecánica y elección del sostenimiento para labor permanente en mina Cachi Cachi – Sociedad Minera Corona S.A. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería de Minas.
- Rodríguez, A. 2007. Ingeniería geológica: Caracterización de macizos rocosos. Facultad de geología (Petrología y geoquímica), vol. 1, págs. 1-14. Universidad de Oviedo. Recuperado de https://www.academia.edu/7560586/CARACTERIZACION_DE_MACIZOS_ROCOSOS
- 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.
- Villaescusa, E. 2014. Geotechnical Design for Sublevel Open Stopping. CRC press.
- Villota, O. 2022. Evaluación y caracterización del macizo rocoso para la identificación del comportamiento de los diferentes tipos de sostenimiento en la Mina El Roble, El Carmen de Atrato, Choco, Colombia (Tesis de pregrado). Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Programa de Geología.

ANEXOS

ANEXO 01. AUTORIZACIÓN DE LA EMPRESA

ANEXO 02. REGISTRO GEOMECÁNICO

ANEXO 03. PLANOS

ANEXO 01

AUTORIZACIÓN DE LA EMPRESA

CARTA N° 0005-2024

SEÑOR: **Eldin Lenin Bautista Llanos**
Ex Alumno de la Universidad Nacional de Cajamarca-Facultad
de Ingeniería De Minas.
CAJAMARCA

ASUNTO: **RESPUESTA A SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA REALIZAR TESIS.**

REFERENCIA: **SOLICITUD**

Sr. **Eldin Lenin Bautista Llanos**, identificado con **DNI: 71961191**, reciba un cordial saludo a nombre de la empresa **HNS CONSORCIO SRL** con **RUC: 20604774412** recibida su **SOLICITUD: AUTORIZACION PARA REALIZAR TESIS EN EL NIVEL EL ÑATO**; se reconoce el permiso para realizar tesis en el nivel ya mencionado con el tema: **“CARTOGRAFIADO GEOMECÁNICO DEL SECTOR: NORTE Y SUR – CRUCERO EL ÑATO NIVEL 2880 – SAN MIGUEL DE ALGAMARCA – CAJABAMBA”**, para optar el grado de título de Ingeniero De Minas.

Sin otro particular, me despido, aprovechando la oportunidad para reiterar a Usted las muestras de mi especial consideración y estima.

Cajabamba 27, de setiembre del 2024.

Atentamente;



HNS CONSORCIO SRL.
EXPLORACIÓN Y EXPLOTACIÓN MINERA
Jairo Wari Seyni Ramirez Malca
GERENTE DE OPERACIONES MINA
DNI: 71209913

ANEXO 02.

REGISTRO GEOMECÁNICO

Cuadro 5.1. Registro geomecánico EG-01.

REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO							CARTOGRAFIADO GEOMECAÁNICO DEL SECTOR: NORTE Y SUR - CRUCERO EL ÑATO NIVEL 2880 - SAN MIGUEL DE ALGAMARCA – CAJABAMBA											TENSIONES		Subterráneo																		
UBICACIÓN							GALERÍA PRINCIPAL											Parametros	valores																			
CÓDIGO	EG-01						TRAMO	1	DE	Pl. + 00.00 m.			A		Pl. + 10.00 m.				Profundidad (m.)	299.47																		
RESPONSABLE	Bautista Llanos Eldin Lenin						HOJA N°	1	COORDENADAS	-	ESTE (m.)	-	NORTE (m.)		-	COTA (msnm.)		-	σ1 (Mpa.)	7.786	θ	90°																
SISTEMA	WGS		84		ZONA 17S		EJECUTADO POR	Bautista Llanos Eldin Lenin					FECHA				12/02/2025		σ3 (Mpa.)	3.426	m	0.44																
DIS. Nro	DIMENSIONES DE EXCAVACIÓN					OPCION		MACIZO ROCOSO			TIPOS		RESIST. COMP. UNIAX.	RQD TRAMO		ORIENTACIÓN				ESPACIADO(m)	PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC. METEOR.	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN										
	FORMA DE EXCAVACIÓN					1		LITOLOGÍA FORMAC.	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	E=Estratificada o Seudo	σ _{ci}	ND	DIRECCIÓN				Z/R	DIP	DD	COMPOBACION	1=>2	1=<1	1= Nada	1=Muy Rug.	TIPO		1=Inalterada	1=Seco	1=Lec. Real							
	CUNETAS (m.)					Altura (m.)	Ancho (m.)		1=Fresco	1=Alto	1=Bloq-Regul.	Fn=F.Normal		L	3.10	DUREZA											2=Qz	2=Duro<5mm				2=Lig. Alt.	2=Húmedo	2=Lec. Apar.				
	HASTIAL DER. (m.)	APICE MAYOR (m.)	HASTIAL IZQ. (m.)	ANCHO DE CÁMARA (m.)					2=Lev. Met.	2=Mediano	2=Bloq-Irreg.	Fi=F.Inversa	Prom. Golpes	λ	12.26	RUGOS.																			3=Calcita	3=Duro>5mm	3=Mod. Alt.	3=Mojado
							3=Mod		3=Bajo	3=Bloq-Capas	Fd=F.Directa	γ _p				65.33	RUGOS.																					
							4=Alt. Met.	Agregar MB,B,M,P,MP		SE=Sobrees.	RUGOS.				5=Roca Tritur.		5=Suave>5mm	5=Descomp.	5=Flujo																			
1	2.40	2.95	2.40	2.65	0.25	0.30	Fm. Chimú	1	1	3	E	R5 (109 MPa)	65.33	161		78				251	V	3	3	5	5	1	5	1	1	1	1	1						
2												R5 (109 MPa)	65.33	168		75				258	V	4	3	4	5	-	-	-	-	2	1	1						
3												R5 (109 MPa)	65.33	152		79				242	V	3	3	5	5	1	5	1	2	2	1	1						
4												R5 (109 MPa)	65.33	157	81	247	V	4	3	4	5	-	-	-	-	1	1	1										
5												R5 (109 MPa)	65.33	148	74	238	V	3	3	5	5	-	-	-	-	2	1	1										
6												R5 (109 MPa)	65.33	155	79	245	V	4	3	4	5	1	5	1	1	1	1	1										
7												R5 (109 MPa)	65.33	149	70	239	V	3	3	5	5	-	-	-	-	2	1	1										
8												R5 (109 MPa)	65.33	153	75	243	V	3	3	5	5	-	-	-	-	2	1	1										
9												R5 (109 MPa)	65.33	161	73	251	V	4	3	5	5	1	5	1	2	2	1	1										
10												R5 (109 MPa)	65.33	154	78	244	V	3	3	4	5	1	5	1	2	2	1	1										
11												R5 (109 MPa)	65.33	152	80	242	V	3	3	4	5	-	-	-	-	2	1	1										
12												R5 (109 MPa)	65.33	148	72	238	V	4	3	5	5	-	-	-	-	2	1	1										
13												R5 (109 MPa)	65.33	146	65	236	V	4	3	4	5	-	-	-	-	2	1	1										
14												R5 (109 MPa)	65.33	258	48	348	V	4	1	4	5	1	5	1	2	2	1	1										
15												R5 (109 MPa)	65.33	241	44	331	V	3	1	4	4	1	5	1	1	1	1	1										
16												R5 (109 MPa)	65.33	245	60	335	V	4	1	2	5	4	2	1	1	1	1	1										
17												R5 (109 MPa)	65.33	252	42	342	V	4	1	4	5	-	-	-	-	1	1	1										
18												R5 (109 MPa)	65.33	244	51	334	V	3	1	4	5	1	5	1	1	1	1	1										
19												R5 (109 MPa)	65.33	256	43	346	V	3	1	2	5	1	5	1	2	2	1	1										
20												R5 (109 MPa)	65.33	251	52	341	V	4	1	4	4	-	-	-	-	2	1	1										
21												R5 (109 MPa)	65.33	249	58	339	V	3	1	4	5	-	-	-	-	1	1	1										
22												R5 (109 MPa)	65.33	237	47	327	V	4	1	2	5	-	-	-	-	2	1	1										
23												R5 (109 MPa)	65.33	242	40	332	V	3	1	2	4	4	2	1	2	2	1	1										
24												R5 (109 MPa)	65.33	253	49	343	V	4	1	2	5	4	2	1	2	2	1	1										
25												R5 (109 MPa)	65.33	255	50	345	V	4	1	4	5	-	-	-	-	2	1	1										
26												R5 (109 MPa)	65.33	93	43	183	V	4	1	4	4	1	5	1	2	2	1	1										
27												R5 (109 MPa)	65.33	75	40	165	V	4	1	4	5	4	5	1	1	1	1	1										
28												R5 (109 MPa)	65.33	82	38	172	V	3	1	5	5	-	-	-	-	2	1	1										
29												R5 (109 MPa)	65.33	86	41	176	V	4	1	4	5	1	5	1	2	2	1	1										
30												R5 (109 MPa)	65.33	79	51	169	V	3	1	4	5	4	2	2	2	2	1	1										
31												R5 (109 MPa)	65.33	92	38	182	V	3	1	4	5	1	5	2	2	2	1	1										
32												R5 (109 MPa)	65.33	84	47	174	V	4	1	5	5	-	-	-	-	2	1	1										
33												R5 (109 MPa)	65.33	70	42	160	V	3	1	4	5	1	5	1	1	1	1	1										
34												R5 (109 MPa)	65.33	96	34	186	V	3	1	4	5	4	2	1	1	1	1	1										
35												R5 (109 MPa)	65.33	84	38	174	V	4	1	4	5	1	5	1	2	2	1	1										
36												R5 (109 MPa)	65.33	98	41	188	V	3	1	5	5	-	-	-	-	1	1	1										
37												R5 (109 MPa)	65.33	76	36	166	V	3	1	4	5	4	2	2	2	2	1	1										
38												R5 (109 MPa)	65.33	84	40	174	V	3	1	4	5	-	-	-	-	1	1	1										
39												R5 (109 MPa)	65.33	88	37	178	V	3	1	5	5	1	5	1	1	1	1	1										
40												R5 (109 MPa)	65.33	326	74	56	V	4	1	5	4	1	5	1	1	1	1	1										
41												R5 (109 MPa)	65.33	320	76	50	V	4	1	5	5	4	2	1	2	2	1	1										
42												R5 (109 MPa)	65.33	321	62	51	V	2	1	3	5	-	5	1	1	1	1	1										
43												R5 (109 MPa)	65.33	330	68	60	V	4	1	5	5	1	5	1	2	2	1	1										
44												R5 (109 MPa)	65.33	319	70	49	V	4	1	5	5	1	5	1	1	1	1	1										
45												R5 (109 MPa)	65.33	321	69	51	V	4	1	3	4	4	2	1	2	2	1	1										
46												R5 (109 MPa)	65.33	328	73	58	V	2	1	5	5	1	5	2	2	2	1	1										
47												R5 (109 MPa)	65.33	332	68	62	V	4	1	4	5	-	-	-	-	2	1	1										
48												R5 (109 MPa)	65.33	329	62	59	V	4	1	4	5	-	-	-	-	2	1	1										
49												R5 (109 MPa)	65.33	327	70	57	V	4	1	3	4	-	-	-	-	2	1	1										
50												R5 (109 MPa)	65.33	314	74	44	V	2	1	3	5	-	-	-	-	2	1	1										
51												R5 (109 MPa)	65.33	328	72	58	V	4	1	4	5	4	2	2	2	2	1	1										
52												R5 (109 MPa)	65.33	319	68	49	V	2	1	2	5	-	-	-	-	2	1	1										
													Túnel																									

