

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



TESIS

**ESTALLIDO DE ROCAS DEL CRUCERO EL ÑATO, NIVEL 2880 - EMPRESA
MINERA HNS CONSORCIO S.R.L. SAN MIGUEL DE ALGAMARCA –
CAJABAMBA - CAJAMARCA**

Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO DE MINAS

Autor:

Bach. Leonardo Castrejon Chilon

Asesor:

M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca

Cajamarca – Perú

– 2024 –

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

- Investigador:** LEONARDO CASTREJON CHILON
DNI: 71658429
Escuela Profesional: INGENIERÍA DE MINAS
- Asesor:** M.Cs. Ing. VÍCTOR AUSBERTO ARAPA VILCA
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:** ESTALLIDO DE ROCAS DEL CRUCERO EL ÑATO, NIVEL 2880
- EMPRESA MINERA HNS CONSORCIO S.R.L. SAN MIGUEL DE ALGAMARCA – CAJABAMBA – CAJAMARCA.
- Fecha de evaluación:** 29/02/2024
- Software antiplagio:** TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 18%
- Código Documento:** oid:3117:336265137
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 01/03/2024



FIRMA DEL ASESOR

M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca
DNI: 29552145



Firmado digitalmente por:
FERNANDEZ LEON Yvonne
Katherine FAU 20148258801 soft
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 14/03/2024 15:48:41-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ser el pilar de mi vida y darme el conocimiento intelectual para haber realizado esta carrera profesional, también mi sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de Cajamarca, en especial a la escuela académico profesional de Ingeniería de Minas, por acogerme y compartir su capacidad intelectual universitaria, mediante sus catedráticos que brindaron conocimiento y experiencia en el mundo minero.

También agradezco al M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca, por aceptar y asesorarme para la realización y culminación de la tesis.

DEDICATORIA

A mi padre y a mi madre por ser el pilar fundamental de mi formación y también por brindarme sus consejos, aliento de superación, confianza y fortaleza para superar los obstáculos que la vida me propone. También dedico estas cortas palabras a mi abuelo hermano, hermana y a toda mi familia que me acompañaron constantemente con sus alientos de optimismo durante esta etapa de mi vida universitaria.

ÍNDICE

	Pág.
AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
LISTA DE ABREVIATURAS	vi
LISTA DE CUADROS	xii
LISTA FIGURAS	xiv
LISTA DE ANEXOS	xx
RESUMEN	xxi
ABSTRACT	xxii
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II	3
MARCO TEÓRICO	3
2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS	3
2.1.1 INTERNACIONALES.....	3
2.1.2 NACIONALES	4
2.1.3 LOCALES.....	5
2.2 BASES TEÓRICAS	7
2.2.1 CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS	7
2.2.2 ESTALLIDOS DE ROCAS	17
2.2.3 FLUENCIA DE DEFORMACIÓN (SQUEEZING).....	19
2.2.4 SOPORTE Y REFUERZO DE ROCA	21
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	22
CAPÍTULO III	25
MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1 UBICACIÓN	25
3.2 ACCESIBILIDAD	25
3.3 CLIMA Y METEOROLOGÍA	28

	Pág.
3.4	HIDROLOGÍA 29
3.5	HIDROGEOLOGÍA 32
3.6	GEOLOGÍA LOCAL 35
3.7	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL 39
3.8	SISMICIDAD 41
3.9	GEOMECÁNICA SUBTERRÁNEA 42
3.10	SOSTENIMIENTO GEOMECÁNICO 58
3.11	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 61
3.11.1	TIPO, NIVEL, DISEÑO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN 61
3.11.2	POBLACIÓN 62
3.11.3	MUESTRA..... 62
3.11.4	UNIDADES DE ANÁLISIS 62
3.11.5	DEFINICIÓN DE VARIABLES 62
3.11.6	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN..... 62
3.11.7	MATERIALES Y EQUIPOS 63
	CAPÍTULO IV 65
	DISCUSIÓN DE RESULTADOS 65
4.1	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS 65
4.2	CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS 73
	CAPÍTULO V 74
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 74
5.1	CONCLUSIONES 74
5.2	RECOMENDACIONES 75
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 76
	ANEXOS 83

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.
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.
ISRM	:	Sociedad internacional de mecánica de rocas.
HNS	:	Hildebrando, Nahum y Salomon.
S.R.L.	:	Sociedad comercial de responsabilidad limitada.
GEMM	:	Unidad formuladora de colonias, gránulo, eritro, mega y Monocitarias.
S.A.	:	Sociedad anónima.
S.A.C.	:	Sociedad anónima cerrada.
AIME	:	Asociación de ingenieros de minas del Ecuador.
GEMMA	:	Grupo de estándares para movimientos de masas.
PES	:	Criterio de energía de deformación elástica.
NPMC	:	North Perú Mining Corporation.
TH-29	:	Cimbra de acero.
CX	:	Crucero.
3th	:	Edición de libro.
ISSN	:	Número internacional normalizado de publicaciones seriadas.
Ingeopres	:	Actualidad técnica de ingeniería civil, minería, geología y medio ambiente.
SASPlanet	:	SAS.Planeta.
EFNARC	:	European Federation of National Associations Representing for Concrete.
CMET	:	Complejo máfico el teniente.
UCR	:	Universidad de Costa Rica.
RSN	:	Red sismológica nacional.

SH	:	Shotcrete.
PH	:	Perno helicoidal.
M	:	Malla.
@	:	Cada.
MC	:	Morh-Coulomb.
HB	:	Hoek-Brown.
UCS	:	Resistencia a la compresión uniaxial.
ν	:	Módulo de Poisson.
σ_{θ}	:	esfuerzo tangencial.
σ_{ci}	:	Resistencia a la compresión uniaxial.
$\sigma_{3m\acute{a}x}$:	Tensión de confinamiento.
σ'_{t}	:	Resistencia a la tracción.
σ'_{ct}	:	Resistencia global.
σ_1	:	Esfuerzo principal mayor.
σ_3	:	Esfuerzo principal menor.
T	:	Esfuerzo de corte.
σ_n	:	Esfuerzo normal.
σ'_{cm}	:	Resistencia del macizo rocoso.
mi	:	Constante de Hoek & Brown.
mb	:	Constante de Hoek & Brown.
s, a	:	Constantes de Hoek & Brown.
c	:	Cohesión.
φ	:	Ángulo de fricción.
Ei	:	Módulo de deformación de laboratorio de la matriz rocosa.
Em	:	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.
IV-A....	:	Clasificación geomecánica romana.
CB	:	Criterio de Barla.
Q	:	Índice de calidad tunelera

Jn	:	Número de familias diaclasadas.
Jr	:	Número de rugosidad de las diaclasadas.
Ja	:	Número de alteración de las diaclasadas.
Jw	:	Factor de reducción por agua de las diaclasas.
SRF	:	Factor de reducción de tensiones.
Z o H	:	Altura de sección subterránea.
De	:	Diámetro equivalente del túnel.
ESR	:	Relación de soporte de la excavación.
CCA	:	Revestimiento con concreto.
RRS	:	Espaciado relacionado con el valor de Q.
Sfr	:	Espesor del concreto lanzado reforzado con fibras.
RMi	:	Índice del macizo rocoso.
Vb	:	Volumen de bloque.
CF	:	Factor de continuidad
Gc	:	Factor de calidad.
Sr	:	Factor de escala.
Dt	:	Diámetro o luz del túnel.
Wt	:	Altura de túnel.
Db	:	Diámetro equivalente de bloque.
Vb	:	Volumen de bloque.
Nj	:	Factor de ajuste por número de familias de diaclasas.
SL	:	Nivel tensional.
JC	:	Factor de estado de las diaclasas.
JR	:	Factor de rugosidad de las juntas.
JA	:	Factor de alteración de juntas.
JL	:	Factor de tamaño y continuidad de las diaclasas.
JP	:	Parámetro de diaclasado.
Lbpc	:	Longitud del bulón promedio comercial.
Ts	:	Criterio de tensión tangencial.
B	:	Criterio de fragilidad de rocas.
Y	:	Peso específico de la roca.
σ_{mass}	:	Resistencia a la compresión uniaxial de masa rocosa.
ε	:	Elasticidad.

Pi	:	Plastificación inicial.
Pf	:	Plastificación final.
E.30	:	Norma técnica.
Z3	:	Zona sísmica
g	:	Gravedad.
S0, S1...	:	Tipo de suelo.
TNT	:	Trinitrotolueno.
TP	:	Periodo que define la plataforma de factor C.
TL	:	Periodo que define el inicio de la zona del factor C. con desplazamiento constante.
Sh	:	Sísmica horizontal.
Sv	:	Sísmica vertical.
Z	:	Profundidad.
m o k	:	Coefficiente de reparto de tensiones.
α	:	Ángulo de orientación tensional.
I,II....	:	Clase o tipo de roca.
R2, R3..	:	Grado de estimación de roca.
λ	:	Landa.
L	:	Longitud.
Hp	:	Altura de carga.
Ht	:	Altura de túnel.
W1	:	Peso de carga de roca.
B1	:	Ancho de la zona de roca donde existe movimiento.
B	:	Luz de túnel.
J1	:	Número de discontinuidades.
D-1	:	Número de junta.
et al.,	:	Y otros.
15-g	:	Cuadrángulo geológico.
Az.	:	Azimut.
Bz.	:	Buzamiento.
D	:	Dip.
DD	:	Dip direction.
FS	:	Factor de Seguridad.

Pág.	:	Página
N°	:	Número.
Vol	:	Volumen.
MPa	:	Mega pascales.
Gr.	:	Gramo.
N	:	Newton.
GPa	:	Giga pascales
KJ	:	KiloJoule.
Kg.	:	Kilogramos.
Ma.	:	Millones de años.
R	:	Ridel.
R´	:	Antiridel.
bs-MBT	:	Bosque seco Montano Bajo Tropical.
bh-MT	:	Bosque húmedo Montano Tropical.
PK.	:	Punto de kilometraje.
Pi.	:	Punto de inicio.
Picx	:	Punto de inicio crucero.
Au	:	Oro.
Ag	:	Plata.
Cu	:	Cobre.
TM	:	Toneladas métricas.
Km.	:	Kilómetro.
m.	:	Metro.
cm.	:	Centímetro.
mm.	:	Milímetro.
m2.	:	Metros cuadrados.
m3.	:	Metros cúbicos.
dm3.	:	Decímetros cúbicos.
cm2.	:	Centímetros cuadrados.
Pulg.	:	Pulgadas.
Km2.	:	Kilómetros cuadros.
s	:	Segundo.
Min	:	Minutos.

h	:	Hora.
Lts	:	Litros.
%	:	Porcentaje.
>	:	Mayor.
<	:	Menor.
D	:	Diámetro de madero.
2D....	:	Modelo digital de excavación.
Nv	:	Nivel de excavación subterránea.
UEA	:	Unidad operativa retamas.
EG-1	:	Estación geomecánica.
msnm.	:	Metros sobre el nivel del mar.
Tamb (°C)	:	Temperatura ambiente.
Texcav (°C)	:	Temperatura de excavación.
TF (°C)	:	Temperatura final
NFF	:	Nivel freático de agua fría.
NFC	:	Nivel freático de agua caliente.
MC-1	:	Microcuenca.
m/m	:	Pendiente.
Tc	:	Tiempo de concentración.
I	:	Intensidad de precipitación.
N	:	Norte.
S	:	Sur.
E	:	Este.
W	:	Oeste.

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 2.1. Índice de calidad de la roca (RQD).	8
Fuente: Deere (1967).	
Cuadro 2.2. Orientación de las discontinuidades en el túnel.	8
(Bieniawski, 1989).	
Fuente: González (2002).	
Cuadro 2.3. Calidad de macizo rocosos en relación con el	9
Índice RMR ₈₉ .	
Fuente: González (2002).	
Cuadro 2.4. Clasificación modificada de Bieniawski subclases.....	9
y comparación con la original.	
Fuente: Romana (2003).	
Cuadro 2.5. Valoraciones del Índice de calidad Q.	13
Fuente: Barton, Lien y Lunde (1974).	
Cuadro 2.6. Índice del macizo rocoso RMI.	15
Fuente: Gavilanes y Andrade (2004).	
Cuadro 2.7. Clasificación de Terzaghi.	16
Fuente: Hoek y Brown (1985).	
Cuadro 2.8. Probabilidad de riesgo por energía potencial de	17
deformación elástica.	
Fuente: Kwaśniewski, Szutkowski y Wang (1994).	
Cuadro 2.9. Probabilidad de riesgo de estallido de rocas.	18
Fuente: Wang, Li, y Li (1998).	
Cuadro 2.10. Probabilidad de riesgo estallido de rocas por	18
fracturamiento.	
Fuente: Deere (1963).	
Cuadro 2.11. Probabilidad de fragilidad de estallido de rocas.	19
Fuente: Qiao y Tian (1998).	
Cuadro 2.12. Grados de squeezing – Barla.	20
Fuente: Barla (1995).	
Cuadro 2.13. Grados de squeezing.	21
Fuente: Hoek y Marinos (2000).	

	Pág.
Cuadro 3.1. Acceso a la zona de estudio – Bocamina El Ñato.	25
Cuadro 3.2. Variación de la temperatura en la excavación subterránea – El Ñato.	29
Cuadro 3.3. Precipitación máxima de la zona de estudio – estación Cachachi.	31
Cuadro 3.4. Parámetros hidrológicos - microcuenca El Ñato.	31
Cuadro 3.5. Aceleración sísmica: Horizontal y vertical en Las estaciones geomecánicas.	42
Cuadro 3.6. Variables independientes y dependientes	62
Cuadro 4.1. Constantes elásticas del basamento rocoso.	69
Cuadro 4.2. Campo tensional de esfuerzos in situ – teoría de..... Sheorey	69
Cuadro 4.3. Valoración cuantitativa y cualitativa – clasificaciones geomecánicas.	70
Cuadro 4.4. Comportamiento tensional del basamento..... rocoso por mecanismos de falla.	71
Cuadro 4.5. Variabilidad del campo tensodeformacional y concentración de tensiones en la excavación subterránea.	72
Cuadro 4.6. Criterios de estallido de rocas.....	72
Cuadro 5.1. Registro geológico geotécnico, EG-1.....	85
Cuadro 5.2. Registro geológico geotécnico, EG-2.....	86
Cuadro 5.3. Registro geológico geotécnico, EG-3.....	87
Cuadro 5.4. Registro geológico geotécnico, EG-4.....	88
Cuadro 5.5. Registro geológico geotécnico, EG-5.....	89
Cuadro 5.6. Registro geológico geotécnico, EG-6.....	90

LISTA FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. C. Vallejo, 2011. Caracterización del macizo rocoso10 según GSI modificado. Fuente: Osinergmin (2017).	10
Figura 2.2. Gráfico de selección de soporte, de Grimstad y12 Barton con la adición de correlaciones alternativas entre RMR y Q, de Barton. Fuente: Tunnels & tunnelling international (2008).	12
Figura 2.3. Sostenimiento para terrenos diaclasados14 (en bloques), incluyendo zonas débiles. Fuente: Palmstrom (2000).	14
Figura 2.4. Diagrama simplificado que representa el.....16 movimiento de roca suelta hacia el túnel y la transferencia de carga a la roca circundante. Fuente: Gavilanes y Andrade (2004).	16
Figura 2.5. A. Ejemplo de túnel avanzado mediante métodos de22 perforación y voladura de cara completa con marcos de acero enlazados que se instalan después de cada ciclo de limpieza. B. Curvas de presión - desplazamiento del soporte radial para la masa rocosa y el sistema de soporte (Daemen, 1977). Fuente: Brady y Brown (2006).	22
Figura 3.1. Emboquille del cruce El Ñato, compuesto y26 estabilizado con muros de concreto armado.	26
Figura 3.2. A. Ruta de acceso: Cajamarca – San Miguel37 de Algamarca (Cajabamba) Fuente: Google Maps (2022)	37
Figura 3.3. Diagrama meteorológico en relación: Temperatura 29 (Máxima y mínima) y precipitación meses/año. Fuente: SENAMHI (2022-2023)	29
Figura 3.4. Río Cañaris se ubica a 700 m. de distancia de.....30	30

	bocamina El Ñato, con orientación SSE-NNW, evacuando sus aguas al río Crisnejas.	
Figura 3.5.	Precipitación máxima – 24 horas, estación Cachachi.	31
	Fuente: SENAMHI (2019-2022)	
Figura 3.6.	Histograma estadístico relacionado frente a la Precipitación (mm) vs. años.	32
	Fuente: SENAMHI (2019-2022)	
Figura 3.7.	Captación del Nivel Freático de agua caliente mediante entubación de acero horizontal ubicado en el hastial izquierdo del Pi + 240.50 m., de la Formación Carhuaz a altura 0.30 m. del nivel de rasante de la galería principal.	33
Figura 3.8.	Nivel Freático de agua caliente, ubicado Pi + 312.90 m. del hastial derecho drenando con orientación SW en relación de los planos de estratificación.	34
Figura 3.9.	Sección ubicada desde Pi + 322.10 m. al 373.15 m., presentando filtraciones de agua fría de la clave y hastiales. Por lo contrario, también presenta nivel freático de agua caliente, que filtran de ambos hastiales por los planos de estratificación, a altura 0.50 m. de la rasante.	34
Figura 3.10.	A. Contacto entre la Formación Santa y Chimú, de orientación Az = N155° y Bz = 58°SW, en el Pi + 791.35 m. B. Limolitas de color negruzco con secuencias intercalas de lutitas de textura laminar de grano fino, con grosor de 0.05 m. a 0.10 m. C. Arenisca cuarzosa de color blanquecino de grano medio.	36
Figura 3.11.	Presenta secuencias de limolitas y lutitas grises a bituminosas, con orientación Az = N150° y Bz = 60°SW, de grosor 0.07 m. a 10 m. en el Pi + 154 m.	37
Figura 3.12.	A. Emplazamiento del dique dacítico, en la Formación.....	38

	Carhuaz ubicado en el Pi + 190.85 m. B. Muestra máfica de dacita de textura afanítica de color negruzco con alto vidrioso - plagioclasas, procedentes de magmas profundos de enfriamiento rápido.	
Figura 3.13.	A. Riolita con fenocristales de cuarzo, oligoclasa, y sanidina, con bajas proporciones de plagioclasas y biotita, constituyendo roca félsica de color blanquecino de textura fanerítica, ubicado Pi + 220 m. B. Andesita se ubica Pi + 169.41 m. de color gris verduzco textura fanerítica.	39
Figura 3.14.	Replegamiento de limolitas de la Formación Carhuaz, en espesor: 2.50 m. a 3.50 m.; ubicándose en el hastial derecho del Pi + 427.15.	41
Figura 3.15.	A. Relación de esfuerzo Hoek-Brown: Mayor Menor. B. Esfuerzo: Corte y normal (Mohr-Coulomb); aplicando el método equivalencia de áreas y línea de Mogi's. Estación geomecánica EG-01.	43
Figura 3.16.	Aureolas tensodeformacionales del FS alrededor del túnel, cambiando la estabilidad de los hastiales en función del esfuerzo de corte y normal, EG-01.	44
Figura 3.17.	Comportamiento del campo tensional alrededor de la sección en función de medio: Plástico, elastoplástico y elástico, con variabilidades: 0.468 m. a 0.667 m., EG-01.	44
Figura 3.18.	A. Relación de esfuerzo Hoek-Brown: Mayor vs. Menor. B. Esfuerzo: Corte y normal (Mohr-Coulomb); aplicando el método equivalencia de áreas y línea de Mogi's. Estación geomecánica EG-02.	45
Figura 3.19.	Aureolas tensodeformacionales relacionadas con el	46

FS alrededor del túnel, concentrándose y propagándose los esfuerzos en corte en los hastiales, ocasionando cada vez mayor grado de fracturamiento, y empuje del esfuerzo horizontal; en cambio, la clave y piso, su concentración es muy baja no generando debilitamiento de la sección del túnel de la EG-02.

- Figura 3.20. Variabilidad del medio: Plástico, elastoplástico y.....46
elástico, alrededor de la excavación subterránea, generando mayor deformación plástica en los hastiales generando desprendimiento rocas limolitas de profundidad horizontal: 1.20 m. a 1.30 m. del medio plástico y 0.35 m. a 0.50m. medio elastoplástico de la estación EG-02.
- Figura 3.21. A. Relación de esfuerzo Hoek-Brown: Mayor vs.....58
Menor. B. Esfuerzo: Corte y normal (Morh-Coulomb); aplicando el método equivalencia de áreas y línea de Mogi's. Estación geomecánica EG-03.
- Figura 3.22. Cambios tensodeformacionales alrededor del túnel.....49
basado en el FS, generando debilitamiento del basamento rocoso (Esfuerzo: Corte y Normal) EG-03.
- Figura 3.23. Afectación por el medio plástico deformándose.....49
3.50 m. alrededor de la excavación subterránea, ocasionando debilitamiento constante del túnel EG-03.
- Figura 3.24. A. Relación de esfuerzo Hoek-Brown: Mayor vs.....51
Menor. B. Esfuerzo: Corte y normal (Morh-Coulomb); aplicando el método equivalencia de áreas y línea de Mogi's. Estación geomecánica EG-04.

	Pág.
Figura 3.25. Esfuerzos alrededor del túnel con $FS < 1.50$,.....	52
debilitamiento progresivamente al basamento	
rocoso los esfuerzos compresivos alrededor del	
túnel EG-04.	
Figura 3.26. Sección del túnel inestable, ocasionando.....	52
desprendimiento de rocas por la mala	
calidad del basamento rocoso, proyectándose	
5.60 m. de deformación EG-04.	
Figura 3.27. A. Relación de esfuerzo Hoek-Brown: Mayor vs.....	54
Menor. B. Esfuerzo: Corte y normal (Morh-	
Coulomb); aplicando el método equivalencia de	
áreas y línea de Mogi's. Estación geomecánica	
EG-05.	
Figura 3.28. Cambios tensionales alrededor de la excavación,.....	55
generando esfuerzos: Normales y cortantes,	
formando una aureola 0.50 m. a 0.70 m., EG-05.	
Figura 3.29. Sección del túnel inestable, ocasionando.....	55
desprendimiento de rocas por la mala calidad	
del basamento rocoso, proyectándose 7.80 m.	
de deformación EG-05.	
Figura 3.30. A. Relación de esfuerzo Hoek-Brown: Mayor vs.....	56
Menor. B. Relación: Corte y normal (Morh-	
Coulomb); aplicando el método equivalencia de	
áreas y línea de Mogi's. Estación geomecánica	
EG-06.	
Figura 3.31. Aureolas tensionales alrededor de la excavación.....	57
subterránea generando cambios tensionales:	
Cortantes y normales, debilitamiento los hastiales,	
generando zonas inestables con $FS < 1.50$.	
Figura 3.32. Comportamiento tensodeformacionales de la.....	57
Sección subterránea, generando variaciones	
alrededor de la sección proyectando distancias:	

	0.75 m. a 0.85 m. en los hastiales, generando esfuerzos horizontes de empuje compresivo.	
Figura 3.33.	Sostenimiento por cuadros de maderos cónicos.....	59
	desde: Pi + 4.20 m. al 141.50 m., de madera de eucalipto de diámetro de 0.30 m. categorizándolo como roca de mala calidad: RQD = 44.81, RMR = 38, GSI = 33, Q = 3.94 y RMi = 8.22.	
Figura 3.34.	Cuadros rectos compuesto de maderos de eucalipto.....	59
	desde: Pi + 193.60 m. al 200.50 m., con un diámetro de 0.35 m. categorizándolo como roca de mala calidad.	
Figura 3.35.	Tope de galería principal formando bypass, ubicado.....	60
	Pi + 815 m., cortando a la Formación Chimú, categorizándolo como roca de buena calidad: RQD = 83.72, RMR = 76, GSI = 71, Q = 18.60 y RMi = 58.20.	
Figura 3.36.	Estabilización con concreto armado del emboquille.....	60
	El Ñato y la excavación subterránea desde el Pi + 0.0 m al 4.20 m.	

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A : Autorización de la empresa.....	87
Anexo B : Registro geológico geomecánico.....	88
Anexo C : Planos	94

RESUMEN

El Crucero El Ñato está ubicado en el centro poblado San Miguel de Algamarca, distrito de Cachachi, provincia de Cajabamba y departamento de Cajamarca. Geográficamente se ubica en el flanco izquierdo de la cadena montañosa Occidental Andina, delimitada por el flanco izquierdo del anticlinal de Algamarca con $Az = N125^\circ$ y esfuerzos compresivos de orientación: NNE-SSW a NE-SW, dicha sección subterránea está emplazada en el Cretáceo Inferior en las Formaciones: Chimú, Santa y Carhuaz y cuerpo intrusivo, generando redistribuciones tensionales alrededor de la sección; siendo la infiltración un aspecto hidrogeológico que afecta notoriamente el entorno del medio plástico, la investigación tiene como objetivo principal: analizar el estallido de rocas del crucero El Ñato, Nivel 2880 - Empresa Minera HNS Consorcio S.R.L., San Miguel de Algamarca – Cajabamba – Cajamarca, por lo tanto, la investigación es de tipo cuantitativo, transversal y diseño no experimental. Para reportar los cambios tensodeformacionales se usó el software RS², generando estallidos de rocas, plasmando aureolas: semicirculares, elípticas y homogéneas, en la sección del túnel plasmados en la clave, hastiales y contrabóveda, por afectación de medio plástico desde 0.67 m. a 1.80 m., de acuerdo a la calidad de roca, con valores 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, geomecánicamente cuantificándolas desde rocas de calidad: mala, media y buena.

Palabras claves: Geomecánica, sostenimiento, estallido de roca, litología y resistencia.

ABSTRACT

The Cruise El Ñato is located in the town center of San Miguel de Algamarca, district of Cachachi, province of Cajabamba and department of Cajamarca. Geographically it is located on the left flank of the Western Andean mountain range, delimited by the left flank of the Algamarca anticline with $Az = N125^\circ$ and compressive stresses of orientation: NNE-SSW to NE-SW, said underground section is located in the Lower Cretaceous in the Formations: Chimú, Santa and Carhuaz and intrusive body, generating tension redistributions around the section; Infiltration being a hydrogeological aspect that significantly affects the environment of the plastic environment, the main objective of the research is: to analyze the rock burst from the El Ñato cruise ship, Level 2880 - Empresa Minera HNS Consorcio S.R.L., San Miguel de Algamarca – Cajabamba – Cajamarca, Therefore, the research is quantitative, cross-sectional and non-experimental in design. To report the stress-deformational changes, the RS2 software was used, generating rock bursts, capturing halos: semicircular, elliptical and homogeneous, in the section of the tunnel reflected in the keystone, gables and countervault, due to the impact of plastic medium from 0.67 m. to 1.80 m., according to the quality of the rock, with RMI values: E-1 = 8.224 - plastic deformation, E-2 = 8.535 – Low stresses, E-3 = 6.310 - Low stresses, E-4 = 4.720 - Low stresses, E-5 = 6,660 – Swelling and E-6 = 58,202 – Gradual rupture, geomechanically quantifying them from quality rocks: bad, medium and good.

Keywords: Geomechanics, support, rock burst, lithology and resistance.

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

El crucero El Ñato se ubica en el Centro Poblado de San Miguel de Algamarca, distrito de Cachachi, provincia de Cajabamba y departamento de Cajamarca, al SE de la ciudad de Cajamarca; la empresa minera HNS CONSORCIO S.R.L., realizó la excavación subterránea para conectar con las labores de los niveles superiores para realizar la recuperación de Au, Ag, Cu y óxidos recuperando así la mineralización y rentabilidad del yacimiento.