Cuadro 5.2. Registro geomecánico EG-02.

REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO							TESIS	CARTOGRAFIADO GEOMECAÁNICO DEL SECTOR: NORTE Y SUR - CRUCERO EL ÑATO NIVEL 2880 - SAN MIGUEL DE ALGAMARCA – CAJABAMBA										TENSIONES		Subterráneo										
REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO							UBICACIÓN	GALERÍA PRINCIPAL										Parametros	valores											
CÓDIGO	EG-02						TRAMO	2	DE	Pl. + 14.65 m.			A	Pl. + 24.65 m.			Profundidad (m.)	301.33												
RESPONSABLE	Bautista Llanos Eldin Lenin						HOJA N°	2	COORDENADAS	-	ESTE (m.)	-	NORTE (m.)	-	COTA (msnm.)	-	σ1 (Mpa.)	7.834	θ	90°										
SISTEMA	WGS		84		ZONA 17S		EJECUTADO POR	Bautista Llanos Eldin Lenin						FECHA		12/02/2025		σ3 (Mpa.)	2.742	m	0.35									
DIS. Nro	DIMENSIONES DE EXCAVACIÓN						MACIZO ROCOSO				PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS										RELLENO		ALTERAC. METEOR.	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN					
	FORMA DE EXCAVACIÓN				OPCIÓN						TIPOS		RESIST. COMP. UNIAX.		RQD TRAMO		ORIENTACIÓN				ESPACIADO(m)	PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	TIPO		DUREZA			
	1= Baúl				1						E=Estratificada o Seudo		ND		DIRECCIÓN				1= >2	1= <1	1= Nada	1=Muy Rug.	1=Arcilloso		1=Ninguna	1=Inalterada	1=Seco	1=Lec. Real		
	2= Circular										D=Diaclasa		L						2= 2-0.6	2= 1-3	2= <0.1	2=Rugosa	2=Qz		2=Duro<5mm	2=Lig. Alt.	2=Húmedo	2=Lec. Apar.		
3= Herradura										Fn=F.Normal		λ						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										Ff=F.Inversa		11.20						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										Fm=F.Directa								5= <0.06	5= >20	5= >5	5=Suave	5=Roca Tritur.		5=Suave>5mm	5=Descomp.	5=Flujo				
6= Elíptica										mf=Microfalla												6=Bx								
7= Irregular										SE=Sobrees.												7=Panizo								
HASTIAL DER. (m.)	APICE MAYOR (m.)	HASTIAL IZQ. (m.)	ANCHO DE CÁMARA (m.)	CUNETAS (m.)						C=Contacto												8=Veta								
				Altura (m.)	Ancho (m.)					1 Golp		Yp										9=Epsonita								
												69.17										10=Hidrocincita								
																						11=Yeso								
																						12=								
1	2.40	3.00	2.40	2.60	0.25	0.30	Fm. Chimú	1	1	3	E	R5 (129 MPa)	69.17	155	72	245	V	3	2	1	5	-	-	1	2	1				
2											R5 (129 MPa)	69.17	173	59	263	V	3	2	2	5	1	5	1	2	1					
3											R5 (129 MPa)	69.17	161	58	251	V	3	2	2	5	1	5	1	2	1					
4											R5 (129 MPa)	69.17	152	68	242	V	3	3	2	5	1	5	2	3	1					
5											R5 (129 MPa)	69.17	162	62	252	V	4	2	1	5	-	-	1	2	1					
6											R5 (129 MPa)	69.17	170	70	260	V	3	2	2	5	1	5	1	2	1					
7											R5 (129 MPa)	69.17	150	55	240	V	3	3	2	5	1	5	1	2	1					
8											R5 (129 MPa)	69.17	163	59	253	V	4	2	1	5	-	-	1	2	1					
9											R5 (129 MPa)	69.17	152	62	242	V	3	2	1	5	-	-	2	3	1					
10											R5 (129 MPa)	69.17	159	67	249	V	4	2	2	5	1	5	1	2	1					
11											R5 (129 MPa)	69.17	163	53	253	V	3	3	2	5	1	5	1	2	1					
12											R5 (129 MPa)	69.17	151	54	241	V	3	2	1	5	1	5	1	2	1					
13											R5 (129 MPa)	69.17	171	62	261	V	4	3	2	5	1	5	1	3	1					
14											R5 (129 MPa)	69.17	149	67	239	V	4	2	2	5	1	5	2	2	1					
15											R5 (129 MPa)	69.17	146	64	236	V	4	2	1	5	1	5	1	2	1					
16											D-1	R5 (129 MPa)	69.17	38	63	128	V	3	1	2	5	1	5	1	2	1				
17											R5 (129 MPa)	69.17	25	70	115	V	3	1	2	5	1	5	1	3	1					
18											R5 (129 MPa)	69.17	26	68	116	V	4	1	1	5	-	-	1	2	1					
19											R5 (129 MPa)	69.17	30	65	120	V	3	1	2	5	1	5	2	2	1					
20											R5 (129 MPa)	69.17	34	58	124	V	3	1	2	5	1	5	1	3	1					
21											R5 (129 MPa)	69.17	42	55	132	V	4	1	2	5	1	5	1	2	1					
22											R5 (129 MPa)	69.17	31	61	121	V	3	1	1	5	-	-	1	2	1					
23											R5 (129 MPa)	69.17	38	59	128	V	3	1	1	5	-	-	1	2	1					
24											R5 (129 MPa)	69.17	29	54	119	V	4	1	2	5	1	5	1	2	1					
25											R5 (129 MPa)	69.17	35	71	125	V	3	1	2	5	1	5	2	3	1					
26											R5 (129 MPa)	69.17	32	59	122	V	3	1	2	5	1	5	1	2	1					
27											R5 (129 MPa)	69.17	28	61	118	V	3	1	2	5	1	5	1	2	1					
28											R5 (129 MPa)	69.17	26	63	116	V	3	1	1	5	1	5	1	2	1					
29											R5 (129 MPa)	69.17	32	58	122	V	3	1	1	5	1	5	1	2	1					
30											R5 (129 MPa)	69.17	39	57	129	V	4	1	2	5	1	5	2	3	1					
31											R5 (129 MPa)	69.17	29	68	119	V	3	1	2	5	1	5	1	2	1					
32											R5 (129 MPa)	69.17	37	63	127	V	3	1	2	5	1	5	2	2	1					
33											R5 (129 MPa)	69.17	36	57	126	V	4	1	1	5	1	5	1	2	1					
34											D-2	R5 (129 MPa)	69.17	259	28	349	V	3	1	1	5	1	5	1	2	1				
35											R5 (129 MPa)	69.17	255	23	345	V	3	1	1	5	1	5	1	3	1					
36											R5 (129 MPa)	69.17	247	56	337	V	3	1	1	5	1	5	1	2	1					
37											R5 (129 MPa)	69.17	250	36	340	V	4	1	1	5	1	5	1	2	1					
38											R5 (129 MPa)	69.17	253	48	343	V	3	1	3	5	-	-	1	2	1					
39											R5 (129 MPa)	69.17	263	37	353	V	3	1	2	5	1	5	2	3	1					
40											R5 (129 MPa)	69.17	264	28	354	V	4	1	1	5	1	5	1	2	1					
41											R5 (129 MPa)	69.17	268	32	358	V	3	1	3	5	-	-	1	3	1					
42											R5 (129 MPa)	69.17	248	39	338	V	3	1	2	5	1	5	1	2	1					
43											R5 (129 MPa)	69.17	264	45	354	V	3	1	1	5	1	5	1	3	1					
44											R5 (129 MPa)	69.17	258	40	348	V	3	1	3	5	-	-	1	3	1					
45											R5 (129 MPa)	69.17	243	37	333	V	4	1	1	5	1	5	1	3	1					
46											R5 (129 MPa)	69.17	238	40	328	V	3	1	3	5	-	-	1	2	1					
47											R5 (129 MPa)	69.17	256	37	346	V	4	1	1	5	1	5	1	2	1					
48											R5 (129 MPa)	69.17	248	39	338	V	3	1	1	5	1	5	1	2	1					
49											R5 (129 MPa)	69.17	261	42	351	V	3	1	1	5	1	5	1	2	1					
50											R5 (129 MPa)	69.17	264	47	354	V	3	1	2	5	1	5	1	3	1					
51																														

Cuadro 5.3. Registro geomecánico EG-03.

REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO										CARTOGRAFIADO GEOMECAÁNICO DEL SECTOR: NORTE Y SUR - CRUCERO EL ÑATO NIVEL 2880 - SAN MIGUEL DE ALGAMARCA – CAJABAMBA										TENSIONES		Subterráneo						
UBICACIÓN										GALERÍA PRINCIPAL										Parametros	valores							
CÓDIGO	EG-03									TRAMO	3	DE	Pl. + 32.35 m.			A			Pl. + 42.35 m.			Profundidad (m.)	302.69					
RESPONSABLE	Bautista Llanos Eldin Lenin									HOJA N°	3	COORDENADAS	-	ESTE (m.)	-	NORTE (m.)			-	COTA (msnm.)			-	σ1 (Mpa.)	7.81	θ	90°	
SISTEMA	WGS		84		ZONA 17S		Bautista Llanos Eldin Lenin										FECHA		12/02/2025		σ3 (Mpa.)	3.384	m	0.43				
DIS. Nro	DIMENSIONES DE EXCAVACIÓN							MACIZO ROCOSO					PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS															
	FORMA DE EXCAVACIÓN				OPCION			TIPOS					ORIENTACIÓN				ESPACIADO(m)	PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC. METEOR.	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN			
	1= Baúl 2= Circular 3= Herradura 4= Cuadrada 5= Rectangular 6= Elíptica 7= Irregular				1			METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	E=Estratificada o Seudo D=Diaclasa		RESIST. COMP. UNIAX.	RQD TRAMO		DIRECCIÓN				1= >2 2= 2-0.6 3= 0.6-0.2 4= 0.2-0.06 5= <0.06	1= <1 2= 1-3 3= 3-10 4= 10-20 5= >20	1= Nada 2= <0.1 3= 0.1-1 4= 1-5 5= >5	1=Muy Rug. 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=Duro>5mm 4=Muy Alt. 5=Suave>5mm	1=Inalterada 2=Lig. Alt. 3=Mod. Alt. 4=Muy Alt. 5=Descomp.	1=Seco 2=Húmedo 3=Mojado 4=Goteo 5=Flujo	1=Lec. Real 2=Lec. Apar. 3=Lec. Proy.
	HASTIAL DER. (m.)	APICE MAYOR (m.)	HASTIAL IZQ. (m.)	ANCHO DE CÁMARA (m.)	CUNETAS (m.)		LITOLOGÍA FORMAC.	1=Fresco	1=Alto	1=Blq-Regul.	Fn=F.Normal	σ _d	ND	19	Z/R	DIP	DD	COMPOBACION										
				2=Lev. Met.	2=Mediano	2=Blq-Irreg.		Fi=F.Inversa	L	1.85																		
				3=Mod	3=Bajo	3=Blq-Capas		Fd=F.Directa	λ	10.27																		
				4=Alt. Met.	4=Fract-Intenso	mf=Microfalla		SE=Sobrees.	γ _p	72.50																		
				5=Compl.	Agregar MB,B,M,P,MP	C=Contacto	1 Golp																					
1	2.35	3.05	2.35	2.75	0.30	0.25	Fm. Chimú	1	1	3	E	R5 (134 MPa)	70.50	155	56	245	V	4	2	4	5	-	-	1	1	1		
2												R5 (134 MPa)	70.50	151	52	241	V	5	1	4	5	-	-	1	1	1		
3												R5 (134 MPa)	70.50	145	50	235	V	4	2	4	5	4	2	1	2	1		
4												R5 (134 MPa)	70.50	152	51	242	V	4	2	3	5	-	-	2	1	1		
5												R5 (134 MPa)	70.50	140	48	230	V	4	2	4	4	4	2	1	1	1		
6												R5 (134 MPa)	70.50	146	44	236	V	5	1	4	5	4	2	1	1	1		
7												R5 (134 MPa)	70.50	149	49	239	V	5	1	4	5	4	2	1	2	1		
8												R5 (134 MPa)	70.50	157	52	247	V	4	2	3	5	-	-	1	2	1		
9												R5 (134 MPa)	70.50	159	57	249	V	5	1	4	5	-	-	1	1	1		
10												R5 (134 MPa)	70.50	135	55	225	V	5	1	4	5	-	-	1	1	1		
11												R5 (134 MPa)	70.50	138	56	228	V	4	1	4	4	-	-	1	1	1		
12												R5 (134 MPa)	70.50	146	48	236	V	5	1	3	5	4	2	2	2	1		
13												R5 (134 MPa)	70.50	150	43	240	V	5	2	4	5	4	2	1	1	1		
14												R5 (134 MPa)	70.50	142	52	232	V	4	2	4	5	4	2	1	1	1		
15												R5 (134 MPa)	70.50	153	50	243	V	5	2	3	5	4	2	1	1	1		
16												R5 (134 MPa)	70.50	142	49	232	V	4	2	4	5	4	2	2	2	1		
17												R5 (134 MPa)	70.50	149	47	239	V	4	2	4	5	-	-	1	1	1		
18												R5 (134 MPa)	70.50	151	46	241	V	5	1	4	5	4	2	1	1	1		
19												R5 (134 MPa)	70.50	153	42	243	V	4	1	4	4	-	-	1	1	1		
20												D-1	R5 (134 MPa)	70.50	81	68	171	V	3	1	4	5	1	5	1	1	1	
21													R5 (134 MPa)	70.50	78	66	168	V	3	1	4	5	4	2	1	2	1	
22													R5 (134 MPa)	70.50	70	54	160	V	4	2	4	5	-	3	1	1	1	
23													R5 (134 MPa)	70.50	65	59	155	V	3	1	-	5	4	2	1	1	1	
24													R5 (134 MPa)	70.50	59	63	149	V	3	1	4	5	4	2	1	1	1	
25													R5 (134 MPa)	70.50	62	61	152	V	3	1	4	5	1	5	1	1	1	
26													R5 (134 MPa)	70.50	67	57	157	V	4	2	4	4	-	-	1	1	1	
27													R5 (134 MPa)	70.50	58	58	148	V	3	1	-	5	-	-	1	2	1	
28													R5 (134 MPa)	70.50	54	62	144	V	3	1	4	5	1	5	1	2	1	
29													R5 (134 MPa)	70.50	68	45	158	V	4	1	4	5	4	2	1	2	1	
30													R5 (134 MPa)	70.50	64	53	154	V	3	1	4	5	-	-	1	1	1	
31													R5 (134 MPa)	70.50	59	57	149	V	3	2	-	5	1	5	1	1	1	
32													R5 (134 MPa)	70.50	61	56	151	V	4	1	4	5	-	-	1	1	1	
33													R5 (134 MPa)	70.50	63	59	153	V	3	1	4	5	4	2	1	1	1	
34													R5 (134 MPa)	70.50	58	62	148	V	3	1	-	4	-	-	1	2	1	
35													R5 (134 MPa)	70.50	57	57	147	V	4	2	4	5	-	-	1	1	1	
36													D-2	R5 (134 MPa)	70.50	312	43	42	V	3	1	4	5	-	-	1	1	1
37														R5 (134 MPa)	70.50	300	40	30	V	3	1	4	5	-	-	1	1	1
38														R5 (134 MPa)	70.50	315	41	45	V	3	1	-	5	4	2	1	2	1
39														R5 (134 MPa)	70.50	308	38	38	V	3	1	4	5	-	-	1	1	1
40														R5 (134 MPa)	70.50	309	51	39	V	4	1	4	5	-	-	1	1	1
41														R5 (134 MPa)	70.50	311	49	41	V	3	1	4	5	-	-	1	1	1
42														R5 (134 MPa)	70.50	306	49	36	V	3	1	4	5	4	2	1	1	1
43														R5 (134 MPa)	70.50	321	50	51	V	3	1	-	4	-	-	1	2	1
44														R5 (134 MPa)	70.50	318	41	48	V	4	1	-	5	-	-	1	1	1
45														R5 (134 MPa)	70.50	304	49	34	V	3	1	4	5	-	-	1	1	1
46														R5 (134 MPa)	70.50	309	52	39	V	3	1	-	5	-	-	1	1	1
47														R5 (134 MPa)	70.50	314	57	44	V	3	1	4	5	4	2	1	1	1
48														R5 (134 MPa)	70.50	309	50	39	V	4	1	-	4	4	2	1	2	1
49														R5 (134 MPa)	70.50	318	48	48	V	3	1	4	5	-	-	1	2	1
50														R5 (134 MPa)	70.50	320	49	50	V	3	1	4	5	-	-	1	1	1
51														R5 (134 MPa)	70.50	306	56	36	V	4	1	-	5	-	-	1	1	1
52														R5 (134 MPa)	70.50	310	52	40	V	4	1	4	5	4	2	1	1	1

Cuadro 5.4. Registro geomecánico EG-04.

REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO							TESIS	CARTOGRAFIADO GEOMECÁNICO DEL SECTOR: NORTE Y SUR - CRUCERO EL ÑATO NIVEL 2880 - SAN MIGUEL DE ALGAMARCA - CAJABAMBA										TENSIONES		Subterráneo													
EG-04							UBICACIÓN	PIQUE										Parametros	valores														
CÓDIGO	Bautista Llanos Eldin Lenin						TRAMO	4	DE	PIG. + 42.60 m.			A		PIG. + 52.60 m.					Profundidad (m.)	303.59												
RESPONSABLE	Bautista Llanos Eldin Lenin						HOJA N°	4	COORDENADAS	-	ESTE (m.)	-	NORTE (m.)		-	COTA (msnm.)		-	σ1 (Mpa.)	7.893	θ	90°											
SISTEMA	WGS		84		ZONA 17S		EJECUTADO POR	Bautista Llanos Eldin Lenin						FECHA		12/02/2025		σ3 (Mpa.)	5.130	m	0.65												
DIS. Nro	DIMENSIONES DE EXCAVACIÓN						PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS										RELLENO		ALTERAC. METEOR.	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN												
	FORMA DE EXCAVACIÓN				OPCION		MACIZO ROCOSO			TIPOS		RESIST. COMP. UNIAX.	RQD TRAMO		ORIENTACIÓN				ESPACIADO(m)	PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	TIPO	DUREZA	ALTERAC. METEOR.	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN						
	1= Baúl				7		METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	E=Estratificada o Seudo D=Diaclasa		σ _{ci}	ND	25		DIRECCIÓN				1=>2	1=<1	1= Nada	1=Muy Rug.	1=Arcilloso	1=Ninguna	1=Inalterada	1=Seco	1=Lec. Real					
	2= Circular						1=Fresco	1=Alto	1=Bloq-Regul.	Fn=F.Normal		λ	8.06		2= 2-0.6					2= 1-3	2=<0.1	2=Rugosa	2=Qz	2=Duro<5mm	2=Lig. Alt.	2=Húmedo	2=Lec. Apar.						
3= Herradura						2=Lev. Met.	2=Mediano	2=Bloq-Irreg.	Fi=F.Inversa		λ	3.10		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						3=Mod	3=Bajo	3=Bloq-Capas	Fd=F.Directa		λ	8.06		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						4=Alt. Met.	4=Fract-Intenso	mf=Microfalla		Prom. Golpes	λ	8.06		5= <0.06	5= >20	5= >5	5=Suave	5=Roca Tritur.	5=Suave>5mm	5=Descomp.	5=Flujo												
6= Elíptica						5=Compl.	Agregar MB,B,M,P,MP	SE=Sobrees. C=Contacto		1 Golp	γ _p	80.65		Z/R	DIP	DD	COMPOBACION	6=Bx	7=Panizo	8=Veta	9=Epsonita	10=Hidrocincita	11=Yeso	12=									
7= Irregular						HASTIAL DER. (m.)	APICE MAYOR (m.)	HASTIAL IZQ. (m.)	ANCHO DE CÁMARA (m.)	CUNETAS (m.)		Altura (m.)	Ancho (m.)	Fm. Chimú	1	1	1	E	R5 (115 MPa)	80.65	140	64	230	V	4	2	1	5	-	-	1	1	1
1	3.45	4.10	3.45	3.30	-	-	Fm. Chimú	1	1	1	E	R5 (115 MPa)	80.65	140	64	230	V	4	2	1	5	-	-	1	1	1							
2												R5 (115 MPa)	80.65	142	61	232	V	4	2	2	5	4	2	1	2	1							
3												R5 (115 MPa)	80.65	145	58	235	V	5	2	1	4	-	-	1	1	1							
4												R5 (115 MPa)	80.65	155	52	245	V	4	1	1	5	-	-	1	1	1							
5												R5 (115 MPa)	80.65	149	61	239	V	4	2	1	5	-	-	1	2	1							
6												R5 (115 MPa)	80.65	156	58	246	V	4	2	1	5	-	-	1	1	1							
7												R5 (115 MPa)	80.65	157	53	247	V	4	1	2	5	4	2	1	1	1							
8												R5 (115 MPa)	80.65	141	60	231	V	5	2	1	4	-	-	1	1	1							
9												R5 (115 MPa)	80.65	147	62	237	V	5	1	1	4	-	-	1	1	1							
10												R5 (115 MPa)	80.65	150	52	240	V	4	1	1	5	-	-	1	1	1							
11												R5 (115 MPa)	80.65	153	57	243	V	4	2	1	5	-	-	1	1	1							
12												R5 (115 MPa)	80.65	146	61	236	V	5	1	2	5	4	2	1	1	1							
13												R5 (115 MPa)	80.65	160	52	250	V	5	1	1	5	-	-	1	1	1							
14												R5 (115 MPa)	80.65	152	54	242	V	4	2	1	4	-	-	1	1	1							
15												R5 (115 MPa)	80.65	148	61	238	V	4	2	1	5	-	-	1	1	1							
16												R5 (115 MPa)	80.65	156	59	246	V	4	1	1	5	-	-	1	1	1							
17												R5 (115 MPa)	80.65	147	56	237	V	4	2	2	5	4	2	1	1	1							
18												R5 (115 MPa)	80.65	152	63	242	V	5	2	1	4	-	-	1	1	1							
19												R5 (115 MPa)	80.65	157	67	247	V	4	2	1	5	-	-	1	1	1							
20												D-1	R5 (115 MPa)	80.65	48	72	138	V	4	1	2	5	4	2	1	1	1						
21												R5 (115 MPa)	80.65	41	69	131	V	4	1	3	5	4	2	1	1	1							
22												R5 (115 MPa)	80.65	45	74	135	V	3	1	3	5	4	2	1	1	1							
23												R5 (115 MPa)	80.65	39	63	129	V	4	1	3	5	4	2	1	1	1							
24												R5 (115 MPa)	80.65	37	59	127	V	3	2	5	4	4	2	1	1	1							
25												R5 (115 MPa)	80.65	42	58	132	V	3	1	2	5	4	2	1	1	1							
26												R5 (115 MPa)	80.65	51	61	141	V	4	1	1	5	-	-	1	1	1							
27												R5 (115 MPa)	80.65	39	68	129	V	3	1	2	5	4	2	1	1	1							
28												R5 (115 MPa)	80.65	42	54	132	V	4	1	2	5	4	2	1	2	1							
29												R5 (115 MPa)	80.65	56	71	146	V	3	1	1	4	-	-	1	1	1							
30												R5 (115 MPa)	80.65	51	68	141	V	4	2	1	5	-	-	1	1	1							
31												R5 (115 MPa)	80.65	34	57	124	V	3	1	2	4	4	2	1	1	1							
32												R5 (115 MPa)	80.65	32	61	122	V	4	1	1	5	1	5	1	1	1							
33												R5 (115 MPa)	80.65	50	54	140	V	3	1	1	5	1	5	1	1	1							
34												R5 (115 MPa)	80.65	56	58	146	V	4	1	2	5	4	2	1	1	1							
35												R5 (115 MPa)	80.65	42	61	132	V	3	1	2	4	4	2	1	1	1							
36												D-2	R5 (115 MPa)	80.65	312	80	42	V	4	1	1	5	-	-	1	1	1						
37												R5 (115 MPa)	80.65	308	77	38	V	3	2	2	5	4	2	1	1	1							
38												R5 (115 MPa)	80.65	296	69	26	V	4	1	2	5	4	2	1	1	1							
39												R5 (115 MPa)	80.65	290	74	20	V	4	1	2	5	4	2	1	1	1							
40												R5 (115 MPa)	80.65	301	81	31	V	4	1	2	5	4	2	1	1	1							
41												R5 (115 MPa)	80.65	284	72	14	V	4	1	2	4	4	2	1	2	1							
42												R5 (115 MPa)	80.65	308	63	38	V	4	1	1	5	-	-	1	1	1							
43												R5 (115 MPa)	80.65	299	68	29	V	4	2	1	5	-	-	1	1	1							
44												R5 (115 MPa)	80.65	305	74	35	V	4	1	2	5	4	2	1	1	1							
45												R5 (115 MPa)	80.65	286	83	16	V	3	1	2	5	4	2	1	1	1							
46												R5 (115 MPa)	80.65	281	81	11	V	4	1	1	4	-	-	1	1	1							
47												R5 (115 MPa)	80.65	299	79	29	V	4	1	1	5	-	-	1	1	1							
48												R5 (115 MPa)	80.65	307	68	37	V	4	1	1	5	-	-	1	1	1							
49												R5 (115 MPa)	80.65	304	74	34	V	4	2	1	5	-	-	1	1	1							
50												R5 (115 MPa)	80.65	286	79	16	V	4	1	1	4	-	-	1	2	1							
51												R5 (115 MPa)	80.65	312	62	42	V	3	1	2	5	4	2	1	1	1							
52												R5 (115 MPa)	80.65	307	68	37	V	4	1	2	5	4	2	1	1	1							

ANEXO 03. PLANOS

PLANO 01: IMAGEN SATELITAL SASPLANET – BING MAPS.