El Cx – 126 El Ñato está emplazada en el Cretáceo Inferior, en las Formaciones Chimú, Santa, Carhuaz, y cuerpo intrusivo, generando redistribuciones tensionales alrededor de la sección subterránea, ubicada en el flanco izquierdo del anticlinal de Algamarca, conformadas por fallas, diaclasas, juntas; siendo la infiltración un aspecto hidrogeológico que afecta notoriamente el entorno del medio plástico de la sección subterránea; sin embargo, los estallidos de rocas están ocurriendo constantemente por la carga litostática ocasionando deformaciones y desprendimiento de rocas constante que lo evidencian los trabajadores, generando inseguridades en secciones por la calidad de roca que conforma la sección subterránea.

Para ello se formuló la siguiente pregunta ¿Cómo se desarrolla el estallido de rocas en el crucero El Ñato, Nivel 2880 - empresa minera HNS CONSORCIO S.R.L., San Miguel de Algamarca – Cajabamba – Cajamarca?

Obteniendo la siguiente hipótesis, que la excavación subterránea del crucero El Ñato presenta estallidos de rocas manifestadas por deformaciones y desprendimiento de rocas, afectando a la matriz rocosa, influenciadas por variables litológicas, geoestructurales, precipitación, infiltración y tensiones en la periferia de la excavación, concluyendo que dicha sección presenta rocas de calidad buena a mala, sugiriendo la utilización de sostenimiento por cimbras, cuadros de madera cónicos y rectos, minimizando el estallido de rocas y aumentando el factor de seguridad de la matriz rocosa.

Dicha investigación se justifica, que con el surgimiento de las minas subterráneas en la actualidad es necesario prevenir la ocurrencia del estallido de rocas, y así mejorar la seguridad del crucero, siendo necesario obtener valores numéricos cualitativos y

cuantitativos de las variables litológicas, geoestructurales, precipitación, infiltración y tensionales, que están afectando progresivamente la estabilidad de la sección, por lo que la presente investigación tiene como objetivo general: Analizar el estallido de rocas del cruceo El Ñato, Nivel 2880 - Empresa Minera HNS Consorcio S.R.L., San Miguel de Algamarca – Cajabamba – Cajamarca y como objetivos específicos: realizar el cartografiado litológico – geoestructural, determinar la caracterización geomecánica, analizar los estados tensionales mediante el software Phase 8, obtener valores cuantitativos y cualitativos mediante el método RMI, determinar el tipo de sostenimiento.

Descripción de los contenidos de los capítulos: el Capítulo I abarca la introducción y su desarrollo, el Capítulo II se describe los antecedentes internacionales, nacionales y locales, también las bases teóricas y definición de términos básicos relacionados con la presente investigación; el Capítulo III abarca la ubicación, accesibilidad, clima y vegetación, hidrogeología, geología regional, geología local, sismicidad, geomecánica subterránea, sostenimiento geomecánico y la metodología de la investigación, el Capítulo IV está relacionado con el análisis y discusión de resultados, y el Capítulo V describe las conclusiones con respecto a los objetivos de la presente investigación, las recomendaciones, las referencias bibliográficas y los anexos.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1.1 INTERNACIONALES

Arlandi, Bernardo y Jordá (2013), mediante el análisis “Predicción empírica del Strainburst y Squeezing en galerías profundas”, concluye que las rocas son capaces de acumular suficiente energía deformacional para facilitar el fenómeno de estallido de rocas, de acuerdo con Criterios de Barla (1995), Hoek (1980) y Goel (1994), aplicados coinciden en indicar que son previsibles los fenómenos de squeezing; sin embargo, presentan riesgos de estallido como: No probable (PK. 00+000 – PK. 04+514), posible en alguna zona (PK. 04+514 – PK. 07+747), posible (PK. 07+747– PK. 08+506) y muy posible (PK. 08+506 – PK. 08+863).

Betancur y López (2019), realizó “Caracterización y clasificación geomecánica del macizo rocoso 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”, deduce que la alteración hidrotermal que predomina en la roca caja es argílica, mediante la clasificación geomecánica: RMR y Q; el RMR fue categorizado: Buena (CB-02, CB-05, CB-07, CB-08 y CB-09), regular (CB-01, CB-04 y CB-06) y mala (CB-03 y CB-10); y el Q clasificado como: Muy buena (CB-09), buena (CB-02, CB-05, CB-07 y CB-08), regular (CB-03 y CB-04) y pobre (CB-01, CB-06 y CB-10).

Gómez (2022), realizó “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”. Dicha investigación está representada por cinco discontinuidades D/DD: 85/173, 54/180, 85/265, 35/249 y 70/335; geomecánicamente muestra cuatro litologías: Basalto, Chert negro, sulfuro y dique que corresponden a macizos de calidad regular a mala, con sostenimiento geomecánico para el Basalto - tipo: 1 (SH2''+M(Gdt) + PH@1.20x1.20 + SH1'') y 2 (SH2''+M(Gdt) + PH@1.50x1.50 + SH1''), Chert negro - tipo 2 (SH2'' + M(Gdt) + PH@1.20x1.20 + SH1''), sulfuro tipo 1 (SH2''+M(Gdt) + PH@1.20x1.20 + SH1'') y dique - tipo 2 (M(Gdt) + PH@1.20x1.20 + SH1'').

Lostalé (2011), investigó “La central hidroeléctrica subterránea San Esteban II”. Geomecánicamente lo define como dique de espesor: 3 m. a 4 m. del tipo continuo; por consiguiente, la calidad del macizo rocoso granítico presenta fuertes variaciones RMR: 40 a 70, mientras el índice de calidad Q fluctúa entre: 0.50 a 20, con resistencia a la compresión de la roca: 35 MPa a 105 MPa., en cambio los cuatro diques tienen RMR entre: 30 a 45 (calidad mala a regular) mientras el Q de Barton con valores: 0.20 a 1.50 (calidad muy mala a mala) y resistencia a compresión simple: 5 MPa a 53 MPa. Aplicándose sostenimiento para el granito por: Shotcrete 0.15 m. de espesor, bulones 32 mm. y longitud 10 m. en cuadrícula 1 m. x 1 m.; y el dique se reforzó hasta 1.00 m. de profundidad, colocando doble malla electrosoldada de acero: 150 x 150 x 12 mm. entre capas de shotcrete y bulones 0.50 m x 0.50 m.

2.1.2 NACIONALES

La investigación “Experiencias para mitigación de estallido de roca: Proyecto hidroeléctrico Cheves (Perú)”. Constituido por 20 Km. de túnel y dos cavernas ocasionando liberación de tensiones desde liberación acústica a violentos estallidos de roca, conformando 850 eventos de liberación de tensiones; con geoestructuras de discontinuidades (D/DD): J1 (13/294), J2 (41/285), J3 (52/159) y J4 (78/142), confirmando el estallido de rocas están fuertemente controladas por las estructuras geológicas; y de acuerdo a los análisis presenta juntas sub-horizontales buzando hacia el hastial izquierdo y, juntas sub-verticales buzando hacia el hastial derecho del túnel se deben considerar como un signo de alerta de posibles eventos de relajación de tensiones. (Veyrat et al., 2017).

Salazar y Córdova (2013), realizó “Geomecánica del minado masivo tajeos por subniveles con pilares corridos en mina Marcapunta Norte – Sociedad Minera El Brocal”. Realizando la zonificación del macizo rocoso del yacimiento está formado por 3 sistemas de discontinuidades: N9°W/11°NE, N8°W/80°NE y N87°E/82°NW; con bajos niveles de agua subterránea observados por: humedad y goteo, teniendo influencia significativa sobre la estabilidad de la excavación. Los esfuerzos verticales: 2.34 MPa a 3.12 MPa, con coeficiente de reparto tensional: 0.90 a 1.10, considerando profundidad de excavación de orientación S-N de 90 m. a 120 m. Los resultados geomecánicos mostraron tajeos: 7 m. y 10 m de ancho, con cámaras: 8 m. y 10 m. de ancho, con pilares corridos: 19 m. y 30 m. de altura de los tajeos y con longitudes entre 30 m. y 53 m.

Valencia (2021), realizó “Diseño de sostenimiento dinámico para mitigar los estallidos de rocas”. Las zonas críticas estuvieron situadas entre los niveles: NV.1200, NV.1500, NV.2300 y NV.3000, el estallido de rocas según Kwasniewski (PES) corresponden a valores: 78.53 KJ/m³. a 206.11 KJ/m³., de riesgo moderado a alto; mediante los ensayos servocontrolados. Por lo contrario, mediante el criterio Wang (1988), se obtuvo valores entre: 0.26 a 0.30, correspondiendo a riesgo débil a moderado. Sin embargo, Sing H, (1982) correlacionado con el Q, define que se encuentra el umbral de acumulación de energía; y Goet et al., (1995) ubica de moderada a severa. En cambio, los cartografiados geológicos-geomecánicos muestran RQD entre: 50% a 75%, indicando bajo fracturamiento propenso a almacenar energía con alta probabilidad de generar estallido de rocas.

Cusi (2022), realizó “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”. La caracterización geomecánica lo definió como roca mala, tipo de roca IV-A con RMR = 36, con UCS = 90 MPa. a 100 MPa. Presentando 2 escenarios de sostenimiento: actual - Shotcrete 2'', malla electrosoldada, perno helicoidal de 8' y shotcrete 2'' sobre malla electrosoldada; y propuesto - instalación cables bolting con espaciado 2.00 m. x 2.00 m. y longitud de cable 4.00 m. Clasificándolos: Galería 9150: AS (FS sin CB 1.50 y FS con CB 2.70, variación 80%) y AN (FS sin CB 1.80 y FS con CB 3.20, variación 78%); y Crucero XC 10173 (FS sin CB 1.20 y FS con CB 2.10, variación 75%) y Crucero XC 9150-S (FS sin CB 1.70 y FS con CB 3.24, variación 91%).

2.1.3 LOCALES

Benel (2019), investigó “Comportamiento geomecánico según los métodos RMR y Q de Barton del Nivel 3 de la Mina Paredones San Pablo Cajamarca”. La geomecánica lo clasifico como rocas de calidad RMR: Mala (E-2), media (E-1, E-3 y E-5) y buena (E-4); y Q de calidad: Muy mala (E-2), mala (E-1), media (E-3, E-5) y buena (E-4), zonificándolo en tres zonas de inestabilidad: altamente peligrosa, peligrosa y moderadamente peligrosa; con valores $\alpha = 49^\circ$ y $m = 54$, relacionados con estados tensionales y deformaciones entre: 0.00010 m. a 0.0299 m. Aplicando sostenimiento por cuadros de madera rectos: 0.25 m. x 0.30 m. E-1 y 0.15 m. x 0.25 m. E-2, puntales: 0.13 m. x 0.13 m. sección y altura 2.10 m. E-

3, y anclajes sistemáticos por adherencia: 9 pies distribuidos 1.80 m. x 1.80 m. de malla E-3, 6 pies E-4 y 6 pies distribuidos 1.90 m. x 1.90 m. de malla E-5.

Herrera (2021), investigó la “Evaluación geomecánica para el diseño del sostenimiento del túnel de exploración Chaquicocha fase II Minera Yanacocha S.R.L., 2018”. El basamento rocoso del túnel varía entre calidad: Buena (Tipo II) y regular (Tipo III-A y III-B), aplicando el sostenimiento para: Buena tipo II (Shotcrete 2 pulg. reforzado con fibra sintética y pernos Split Set de 8 pies de largo a 1.70 m. de espaciado), regular tipo III-A (Shotcrete 2 pulg. reforzado con fibra sintética y pernos Split Set de 8 pies de largo a 1.50 m. de espaciado) y regular tipo III-B (Shotcrete 2 pulg. reforzado con fibra sintética y pernos split Set 8 pies de largo a 1.20 m. de espaciado); el control de calidad del sostenimiento realizó mediante el ensayo Pull Test en pernos Split Set, con resultado de resistencia a la tracción 8 TN y ensayos de compresión simple de shotcrete mayor a 35 MPa en 28 días.

Montoya (2018), en la tesis “Relación geotécnica y litomorfoestructural del túnel de la Mina Paredones Nivel 5”. Geomecánicamente presenta redistribución de esfuerzos tenso-deformacionales de manera continua y progresiva, con $m = 0.55$ y $\alpha = 55^\circ$; siendo susceptibles a cambios tensionales bajos, ligados a fracturamientos moderados a altos, con desplazamientos máximos de geoestructuras del medio plástico: 0.003 m., 0.007 m., 0.013 m., 0.114 m. y 0.782 m. en la periferie de la excavación, afectando la estabilidad de las labores mineras subterráneas, corroborando mediante métodos numéricos Phase2 V8.0 que muestra valores de FS entre: 0.54, 2.35, 3.42, 3.47 y 0.54. Además, utilizando el método empírico de Potvin define cuatro zonas como: zona de sostenimiento, zona estable, zona de transición con sostenimiento y zona de hundimiento.

Muñoz (2023), realizó “Evaluación geomecánica del Nivel 4 de la Mina Paredones según los métodos Q de Barton y RMI para la aplicación de sostenimiento, San Pablo – Cajamarca”. Los modelos numéricos reportan esfuerzos tenso-deformacionales alrededor de la excavación definidas por las estaciones: 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 (Anclajes puntuales con $L_{pc} = 6$ pies (E-1, E-3, E-4 y E-5), Anclaje sistemático, con $L_{pc} = 8$ pies, con espaciado 1.00 m. a 1.25 m., con espesor 70 mm. de

shotcrete, con reforzamiento de fibras (E-2) y Bulones puntuales, con $L_{pc} = 7$ pies, con espaciado 1.50 m. a 2.00 m. (E-6)).

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS

- **ÍNDICE DE CALIDAD DE ROCA (RQD)**

El índice de calidad de roca (RQD), fue propuesto por Deere (1964) sistema más empleado para caracterizar la competencia del macizo rocoso. Asignando porcentaje de calificación a macizo rocoso, de 100% (Más competente) a 0% (Menos competente). Basada en medir la frecuencia del número de fracturas naturales presentes en el macizo rocoso, en la dirección que se mide. Si la frecuencia de fracturas aumenta, la valoración del RQD disminuye. Originalmente fue desarrollado para taladros de perforación diamantina de diámetro mayor a igual a 54 mm. (Osinermin, 2017).

Sin embargo, los datos de mapeo por línea de detalle, se puede obtener un espaciamiento promedio de juntas (Número de discontinuidades divididas por longitud transversal). Bieniawski (1989) ha vinculado el espaciamiento promedio de las discontinuidades al RQD. Cabe señalar que el RQD máximo, corresponde a la relación propuesta por Priest y Hudson (1976), mediante la siguiente ecuación:

$$RQD = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1) \quad \text{Ecuación 2.1}$$

$$\lambda = \text{Numero de discontinuidades/ Longitud} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Cuadro 2.1. Índice de calidad de la roca (RQD).

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

Fuente: Deere (1967).

- **VALORACIÓN DE LA MASA ROCOSA (RMR₈₉)**

Fue desarrollado por Bieniawski (1989) - RMR, postulado desde 1976 con actualizaciones hasta 1989, proponiendo valores para los parámetros en función de calidad del macizo rocoso el cual permite estimar: Resistencia de la matriz rocosa (MPa), RQD, separación de diaclasas, Estado de las discontinuidades y agua freática; basados en parámetros: Resistencia y deformabilidad, del macizo, constituyendo un sistema de clasificación de los macizos rocosos que permiten a su vez relacionar el índice de calidad con los parámetros geotécnicos del macizo (González, 2002).

Cuadro 2.2. Orientación de las discontinuidades en el túnel (Bieniawski, 1989).

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

Fuente: González (2002).

Cuadro 2.3. Calidad de macizo rocosos en relación con el Índice RMR₈₉.

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

Fuente: González (2002).

Cuadro 2.4. Clasificación modificada de Bieniawski subclases y comparación con la original.

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

Fuente: Romana (2003).

- **ÍNDICE GEOLÓGICO DE RESISTENCIA (GSI)**

Propone Hoek (1994), el Índice Resistencia Geológica (GSI), para evaluar la calidad del macizo rocos en función a dos criterios: Estructura geológica y condición de la superficie de las juntas. El uso del criterio Hoek y Brown ha sido presentado en diversos artículos por: Hoek 1994, Hoek 1995 y Hoek y Brown 2002, asociado a macizos de roca dura y equivalente al sistema RMR.

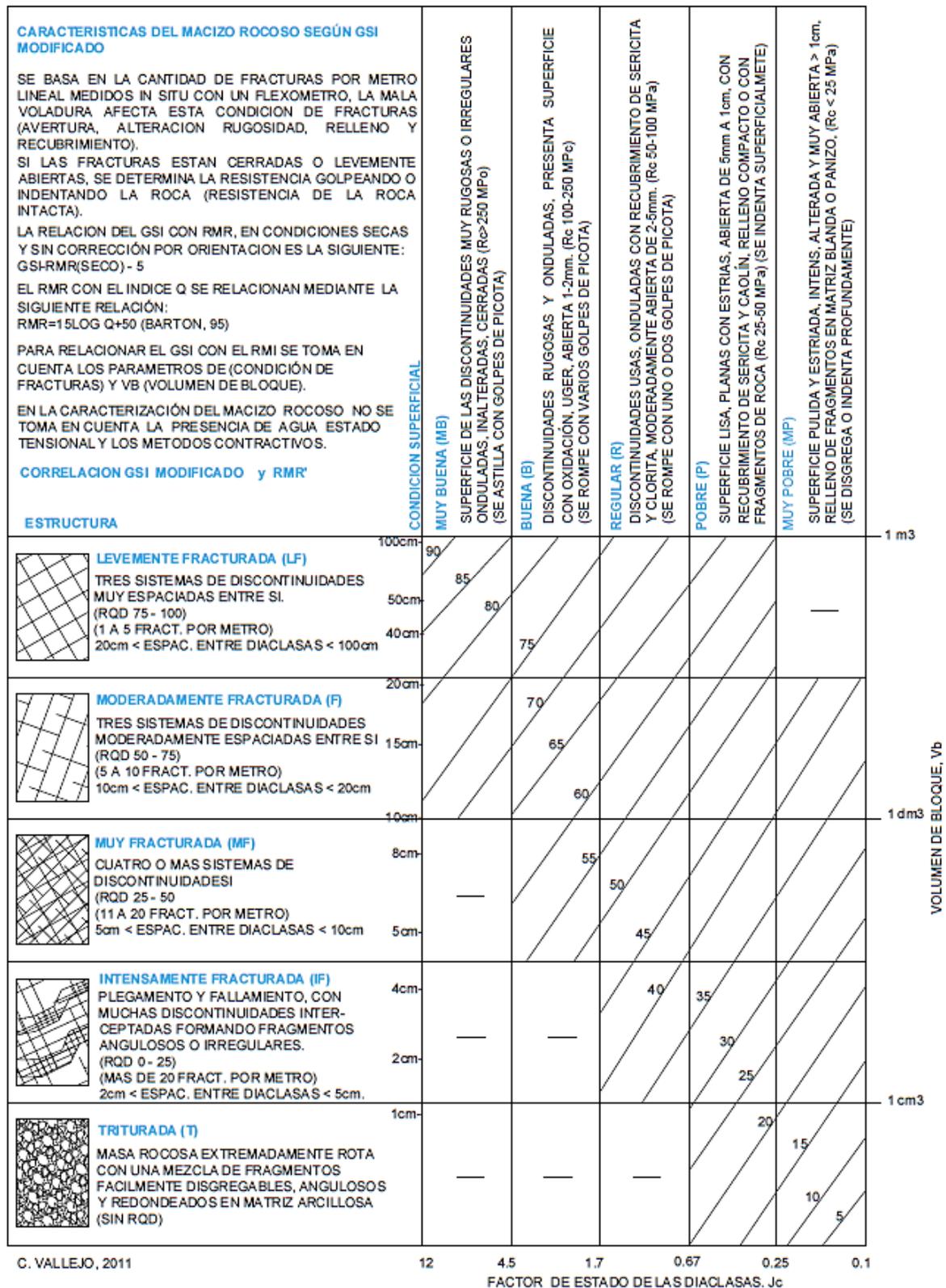


Figura 2.1. C. Vallejo, 2011. Caracterización del macizo rocoso según GSI modificado. Fuente: Osinergmin (2017).

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 (Osinermin, 2017).

- **ÍNDICE DE CALIDAD TUNELERA (Q)**

El sistema Q desarrollado en el NGI (Norwegian Geotechnical Institute) por: Barton, Lien y Lunde (1974), siendo la última actualización año 2008, incluyendo investigaciones analíticas respecto al espesor, espaciamento y reforzamiento de arcos armados reforzados con concreto lanzado (RRS) como una función de la carga y de la calidad del macizo rocoso, así como la absorción de energía del concreto lanzado (Normas EFNARC – European Federation of National Associations Representing for Concrete).

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF} \qquad \text{Ecuación 2.3}$$

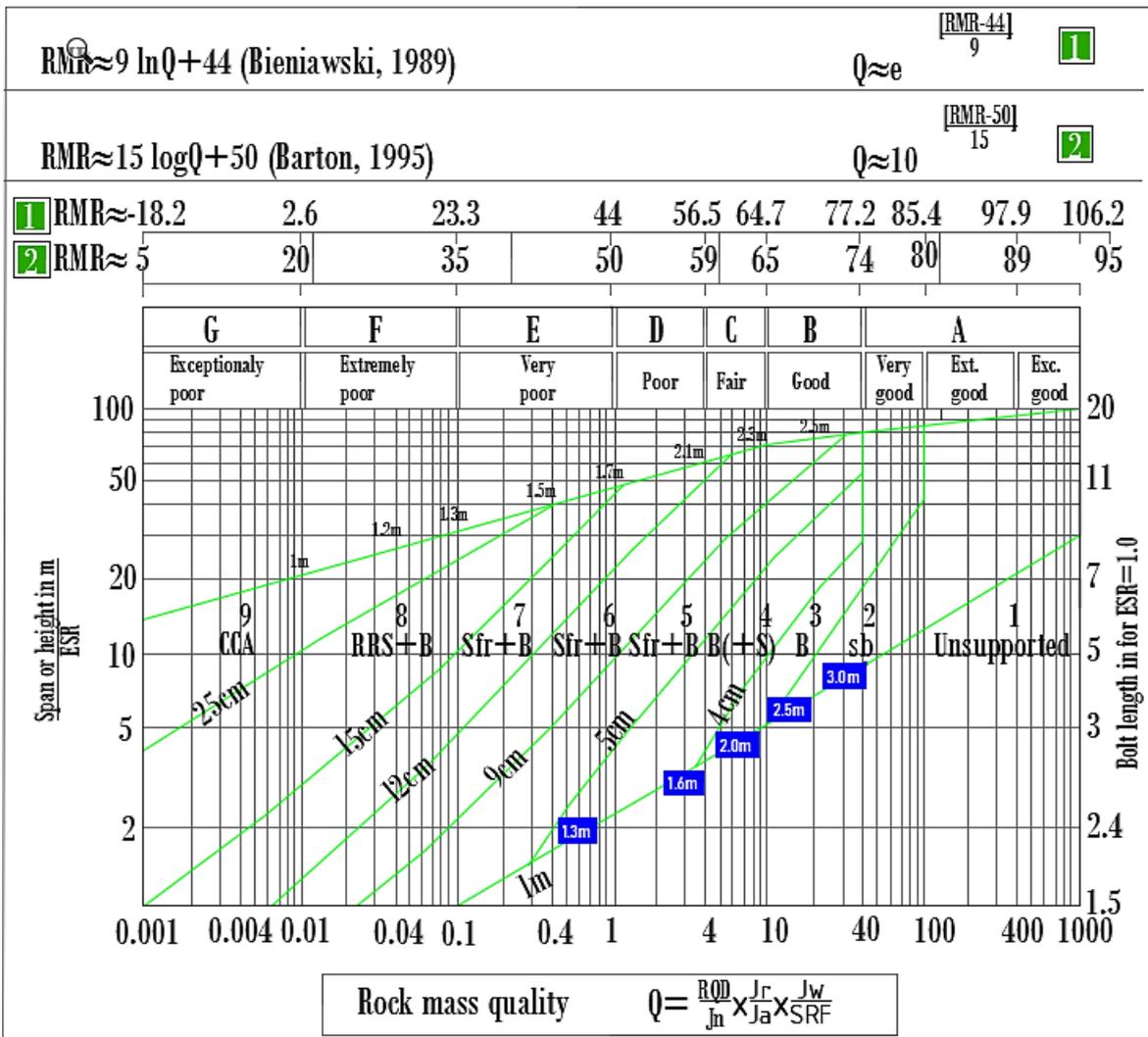


Figura 2.2. Gráfico de selección de soporte, de Grimstad y Barton con la adición de correlaciones alternativas entre RMR y Q, de Barton.
Fuente: Tunnels & tunnelling international (2008).

La actualización también incluyó investigaciones analíticas respecto: Espesor, espaciamento y reforzamiento de arcos armados de concreto lanzado (RRS) como función de carga y de la calidad del macizo rocoso Grimstad et al. 2002, siendo la última versión del gráfico de sostenimiento la que afino Grimstad y Barton (2007). La Figura 2.2 constituye la actualización más reciente del Sistema Q, y muestra las recomendaciones de sostenimiento (espesor del concreto lanzado reforzado con fibras (Sfr), el espaciamento y longitud de los anclajes (Osinergmin, 2017).

El valor numérico del índice Q varía en una escala logarítmica desde 0.001 hasta un máximo de 1.000 y se define por:

Cuadro 2.5. 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).

- **ÍNDICE DEL MACIZO ROCOSO (RMI)**

Propuesto por Palmstrom (1996), combinó: Propiedades inherentes del macizo rocoso, fuerzas actuantes y características de la excavación; que tienen similares efectos en la estabilidad de la excavación.

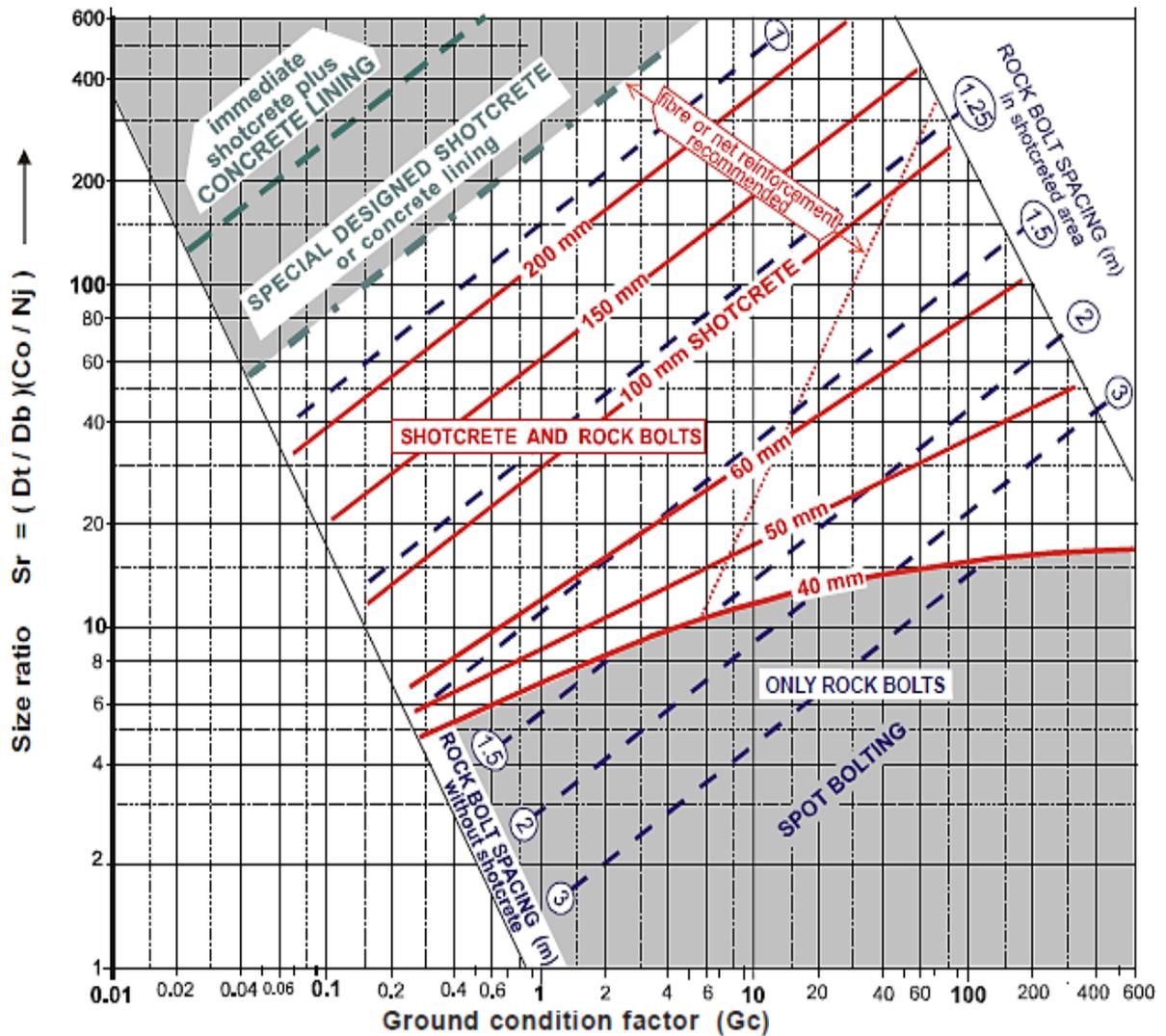


Figura 2.3. Sostenimiento para terrenos diaclasados (en bloques), incluyendo zonas débiles.
Fuente: Palmstrom (2000).

Dividiéndolos en dos grupos: **Terrenos continuos:** Ocurren cuando $CF < 5$ aproximadamente (roca masiva), en la cual dominan las propiedades de la roca intacta; y cuando $CF > 100$ aproximadamente (Roca altamente diaclasada o particulada tectónicamente) donde el terreno se comporta como una masa material. En estos tipos de terrenos la principal influencia en el comportamiento dentro de una excavación subterránea viene dada por las tensiones. Por tanto, se usa un factor de competencia ($C_g = \text{resistencia del macizo rocoso} / \text{tensión tangencial aplicada}$), expresado para terrenos rocosos: Masivos o altamente diaclasados (Palmstrom, 2000); y **Terrenos diaclasado:** La estabilidad de un terreno rocoso diaclasado está influenciado principalmente por: Tamaño y forma del bloque, por la resistencia a la cizalladura de las discontinuidades que delimitan el bloque, y por la

orientación de las diaclasas o juntas en relación a la orientación que lleve el eje de la excavación. Definidos por Factor: Calidad del terreno (G_c) y escala (S_r). (Palmstrom, 2000).

Cuadro 2.6. Índice del macizo rocoso RMI.

RMI	Condiciones de la sección
< 0.01	Muy bajo
0.01 - 0.1	Bajo
0.1 - 1	Moderado
1 - 10	Alto
> 10	Muy alto

Fuente: Gavilanes y Andrade (2004).

- **TEORÍA DE TERZAGHI**

Terzaghi (1946), propuso la primera clasificación del terreno orientada a la construcción de túneles. Sus datos provenían de túneles sostenidos fundamentalmente por cerchas metálicas. Clasificándolo al terreno en diez categorías y proporciona la "carga de roca" o tensión vertical que soportarían las cerchas de sostenimiento de un túnel construido por procedimientos tradicionales. Refleja la práctica habitual de los años 1930-1970 en Norteamérica.

Proponiendo que la construcción de excavaciones subterráneas, se rompe el equilibrio del macizo rocoso y se produce un relajamiento de la cohesión de las rocas circundantes a la excavación, transmitiendo el peso de la carga de roca W_1 al material de los lados del túnel, equivalente a una altura H_p . El ancho B_1 de la zona de roca donde existe el movimiento, dependerá de las características de la roca y de las dimensiones H_t y B del túnel.

Cuadro 2.7. Clasificación de Terzaghi.

Estado de roca	Carga de roca H_p (pies)	Observación
1. Dura y masiva.	Cero	Solo se necesita refuerzo escaso si hay desprendimiento o chasquido.
2. Dura pero estratificada o esquistosa.	0 a 0.50B	Refuerzo escaso más que nada como protección contra desprendimientos.
3. Masiva, ligeramente fisurada.	0 a 0.25B	La carga puede cambiar en forma errática de un punto a otro.
4. Medianamente fracturada en bloques algo abiertos.	0.25B a 0.35(B + Ht)	No hay presión lateral.
5. Muy fracturada en bloques y las fracturas abiertas.	(0.35 a 1.10)(B + Ht)	Poca o ninguna presión lateral.
6. Totalmente triturada, pero químicamente inalterada.	1.10(B + Ht)	Presiones laterales considerables. Los efectos de las infiltraciones hacia el piso del túnel requieren apoyo continuo para las partes bajas de los marcos, o bien marcos circulares.
7. Roca comprimida, profundidad moderada.	(1.10 a 2.20)(B + Ht)	Considerable presión lateral. Se requiere plantilla apuntalada. Es preferible usar marcos circulares.
8. Roca comprimida, a gran profundidad.	(2.20 a 4.50)(B + Ht)	
9. Roca expansiva.	Hasta 250 pies, independientemente del valor (B + Ht)	Marcos circulares indispensables. En casos extremos, úsese refuerzo elástico.

Fuente: Hoek y Brown (1985).

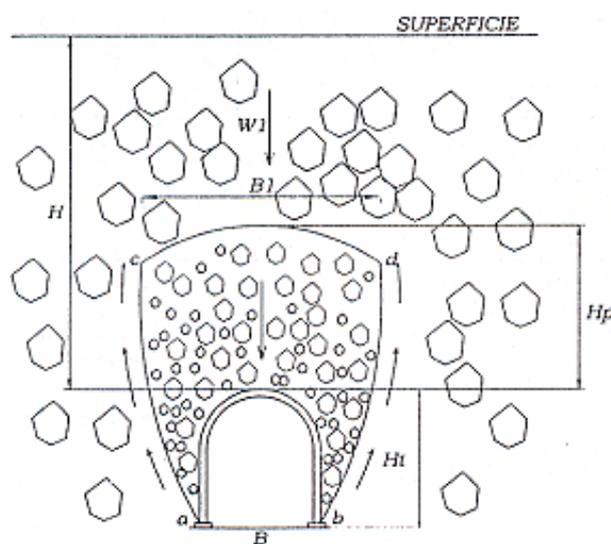


Figura 2.4. Diagrama simplificado que representa el movimiento de roca suelta hacia el túnel y la transferencia de carga a la roca circundante.

Fuente: Gavilanes y Andrade (2004).

2.2.2 ESTALLIDOS DE ROCAS

El fenómeno de estallido de roca provoca accidentes cada año, en minas y túneles profundos. Como resultado de la deformación violenta, manifestándose fenómenos de lajado o *spalling* de roca, de varios decímetros de espesor, o una expulsión de bloques, en función inicio del fenómeno e intensidad (Kaiser, 2017).

- **CRITERIO DE ENERGÍA DE DEFORMACIÓN ELÁSTICA (PES)**

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

$$PES = \frac{\sigma_c^2}{2E_s} \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Cuadro 2.8. Probabilidad de riesgo por energía potencial de deformación elástica.

PES (KJ/m³)	Valoración del riesgo de estallido
PES < 50	Muy bajo
100 ≥ PES ≥ 51	Bajo
150 ≥ PES ≥ 101	Moderado
200 ≥ PES ≥ 151	Alto
PES > 200	Muy alto

Fuente: Kwaśniewski, Szutkowski y Wang (1994).

- **CRITERIO DE TENSIÓN TANGENCIAL**

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

$$T_s = \frac{\sigma_\theta}{\sigma_c} \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Cuadro 2.9. Probabilidad de riesgo de estallido de rocas.

Ts	Valoración del riesgo de estallido
< 0.30	No existe riesgo
0.30 - 0.50	Estallido débil
0.50 - 0.70	Estallido fuerte
> 0.70	Estallido violento

Fuente: Wang, Li, y Li (1998).

- **INFLUENCIA DE LA FRACTURACIÓN SOBRE EL ESTALLIDO DE ROCAS**

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

Cuadro 2.10. Probabilidad de riesgo estallido de rocas por fracturamiento.

RQD (%)	Valoración del riesgo de estallido
RQD < 25	No existe riesgo
25 < RQD < 50	Riesgo bajo
50 < RQD < 75	Riesgo moderado
RQD > 75	Riesgo alto

Fuente: Deere (1963).

- **CRITERIO DE FRAGILIDAD DE ROCAS**

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

$$B = \frac{\sigma_c}{\sigma_{ct}} \quad \text{Ecuación 2.6}$$

Cuadro 2.11. Probabilidad de fragilidad de estallido de rocas.

B	Valoración del riesgo de estallido
$B > 40$	No existe riesgo
$40 \geq B \geq 26.70$	Estallido débil
$26.70 \geq B \geq 14.50$	Estallido fuerte
$B < 14.50$	Estallido violento

Fuente: Qiao y Tian (1998).

2.2.3 FLUENCIA DE DEFORMACIÓN (SQUEEZING)

La comisión sobre Squeezing Rocks in Tunnels, de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM), ha definido Squeezing (Barla, 1995) como: Gran deformación que ocurre alrededor de un túnel o excavación subterránea, asociada básicamente a la fluencia (creep en el original inglés) causada por tensiones que superan la resistencia a esfuerzo cortante. La deformación puede producirse durante la construcción o continuar por un periodo de tiempo. Por lo tanto, el término squeezing, de difícil traducción al español (suele denominarse fluencia), se deberá aplicar tan sólo a deformaciones de tipo plástico y/o viscoso, distintas del swelling, que es un hinchamiento acompañado por el aumento de humedad y absorción de agua. Para realizar la predicción y valoración del fenómeno de fluencia (squeezing), suelen aplicarse criterios empíricos, basados en la experiencia.

- **CRITERIO DE GOEL**

Goel (1994), mejora y amplía la idea original de Singh, empleando un principio de squeezing establecido en el resultado del Índice Q de Barton del macizo rocoso, determinado desde información provenientes de noventa y nueve (99) muestras de obras subterráneas en

Escandinavia, India y Reino Unido. Goel tiene en cuenta tres grados de fluencia, como: Severo, moderado y ligero. Los términos empíricos que anuncian estos grados piden tan solo saber la carga litostática H, el índice Q y el ancho del túnel B,

$H < 275 * Q * 0.33 * B - 0.10$	Sin fluencia
$275 * Q * 0.33 * B - 0.10 < H < 450 * Q * 0.33 * B - 0.10$	Fluencia ligera
$450 * Q * 0.33 * B - 0.10 < H < 630 * Q * 0.33 * B - 0.10$	Fluencia moderada
$630 * Q * 0.33 * B - 0.10 < H$	Fluencia severa

- **CRITERIO DE BARLA**

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

$$\frac{\sigma_{Cmass}}{\gamma * Z} \quad \text{Ecuación 2.7}$$

Cuadro 2.12. Grados de squeezing – Barla.

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

Fuente: Barla (1995).

- **CRITERIO DE HOEK Y MARINOS**

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

$$\sigma_{Cmass} = (0.0034m_i^{0.8})\sigma_{ci}\{1.029 + 0.025e^{(-0.1m_i)}\}^{GSI} \quad \text{Ecuación 2.8}$$

$$\varepsilon = 0.20 * \frac{\sigma_{Cmass}}{\gamma * Z} \quad \text{Ecuación 2.9}$$

Cuadro 2.13. Grados de squeezing.

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

Fuente: Hoek y Marinos (2000).

2.2.4 SOPORTE Y REFUERZO DE ROCA

El soporte o refuerzo también puede clasificarse: Activo o pasivo. El soporte activo impone una carga predeterminada a la superficie de la roca en el momento de la instalación. Puede tomar la forma de pernos o cables de roca tensionados, puntales hidráulicos, revestimientos de concreto segmentados expandibles o soportes motorizados para caras de frentes largos. Generalmente se requiere soporte activo cuando es necesario para soportar las cargas gravitatorias impuestas por bloques de roca individuales o por una zona de roca suelta. El soporte o refuerzo pasivo no se instala con una carga aplicada, sino que desarrolla sus cargas a medida que la masa rocosa se deforma (Brady y Brown, 2006).

El soporte pasivo puede ser provisto por arcos de acero, conjuntos de madera o paquetes de materiales compuestos, o por pernos de anclaje no tensionados, barras o cables de refuerzo. Los pernos de lechadas, las barras y los cables de refuerzo sin tensión se describen a menudo como tarugos (Brady y Brown, 2006).

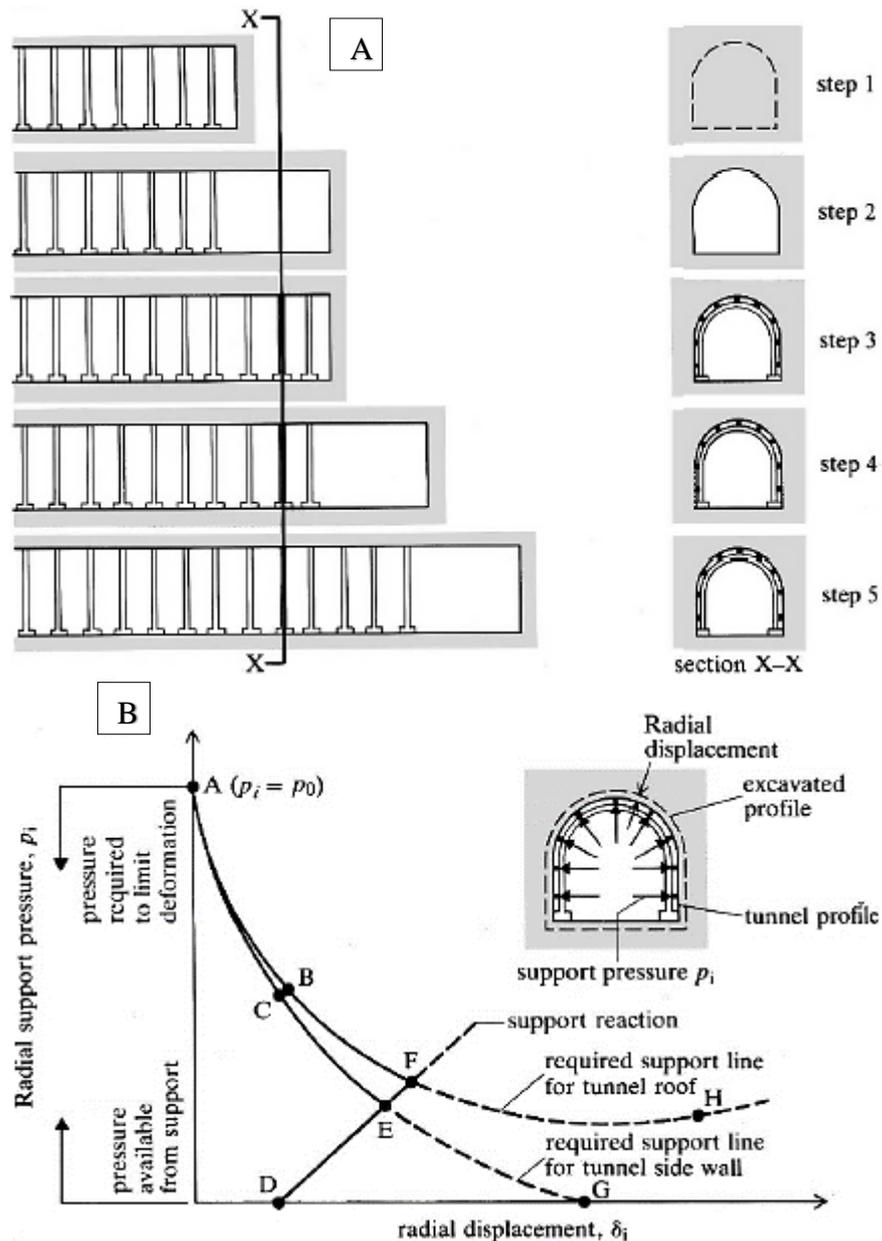


Figura 2.5. A. Ejemplo de túnel avanzado mediante métodos de perforación y voladura de cara completa con marcos de acero enlazados que se instalan después de cada ciclo de limpieza. B. Curvas de presión-desplazamiento del soporte radial para la masa rocosa y el sistema de soporte (Daemen, 1977).

Fuente: Brady y Brown (2006).

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Emboquille de túnel: Excavación a cielo abierto en una ladera hasta obtener un talud desde el cual comenzar la ejecución del túnel. Los emboquilles son una de las zonas más complejas en la construcción de un túnel, dado que constan de menor montera y en ellas, el macizo rocoso suele ser el de peor calidad debido a la meteorización (Pérez, 2016).

Cerchas metálicas: Actúan como elementos de soporte de carga muerta de la roca suelta y como suministrador de confinamiento para ralentizar la deformación del terreno y la convergencia de las paredes del túnel. Clasificándolos en cerchas: Rígidas, telescópicos y deslizantes (Gullón, 2011).

Macizo rocoso: Es el conjunto de material de roca insitu y sus discontinuidades. La presencia de discontinuidades de diverso tipo confiere al macizo un carácter heterogéneo y un comportamiento no continuo, condicionado por la naturaleza, frecuencia y orientación de los planos de discontinuidades de los cuales dependen el comportamiento geomecánico e hidráulico del mismo (GEMMA, 2007).

Precipitación: Es toda agua meteórica que cae a la superficie de la tierra, tanto en forma líquida (Llovizna, lluvia, etc.) y sólida (nieve, granizo, etc.) y las precipitaciones ocultas (rocío, la helada blanca, etc.). La precipitación constituye la única entrada principal al sistema hidrológico continental (Musy, 2001).

Métodos numéricos: Parten de la discretización del macizo mediante los métodos de los elementos finitos, elementos discretos o de diferencias finitas. Permiten la modelización detallada de los procesos de deformación que afectan el terreno como consecuencias de la excavación, y el análisis de la influencia de los diferentes factores y parámetros que intervienen en los procesos constructivos (González, 2002).

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).

Modelo matemático: Simula el comportamiento mecánico de los macizos rocosos y de los elementos estructurales presentes en el entorno de la excavación (Ramírez et al., 2008).

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).

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

Zonas de cizalla: Se forman en las zonas más profundas de la corteza, allí donde las temperaturas permiten que los minerales, y por lo tanto las rocas, fluyan en vez de romperse (Lillo y Oyarzun, 2013).

Zona plástica (ZP): Se produce una redistribución de las tensiones en la zona circundante al túnel. Debido al desarrollo de una zona plástica alrededor del túnel, se establece una convergencia radial. Por eso la predicción de la respuesta del macizo en términos de tensiones y desplazamientos es esencial en la ingeniería de estructuras en rocas. El método de análisis de interacción roca-soporte es uno de los métodos que se utilizan para investigar la interacción entre los desplazamientos de la roca dentro de la zona plástica alrededor del túnel y las características del soporte a utilizar, sin embargo, el método está limitado a geometrías circulares en un campo hidrostático (Aguilera et al., 2018).

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN

El Cx – 126 El Ñato, está ubicado en el centro poblado de San Miguel de Algamarca, distrito del Cachachi, provincia de Cajabamba y departamento de Cajamarca. Geográficamente en el flanco izquierdo de la cadena montañosa Occidental Andina, delimitada por el flanco izquierdo del anticlinal de Algamarca evacuando sus aguas al río Crisnejas – Océano Pacífico. Las operaciones mineras se desarrollan en el cruce con orientación Az = N65°, utilizado para interceptar a la veta Marina y extracción de minerales polimetálicos: Plata (argentita), oro (pirita y cuarzo) y cobre (calcopirita, bornita y covelina).

3.2 ACCESIBILIDAD

El primer tramo estuvo conformado por vía asfaltada en buenas condiciones, iniciando el acceso desde la ciudad de Cajamarca con orientación SE llegando a Llacanora, luego cambiando a orientación “E” llegando a Namora, posteriormente cambiando a orientación SE llegando a Ichocán, luego cambiando bruscamente a orientación S, llegando al cruce de Pomabamba. El segundo tramo lo conformó una carretera afirmada, en condiciones malas a muy malas; con orientación SW llegando a Moyan alto, cambiando a orientación NW llegando a Choloque luego cambiando de orientación SW llegando a Quilish Pampa, luego cambiando a orientación NW llegando al centro poblado: San Miguel de Algamarca. Finalmente, se cambió a trocha carrozable en muy malas condiciones, con orientación SW y SE llegando a la bocamina El Ñato, siendo el ingreso al centro de operaciones subterráneas.

Cuadro 3.1. Acceso a la zona de estudio – Bocamina El Ñato

De	Tramo A	Estado de vía	Vía	Transporte	Recorrido	
					Distancia (Km)	Tiempo (h)
Cajamarca	Llacanora	Buena	Terrestre	Combi	11+900	00:20
Llacanora	Namora	Buena	Terrestre	Combi	16+900	00:25
Namora	Ichocán	Buena	Terrestre	Combi	42+800	01:04
Ichocán	Pomabamba	Buena	Terrestre	Combi	34+400	00:35
Pomabamba	San Miguel de Algamarca	Mala	Terrestre	Camioneta	22+600	01:40
San Miguel de Algamarca	El Ñato	Muy mala	Terrestre	Camioneta	02+000	00:10
Total					130+640	03:34



Figura 3.1. Emboquille del cruceo El Ñato, compuesto y estabilizado con muros de concreto armado.

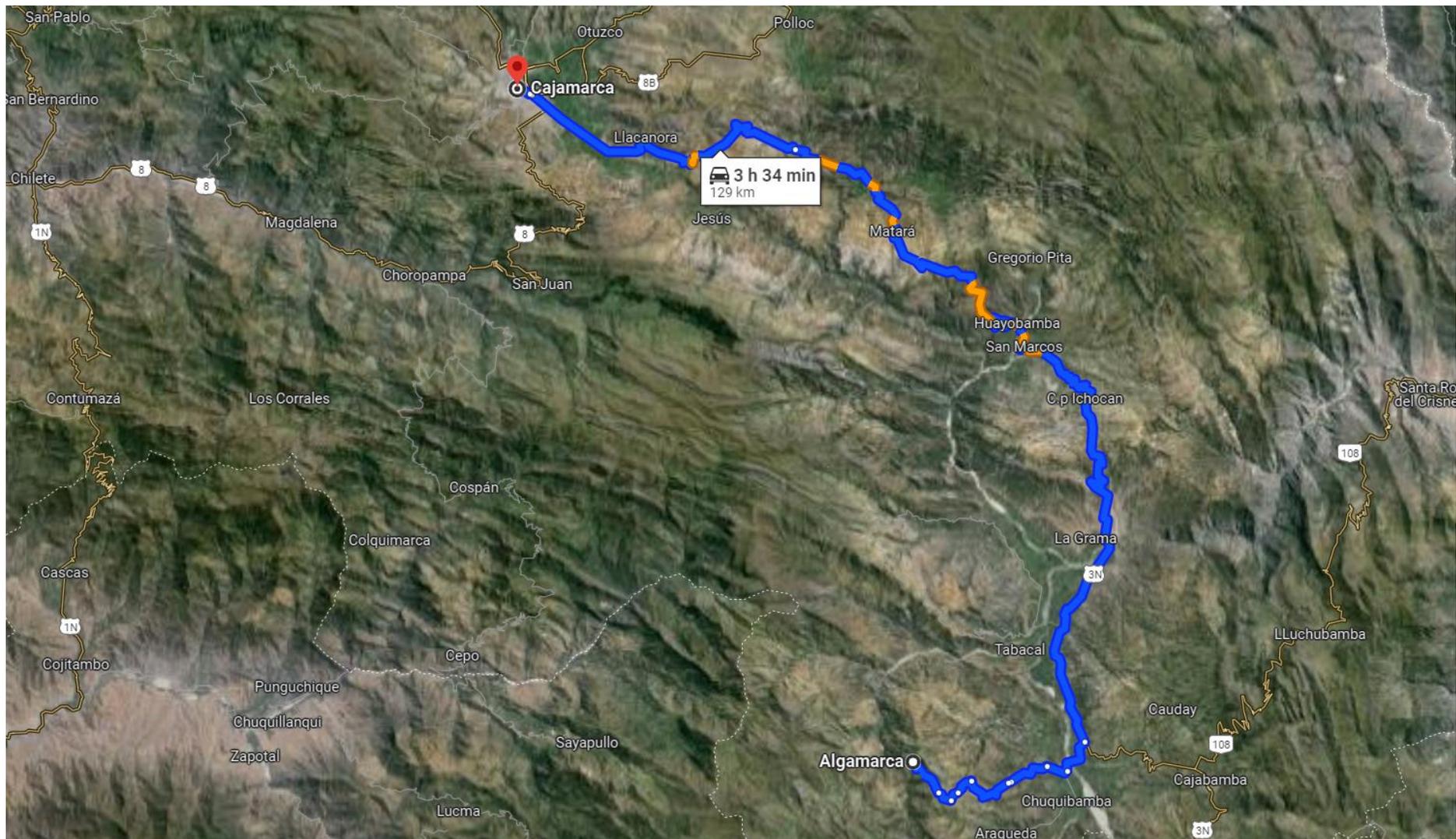


Figura 3.2. Ruta de acceso: Cajamarca – San Miguel de Algamarca.
Fuente: Google Maps (2022).

3.3 CLIMA Y METEOROLOGÍA

Las temperaturas superficiales en la zona de estudio varían desde 14°C a 17°C, constituyendo zonas de temperaturas friolentas; presentando un clima variante como veranos frescos y nublados y los inviernos son cortos fríos, secos y parcialmente nublados, presentando temperatura desde 4°C a 17°C, con descensos menores a 1°C y aumentos más 20°C, sin embargo, el clima presenta tiempos calurosos de 6°C a 17°C, enero a febrero y noviembre a diciembre de 6°C a 16°C y frescos de 5°C a 14°C junio y 4°C a 14°C agosto. Por lo contrario presenta cielo despejado que inicia el 3 de mayo y termina 27 de septiembre, durando 4.80 meses y nublada desde enero a mayo y septiembre a diciembre, durando 7.2 meses, con probabilidad máxima de lluvia 31% en marzo. Por consiguiente, tiene variación ligera de lluvia mensual por temporada lluvia que dura 7.9 meses, del 21 de septiembre al 18 de mayo, presentando su máxima lluvia en marzo con 46 milímetros de lluvia y sin lluvia durante 4.1 meses, del 18 de mayo al 21 de septiembre, siendo el mes de julio 2 milímetros de lluvia. Presentando humedad bochornoso, opresivo o insoportable, no variando considerablemente durante el año. Presentado variaciones estacionales durante el año compuesto por zona ventosa que dura 3.9 meses, del 6 de junio al 2 de octubre, con velocidad más 9.60 Km/h; siendo agosto más ventoso con velocidad 12.20 Km/h y calmado que dura 8.1 meses, del 2 de octubre al 6 de junio, con velocidad de 7.00 Km/h, siendo el mes más calmado marzo. (El clima y el tiempo promedio en todo el año en Cajabamba-Perú, 2023).