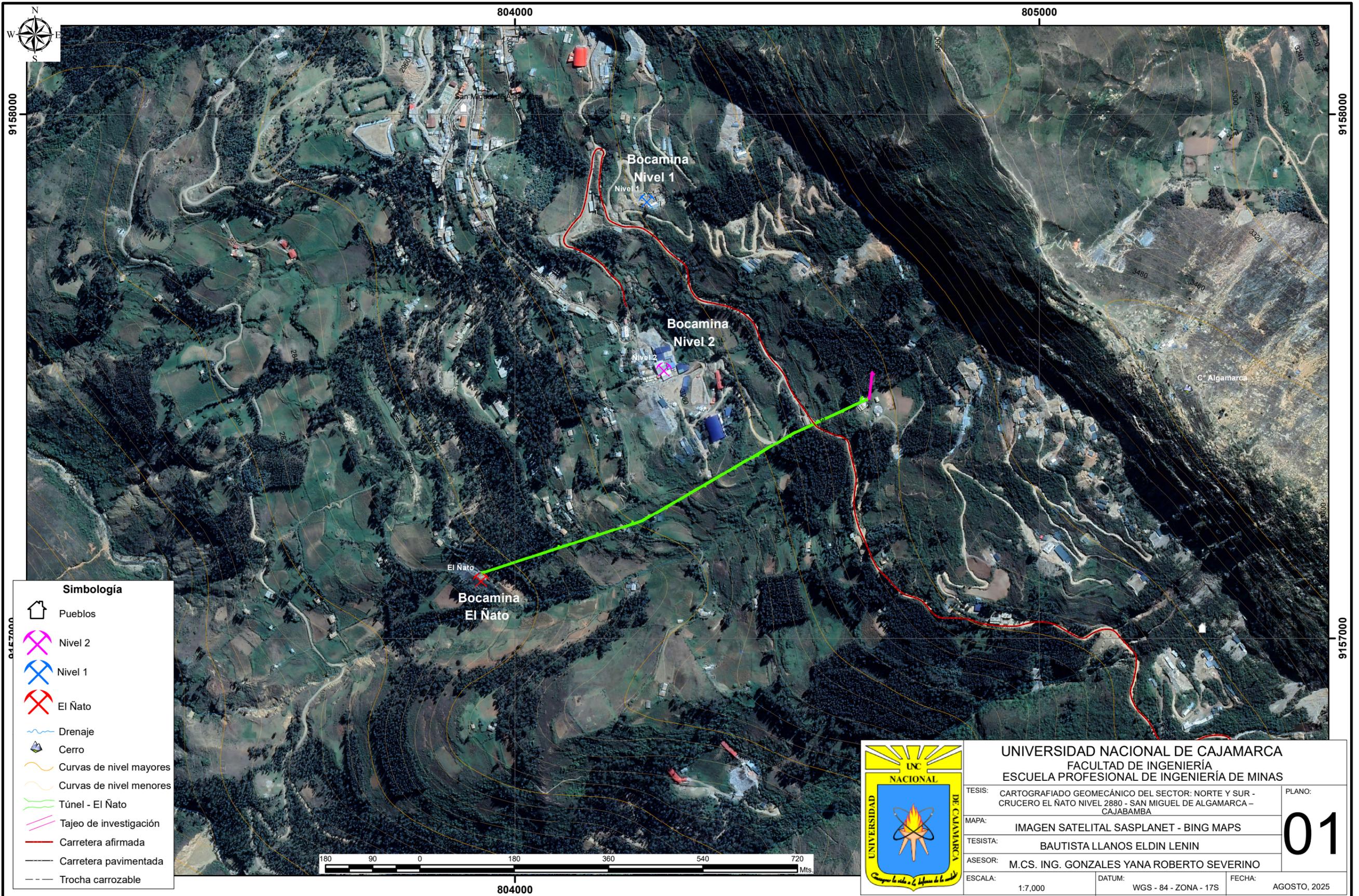
PLANO 02: MODELO DIGITAL DE ELEVACION ES (MDE) – UBICACIÓN.

PLANO 03: GEOLÓGICO ESTRUCTURAL LOCAL.

PLANO 04: GEOMECÁNICO.

PLANO 05: TENSODEFORMACIONAL.

PLANO 06: ENTORNO DE PLASTIFICACIÓN.

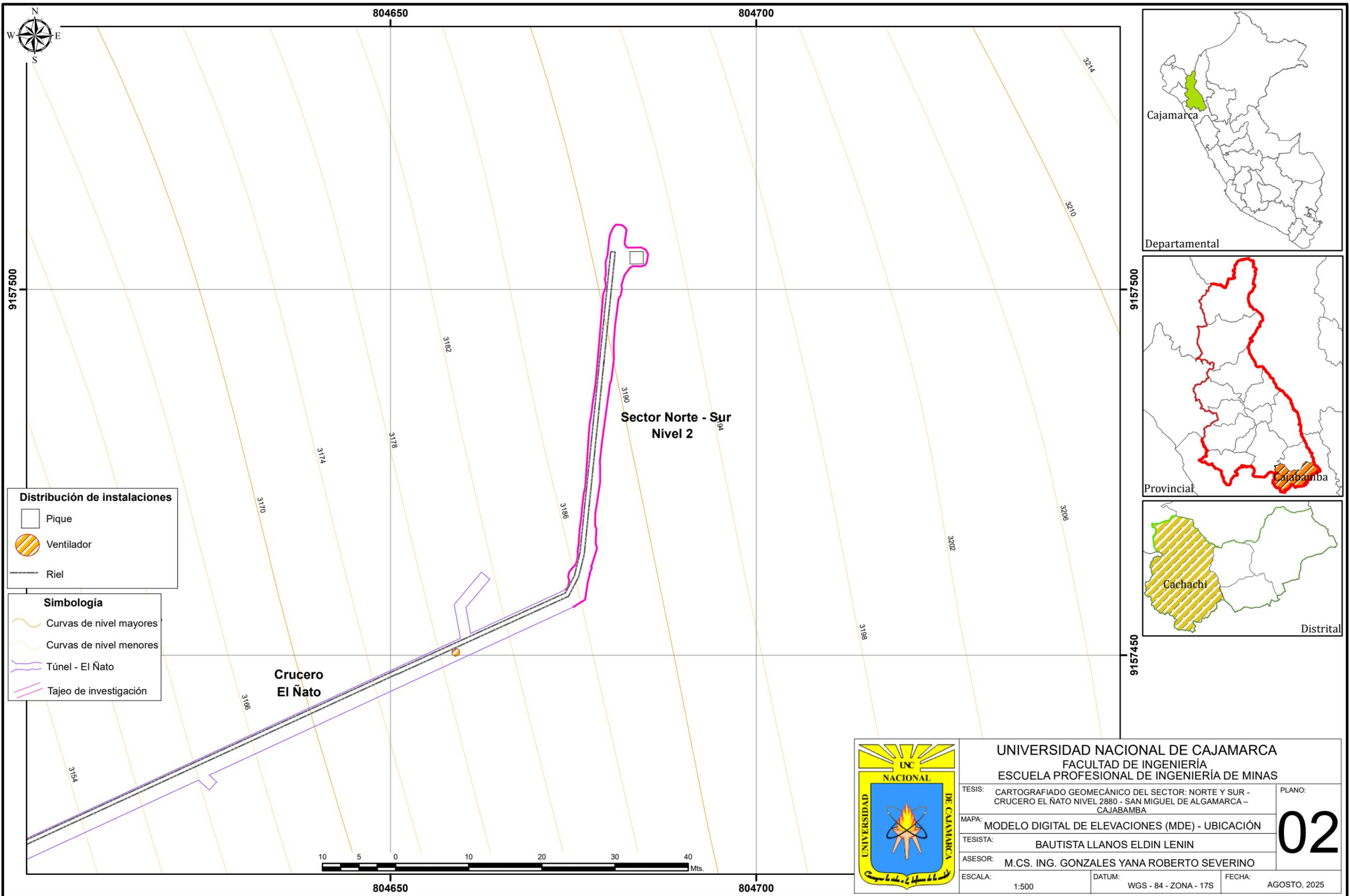


Simbología

	Pueblos
	Nivel 2
	Nivel 1
	El Ñato
	Drenaje
	Cerro
	Curvas de nivel mayores
	Curvas de nivel menores
	Túnel - El Ñato
	Tajeo de investigación
	Carretera afirmada
	Carretera pavimentada
	Trocha carrozable



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		
TESIS: CARTOGRAFIADO GEOMECÁNICO DEL SECTOR: NORTE Y SUR - CRUCERO EL ÑATO NIVEL 2880 - SAN MIGUEL DE ALGAMARCA - CAJABAMBA	PLANO: 01	
MAPA: IMAGEN SATELITAL SASPLANET - BING MAPS	TESISISTA: BAUTISTA LLANOS ELDIN LENIN	
ASESOR: M.CS. ING. GONZALES YANA ROBERTO SEVERINO	ESCALA: 1:7,000	
DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S	FECHA: AGOSTO, 2025	

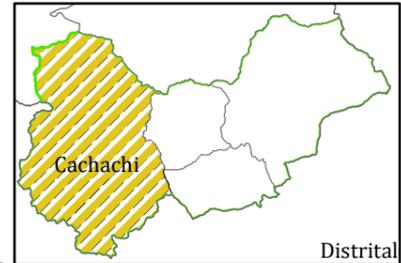
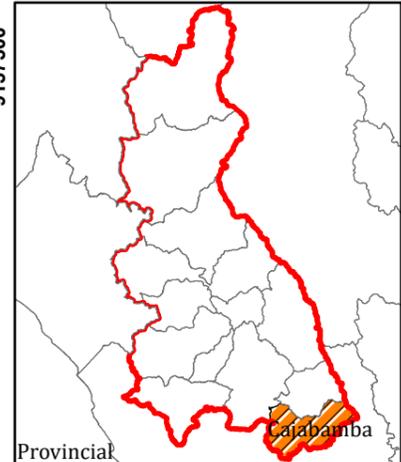
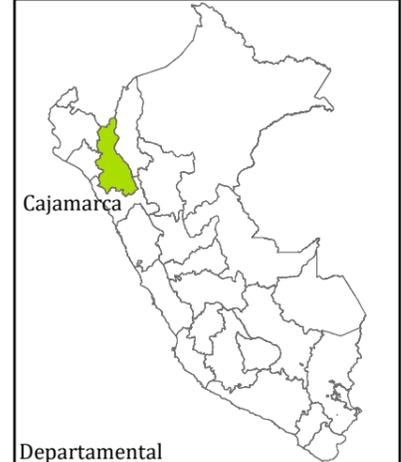


Distribución de instalaciones

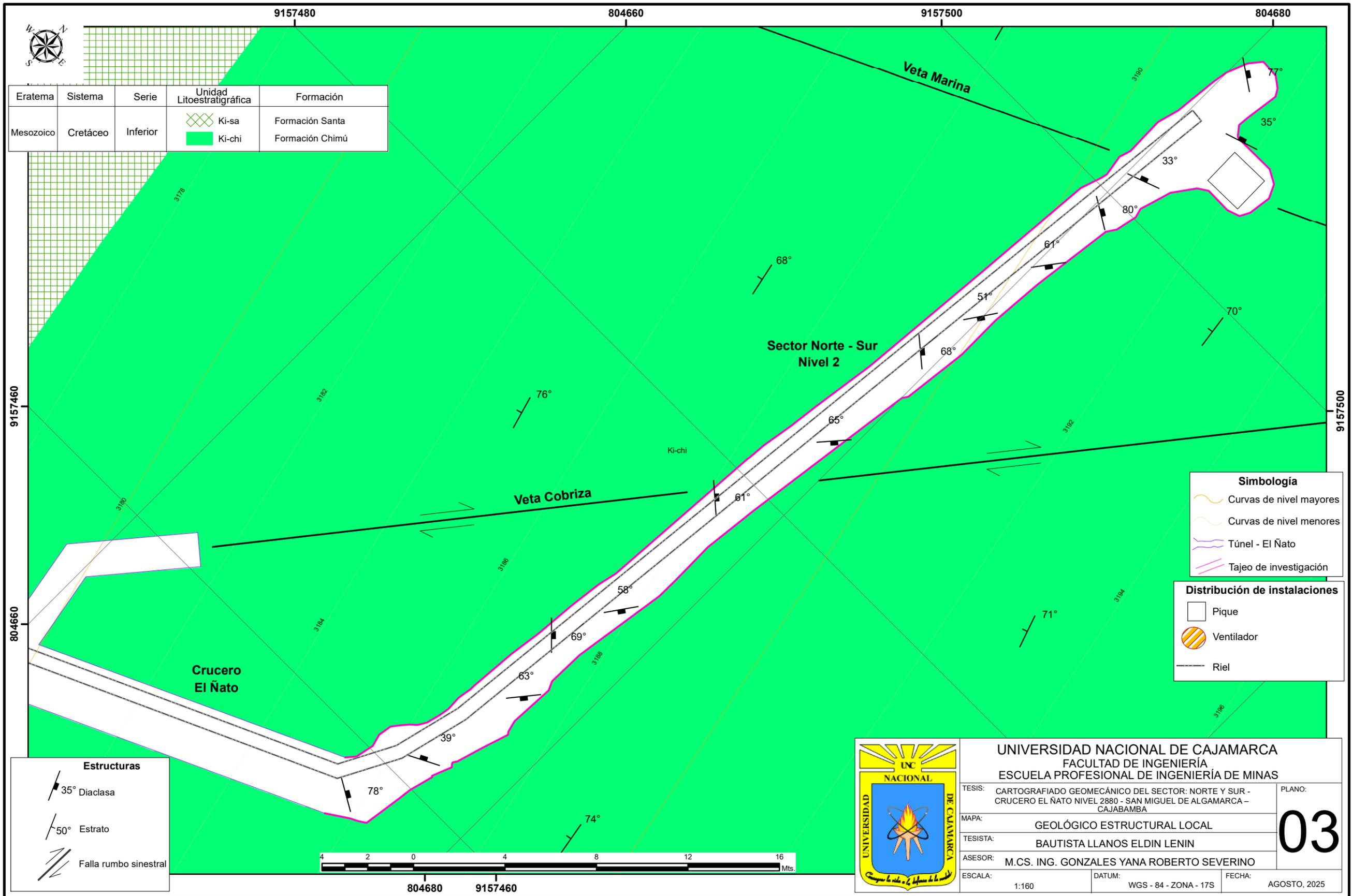
- Pique
- Ventilador
- Riel

Simbología

- Curvas de nivel mayores
- Curvas de nivel menores
- Túnel - El Ñato
- Tajeo de investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		
TESIS:	CARTOGRAFIADO GEOMECÁNICO DEL SECTOR: NORTE Y SUR - CRUCERO EL ÑATO NIVEL 2880 - SAN MIGUEL DE ALGAMARCA - CAJABAMBA	PLANO:
MAPA:	MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES (MDE) - UBICACIÓN	02
TESISTA:	BAUTISTA LLANOS ELDIN LENIN	
ASESOR:	M.CS. ING. GONZALES YANA ROBERTO SEVERINO	
ESCALA:	1:500	DATUM:
		WGS - 84 - ZONA - 17S
		FECHA:
		AGOSTO, 2025



Eratema	Sistema	Serie	Unidad Litoestratigráfica	Formación
Mesozoico	Cretáceo	Inferior	Ki-sa	Formación Santa
			Ki-chi	Formación Chimú

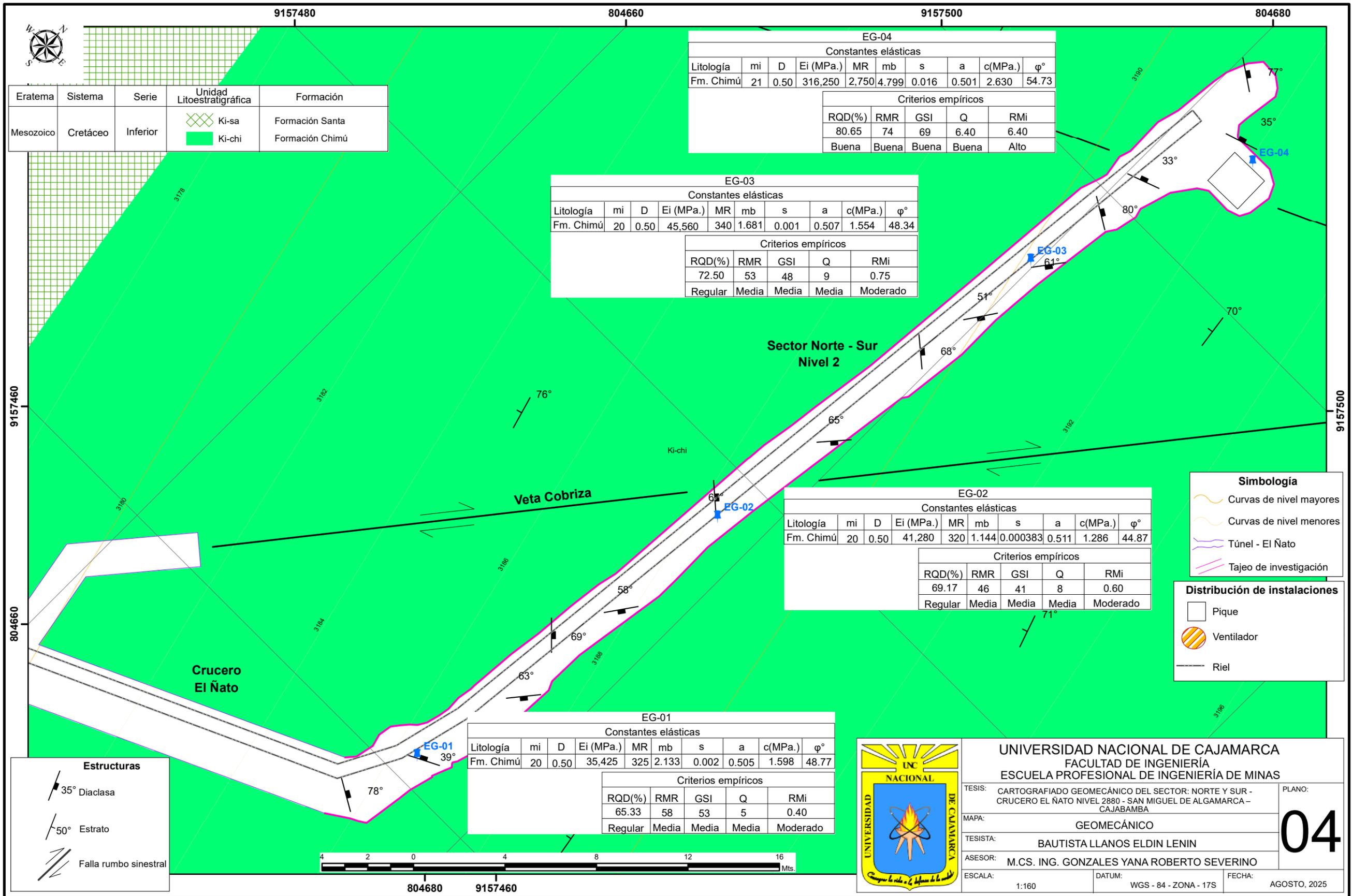
Simbología	
	Curvas de nivel mayores
	Curvas de nivel menores
	Túnel - El Ñato
	Tajeo de investigación

Distribución de instalaciones	
	Pique
	Ventilador
	Riel

Estructuras	
	35° Diaclasa
	50° Estrato
	Falla rumbo sinistral



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		
TESIS: CARTOGRAFIADO GEOMECÁNICO DEL SECTOR: NORTE Y SUR - CRUCERO EL ÑATO NIVEL 2880 - SAN MIGUEL DE ALGAMARCA - CAJABAMBA	PLANO: <h1>03</h1>	
MAPA: GEOLÓGICO ESTRUCTURAL LOCAL		
TESISISTA: BAUTISTA LLANOS ELDIN LENIN		
ASESOR: M.CS. ING. GONZALES YANA ROBERTO SEVERINO		
ESCALA: 1:160	DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S	
	FECHA: AGOSTO, 2025	



Eratema	Sistema	Serie	Unidad Litoestratigráfica	Formación
Mesozoico	Cretáceo	Inferior	Ki-sa	Formación Santa
			Ki-chi	Formación Chimú

EG-04										
Constantes elásticas										
Litología	mi	D	Ei (MPa.)	MR	mb	s	a	c(MPa.)	ϕ°	
Fm. Chimú	21	0.50	316,250	2,750	4,799	0.016	0.501	2,630	54.73	
Criterios empíricos										
RQD(%)	RMR	GSI	Q	RMi						
80.65	74	69	6.40	6.40						
Buena	Buena	Buena	Buena	Alto						