Las instalaciones subterráneas presentan cambios de temperatura en el Crucero El Ñato, aumentando progresivamente por el gradiente geotérmico ($H = 100 \text{ m.} / 2.5^\circ\text{C a } 3^\circ\text{C}$), evaluándolo progresivamente en función de estaciones geomecánicas por el estallido de roca. Por lo contrario, el incremento de temperatura es frecuente y directamente proporcional con la profundidad vertical de la excavación subterránea, debido a la falta de aire fresco, o exposición de diferentes fuentes de calor latente y sensible, como: Equipos diésel, voladura de rocas, metabolismo humano, tendido de las tuberías de agua, putrefacción de maderos, en algunos casos generando gas metano por la descomposición, reportando los siguientes resultados de cada estación geomecánica:

Cuadro 3.2. Variación de la temperatura en la excavación subterránea El Ñato.

Descripción	Estación geomecánica					
	EG-1	EG-2	EG-3	EG-4	EG-5	EG-6
Profundidad (m.)	26	84	151	209	246	304
Tamb (C°)	14	14	14	14	14	14
Texcav (C°)	0.65	2.10	3.78	5.23	6.15	7.63
TF (C°)	14.65	16.10	17.78	19.23	20.15	21.63

Sin embargo, se utilizó información para cálculos hidrológicos de la estación: Cachachi, tipo: PE – meteorológica, con código: 107068, perteneciente al distrito de Cachachi, provincia de Cajabamba y departamento de Cajamarca; latitud: 7°27'3.83'', longitud: 78°16'6.78'' y altitud: 3,228 msnm.

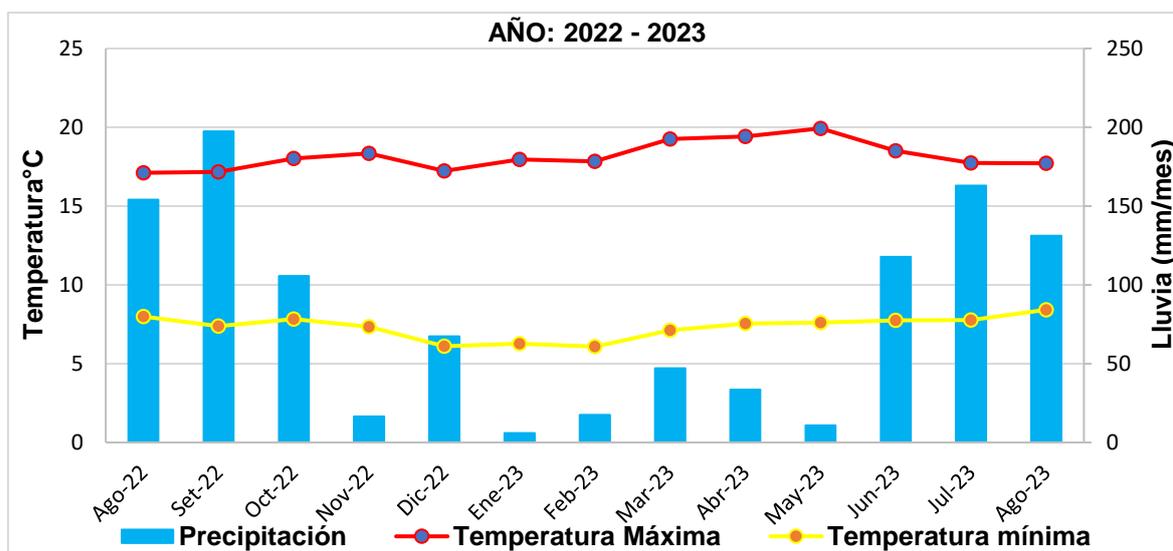


Figura 3.3. Diagrama meteorológico en relación: Temperatura (Máxima y mínima) y precipitación meses/año.

Fuente: SENAMHI (2022-2023).

3.4 HIDROLOGÍA

La naciente inicia en el centro poblado Cavildillo 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., confluendo con la quebrada Arenilla que tiene su nacimiento en el centro poblado Arenilla con orientación ENE-WSW, con longitud 1.70 Km.; formando a la altitud 2,680 msnm. el río Cañaris con orientación SSE-NNW con longitud 2.70 Km., confluendo con el río Huancaday, nacimiento en el centro poblado Cerrochugo, presentando orientación SW-NE, con longitud 8.70 Km. a la altitud 2,550 msnm.; formando el río Chimin del Centro Poblado La Succha presentando orientación S-N y WSW-ENE, con longitud 22.55Km.; evacuando sus aguas al río Condebamba que tiene longitud 29.75 Km a la altitud 2,030 msnm., cambiando la orientación a S-N y W-E, confluendo con el 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 sus aguas al río Marañón que nace en el SW del departamento de Huánuco en la Provincia de Lauricocha a los 1,050 msnm. con orientación SSE-NNW, recorriendo aproximadamente 253,28 Km. interceptando con el río Chinchipe a los 390 msnm. con orientación NE-SW, siendo el principal afluente del río Amazonas, desembocando en el Océano Atlántico.

El río Cañaris presenta orientación SSE-NNW con longitud 2.70 Km., ubicándose a 700 m. de distancia bocamina El Ñato, con orientación NE-SW.



Figura 3.4. Río Cañaris se ubica a 700 m de distancia de bocamina El Ñato, con orientación SSE-NNW, evacuando sus aguas al río Crisnejas.

Cuadro 3.3. Precipitación máxima de la zona de estudio – estación Cachachi.

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁXIMA
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	269.80
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	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	241.80
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	197.40
PROMEDIO	91.55	119.08	216.58	91.28	40.65	29.68	17.93	12.20	26.70	101.95	93.68	181.48	1,022.73

Cuadro 3.4. Parámetros hidrológicos - microcuenca El Ñato.

Nombre de cuenca	Área (m ² .)	Longitud de cauce (m.)	Cota mayor (msnm.)	Cota menor (msnm.)	Pendiente (m/m)	Tc (min)	I (mm/hora)	Caudal (m ³ /s)
MC-1	32,636.03	122.45	2,955.00	2,881.00	0.60	4.20	153.70	0.42
MC-2	10,692.58	26.99	3,020.00	3,013.00	0.26	1.86	241.20	2.35
MC-3	2,059.49	19.23	3,105.00	3,090.00	0.78	1.38	284.50	0.05
MC-4	9,306.48	96.40	3,174.00	3,121.00	0.55	3.72	164.30	0.13

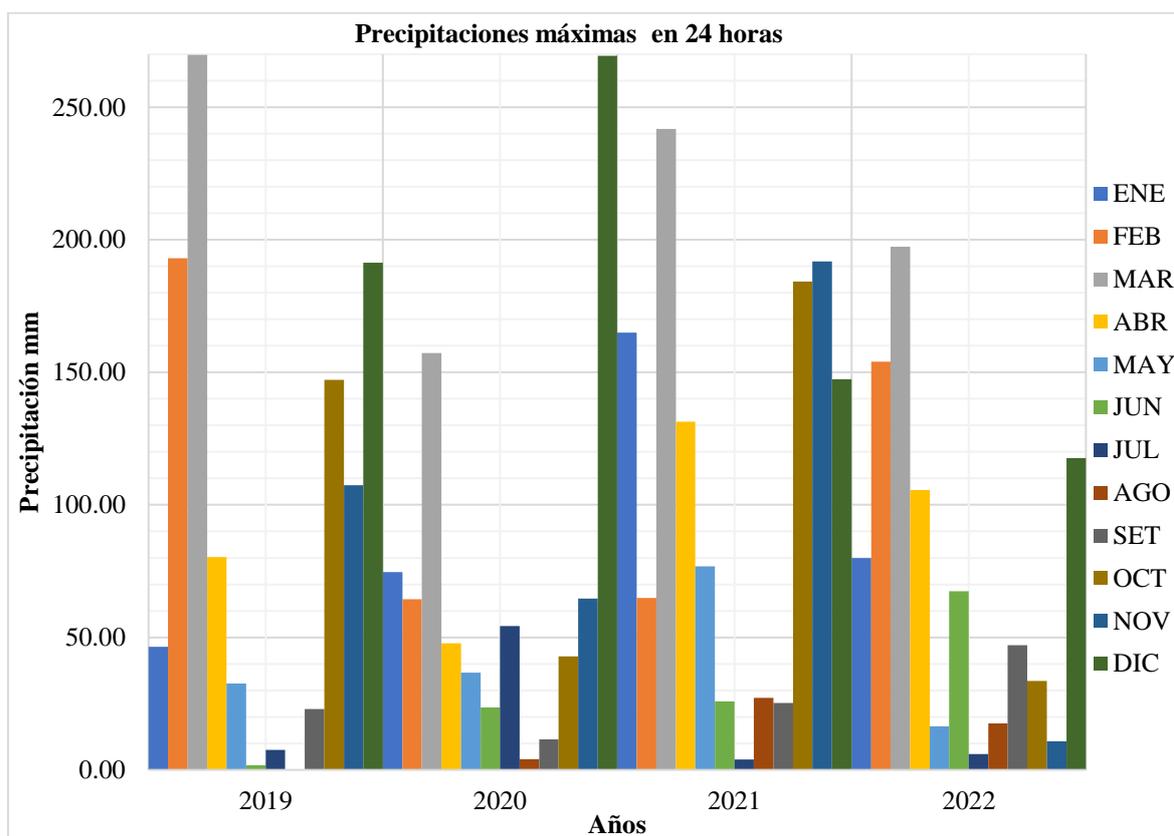


Figura 3.5. Precipitación máxima – 24 horas, estación Cachachi.
Fuente: SENAMHI (2019 a 2022).

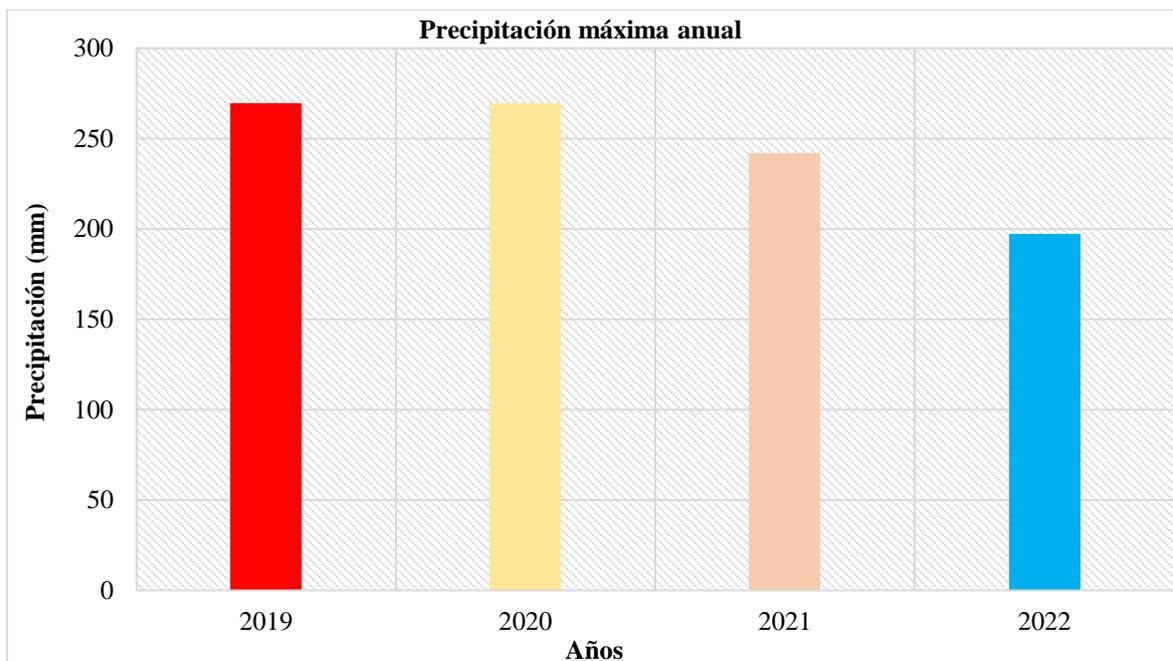


Figura 3.6. Histograma estadístico relacionado frente a la Precipitación (mm) vs. años.
Fuente: SENAMHI (2019-2022).

La zona de investigación acumula una precipitación anual 1,022.73 mm/año, con precipitación media anual 107.14 mm/año perteneciente al año 2021 y menor al 70 mm/año a los años: 2020 y 2022, presentando caudales menores a 0.50 m³/s (Microcuencas: MC-1, MC-3 y MC-4) y caudales mayores a 2.30 m³/s a la microcuenca MC-2. Aplicando las teorías de balance hídrico por medio: Kirpich, Temes, Bransby y Hathaway; presentan tiempo de retención de agua < 5 min, definiendo que es una zona de muy baja retención de agua.

3.5 HIDROGEOLOGÍA

La galería del cruce El Ñato, presenta agua subterránea emplazado en un acuitardo sedimentario, con línea de flujo SW por la secuencia de estratigráfica, ubicado en el flanco derecho del anticlinal Algamarca siendo una excavación contra el buzamiento del eje del túnel, presentando puntos de agua: caliente y fría; la labor corto acuíferos subterráneos en la Formación: Carhuaz donde se encuentra el nivel freático de agua fría en el punto Pi + 231.72 m., Pi + 457.10 m. y Pi + 489.70 m.; y el nivel freático de agua caliente en los puntos Pi + 231.72 m., Pi + 240.45 m., Pi + 312.90 m. y Pi + 322.10 m. al 373.15 m. y en la formación Santa se encuentra el nivel freático de agua fría en los puntos Pi + 709.25 m., Pi + 749.10 m. y Pi + 771.60 m.; no evidenciándose filtraciones de agua en la Formación Chimú; de acuerdo con calidad de roca la Formación Chimú es roca de calidad: regular a buena; en

cambio las Formaciones: Santa y Carhuaz, son rocas de calidad mala a muy mala, generando inestabilidades constantes en varias secciones.

Por consiguiente, los acuíferos de agua caliente están relacionados con fallas regionales causando acuíferos artesianos por cambio de presión hidráulica del nivel de recarga al cuerpo intrusivo incandescente (Cuerpo generador de cambios de temperatura del agua subterránea), logrando calentar el agua para luego por presión hidráulica subir y generar flujos de agua caliente constante iguales 3.0 lt/s, siendo ubicados los Nfc en los hastiales: Derecho e izquierdo, a altura 0.30 m. a 0.50 m. del nivel de la contrabóveda, en el crucero El Ñato. Evidenciándose además desde Pi + 319 m. al 373.15 m., es un sector filtración de agua (Caliente y fría) subterránea en la clave, hastiales y solera; siendo afectado por fallas geológicas regionales.



Figura 3.7. Captación del nivel freático de agua caliente mediante entubación de acero horizontal ubicado en el hastial izquierdo del Pi + 240.50 m., de la Formación Carhuaz a altura 0.30 m. del nivel de rasante de la galería principal.



Figura 3.8. Nivel freático de agua caliente, ubicado Pi + 312.90 m. del hastial derecho drenando con orientación SW en relación de los planos de estratificación.



Figura 3.9. Sección ubicada desde Pi + 322.10 m. al 373.15 m., presentando filtraciones de agua fría de la clave y hastiales. Por lo contrario, también presenta nivel freático de agua caliente, que filtran de ambos hastiales por los planos de estratificación, a altura 0.50 m. de la rasante.

Sin embargo, las constantes filtraciones están afectando progresivamente al basamento rocoso en función de la resistencia y propiedades de las discontinuidades; generando desprendimiento de rocas y cambios tensodeformacionales en las secciones la excavación subterránea, siendo el medio plástico cada vez más afectado para sufrir procesos de colapsos y cambios tensionales. Por la acumulación de agua se ha construido cunetas: 0.50 m. x 0.30 m. en los hastiales derecho e izquierdo, logrando así minimizar daños a los maderos de sostenimiento, gradiente rielaje, ahuellamientos en la carpeta de rodadura y socavamientos; logrando avances en las actividades de producción de extracción de mineral metálico.

3.6 GEOLOGÍA LOCAL

Las instalaciones subterráneas del cruce El Ñato, cortaron rocas del Mesozoico - Cretácico Inferior – Grupo Goyllarisquizga en las Formaciones Chimú, Santa y Carhuaz, constituidas por areniscas, cuarcitas, lutitas, calizas margosas, areniscas gris oscuras e intercalaciones de areniscas con lutitas grises, en matriz rojiza, violácea y rosada de la edad 145 Ma., por consiguiente, se observó emplazamientos de diques verticales en rocas sedimentarias, cuerpos intermedios volcánicos dacíticos, riolíticos y andesita riolítica, de la edad de 56 Ma. a 35 Ma., formando aureolas de metamórficas en las secciones alteradas.

La litología inicia desde bocamina emplazándose desde depósito Eluvial-Deluvial, desde Pi + 00.00 m. a 4.20 m., compuesto por: grava (30%), arena (20%), limo (25) y arcilla (25%), presentando gravas angulosas a subangulosas de 0.05 m. a 0.15 m., con matriz englobante limosa arenosa de matriz rígida, con cementación moderada de compacidad muy densa de origen cuaternario, de color anaranjado a rojizo, evidenciándose en el talud y sección de corte de la excavación subterránea. La Formación Carhuaz inicia desde Pi + 4.20 m. a 507.20 m., presentando secuencias de limolitas y lutitas grises a bituminosas, en algunos casos de color rojiza, violácea a verdosa; con orientación Az = N150° y Bz = 60°SW, de grosor 0.07 m. a 10 m. de edad: Hauteriviense a Barremiense, formándose en ambiente de depositación continental y cerca de la zona transicional, generando constantes inestabilidades tensodeformacionales por la calidad de roca frágil.

Formación Santa presenta orientación Az = N135° y Bz = 64°SW, compuesto por estratos de limolitas, de grosor 0.10 m. a 0.20 m., bien compactas de color negruzco con secuencias intercalas de lutitas de textura laminar de grano fino, de coloración grisáceo a plomizo, con

grosor de 0.05 m. a 0.10 m., y calizas grises verduzcas de grosor 0.15 m. a 0.20 m. desde: Pi + 507.20 m. al 791.35 m. y la Formación Chimú presenta arenisca cuarzosa de color blanquecino de grano medio, con estratos de espesor de 0.25 m. a 0.35 m. de orientación Az = N155° y Bz = 58°SW, siendo roca competente de calidad buena, desde Pi + 791.35 m. a 813.70 m.

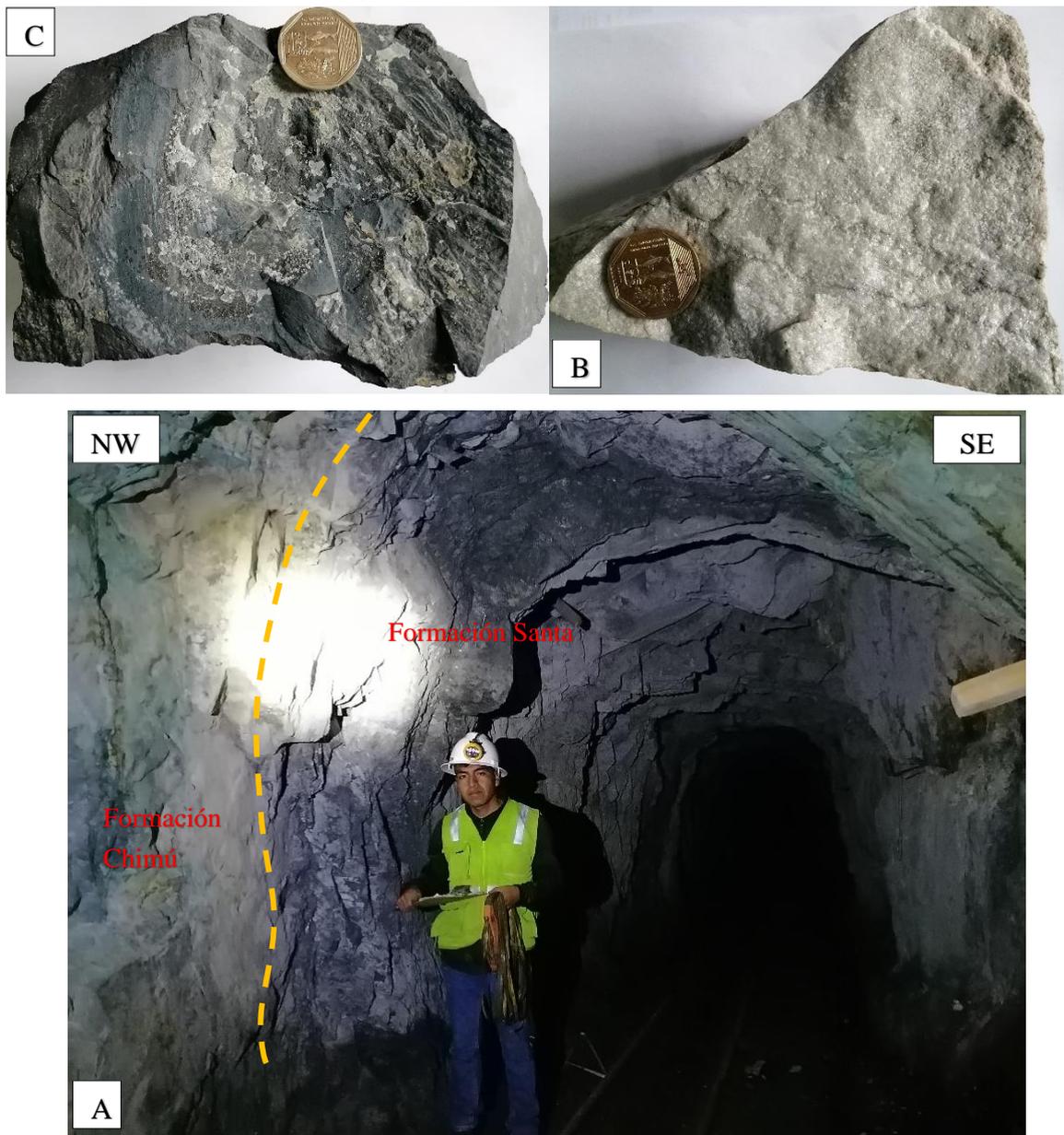


Figura 3.10. A. Contacto entre la Formación Santa y Chimú, de orientación Az = N155° y Bz = 58°SW, en el Pi + 791.35 m. B. Limolitas de color negruzco con secuencias intercalas de lutitas de textura laminar de grano fino, con grosor de 0.05 m. a 0.10 m. C. Arenisca cuarzosa de color blanquecino de grano medio.



Figura 3.11. Presenta secuencias de limolitas y lutitas grises a bituminosas, con orientación $Az = N150^\circ$ y $Bz = 60^\circ SW$, de grosor 0.07 m. a 10 m. en el $Pi + 154$ m.

Formación Santa presenta orientación $Az = N135^\circ$ y $Bz = 64^\circ SW$, compuesto por estratos de limolitas, de grosor 0.10 m. a 0.20 m., bien compactas de color negruzco con secuencias intercalas de lutitas de textura laminar de grano fino, de coloración grisáceo a plomizo, con grosor de 0.05 m. a 0.10 m., y calizas grises verduzcas de grosor 0.15 m. a 0.20 m. desde: $Pi + 507.20$ m. al 791.35 m. y la Formación Chimú presenta arenisca cuarzosa de color blanquecino de grano medio, con estratos de espesor de 0.25 m. a 0.35 m. de orientación $Az = N155^\circ$ y $Bz = 58^\circ SW$, siendo roca competente de calidad buena, desde $Pi + 791.35$ m. a 813.70 m.

Evidenciándose emplazamiento de dique compuestos de roca dacita, la cual se ubica desde: $Pi + 191.25$ m. al 194.90 m., $Pi + 203.40$ m. al 205.78 m., $Pi + 391.10$ m. al 400.22 m., $Pi + 467.78$ m. al 476.55 m. y $Pi + 708.05$ m. al 730.30 m., roca máfica afanítica de color negruzco con alto contenido de plagioclasas, procedentes de magmas profundos básicos de enfriamiento rápido, emplazados en forma de dique, riolita conformada por fenocristales de cuarzo, oligoclasa, y sanidina, con bajas proporciones de plagioclasas y biotita, constituyendo roca félsica de color blanquecino de textura fanerítica resultado de enfriamiento de magma viscoso, abarcando desde: $Pi + 218$ m. a 222.72 m. y $Pi + 759.51$ m.

a 766.40 m. y andesita se ubica desde: Pi + 169.41 m. a 173.20 m., roca de color gris verduzco perteneciente a minerales félsicos de textura fanerítica).



Figura 3.12. A. Emplazamiento del dique dacítico, en la Formación Carhuaz ubicado en el Pi + 190.85 m. B. Muestra máfica de dacita de textura afanítica de color negruzco con alto vidrioso - plagioclasas, procedentes de magmas profundos de enfriamiento rápido.



Figura 3.13. A. Riolita con fenocristales de cuarzo, oligoclasa, y sanidina, con bajas proporciones de plagioclasas y biotita, constituyendo roca félsica de color blanquecino de textura fanerítica, ubicado Pi + 220 m. B. Andesita se ubica Pi + 169.41 m. de color gris verduzco textura fanerítica.

3.7 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La estructura de mayor relevancia en la zona de estudio es el anticlinal de Algamarca con $Az = N125^\circ$, formándose por esfuerzos compresivos de orientación: NNE-SSW a NE-SW, originando sinclinales y anticlinales, asimétricos del Cretáceo Inferior - Grupo Goyllarisquiza. La falla Santo Cristo, se ubica a 840 m. de distancia con orientación NW-SE, siendo la principal estructura mineralizada con orientación $N35^\circ$, sin embargo, se encuentran emplazadas dos vetas: Lucerito y Marina con orientación $Az = N229^\circ$ y $Bz = 79^\circ NW$, siendo dos estructuras paralelas de vetas polimetálicas: Cu, Ag y Au; cortando

transversalmente al eje del anticlinal y falla Santo Cristo. Presentado el control estructural por la falla Dominga perteneciendo al sistema de fallas NE-SW, movimiento cinemático dextral con $Az = N131^\circ$ y $Bz = 55^\circ SW$, con potencia de 0.80 m., y relleno compuesto por arcillas y óxidos. Geoestructuralmente la Formación Carhuaz presenta movimientos cinemáticos dextral geotectónicos desde $Pi + 322.10$ m. al 373.15 m., ocasionando gran filtración de agua subterránea con caudal > 3 litros/s. con orientación $N155^\circ$ y $Bz = 62^\circ SW$, observándose también el emplazamiento de una veta cobre de orientación $Az = N220^\circ$ y $Bz = 62^\circ NW$, de espesor 0.50 m. a 0.80 m. en la Formación Chimú.