EG-03										
Constantes elásticas										
Litología	mi	D	Ei (MPa.)	MR	mb	s	a	c(MPa.)	ϕ°	
Fm. Chimú	20	0.50	45,560	340	1,681	0.001	0.507	1,554	48.34	
Criterios empíricos										
RQD(%)	RMR	GSI	Q	RMi						
72.50	53	48	9	0.75						
Regular	Media	Media	Media	Moderado						

EG-02										
Constantes elásticas										
Litología	mi	D	Ei (MPa.)	MR	mb	s	a	c(MPa.)	ϕ°	
Fm. Chimú	20	0.50	41,280	320	1,144	0.000383	0.511	1,286	44.87	
Criterios empíricos										
RQD(%)	RMR	GSI	Q	RMi						
69.17	46	41	8	0.60						
Regular	Media	Media	Media	Moderado						

EG-01										
Constantes elásticas										
Litología	mi	D	Ei (MPa.)	MR	mb	s	a	c(MPa.)	ϕ°	
Fm. Chimú	20	0.50	35,425	325	2,133	0.002	0.505	1,598	48.77	
Criterios empíricos										
RQD(%)	RMR	GSI	Q	RMi						
65.33	58	53	5	0.40						
Regular	Media	Media	Media	Moderado						

Simbología

- Curvas de nivel mayores
- Curvas de nivel menores
- Túnel - El Nato
- Tajeo de investigación

Distribución de instalaciones

- Pique
- Ventilador
- Riel

Estructuras

- 35° Diaclasa
- 50° Estrato
- Falla rumbo sinestral



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

TESIS: CARTOGRAFIADO GEOMECÁNICO DEL SECTOR: NORTE Y SUR - CRUCERO EL NATAO NIVEL 2880 - SAN MIGUEL DE ALGAMARCA - CAJABAMBA

MAPA: GEOMECÁNICO

TESISTA: BAUTISTA LLANOS ELDIN LENIN

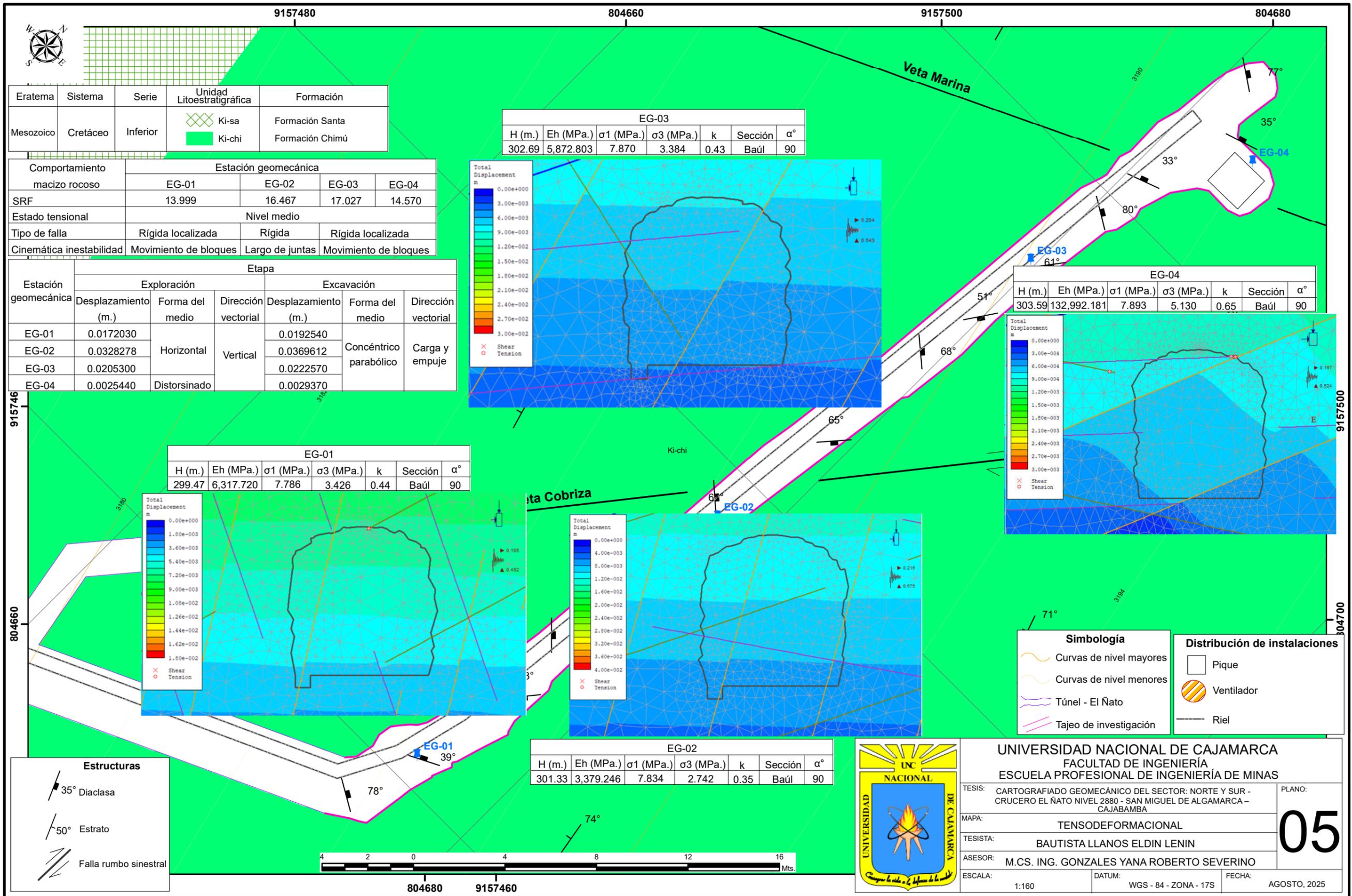
ASESOR: M.CS. ING. GONZALES YANA ROBERTO SEVERINO

ESCALA: 1:160

DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S

FECHA: AGOSTO, 2025

PLANO: **04**

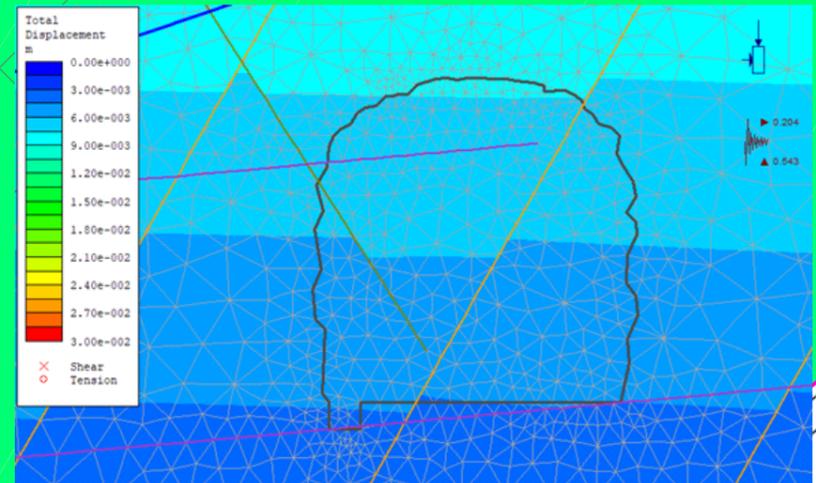


Eratema	Sistema	Serie	Unidad Litoestratigráfica	Formación
Mesozoico	Cretáceo	Inferior	Ki-sa Ki-chi	Formación Santa Formación Chimú

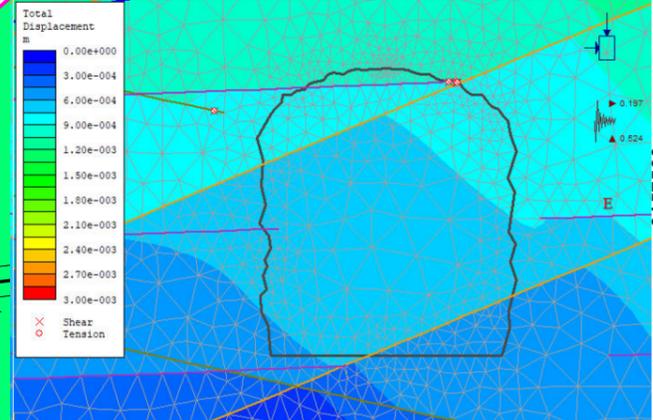
Comportamiento macizo rocoso	Estación geomecánica			
	EG-01	EG-02	EG-03	EG-04
SRF	13.999	16.467	17.027	14.570
Estado tensional	Nivel medio			
Tipo de falla	Rígida localizada	Rígida	Rígida localizada	
Cinemática inestabilidad	Movimiento de bloques	Largo de juntas	Movimiento de bloques	

Estación geomecánica	Etapa					
	Exploración			Excavación		
	Desplazamiento (m.)	Forma del medio	Dirección vectorial	Desplazamiento (m.)	Forma del medio	Dirección vectorial
EG-01	0.0172030	Horizontal	Vertical	0.0192540	Concéntrico parabólico	Carga y empuje
EG-02	0.0328278			0.0369612		
EG-03	0.0205300	Distorsinado		0.0222570		
EG-04	0.0025440			0.0029370		