Los movimientos geotectónicos regionales fracturaron a las rocas sedimentarias del Cretáceo Inferior, siendo posteriormente rellenadas de mineralización supérgena explotable: Au y Ag, conformando sulfuros primarios de Cu y Ag. Constituyendo un yacimiento de alta sulfatación de tipo vetiforme emplazado en rocas sedimentarias siendo la roca de caja areniscas cuarzosas, presentando 3 dominios mineralógicos: **Primer dominio**, zona de Oxidación cerca de la charnela del anticlinal, con profundidad vertical 250 m. rellenada con óxidos de hierro, como jarosita, goethita y hemetita, presentando oro libre y plata diseminada; **segundo dominio**, zona de enriquecimiento supérgeno en la zona intermedia, presenta óxidos y sulfuros, con mineralización: calcosina, covelina, hematita siendo minerales mena; y **tercer dominio**, zona: hipógena o primaria a la base del Anticlinal, conformado por tetraedrita, tennantita, chalcopirita, bornita, oro como minerales de mena.

Las estructuras menores, definieron el grado de fracturamiento y blocosidad del afloramiento rocoso conformadas por discontinuidades de orientación (Az/Bz): $N168^\circ/75^\circ SW$, $N258^\circ/52^\circ NW$, $N73^\circ/39^\circ SW$ y $N312^\circ/43^\circ NE$; afectando el avance de las labores mineras subterráneas formando cuñas: Tetraédricas, prismáticas, doblemente prismáticas.

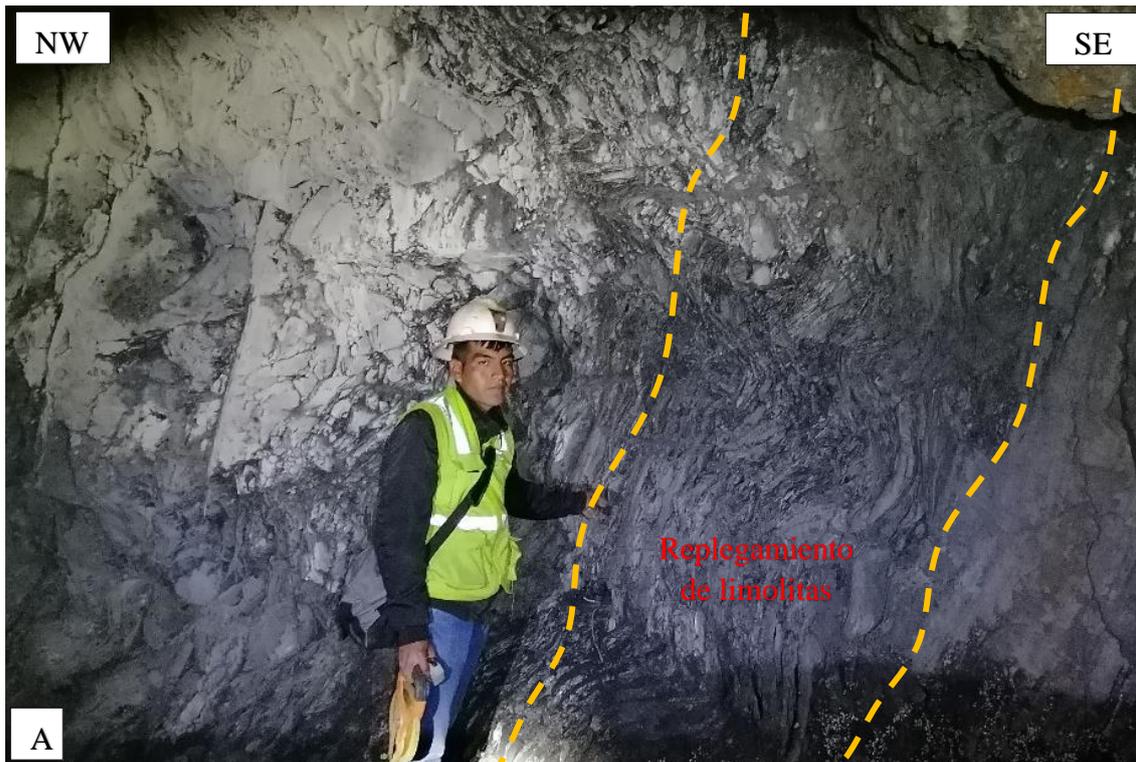


Figura 3.14. Replegamiento de limolitas de la Formación Carhuaz, en espesor: 2.50 m. a 3.50 m.; ubicándose en el hastial derecho del Pi + 427.15.

3.8 SISMICIDAD

La empresa HNS Consorcio está generando vibraciones constantes por la utilización de voladura, ocasionado vibraciones sísmicas que afectan progresivamente las secciones de la excavación subterránea de forma horizontal (S_H) y vertical (S_V), generando debilidades del medio plástico, elastoplástico y elástico del macizo rocoso mediante redistribución tensional. El grado de fracturamiento será progresivo por el microfracturamiento de impulsos de energía microsísmica, por de ondas: compresión y tracción; ocasionando vibraciones de magnitud leve comparadas con: Richter que presenta < 1.0 , equivalente de la energía TNT de 170 gr. y Mercalli presenta II – Leve.

Aplicando la Norma Técnica E.30 “Diseño Sismorresistente” de acuerdo con el medio discontinuo y propiedades elásticas de cada estación geomecánica, se obtuvo valores sísmicos, obteniendo resultados con probabilidad de cambio espectral y variabilidad de sección: Factor de zona $Z_3 = 0.35g$, perfil de roca: S1 Roca con ondas de corte 500 m/s a 1,500 m/s y S3 Suelos blandos con ondas de corte < 180 m/s, Factor de suelos $S = 1.00$ a 1.20, período de $T_P = 0.40$ a 1.00 y $T_L = 2.50$ a 1.60.

Cuadro 3.5. Aceleración sísmica horizontal y vertical en las estaciones geomecánicas.

Aceleración sísmica	Estaciones geomecánicas					
	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6
Sh	0.197	0.171	0.165	0.158	0.132	0.164
Sv	0.525	0.455	0.436	0.427	0.409	0.438

3.9 GEOMECAÍNICA SUBTERRÁNEA

La caracterización geomecánica se realizó por mapeo geomecánico por línea de detalle, de cada estación, a partir de información: Cualitativa y cuantitativa (Registro geomecánico), obtenido resultados de calidad de roca, para posteriormente ser utilizada en programas numéricos como: RocData y Phase². Sin embargo el basamento rocoso fue definido por: Calidad del macizo rocoso (RQD, RMR, GSI, Q y RMI), propiedades discontinuidades y criterios de rotura: Morh-Coulomb, generalizado Hoek-Brown y generalizado Hoek-Diederichs; precisando el modelo geológico-geomecánico del modelo numérico: determinístico y probabilístico, del yacimiento minero de explotación, siendo fue precisada en seis estaciones geotécnicas, distribuidas a lo largo del túnel, para realizar actividades de sostenimiento y generación del abastecimiento de materia prima, para mejores avances en la obtención de escombros de rocas, desbroce y producción. El comportamiento de la excavación del Nivel el Ñato se utilizó este modelo numérico, basado en la integración del modelo: Geológico y geomecánico, desarrollados anteriormente para simular el comportamiento mecánico en el entorno de la excavación. Primeramente, consistiendo en asegurar el nivel tensional en la periferie de la excavación en relación a la resistencia del macizo rocoso; y la segunda definir el diseño de la sección asegurando la estabilidad para de la excavación subterránea.

- **ESTACIÓN GEOMECAÍNICA (EG-01)**

Está conformado por secuencias de limolitas de orientación Az/Bz = N152°/79°SW de espesor: 0.15 m. a 0.20 m., de color negruzco cartografiándose desde: Pi. + 71 m. al 81 m., presentando planos de discontinuidades de superficies limpias con abertura espesor: 2 mm. a 4 mm., con resultados de mapeo geomecánico por línea de detalle: $\sigma_{ci} = 35$ MPa., RQD = 44.81, RMR = 38, GSI = 33 y Q = 3.94, cuantificándolo como roca de calidad mala; con

campo tensional gravitatorio: $\sigma_1 = 0.468$ MPa. y $\sigma_3 = 0.490$ MPa.; $H = 26.00$ m. y $m = 0.49$.
 con mecánicas tensionales bajas y altamente fracturados (σ_1 / σ_{ci}) 0.04.

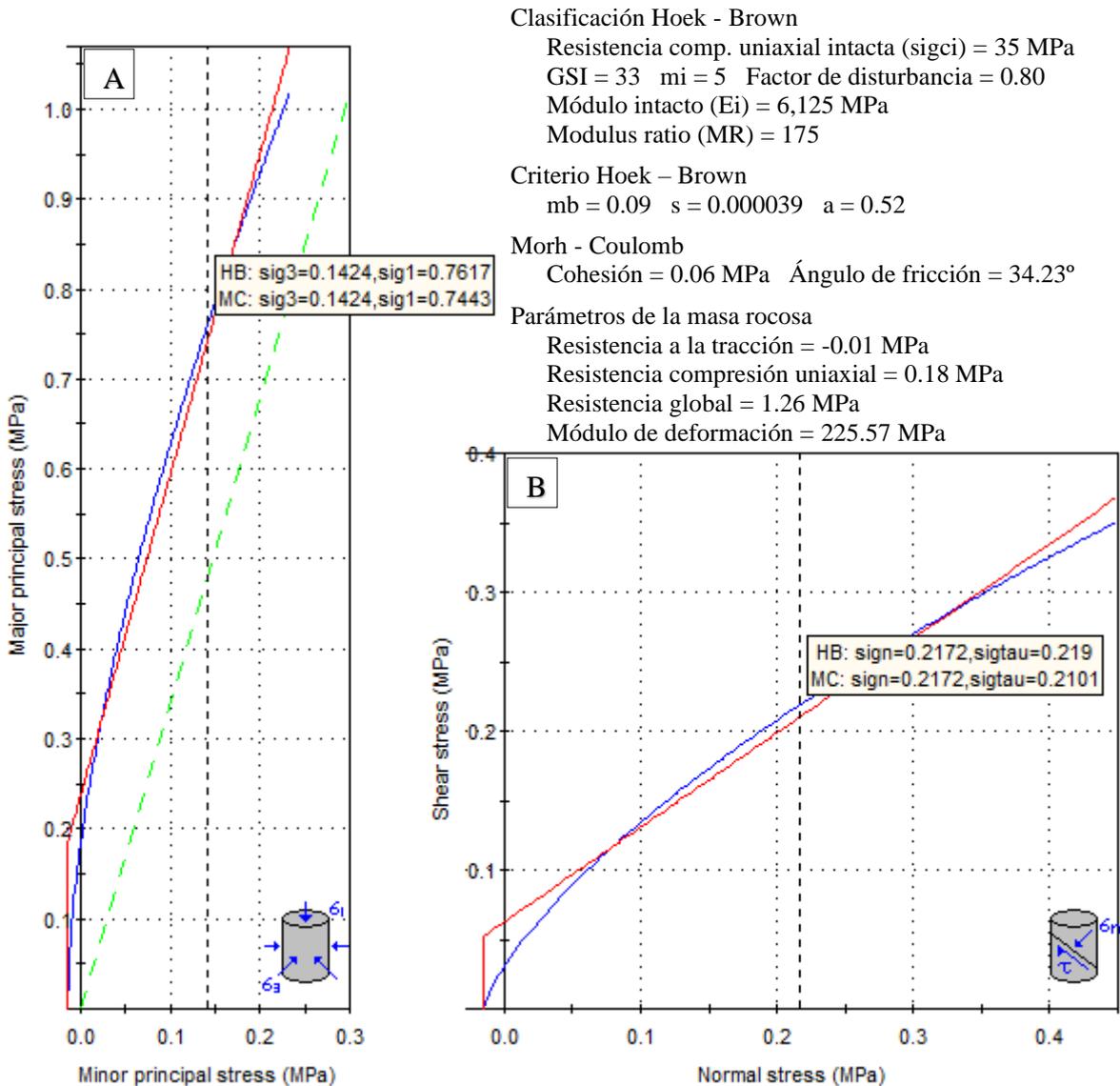


Figura 3.15. A. Relación de esfuerzo Hoek-Brown: Mayor vs. Menor. B. Esfuerzo: Corte y normal (Morh-Coulomb); aplicando el método equivalencia de áreas y línea de Mogi's. Estación geomecánica EG-01.

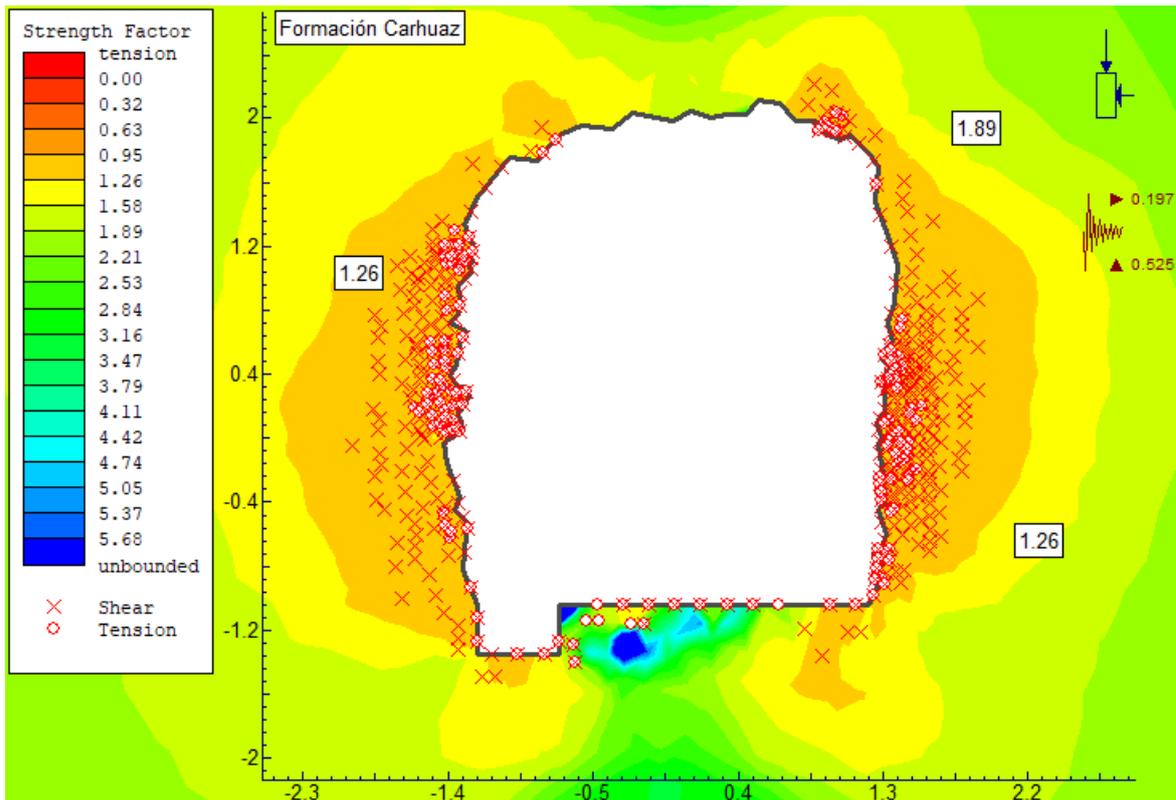


Figura 3.16. Aureolas tensodeformacionales del FS alrededor del túnel, cambiando la estabilidad de los hastiales en función del esfuerzo de corte y normal, EG-01.

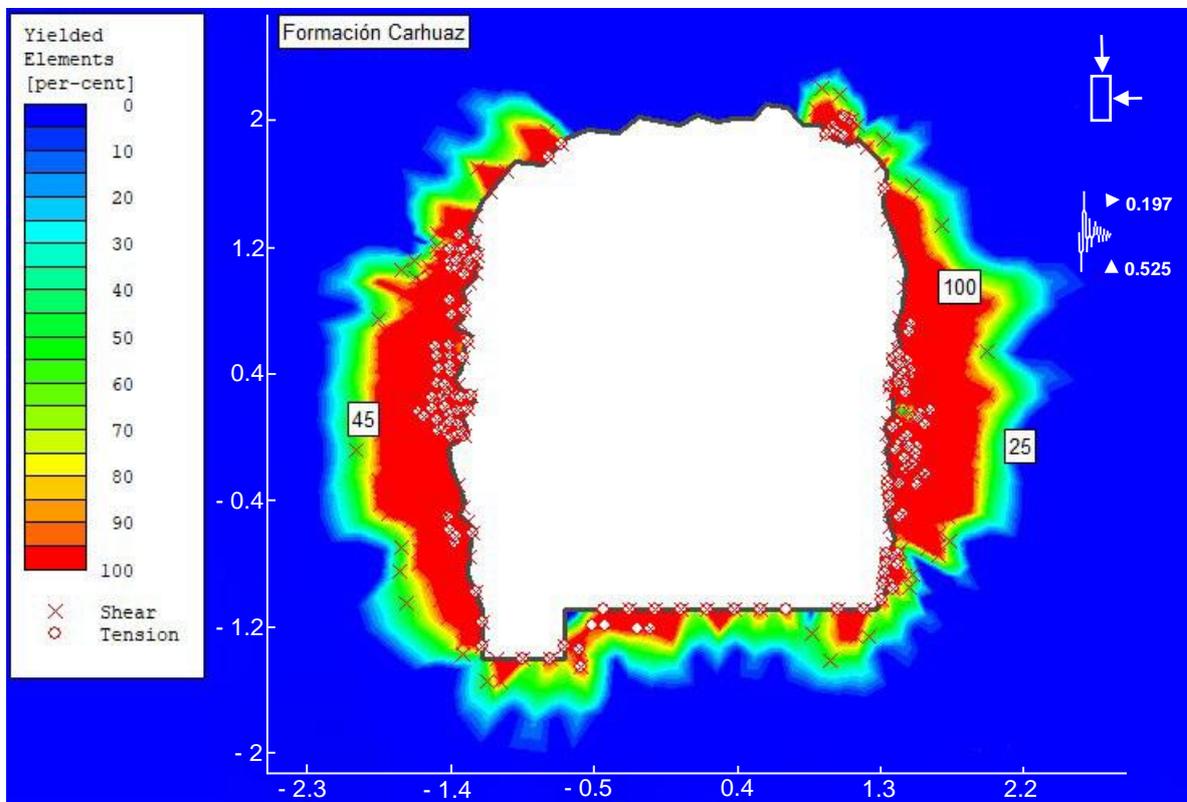


Figura 3.17. Comportamiento del campo tensional alrededor de la sección en función de medio: Plástico, elastoplástico y elástico, con variabilidades: 0.468 m. a 0.667 m., EG-01.

• ESTACIÓN GEOMECÁNICA (EG-02)

La litología presenta secuencias limolíticas desde: Pi. + 210 m. al 220 m., de color bituminoso orientación Az/Bz = N150°/62°SW, con espesor: 0.15 m. a 0.22 m., conformado por tres familias con superficies limpias con espesor: cerrado a 1 mm., con resultados de mapeo geomecánico por línea de detalle: $\sigma_{ci} = 41$ MPa., RQD = 53.79, RMR = 47, GSI = 42 y $Q = 7.89$, siendo de calidad media; con campo tensional gravitatorio: $\sigma_1 = 1.512$ MPa. y $\sigma_3 = 0.730$ MPa., $H = 84.00$ m. y $m = 0.48$. con mecánicas tensionales bajas y altamente fracturados (σ_1 / σ_{ci}) 0.04. El campo tensional está concentrado en hastial deformando: 1.20 m. a 1.30 m.

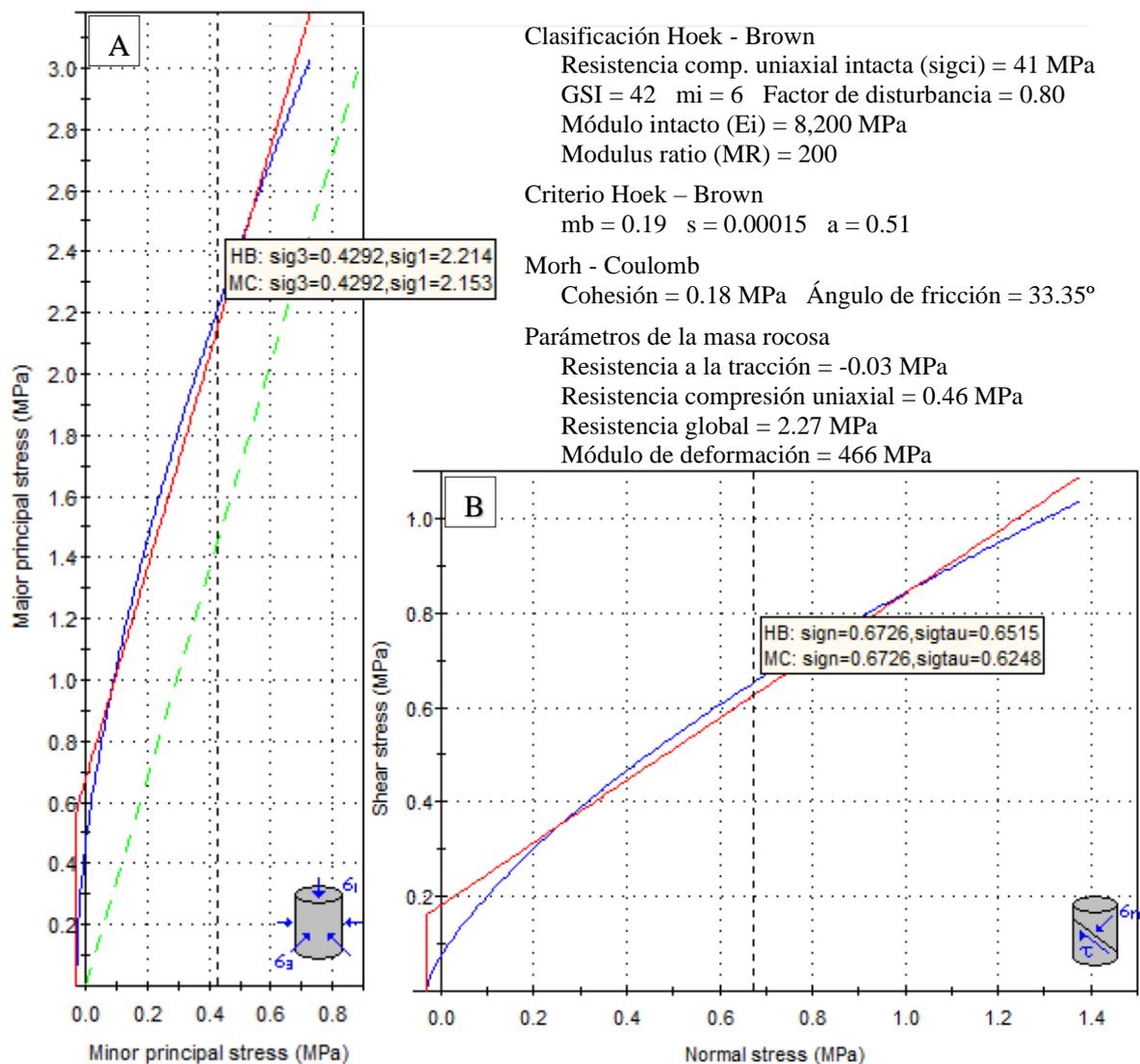


Figura 3.18. A. Relación de esfuerzo Hoek-Brown: Mayor vs. Menor. B. Esfuerzo: Corte y normal (Morh-Coulomb); aplicando el método equivalencia de áreas y línea de Mogi's. Estación geomecánica EG-02.

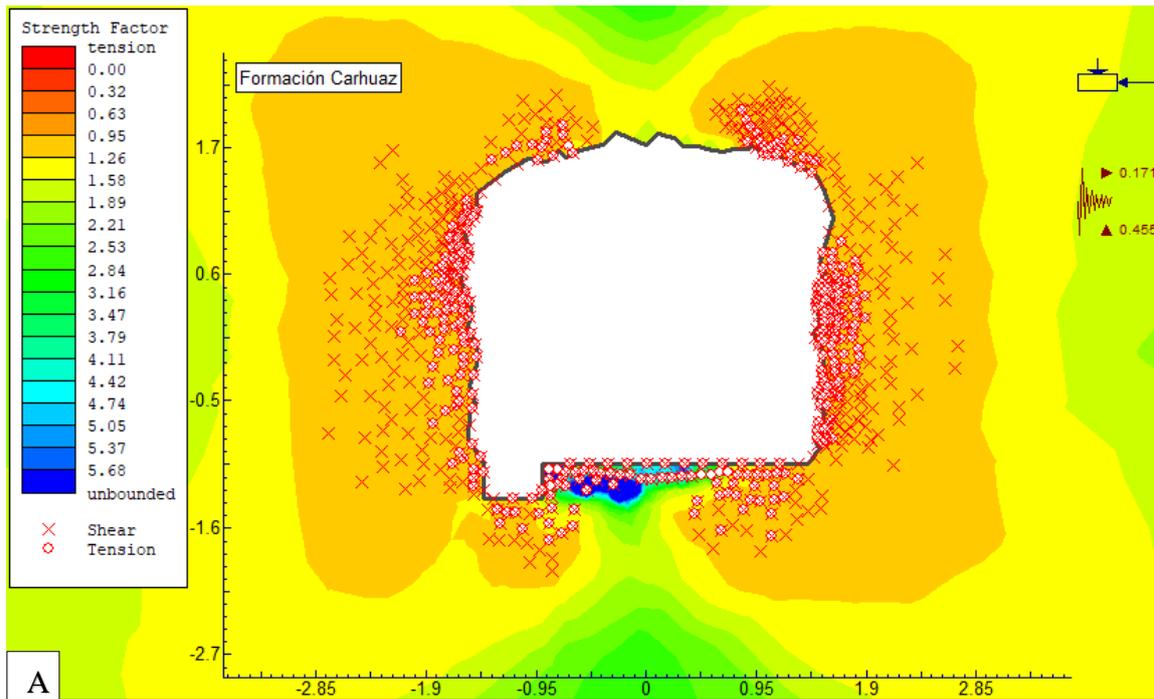


Figura 3.19. Aureolas tensodeformacionales relacionadas con el FS alrededor del túnel, concentrándose y propagándose los esfuerzos en corte en los hastiales, ocasionando cada vez mayor grado de fracturamiento, y empuje del esfuerzo horizontal; en cambio la clave y piso, su concentración es muy baja no generando debilitamiento de la sección del túnel de la EG-02.