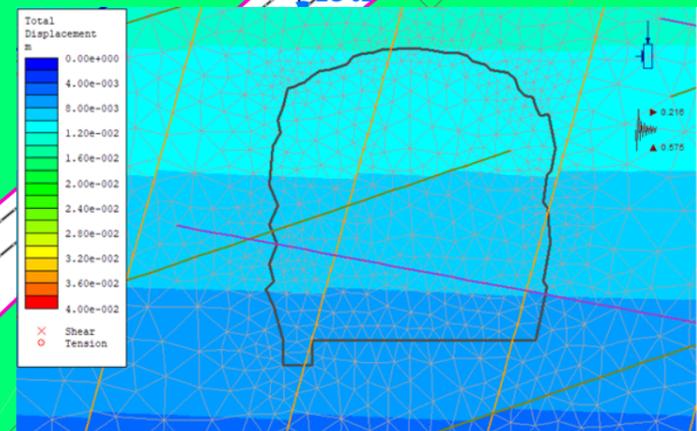
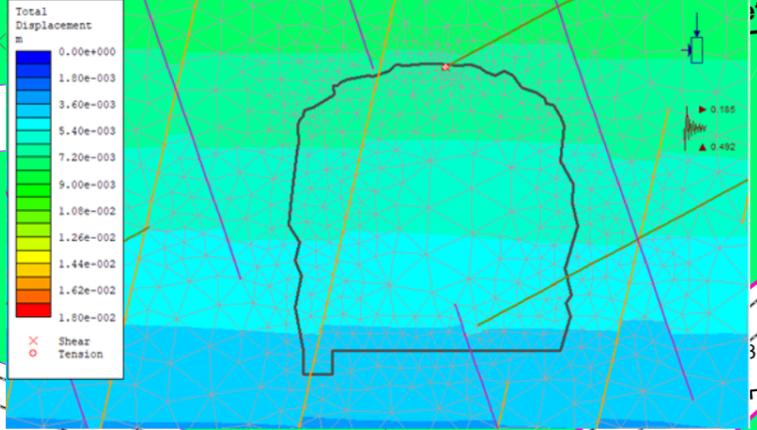
EG-03							
H (m.)	Eh (MPa.)	σ1 (MPa.)	σ3 (MPa.)	k	Sección	α°	
302.69	5,872.803	7.870	3.384	0.43	Baúl	90	



EG-04							
H (m.)	Eh (MPa.)	σ1 (MPa.)	σ3 (MPa.)	k	Sección	α°	
303.59	132,992.181	7.893	5.130	0.65	Baúl	90	



EG-01							
H (m.)	Eh (MPa.)	σ1 (MPa.)	σ3 (MPa.)	k	Sección	α°	
299.47	6,317.720	7.786	3.426	0.44	Baúl	90	



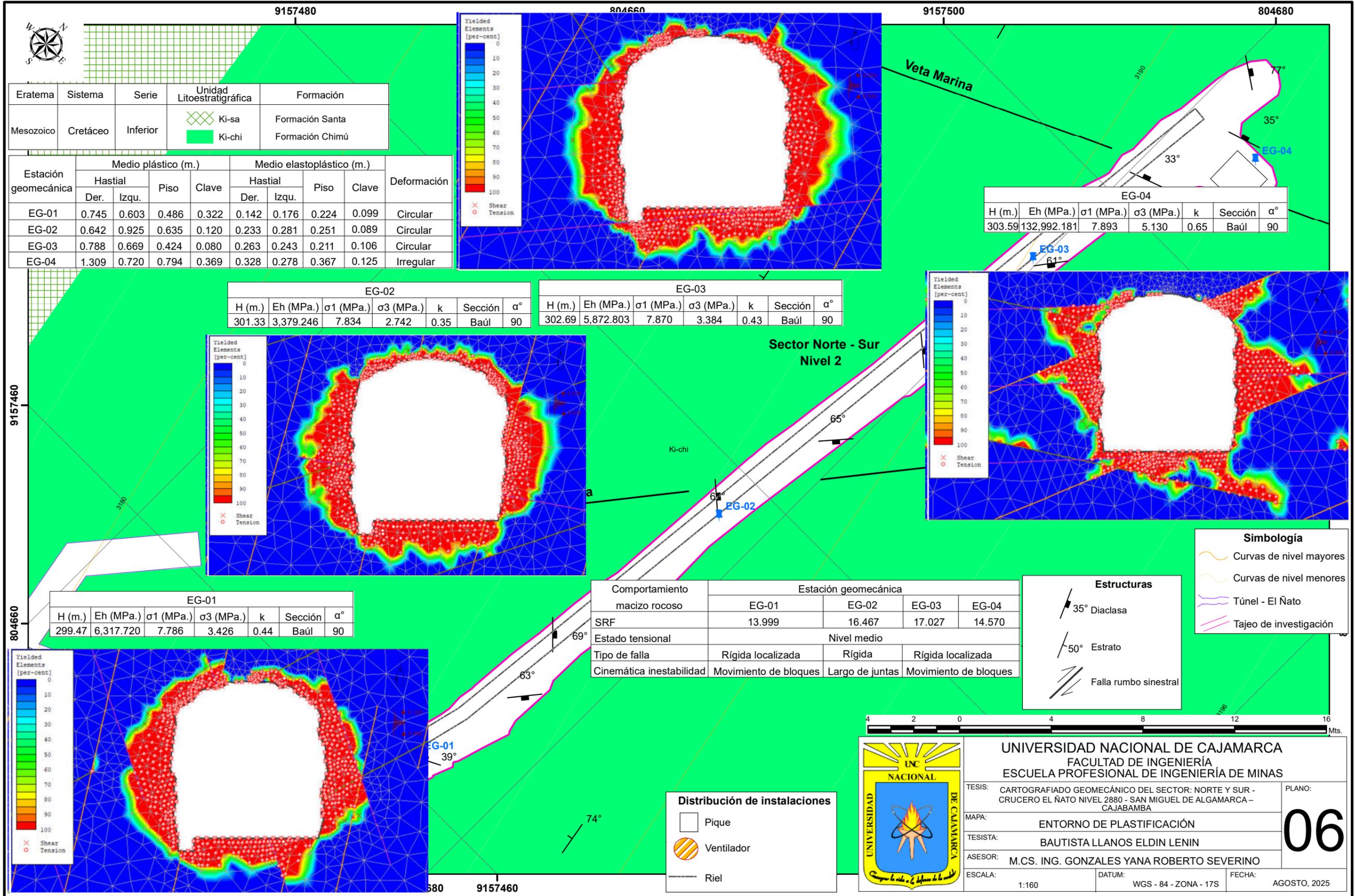
EG-02							
H (m.)	Eh (MPa.)	σ1 (MPa.)	σ3 (MPa.)	k	Sección	α°	
301.33	3,379.246	7.834	2.742	0.35	Baúl	90	

Simbología		Distribución de instalaciones	
	Curvas de nivel mayores		Pique
	Curvas de nivel menores		Ventilador
	Túnel - El Ñato		Riel
	Tajeo de investigación		

Estructuras	
	35° Diaclasa
	50° Estrato
	Falla rumbo sinistral



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		
TESIS: CARTOGRAFIADO GEOMECÁNICO DEL SECTOR: NORTE Y SUR - CRUCERO EL ÑATO NIVEL 2880 - SAN MIGUEL DE ALGAMARCA - CAJABAMBA	MAPA: TENSODEFORMACIONAL	PLANO: 05
TESISTA: BAUTISTA LLANOS ELDIN LENIN	ASESOR: M.CS. ING. GONZALES YANA ROBERTO SEVERINO	ESCALA: 1:160
DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S	FECHA: AGOSTO, 2025	



Eratema	Sistema	Serie	Unidad Litoestratigráfica	Formación
Mesozoico	Cretáceo	Inferior	Ki-sa	Formación Santa
			Ki-chi	Formación Chimú

Estación geomecánica	Medio plástico (m.)				Medio elastoplástico (m.)				Deformación
	Hastial		Piso		Hastial		Piso		
	Der.	Izqu.	Der.	Izqu.	Der.	Izqu.	Der.	Izqu.	
EG-01	0.745	0.603	0.486	0.322	0.142	0.176	0.224	0.099	Circular
EG-02	0.642	0.925	0.635	0.120	0.233	0.281	0.251	0.089	Circular
EG-03	0.788	0.669	0.424	0.080	0.263	0.243	0.211	0.106	Circular
EG-04	1.309	0.720	0.794	0.369	0.328	0.278	0.367	0.125	Irregular

EG-02							EG-03						
H (m.)	Eh (MPa.)	σ_1 (MPa.)	σ_3 (MPa.)	k	Sección	α°	H (m.)	Eh (MPa.)	σ_1 (MPa.)	σ_3 (MPa.)	k	Sección	α°
301.33	3,379.246	7.834	2.742	0.35	Baúl	90	302.69	5,872.803	7.870	3.384	0.43	Baúl	90

EG-04						
H (m.)	Eh (MPa.)	σ_1 (MPa.)	σ_3 (MPa.)	k	Sección	α°
303.59	132,992.181	7.893	5.130	0.65	Baúl	90

EG-01						
H (m.)	Eh (MPa.)	σ_1 (MPa.)	σ_3 (MPa.)	k	Sección	α°
299.47	6,317.720	7.786	3.426	0.44	Baúl	90

Comportamiento macizo rocoso	Estación geomecánica			
	EG-01	EG-02	EG-03	EG-04
SRF	13.999	16.467	17.027	14.570
Estado tensional	Nivel medio			
Tipo de falla	Rígida localizada	Rígida	Rígida localizada	
Cinématica inestabilidad	Movimiento de bloques	Largo de juntas	Movimiento de bloques	

Simbología	
	Curvas de nivel mayores
	Curvas de nivel menores
	Túnel - El Nato
	Tajeo de investigación

Estructuras	
	35° Diaclasa
	50° Estrato
	Falla rumbo sinistral

Distribución de instalaciones	
	Pique
	Ventilador
	Riel



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		
TESIS:	CARTOGRAFIADO GEOMECÁNICO DEL SECTOR: NORTE Y SUR - CRUCERO EL NATO NIVEL 2880 - SAN MIGUEL DE ALGAMARCA - CAJABAMBA	PLANO:
MAPA:	ENTORNO DE PLASTIFICACIÓN	06
TESISTA:	BAUTISTA LLANOS ELDIN LENIN	
ASESOR:	M.C.S. ING. GONZALES YANA ROBERTO SEVERINO	
ESCALA:	1:160	DATUM:
		WGS - 84 - ZONA - 17S
		FECHA:
		AGOSTO, 2025