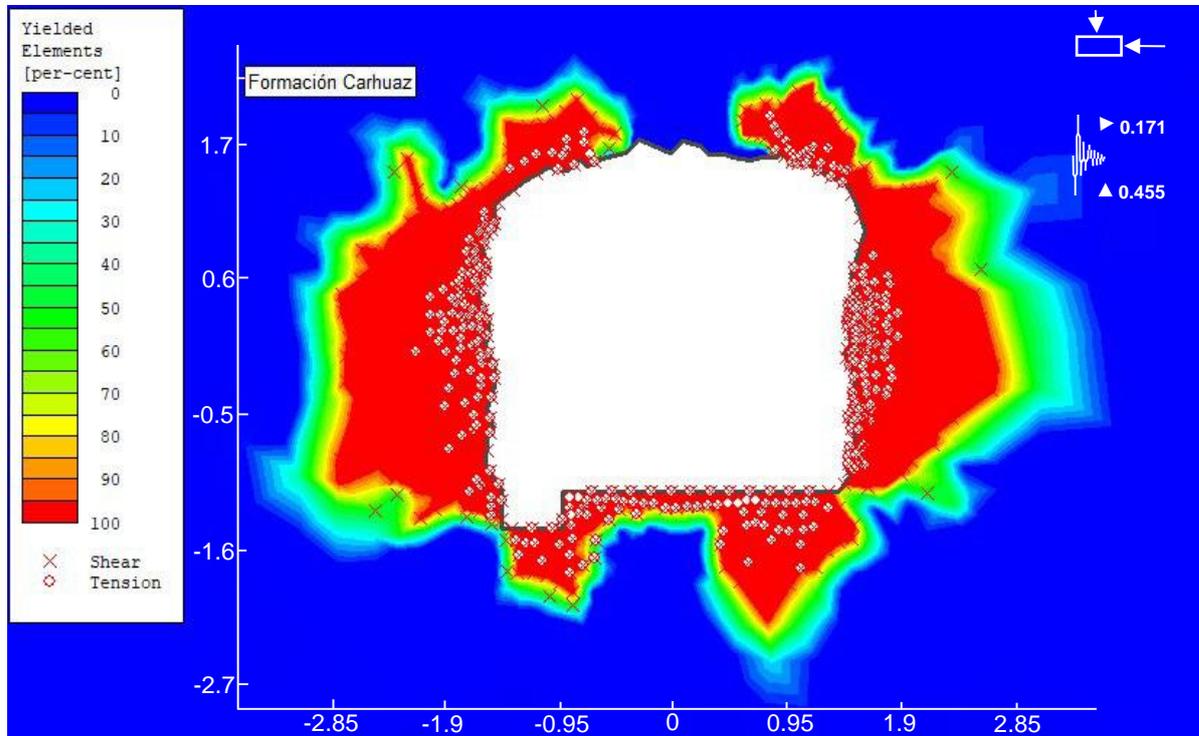
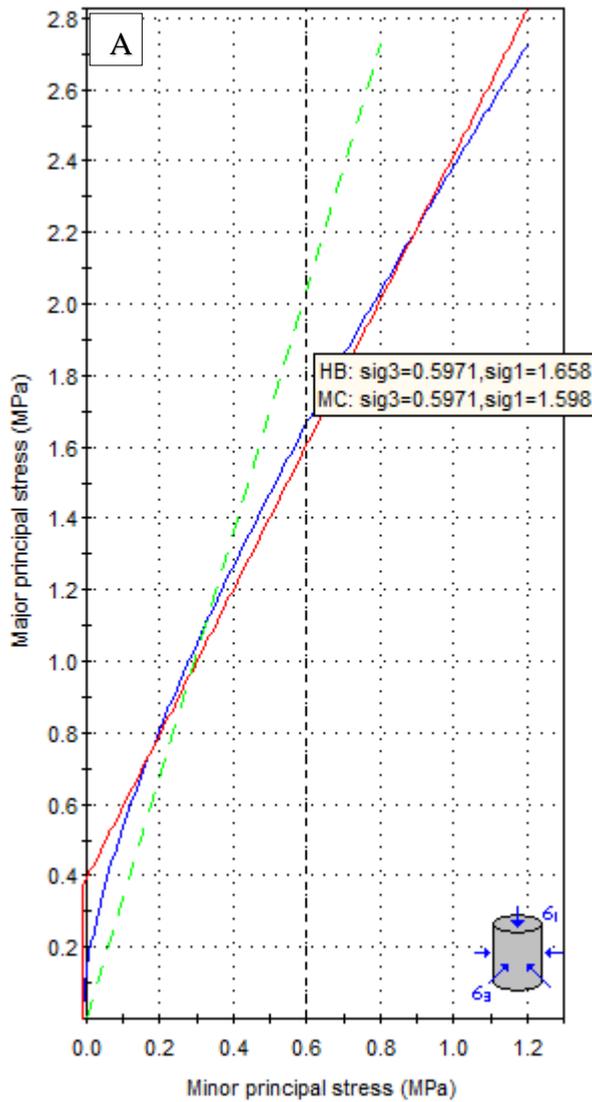


Figura 3.20. Variabilidad del medio: Plástico, elastoplástico y elástico, alrededor de la excavación subterránea, generando mayor deformación plástica en los hastiales generando desprendimiento rocas limolitas de profundidad horizontal: 1.20 m. a 1.30 m. del medio plástico y 0.35 m. a 0.50m. medio elastoplástico de la estación EG-02.

- **ESTACIÓN GEOMECÁNICA (EG-03)**

El mapeo geomecánico de la estación EG-03 por línea de detalle abarca desde: Pi. + 404 m. a 414 m., conformando por limolitas de espesor: 0.07 m. a 0.10 m., de color negruzco de orientación Az/Bz = N155°/56°SW, compuesto por tres familias con superficies limpias y espesor: 1 mm. a > 5 mm. con rugosidad: onduladas – lisa y suave y con superficies de meteorización: inalteradas a ligeramente alteradas. Los valores cuantitativos son: $\sigma_{ci} = 32$ MPa., RQD = 46.95, RMR = 35, GSI = 30 y $Q = 1.74$, siendo de calidad mala. El campo tensional es constante: $\sigma_1 = 2.718$ MPa. y $\sigma_3 = 1.200$ MPa., $H = 151.00$ m. y $m = 0.44$; con mecánicos tensionales bajos y altamente fracturados (σ_1 / σ_{ci}) 0.08. El campo tensional está concentrado en hastial deformando: 0.90 m. a 1.10 m. La variación del campo tensional forma aureolas circulares, proyectándose el medio plástico > 10 m. debilitando constante al túnel.



Clasificación Hoek - Brown

Resistencia comp. uniaxial intacta (σ_{ci}) = 32 MPa
 GSI = 30 m_i = 5 Factor de disturbancia = 0.80
 Módulo intacto (E_i) = 5,600 MPa
 Modulus ratio (MR) = 175

Criterio Hoek - Brown

m_b = 0.08 s = 0.000025 a = 0.52

Morh - Coulomb

Cohesión = 0.14 MPa Ángulo de fricción = 19.79°

Parámetros de la masa rocosa

Resistencia a la tracción = -0.01 MPa
 Resistencia compresión uniaxial = 0.13 MPa
 Resistencia global = 1.02 MPa
 Módulo de deformación = 184.22 MPa

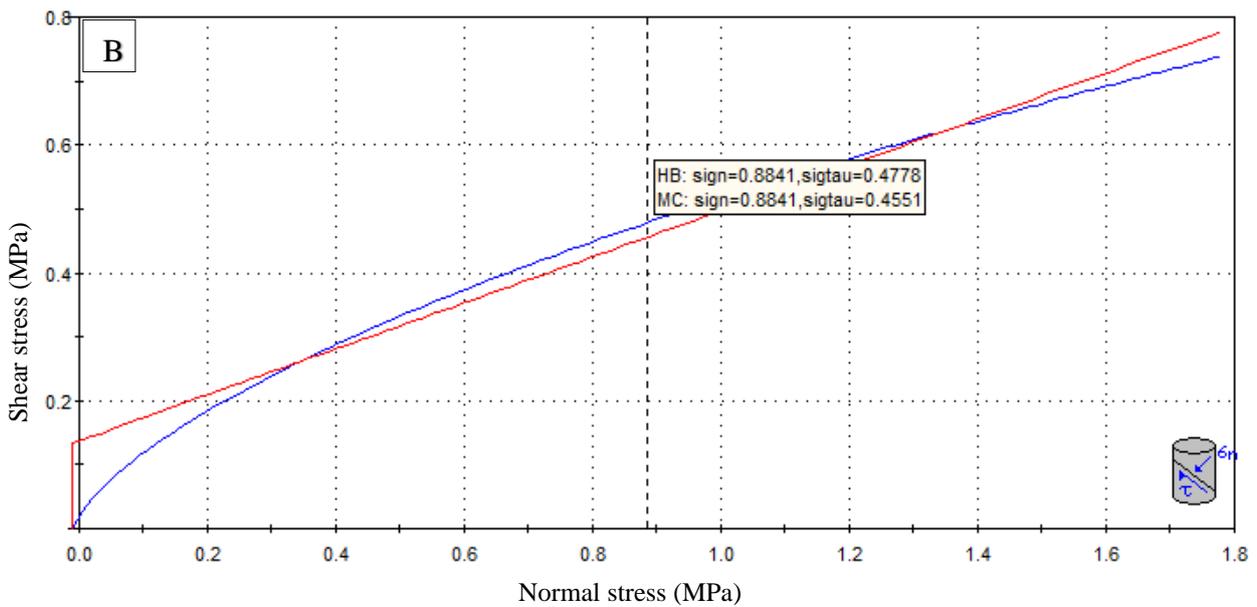


Figura 3.21. A. Relación de esfuerzo Hoek-Brown: Mayor vs. Menor. B. Esfuerzo: Corte y normal (Morh-Coulomb); aplicando el método equivalencia de áreas y línea de Mogi's. Estación geomecánica EG-03.

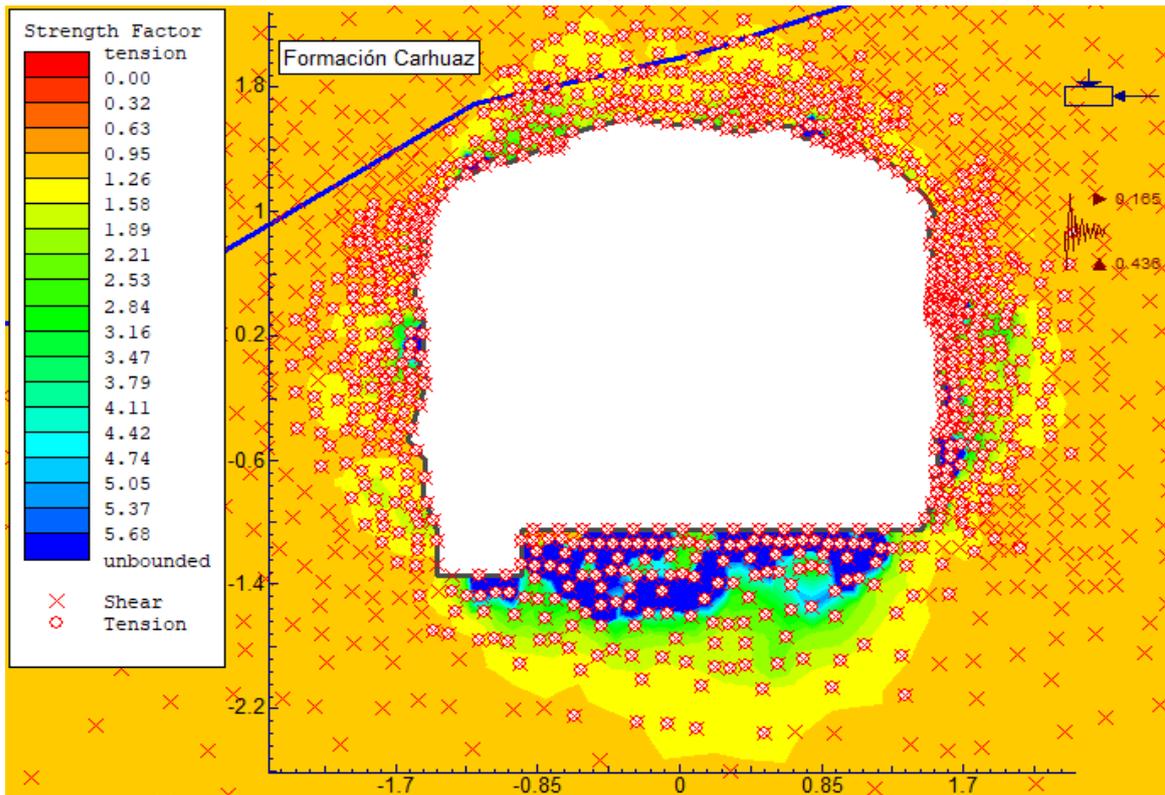


Figura 3.22. Cambios tensodeformacionales alrededor del túnel basado en el FS, generando debilitamiento del basamento rocoso (Esfuerzo: Corte y Normal) EG-03.

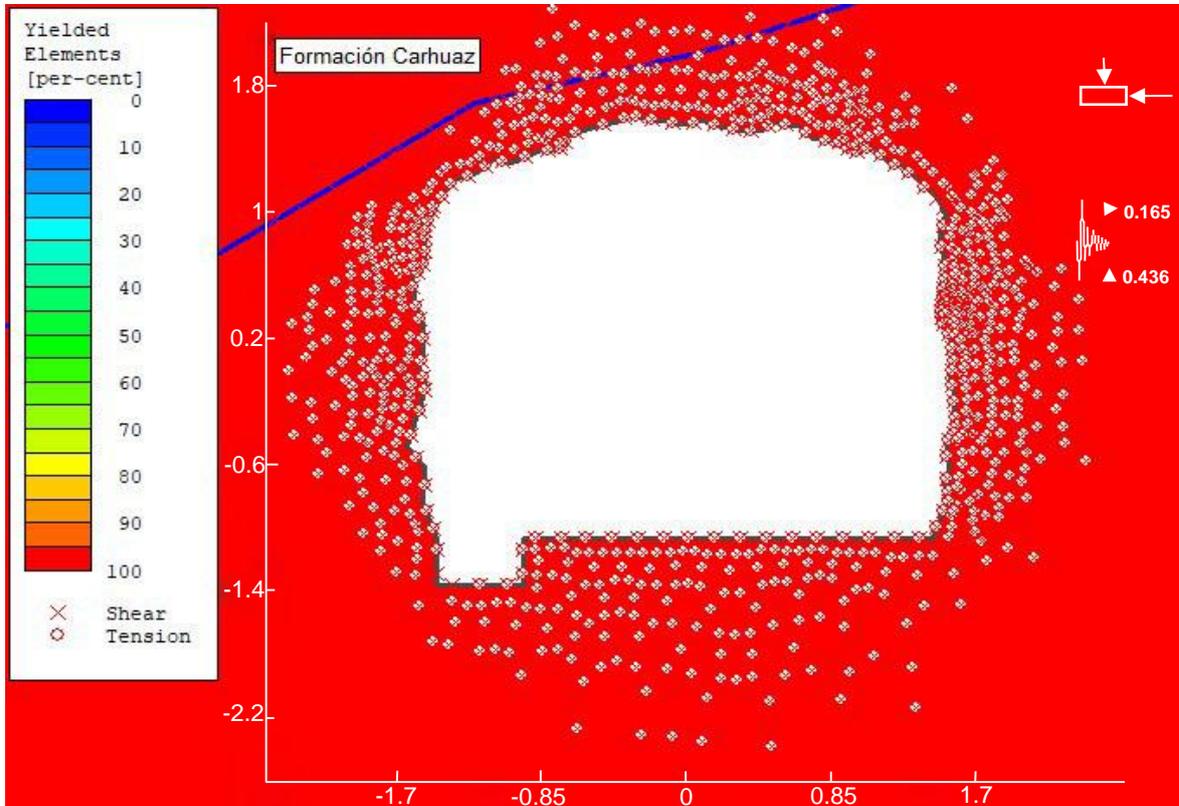
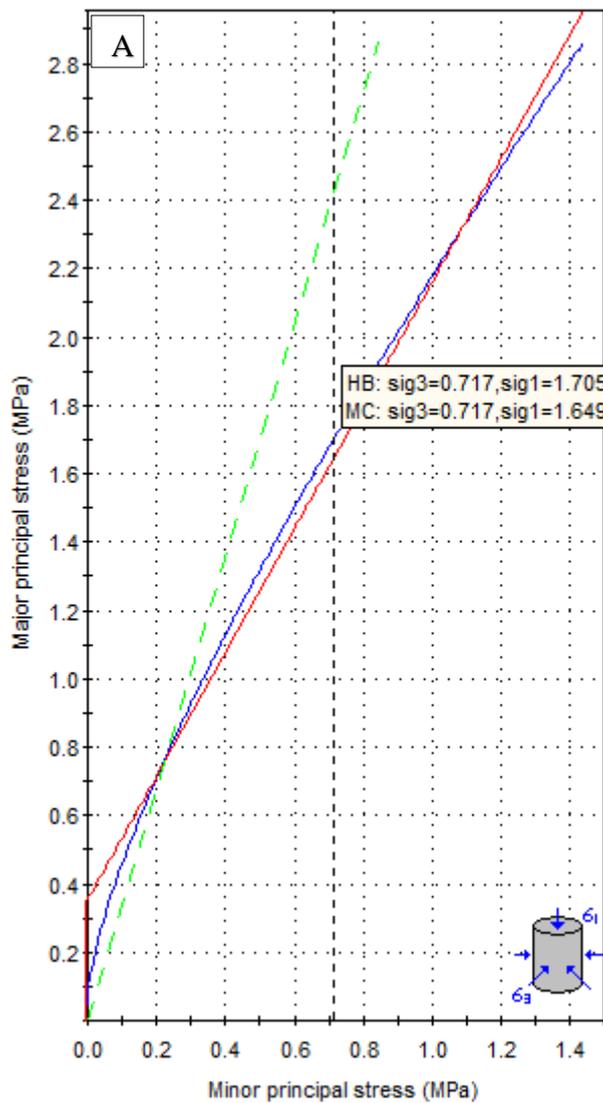


Figura 3.23. Afectación por el medio plástico deformándose 3.50 m. alrededor de la excavación subterránea, ocasionando debilitamiento constante del túnel EG-03.

- **ESTACIÓN GEOMECÁNICA (EG-04)**

Está ubicada en la Formación Santa, realizando el mapeo geomecánico por línea de detalle abarca desde: Pi. + 503 m. a 513 m., compuesto por lutitas de espesor: 0.09 m. a 0.10 m., de color negruzco a bituminoso, de textura fisil, con superficies de óxidos y rugosidad: Ondulado-lisa y suave, ligeramente alteradas. Las secuencias estratigráficas tienen orientación Az/Bz = N153°/64°SW, presentando tres familias con superficies limpias y cerradas. Los criterios empíricos definen como roca de mala con valores: $\sigma_{ci} = 27$ MPa. (1 golpe), RQD = 36.28, RMR = 33, GSI = 28 y $Q = 1.68$. El campo tensional es constante: $\sigma_1 = 3.344$ MPa. y $\sigma_3 = 1.440$ MPa., $H = 209.00$ m. y $m = 0.43$; con mecánicas tensionales bajos y altamente fracturados (σ_1 / σ_{ci}) 0.12. Las tensiones deformacionales están generando inestabilidades, ocasionando desprendimiento de rocas por la mala calidad alrededor del basamento rocoso, proyectándose > 5.00 m. por vectores deformacionales tensionales de mayor incidencia con esfuerzo de corte.



Clasificación Hoek - Brown

Resistencia comp. uniaxial intacta (σ_{ci}) = 27 MPa

GSI = 28 $m_i = 5$ Factor de disturbancia = 0.80

Módulo intacto (E_i) = 4,725 MPa

Modulus ratio (MR) = 175

Criterio Hoek - Brown

$m_b = 0.08$ $s = 0.000018$ $a = 0.53$

Morh - Coulomb

Cohesión = 0.13 MPa Ángulo de fricción = 16.65°

Parámetros de la masa rocosa

Resistencia a la tracción = -0.01 MPa

Resistencia compresión uniaxial = 0.09 MPa

Resistencia global = 0.79 MPa

Módulo de deformación = 145.49 MPa

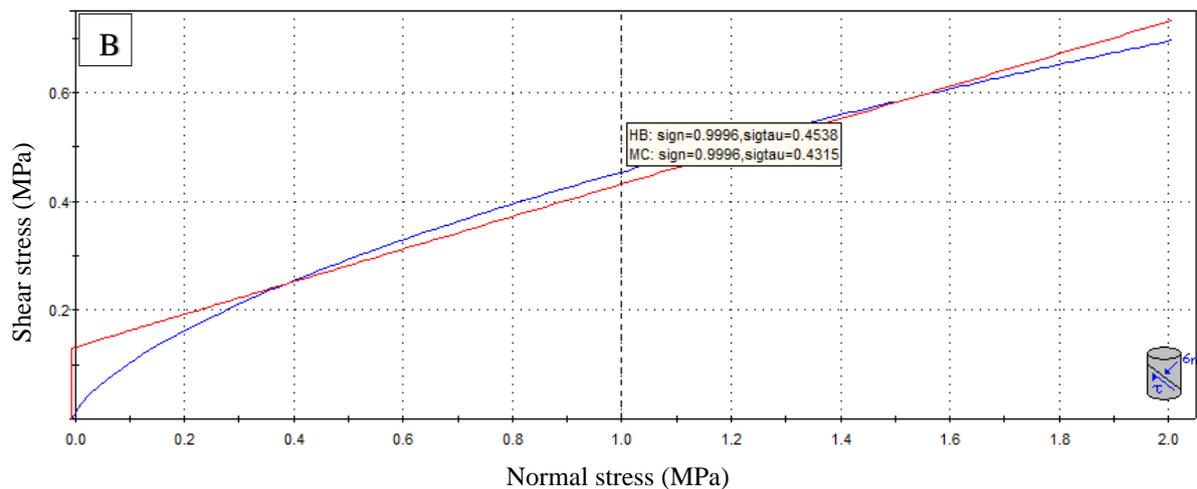


Figura 3.24. A. Relación de esfuerzo Hoek-Brown: Mayor vs. Menor. B. Esfuerzo: Corte y normal (Morh-Coulomb); aplicando el método equivalencia de áreas y línea de Mogi's. Estación geomecánica EG-04.

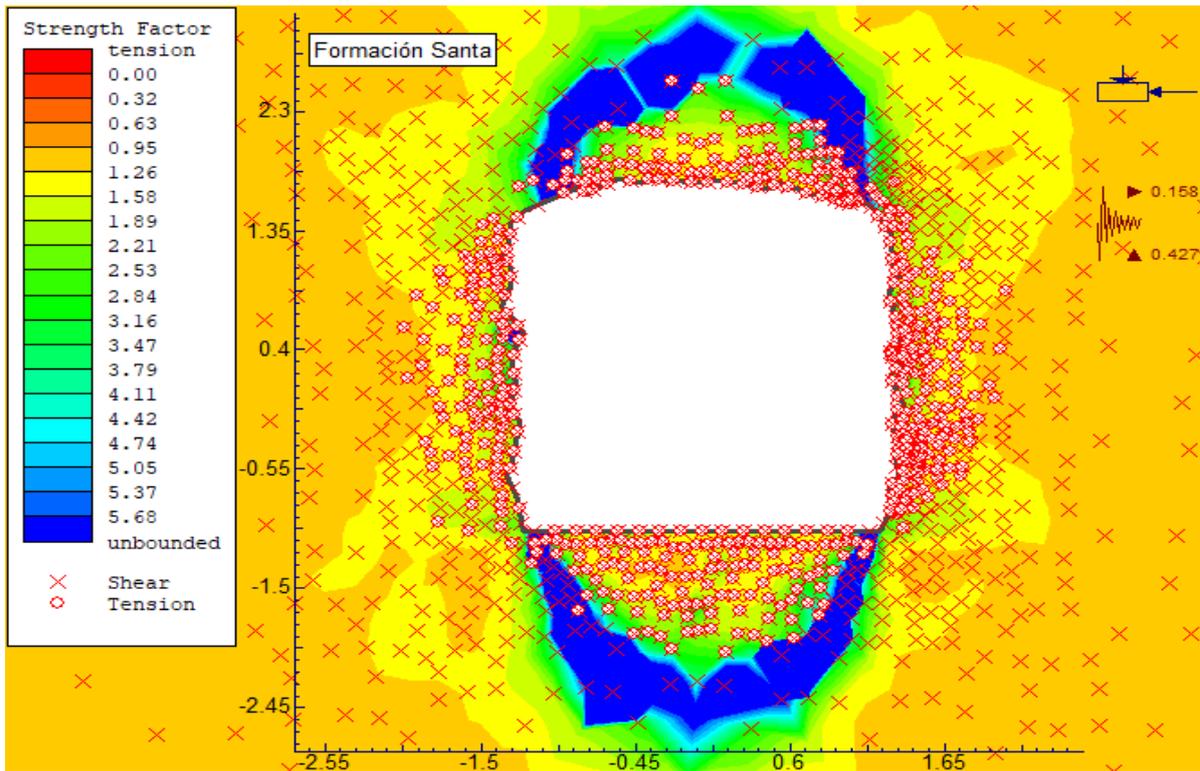


Figura 3.25. Esfuerzos alrededor del túnel con FS < 1.50, debilitamiento progresivamente al basamento rocoso los esfuerzos compresivos alrededor del túnel EG-04.

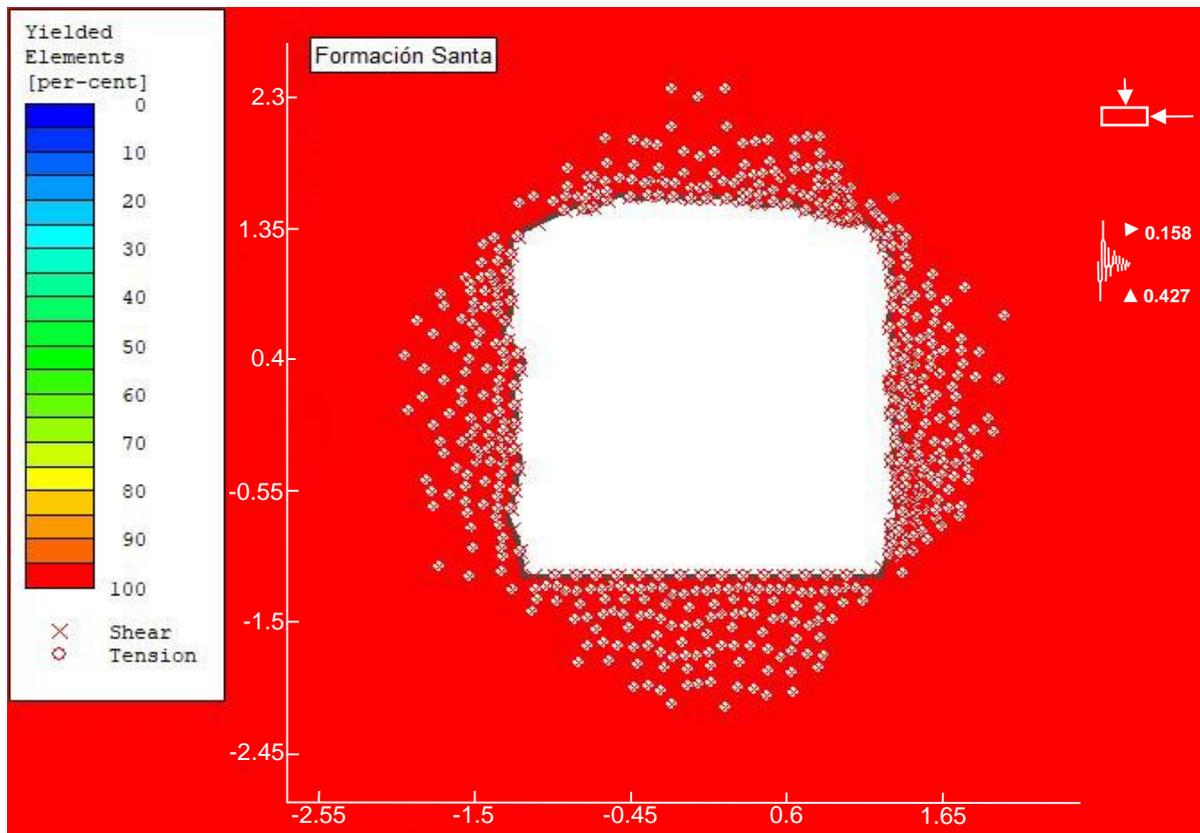
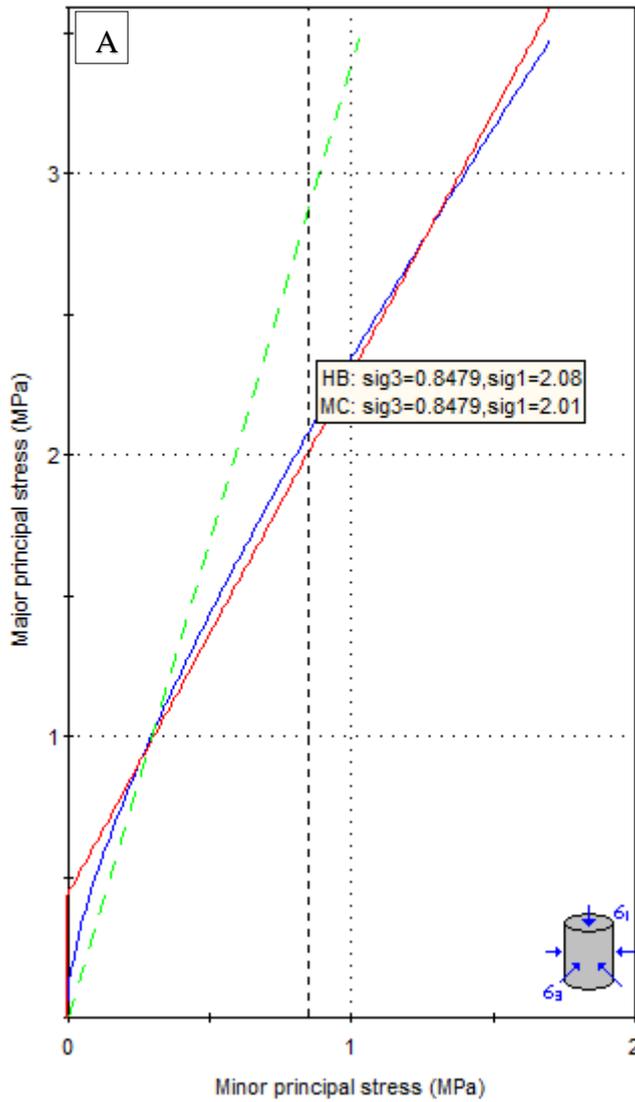


Figura 3.26. Sección del túnel inestable, ocasionando desprendimiento de rocas por la mala calidad del basamento rocoso, proyectándose 5.60 m. de deformación EG-04.

- **ESTACIÓN GEOMECÁNICA (EG-05)**

El mapeo geomecánico por línea de detalle, está ubicada en la Formación Santa, desde: Pi. + 658 m. a 668 m., con dimensiones de sección: H = 2.70 m. y A = 2.65 m. de forma irregular, con espesor: 0.05 m. a 0.10 m. de estrato, de textura fisil, con superficies de óxidos y rugosidad: Ondulado-lisa y suave, ligeramente alteradas. Presenta estratos de orientación Az/Bz = N154°/53°SW, conformando cuatro familias discontinuidades con superficies limpias y cerradas. Los criterios empíricos definen rocas de mal calidad, con valores: $\sigma_{ci} = 32$ MPa. (1 golpe), RQD = 28.73, RMR = 39, GSI = 34 y Q = 2.81. El campo tensional es constante: $\sigma_1 = 3.936$ MPa. y $\sigma_3 = 1.700$ MPa., H = 209.00 m. y $m = 0.43$. Los campos tensionales con mecánicas tensionales intermedias y altamente fracturados (σ_1/σ_{ci}) 0.18. Las deformacionales están generado inestabilidades, desprendiendo rocas de mala calidad, proyectándose > 8.00 m. con vectores deformacionales de corte de mayor incidencia alrededor de la excavación.



Clasificación Hoek - Brown
 Resistencia comp. uniaxial intacta (σ_{ci}) = 32 MPa
 GSI = 27 m_i = 6 Factor de disturbancia = 0.80
 Módulo intacto (E_i) = 5,920 MPa
 Modulus ratio (MR) = 185

Criterio Hoek - Brown
 m_b = 0.08 s = 0.000016 a = 0.53

Morh - Coulomb
 Cohesión = 0.16 MPa Ángulo de fricción = 17.38°

Parámetros de la masa rocosa
 Resistencia a la tracción = -0.01 MPa
 Resistencia compresión uniaxial = 0.09 MPa
 Resistencia global = 0.98 MPa
 Módulo de deformación = 176.83 MPa

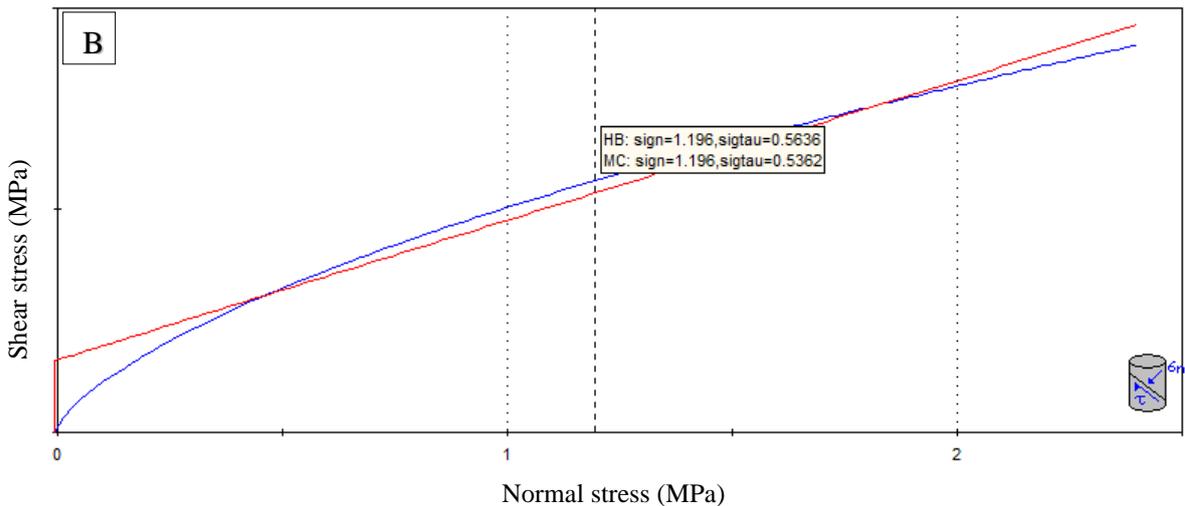


Figura 3.27. A. Relación de esfuerzo Hoek-Brown: Mayor vs. Menor. B. Esfuerzo: Corte y normal (Morh-Coulomb); aplicando el método equivalencia de áreas y línea de Mogi's. Estación geomecánica EG-05.

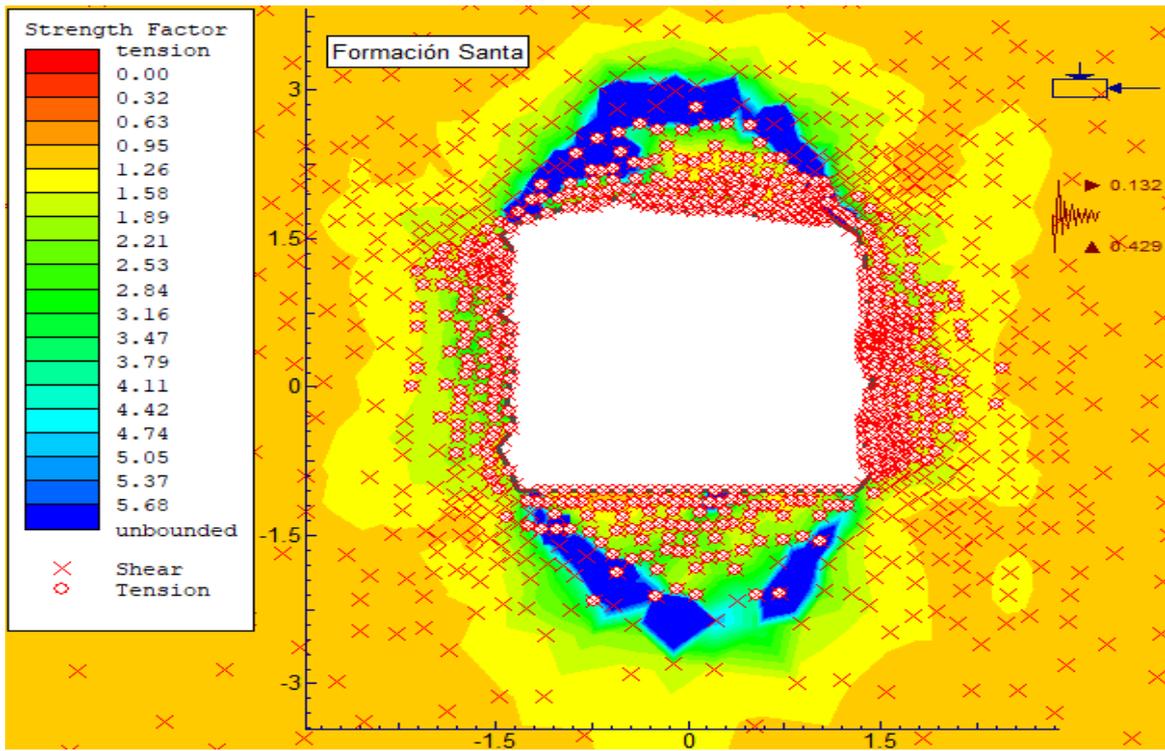


Figura 3.28. Cambios tensionales alrededor de la excavación, generando esfuerzos: Normales y cortantes, formando una aureola 0.50 m. a 0.70 m., EG-05.

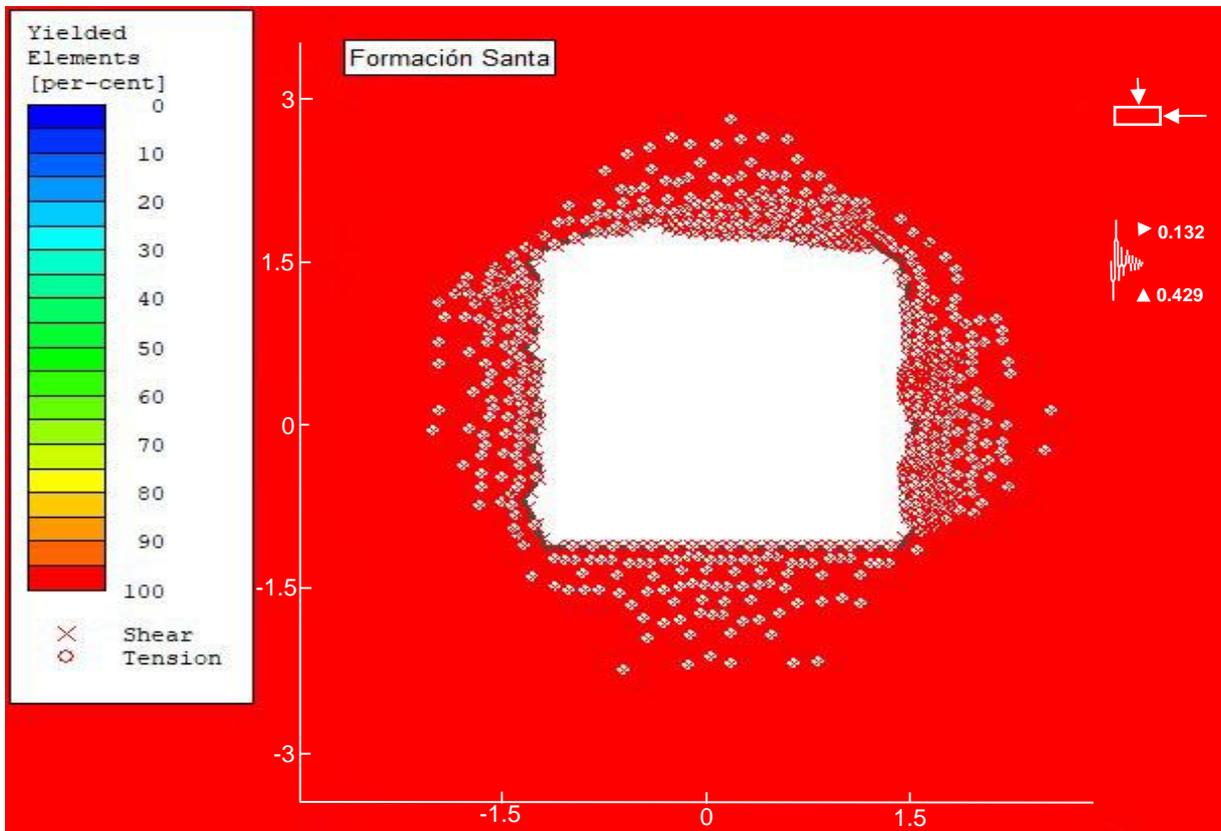
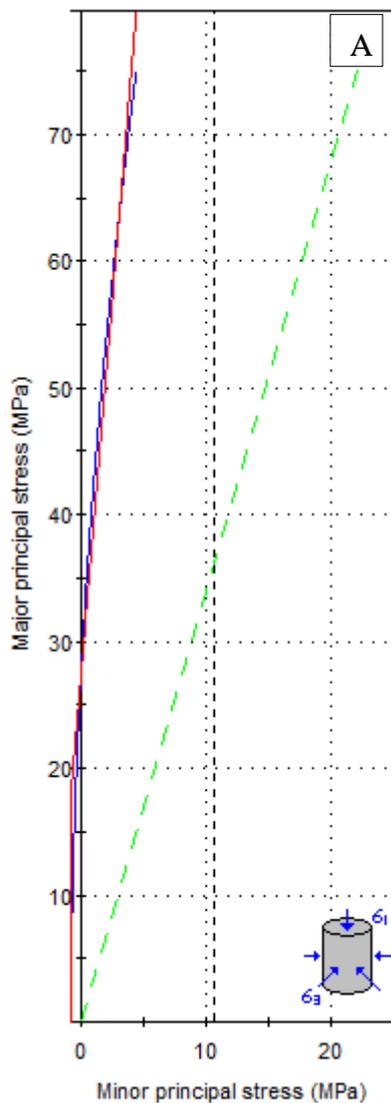


Figura 3.29. Sección del túnel inestable, ocasionando desprendimiento de rocas por la mala calidad del basamento rocoso, proyectándose 7.80 m. de deformación EG-05.

- **ESTACIÓN GEOMECÁNICA (EG-06)**

Está ubicada desde: Pi. + 802 m. a 812 m., perteneciente a la Formación Chimú constituido por areniscas cuarzosas de grano medio, de color blanquecino, con características de meteorización: fresca y grado de fracturamiento bajo, con sección subterránea en forma de baúl. Clasificándolo como roca de calidad buena, con valores: $\sigma_{ci} = 135$ MPa. (3 golpe), RQD = 83.72, RMR = 76, GSI = 71 y $Q = 18.60$. El campo tensional es constante: $\sigma_1 = 8.512$ MPa. y $\sigma_3 = 4.460$ MPa., $H = 304.00$ m. y $m = 0.52$. Los campos tensionales con mecánicas tensionales bajas y moderadamente fracturada (σ_1/σ_{ci}) 0.06.



Clasificación Hoek - Brown

Resistencia comp. uniaxial intacta (σ_{ci}) = 135 MPa
 GSI = 71 $m_i = 20$ Factor de disturbancia = 0.00
 Módulo intacto (E_i) = 43,875 MPa
 Modulus ratio (MR) = 325

Criterio Hoek - Brown

$m_b = 7.10$ $s = 0.04$ $a = 0.50$

Morh - Coulomb

Cohesión = 3.92 MPa Ángulo de fricción = 57.59°

Parámetros de la masa rocosa

Resistencia a la tracción = -0.76 MPa
 Resistencia compresión uniaxial = 26.85 MPa
 Resistencia global = 51.55 MPa
 Módulo de deformación = 32,952.70 MPa

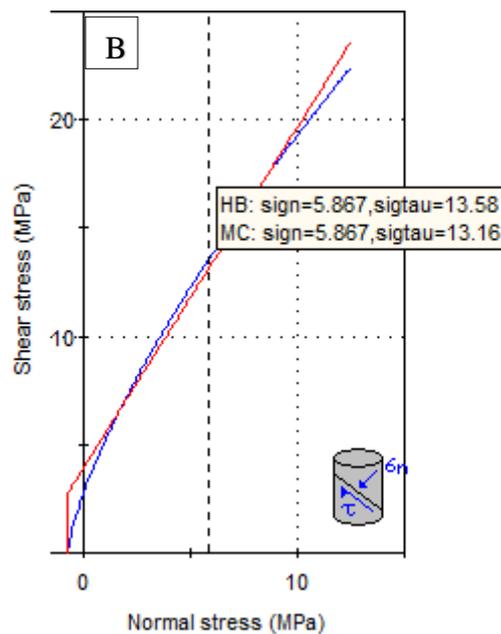


Figura 3.30. A. Relación de esfuerzo Hoek-Brown: Mayor vs. Menor. B. Relación: Corte y normal (Morh-Coulomb); aplicando el método equivalencia de áreas y línea de Mogi's. Estación geomecánica EG-06.

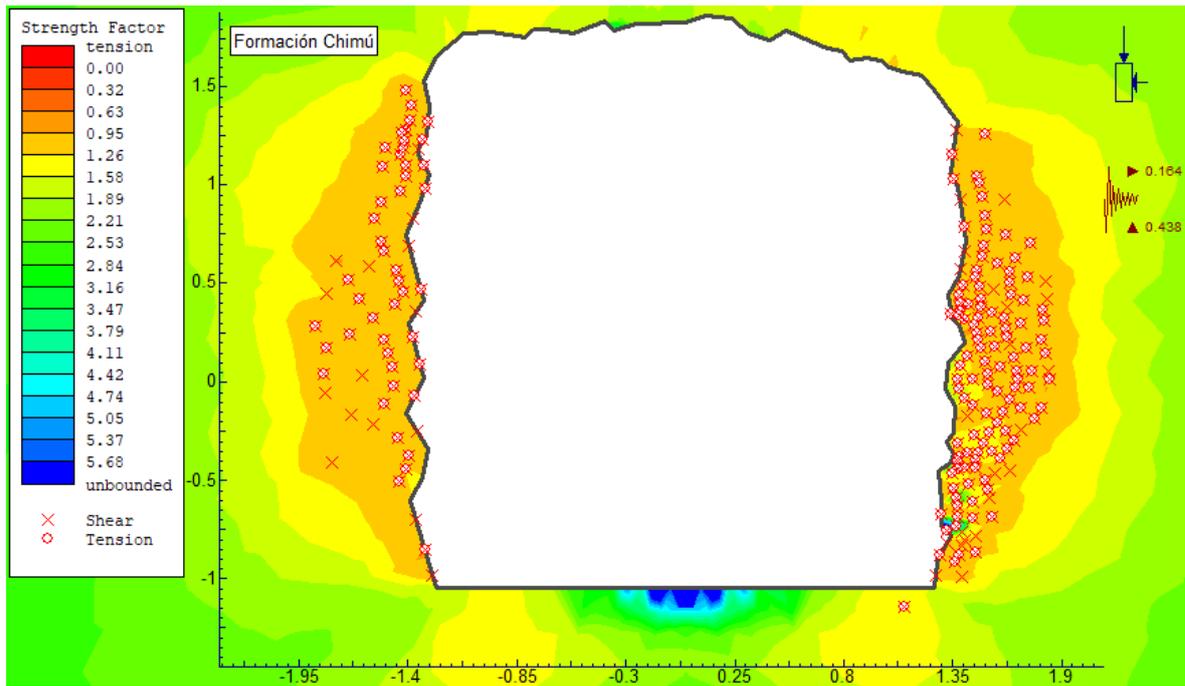


Figura 3.31. Aureolas tensionales alrededor de la excavación subterránea generando cambios tensionales: Cortantes y normales, debilitamiento los hastiales, generando zonas inestables con FS < 1.50.

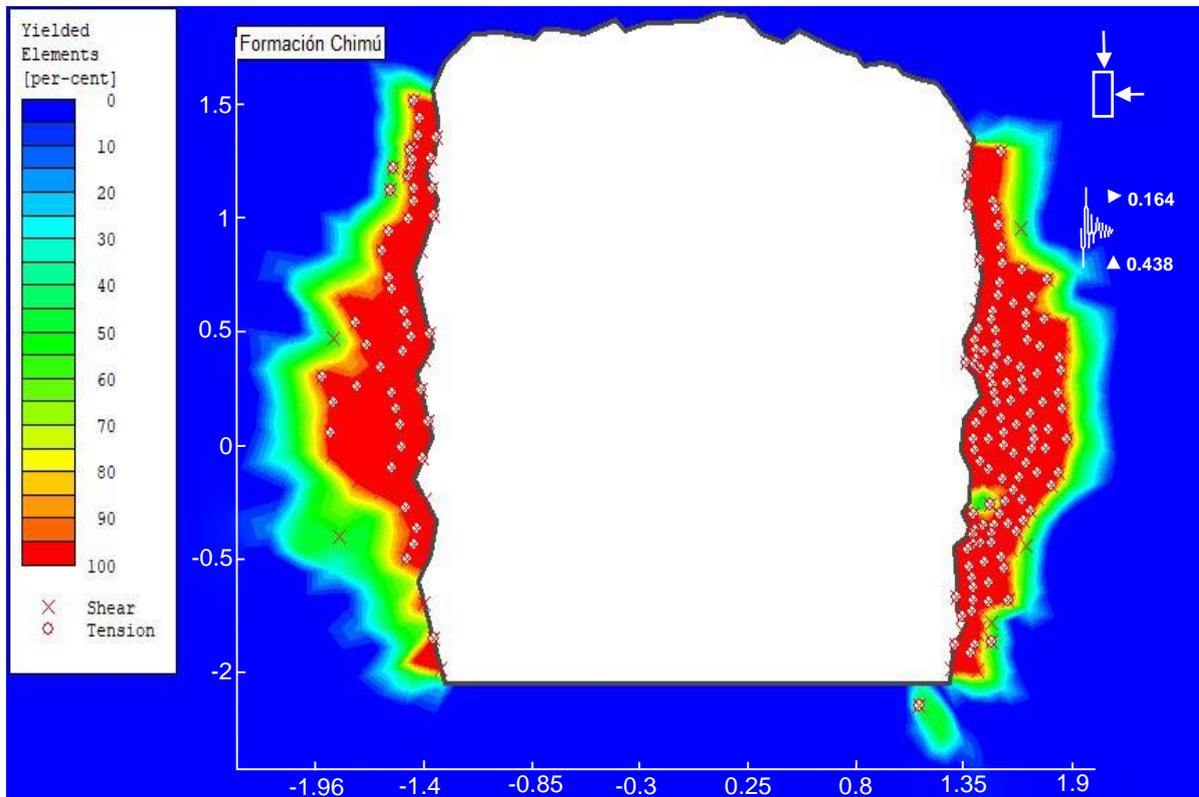


Figura 3.32. Comportamiento tensodeformacionales de la sección subterránea, generando variaciones alrededor de la sección proyectando distancias: 0.75 m. a 0.85 m. en los hastiales, generando esfuerzos horizontes de empuje compresivo.

3.10 SOSTENIMIENTO GEOMECÁNICO

El cruce El Ñato, está emplazado en rocas de calidad: Mala, regular y buena; compuesto por secuencias de limolitas y lutitas, desde: Pi. + 00.00 m. al 792.35 m., presentando dimensiones de sección uniforme: $D_T = 2.65$ m. y $W_T = 2.80$ m., con secciones de geometría en forma: Baúl, herradura e irregular. Por consiguiente, se utilizó el software Phase², para mostrar el comportamiento tensodeformacional alrededor la sección en función del campo de tensional: gravitacional y constante, observando claramente la variación de: 0.64 m. a 7.80 m. del medio plástico - zona de daño y elastoplástico - zona fracturada, en cada estación geomecánica. La galería subterránea actualmente se encuentra en la etapa: Exploratoria y preparatoria, utilizando actualmente estabilización por sostenimiento pasivo por cuadros de madera cónicos o trapezoidales ($\sigma_3 > \sigma_1$) y algunos casos cuadros rectos ($\sigma_1 > \sigma_3$), en hastiales y clave; requiriéndose el desplazamiento de la roca para que actúe el sostenimiento. Las dimensiones de la sección del madero son: 0.25 m. x 0.30 m., altura de poste 2.45 m., ancho de sombrero 2.35 m., longitud de tirante: 1.00 m. a 1.50 m. entre sección y sección, además también emparrillados para evitar desplome de bloques y mejores empalmes entre el sombrero (madero), poste y puntal.

El tipo de madera utilizada es eucalipto de sección circular $D = 0.30$ m., soportando carga 17 KN/m^2 , con características de resistencia mecánica a flexión, tracción, pandeo y cortante, por sus bajos costos de instalación y precio económico en la obtención del madero. Sin embargo, si el Nivel El Ñato ingresaría a la etapa de producción se sugiere colocar sostenimiento por cerchas de acero TH-29 de un cuerpo cada: 1.00 m. a 1.50 m., distribuidos de manera equitativa para distribuir mejor la carga del esfuerzo vertical (σ_1) y horizontal (σ_3), recurriendo a métodos numéricos de equilibrio límite y métodos empíricos, tendiendo como base la teoría de Terzaghi.

Para evitar afectaciones de cuadros de maderos se construirá cunetas de evacuación de agua, por la constante filtración de agua subterránea, así evitando también socavamiento y ahuellamientos.



Figura 3.33. Sostenimiento por cuadros de maderos cónicos desde: $Pi + 4.20$ m. al 141.50 m., de madera de eucalipto de diámetro de 0.30 m. categorizándolo como roca de mala calidad: $RQD = 44.81$, $RMR = 38$, $GSI = 33$, $Q = 3.94$ y $RMi = 8.22$.



Figura 3.34. Cuadros rectos compuesto de maderos de eucalipto desde: $Pi + 193.60$ m. al 200.50 m., con un diámetro de 0.35 m. categorizándolo como roca de mala calidad.



Figura 3.35. Tope de galería principal formando bypass, ubicado Pi + 815 m., cortando a la Formación Chimú, categorizándolo como roca de buena calidad: RQD = 83.72, RMR = 76, GSI = 71, Q = 18.60 y RMI = 58.20.



Figura 3.36. Estabilización con concreto armado del emboquille El Ñato y la excavación subterránea desde el Pi + 0.00 m al 4.20 m.

3.11 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología de desarrollo - Nivel El Ñato, conformado por metodologías de carácter científico como obtención de información de campo y gabinete, selección, procesamiento, redacción y elaboración de planos obteniendo resultados cualitativos y cuantitativos, que serán como aporte científico para futuras investigaciones relacionadas con investigaciones geomecánicas.

3.11.1 TIPO, NIVEL, DISEÑO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Cuantitativa: Etapa basada en la ocurrencia observacional ya sea de campo o gabinete, geomecánicamente relacionada con el modelo geológico; siendo la etapa importante para el desarrollo del investigador para afirmar y denegar la hipótesis de la investigación. La información cuantitativa predecirá el comportamiento del basamento rocoso por la ocurrencia tenses-deformacionales en la excavación subterránea.

Transversal: Se fundamentó en observaciones de campo desde la etapa inicial hasta la final, para definir las variables independientes como la litología, geoestructuras, precipitación, infiltración y tensiones y dependientes: estallido de rocas; en función del eje de la excavación subterránea. Evidenciándose cambios en el sostenimiento subterráneo, método de explotación, tipo de labores subterráneas y tipo de sección del túnel; por la ocurrencia de inestabilidades progresivas en el Nivel El Ñato.

Diseño no experimental: Manifestándose por los cambios naturales que presenta cada sección del túnel, por: Sobredimensionamiento, cambios litológicos, hidrológicos, etc.; presentados enfoques modeladores en: 2D y 3D, del comportamiento de la columna de roca frente a estallidos de rocas en la abertura generada, siendo de vital importancia evaluado por el investigador o ingeniero a cargo para plantear su mejor solución en la disminución de estallido de rocas y también lograr mayor seguridad en la operaciones mineras.

Método deductivo – inductivo: Fue basada en la información obtenida por cada variable llegando a conclusiones, porque la ocurrencia del estallido de rocas, mediante técnicas metodológicas de razonamiento lógico y deductivo-inductivo, basadas como respuesta a los objetivos específicos y modeladores numéricos, mostrando la interfaz del comportamiento

que tiene la excavación subterránea, siendo de vital importancia para la ingeniería geomecánica.

3.11.2 POBLACIÓN

Instalaciones mineras de la Empresa Minera HNS CONSORCIO S.R.L.

3.11.3 MUESTRA

Crucero El Ñato – Nivel 2880

3.11.4 UNIDADES DE ANÁLISIS

Estaciones geomecánicas delimitadas por variables independiente como la litología, geoestructuras, precipitación, infiltración y tensiones y dependiente: estallido de rocas.

3.11.5 DEFINICIÓN DE VARIABLES

En este estudio se consideró dos tipos de variables: variables independientes y variables dependientes, los cuales se detallan en la siguiente tabla:

Cuadro 3.6. Variables independientes y dependientes.

Variables Independientes	Variable Dependiente
Litología	Estallido de rocas
Geoestructuras	
Precipitación	
Infiltración	
Tensiones	

3.11.6 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Fue definida por la obtención de información mediante cartografiados geológicos y geomecánicos, mediante la utilización de registro: geológico-geotécnico y geoestructural; conformado por cinco etapas:

Primera etapa - Revisión y recopilación de material bibliográfico: Se basó en la acumulación de información: Editable y bibliográfica, para la realización del proyecto de tesis, definición de objetivos, delimitación del tajeo (galería principal), procesamiento y agrupación de la información y selección de materiales cartográficos como por ejemplo mapas, planos, fotos aéreas, etc.

Segunda etapa - Reconocimiento de campo: está conformado por cartografiados de campo en relación con las variables planteadas, para evaluar la situación actual y proyectada, del campo tensodeformacional del área de influencia: directa e indirecta, de la ocurrencia de fenómenos naturales en el interior de la excavación subterránea.

Tercera etapa - procesamiento: Se fundamentó en agrupaciones progresivas de información desarrollando cada variable obteniendo información: cuantitativa y cualitativa, del entorno del basamento rocoso frente a los cambios tensodeformacionales, para brindar y mostrar información de calidad.

Etapa - interpretación de información: El procesamiento aportó información importante para el desarrollo de cada etapa mostrando interpretación: positiva, negativa y mejoramiento, ya sea la utilización de programas numéricos, obteniendo resultados finales cuantitativos y cualitativos del cruce El Ñato.

Etapa - informe final: Fue plasmado por capítulos de avances, mostrando la problemática de la excavación subterránea sobre todo los capítulos III y IV, mediante cuadros, figuras y planos temáticos, obtenido por la información procesada por cada etapa desarrollada.

3.11.7 MATERIALES Y EQUIPOS

Equipos: Se utilizó para obtener información: Numéricas, gráficas y editable, partiendo de la planificación para obtener precisión en la data obtenida de campo, se utilizó: GPS Garmin, celular, cámara fotográfica 15MPx, brújula geotécnica, protactor, rayador, lupa y picota.

Materiales: Base importante para poder: Plasmar, dibujar, colorear, etc.; manifestados en libretas de campo o planos temáticos, siendo conformado por lo siguiente: Registro geológico-geotécnico, imágenes satelitales, carta geológica (16-g), colores, plumones,

lápices, borrador, corrector, tajador, regla, lapiceros, libreta de campo, ácido clorhídrico, wincha, marcador indeleble, portapapeles y flexómetro.

Software: Se categorizó como programas numéricos de vital importancia complementado las etapas anteriores mediante modelos numéricos: Word, Excel, Adobe AcrobatDC, SASPlanet, Google Earth Pro, Google Maps, Global Mapper, ArcGis, AutoCAD, Faultkin, RocData y Phase².

CAPÍTULO IV DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

El Crucero – 126 El Ñato, está ubicado en el centro poblado de San Miguel de Algamarca, distrito de Cachachi, provincia de Cajabamba y departamento de Cajamarca. Geográficamente en el flanco izquierdo de la cadena montañosa Occidental Andina, delimitada por el flanco izquierdo del anticlinal de Algamarca evacuando sus aguas al río Crisnejas – Océano Pacífico. Las operaciones mineras se desarrollan en el cruce con orientación $Az = N65^\circ$, utilizado para interceptar a la veta Marina en la extracción de minerales polimetálicos: Plata (Argentita), oro (Pirita y cuarzo) y cobre (Calcopirita, bornita y covelina).

Las instalaciones superficiales y subterráneas son afectadas por: Clima y meteorología, aumentando progresivamente por el gradiente geotérmico afectando las labores subterráneas generando estallido de roca, siendo directamente proporcional con la profundidad vertical de la excavación subterránea, variando desde: 14.65 C° (E-1), 16.10 C° (E-2), 17.78 C° (E-3), 19.23 C° (E-4), 20.15 C° (E-5) y 21.63 C° (E-6), utilizando como base meteorológica la estación: Cachachi, distrito: Cachachi, provincia: Cajabamba; para la precipitación máxima 24 horas, obteniendo como resultados que la precipitación anual $1,022.73\text{ mm/año}$, con precipitación media anual 107.14 mm/año perteneciente al año 2021 y menor al 70 mm/año a los años: 2020 y 2022, presentando caudales menores a $0.50\text{ m}^3/\text{s}$ (Microcuencas: MC-1, MC-3 y MC-4) y caudales mayores a $2.30\text{ m}^3/\text{s}$ a la microcuenca MC-2, mediante teorías de balance hídrico: Kirpich, Temes, Bransby y Hathaway; presentan tiempo de retención de agua $< 5\text{ min}$, definiendo que es una zona de muy baja retención de agua.

Hidrológicamente el cruce El Ñato está emplazado en un acuitardo sedimentario, con línea de flujo SW ubicado en el flanco derecho del anticlinal Algamarca, categorizándolo como excavación contra el buzamiento del eje del túnel, presentando NF de agua: Caliente y fría; en la Formación: Carhuaz ($N_{F_F} = P_i + 231.72\text{ m.}$ ($P_{icx} + 4.95\text{ m.}$), $P_i + 457.10\text{ m.}$ y $P_i + 489.70\text{ m.}$; y $N_{F_c} = P_i + 231.72\text{ m.}$, $P_i + 240.45\text{ m.}$, $P_i + 312.90\text{ m.}$ y $P_i + 322.10\text{ m.}$ a $P_i + 373.15\text{ m.}$) y Santa ($N_{F_F} = P_i + 709.25\text{ m.}$, $P_i + 749.10\text{ m.}$ y $P_i + 771.60\text{ m.}$); presentan NF de la solera, hastiales y clave, evaluándolo como rocas de calidad: Mala a muy mala; por lo

contrario la Formación Chimú no presenta filtraciones de agua subterránea, categorizándolo como roca de calidad: Regular a buena, siendo rocas muy compactas de gran espesor estratigráfico. Por lo contrario, los acuíferos de agua caliente están relacionados con fallas regionales, formando acuíferos artesianos por cambio de presión hidráulica del nivel de recarga al cuerpo intrusivo incandescente, logrando calentar el agua para luego por presión hidráulica subir y generar flujos de agua caliente constante iguales 3.0 lt/s, siendo ubicados los NFc en los hastiales: Derecho e izquierdo, a altura 0.30 m. a 0.50 m. del nivel de la contrabóveda, en el crucero El Ñato. Evidenciándose además desde Pi + 319 m. a Pi+ 373.15 m., es un sector filtración de agua (Caliente y fría) subterránea en la clave, hastiales y solera; siendo afectado por fallas geológicas regionales.

La geología local del crucero El Ñato, se encuentra en rocas: Mesozoicas - Cretácio Inferior – Grupo Goyllarisquizga - Formación: Chimú, Santa y Carhuaz, constituidas por: Areniscas, cuarcitas, lutitas, calizas margosas, areniscas gris oscuras e intercalaciones de areniscas con lutitas grises, en matriz rojiza, violácea y rosada; de la edad 145 Ma.; y Cenozoicas – Paleógeno conformado por diques verticales de cuerpos volcánicos intermedios: Dacíticos, riolíticos y andesita, de edad: 56 Ma. a 35 Ma.; y Cuaternario – Holoceno - Depósito Eluvial-Deluvial. La bocamina está emplazada en Depósito Eluvial-Deluvial, desde: Pi + 00.00 m. al 4.20 m., compuesto por gravas angulosas a subangulosas de 0.05 m. a 0.15 m., con matriz englobante limosa arenosa de matriz rígida, con cementación moderada de compacidad muy densa, de color anaranjado a rojizo. Por consiguiente, las Formaciones: Chimú - Presenta secuencias de arenisca cuarzosa de color blanquecino de grano medio, de espesor: 0.25 m. a 0.35 m. siendo roca competente de calidad buena, desde Pi + 791.35 m. al 813.70 m.), Santa - Los estratos limolíticos, tienen grosor: 0.10 m. a 0.20 m., bien compactas de color negruzco con secuencias intercalas de lutitas de textura laminar de grano fino, de coloración grisáceo a plomizo, con grosor: 0.05 m. a 0.10 m., y calizas grises verduzcas de grosor 0.15 m. a 0.20 m. desde: Pi + 507.20 m. al 791.35 m.) y Carhuaz - Inicia desde: Pi + 4.20 m. al 507.20 m., presentando secuencias de limolitas y lutitas grises a bituminosas, de grosor 0.07 m. a 10 m. de la edad: Hauteriviense a Barremiense, formándose en ambiente de depositación continental y cercano zona transicional; presentan orientación Az/Bz = N135° a N155°/58°SW a 64°SW, la secuencia estratigráfica. Evidenciándose emplazamiento de cuerpos volcánicos intermedios cortando a rocas sedimentarias en forma de diques compuestos por: Dacitas - Roca máfica afanítica de color negruzco con alto contenido de

plagioclasas, originarios de magmas profundos básicos de enfriamiento rápido, ubicados: Pi + 191.25 m. al 194.90 m., Pi + 203.40 m. al 205.78 m., Pi + 391.10 m. al 400.22 m., Pi + 467.78 m. al 476.55 m. y Pi + 708.05 m. al 730.30 m.; riolita - Presenta fenocristales de cuarzo, oligoclasa, y sanidina, con bajas proporciones de plagioclasas y biotita, constituyendo roca félsica de color blanquecino de textura fanerítica resultado de enfriamiento de magma viscoso, desde: Pi + 218 m. al 222.72 m. y Pi + 759.51 m. al 766.40 m.) y andesita - Ubicada Pi + 169.41 m. al 173.20 m., de color gris verduzco perteneciente a minerales félsicos de textura fanerítica.

La geoestructura mayor están definida por el anticlinal de Algamarca con $Az = N125^\circ$ y esfuerzos compresivos de orientación: NNE-SSW a NE-SW, originando: Sinclinales y anticlinales, asimétricos del Cretáceo Inferior - Grupo Goyllarisquizga. Sin embargo, la falla Santo Cristo, se ubica a 840 m. de distancia con orientación NW-SE, siendo la principal estructura mineralizada con orientación $N35^\circ$, mineralizando y desplazando a las vetas: Lucerito y Marina con orientación $Az = N229^\circ$ y $Bz = 79^\circ NW$, siendo dos estructuras paralelas polimetálicas: Cobre, Plata Argentífera y Au; cortando transversalmente al eje del anticlinal y falla Santo Cristo. Por otro lado, la falla Dominga perteneciendo al sistema NE-SW, movimiento cinemático dextral con $Az = N131^\circ$ y $Bz = 55^\circ SW$, con potencia 0.80 m. y relleno compuesto por: Arcillas y óxidos. Los movimientos geotectónicos fracturaron a las rocas sedimentarias del Cretáceo Inferior, rellenando de mineralización supérgena explotable: Au y Ag, conformando sulfuros primarios: Cu y Ag. Constituyendo un yacimiento de alta sulfatación de tipo vetiforme emplazado en rocas sedimentarias de areniscas cuarzosas, presentando 3 dominios mineralógicos: **Primer dominio**, zona de Oxidación cerca de la charnela del anticlinal, con profundidad vertical 250 m. rellena con óxidos de hierro, como: Jarosita, goethita y hematita, presentando oro libre y plata diseminada; **segundo dominio**, zona de Enriquecimiento supérgeno en la zona intermedia, presenta óxidos y sulfuros, con mineralización: Calcosina, covelina, hematita siendo minerales mena; y **tercer dominio**, zona: hipógena o primaria a la base del Anticlinal, conformado por: Tetraedrita, tennantita Chalcopirita, Bornita, Oro como minerales de mena.

Está conformado por dos fallas locales: La primera por filtraciones de agua subterránea con caudal > 3 lts/s. emplazado en la Formación Carhuaz desde Pi + 322.10 m. a Pi + 373.15 m. con movimientos cinemáticos dextral, paralelo a la estratificación de orientación $N155^\circ$ y

Bz = 62°SW; y la segunda por el emplazamiento mineralizado de la veta cobre de orientación Az = N220° y Bz = 62NW, de espesor: 0.50 m. a 0.80 m. emplazada en la Formación Chimú en el Pi + 790 m., y las estructuras menores definieron el grado de fracturamiento y blocosidad del afloramiento rocoso conformadas por discontinuidades de orientación (Az/Bz): N168°/75°SW, N258°/52°NW, N73°/39°SW y N312°/43°NE; afectando el avance de las labores mineras subterráneas formando cuñas: Tetraédricas, prismáticas, doblemente prismáticas, etc.

Las vibraciones son constantes por la utilización de voladura, ocasionado vibraciones sísmicas que afectan progresivamente las secciones de la excavación subterránea de forma: Horizontal (S_H) y vertical (S_V), generando debilidades del medio: Plástico, elastoplástico y elástico; del macizo rocoso mediante redistribución tensional. Aplicando la Norma Técnica E.30 Diseño Sismorresistente de acuerdo con el medio discontinuo y propiedades elásticas de cada estación geomecánica, se obtuvo valores sísmicos, obteniendo resultados de probabilidad de cambio espectral y variabilidad de sección: Factor de zona Z3 = 0.35g, Perfil de roca: S1 Roca - Ondas de corte 500 m/s a 1,500 m/s; y S3 Suelos blandos - Ondas de corte < 180 m/s, Factor de suelos S = 1.00 a 1.20, período - T_P = 0.40 a 1.00 y T_L = 2.50 a 1.60. Variando la aceleración sísmica horizontal S_H = 0.132 a 0.197; y vertical S_V = 0.427 a 0.525.

La geomecánica muestra cambios de resistencia de cada estación geomecánica, reflejados por sus cambios tensionales afectados por la presión: Litostática y constantes, afectando a la calidad de roca circundante en función de las variables: Litología, geoestructuras, precipitación, infiltración y tensiones, obteniendo información cuantitativa y cualitativa, de calidad de roca: Mala, media y buena. Sin embargo, el mapeo geomecánico por línea de detalle, fue registrado en el registro geológico-geotécnico y calculado el RQD por la ecuación de Priest y Hudson (1976), desde: 28.73 a 83.72, por consiguiente, el RMR89 se utilizó correcciones \pm orientación por la orientación de las discontinuidades obteniendo resultados: cualitativos (Mala, regular y buena) y cuantitativos (38, 47 y 76), de la masa rocosa. Por consiguiente, se fundamentó en la teoría de Sheorey, estimando coeficiente de reparto de tensiones m o k , fundamentada en la profundidad vertical (m.) y módulo de deformación (GPa), utilizando como soporte computacional al RocData, con resultados de

m : 0.43 a 0.52, esfuerzos tensionales: σ_1 (0.468 a 8.512) y σ_3 (0.230 a 4.460) y ángulo de orientación tensional $\alpha = 90^\circ$, definiendo el campo tensional.

Cuadro 4.1. Constantes elásticas del basamento rocoso.

Criterios	Estación						
	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	
Clasificación	mi	5	6	5	5	6	20
Hoek - Brown	D	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.00
	Ei (MPa)	6,125	8,200	5,600	4,725	5,920	43,875
	MR	175	200	175	175	185	325
Criterio	mb	0.090	0.19	0.08	0.08	0.08	7.10
Hoek - Brown	s	0.000039	0.00015	0.000025	0.000018	0.000016	0.04
	a	0.52	0.51	0.52	0.53	0.53	0.50
	σ_t (MPa)	-0.01	-0.03	-0.01	-0.01	-0.01	-0.76
Parámetros	σ_c (MPa)	0.18	0.46	0.13	0.09	0.09	26.85
masa rocosa	σ_{oct} (MPa)	1.26	2.27	1.02	0.79	0.98	51.55
	Em (MPa)	225.27	466.00	184.22	145.49	176.83	32952.70
Criterio	c	0.06	0.18	0.14	0.13	0.16	3.92
Mohr - Coulomb	φ°	34.23	33.35	19.79	16.65	17.38	57.59

Siendo complemento al Q Barton, los criterios empíricos anteriores de clasificándolos desde rocas de calidad: Mala, media y buena. Mostrando RMi: Alto a muy alto, por cada estación geomecánica variando desde: 4.720 a 58.202.

Cuadro 4.2. Campo tensional de esfuerzos in situ – teoría de Sheorey.

Esfuerzo tensional	Estaciones						
	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	
H (m.)	26	84	151	209	246	304	
σ_1 (MPa)	0.468	1.512	2.718	3.344	3.936	8.512	
σ_3 (MPa)	0.230	0.730	1.200	1.440	1.700	4.460	
k	0.49	0.48	0.44	0.43	0.43	0.52	
α	90°	90°	90°	90°	90°	90°	
Forma sección	Baúl	Baúl	Baúl	Baúl	Baúl	Baúl	

Cuadro 4.3. Valoración cuantitativa y cualitativa – clasificaciones geomecánicas.

Clasificaciones empíricas			Estaciones					
			E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6
		σ_{ci} (MPa)	35.00	41.00	32.00	27	32	135.00
RQD		Cuantitativo	44.81	53.79	46.95	36.28	28.73	83.72
	(%)	Puntaje Cualitativo	Mala	Media	Mala	Mala	Mala	Buena
		Cuantitativo	38.00	47.00	35.00	33.00	39.00	76.00
		Cualitativo	Mala	Media	Mala	Mala	Mala	Buena
			IV-A	III-B	IV-A	IV-A	IV-A	I-B
RMR	Puntaje	Romana	Mala	Media	Mala	Mala	Mala	Muy buena
		Cuantitativo	33	42	30	28	34	71
GSI	Puntaje	Cualitativo	Mala	Regular	Mala	Mala	Mala	Buena
		RQD (%)	44.81	53.79	46.95	36.28	28.73	83.72
		Jn	15	9	9	9	9	9
		Jr	2	2	1	1	2	2
		Ja	1.000	1	3	3	1	1
		Jw	0.66	0.66	1	1	0.66	1
		SRF	1	1	1	0.8	1.5	1
		Cuantitativo	3.94	7.89	1.74	1.68	2.81	18.6
Q	Puntaje	Cualitativo	Mala	Media	Mala	Mala	Mala	Buena
		JR	1	1	1	1	1	3
		JA	1	1	1	1	1	1
		JL	4	3	3	3	3	3
		Vb (m3.)	0.15	0.18	0.15	0.10	0.18	0.25
		Nj	0.75	1	1	1	1	1.2
		SL	0.5	1	1	1	1	1
RMi		Cuantitativo	8.224	8.535	6.310	4.720	6.660	58.202
	Puntaje	Cualitativo	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Muy alto
		DT	2.45	2.80	2.90	2.45	2.65	2.55
		WT	3.00	2.75	2.56	2.75	2.80	2.80
		CF	4.62	5.00	5.47	5.33	4.73	4.05
		GC	4.93	8.53	6.31	4.72	6.66	58.20
		SR	1.50	3.20	5.50	5.30	4.70	0.80

Aplicando los modelos numéricos mediante software Phase², se obtuvo cambios tensionales alrededor de la excavación subterránea, en función: Factor de seguridad y medio plástico. Definiéndolo como: La EG-1 forma aureolas de inestabilidad semicirculares en hastiales y circulares en contrabóveda, concentrando la mayor cantidad de esfuerzos: Tensionales y cortantes, en hastiales, generando medio plástico deformacional hasta 0.67 m. de profundidad transversal. Por lo contrario, la EG-2, elíptica dividiendo por la mitad a la sección subterránea concentrándose esfuerzos: Tensionales (Periferie de la excavación a distancia 0.35 m. a 0.55 m.) y cortantes (Proyecta hasta 1.55 m. a 180 m., debilitando por las

grietas de tracción); en hastiales, extremos de la clave y contrabóveda. La EG-3 se caracteriza por formar aureolas circulares alrededor del túnel concentrándose los vectores tensionales desde: 0.90 m. a 1.40 m. y los vectores cortantes por grietas de tracción hasta 6.00 m., afectando constantemente la inestabilidad. La EG-4 se encuentra afectada por deformaciones homogéneas alrededor del túnel por desprendimiento de rocas desde: 0.80 m. a 1.20 m. y esfuerzos cortante 23.6567 m. de profundidad. La EG-5, presenta mayor concentración de esfuerzos tensionales: Hastial derecho (Profundidad = 1.10 m.), clave (Profundidad = 1.00 m.) y solera clave (Profundidad = 1.00 m.), formando aureolas tensionales en forma elíptica presentando $FS > 6$, luego ocasionando pérdida de resistencia del macizo rocoso con $FS < 1.2$, afectando al entorno de la excavación hasta 31.4613 m. Por consiguiente, la EG-6 muestra $FS > 2.00$, formando aureolas en forma abanico alrededor de la sección, sin embargo, el comportamiento del medio plástico tensodeformacional se ubica en los hastiales, siendo el más afectado el hastial derecho generando disminución de resistencia desde la profundidad 0.75 m. a 0.85 m.

Cuadro 4.4. Comportamiento tensional del basamento rocoso por mecanismos de falla.

Estaciones	σ_1/σ_{ci}	Tension in-situ	RMR
EG-1	0.01	Bajo	Altamente fracturado
EG-2	0.04	Bajo	Altamente fracturado
EG-3	0.08	Bajo	Altamente fracturado
EG-4	0.12	Bajo	Altamente fracturado
EG-5	0.12	Bajo	Altamente fracturado
EG-6	0.06	Bajo	Moderadamente fracturado

Los estallidos de rocas fueron agrupados en cuatro grupos: Energía de deformación elástica desde: 52 KJ/m³ a 122 KJ/m³ definiendo estallidos desde: Bajo a moderado. Influencia de fracturación 44.81 a 83.70, ocasionando estallidos desde: Bajo, moderado y alto. Fragilidad de roca desde: 2.62 a 34.18 con estallido: Débil, fuerte y violento; y Criterio de Barla, con valores: 0.33 a 5.69, delimitando: Sin deformación, ligeramente deformado y moderadamente deformado.

Cuadro 4.5. Variabilidad del campo tensodeformacional y concentración de tensiones en la excavación subterránea.

Estación	Desplazamiento (m.)	Medio plástico (m.)	Ubicación
EG-1	0.0038	0.67	Hastiales
EG-2	0.0116	1.60	Hastial y solera
EG-3	3.0000	3.50	Periferie de excavación
EG-4	23.6567	5.60	Periferie de excavación
EG-5	31.4613	7.80	Periferie de excavación
EG-6	0.0009	0.85	Hastiales

Cuadro 4.6. Criterios de estallidos de rocas.

Estación	Energía de deformación elástica		Influencia de la fracturación		Fragilidad de rocas		Criterio de Barla	
	PES (KJ/m3.)	Estallido	RQD (%)	Estallido	B	Estallido	CB	Squeezing
E-1	52	Bajo	44.81	Bajo	27.78	Débil	3.82	Sin
E-2	68	Bajo	53.79	Moderado	18.06	Fuerte	2.24	Sin
E-3	64	Bajo	46.95	Bajo	31.37	Débil	0.52	Ligera
E-4	72	Bajo	36.28	Bajo	34.18	Débil	0.33	Moderado
E-5	55	Bajo	28.73	Moderado	32.65	Débil	0.48	Ligera
E-6	122	Moderado	83.7	Alto	2.62	Violento	5.69	Sin

El sostenimiento subterráneo del crucero El Ñato, realizado el mapeo geomecánico por línea de detalle reporta rocas de calidad: Mala, regular y buena; compuesto por formaciones geológicas de litología: Limolítica, lutácea y areniscas cuarzosas, desde: Pi. + 00.00 m. a Pi. + 815 m., con secciones en forma: Baúl, herradura e irregular. Se utilizó el software Phase², mostrar el comportamiento tensodeformacional alrededor la sección en función del campo de tensional: Gravitacional y constante; siendo analizado en el medio: Plástico (Zona de daño), elastoplástico (Zona fracturada) y elástico (Roca intacta). Sin embargo, el crucero El Ñato, se encuentra en la etapa: Exploratoria y preparación de labores, utilizando actualmente estabilización por sostenimiento pasivo por cuadros de madera: cónicos o trapezoidales ($\sigma_3 > \sigma_1$) y cuadros rectos ($\sigma_1 > \sigma_3$). La dimensión del madero de sección cuadra es: 0.25 m. x 0.30 m. y circular es D = 0.30 m., con altura de poste 2.45 m., ancho de sombrero 2.35 m., longitud de tirante: 1.00 m. a 1.50 m. entre sección y sección, además también emparrillados para evitar desplome de bloques y mejores empalmes entre el sombrero (madero), utilizando eucalipto con soporte de carga 17 KN/m², con características de resistencia mecánica a flexión, tracción, pandeo y cortante, por sus bajos costos de instalación y precio económico. Por consiguiente, se recomendaría instalar cerchas de acero TH-29 de un cuerpo cada: 1.00

m. a 1.50 m., distribuidos de manera equitativa para distribuir mejor la carga del esfuerzo: Vertical (σ_1) y horizontal (σ_3), recurriendo a métodos numéricos de equilibrio límite y métodos empíricos, tendiendo como base la teoría de Terzaghi, con accesorios: Bolsacretos, planchas acanaladas y tirantes.

4.2 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La excavación subterránea cruce El Ñato, está emplazada en rocas: Mesozoicas - Cretáceo Inferior – Grupo Goyllarisquizga - Formación: Chimú, Santa y Carhuaz, constituidas por: Areniscas blanquecinas, lutitas gris oscuras, calizas margosas con intercalaciones de areniscas con lutitas grises, en matriz rojiza, violácea y rosada de la edad 145 Ma.; y rocas Cenozoicas – Paleógeno: Diques verticales de cuerpos volcánicos intermedios: Dacíticos, riolíticos y andesíticos, de edad: 56 Ma. a 35 Ma. Hidrológicamente está emplazado en un acuitardo sedimentario, con línea de flujo SW ubicado en el flanco derecho del anticlinal Algamarca, presentando NF de agua: Caliente y fría la Formación: Carhuaz y Santa, y no presenta filtraciones la Formación Chimú. Geoestructuralmente el anticlinal Algamarca, tiene orientación $Az = N125^\circ$ y esfuerzos compresivos de orientación: NNE-SSW a NE-SW, secuencias paralelas de sinclinales y anticlinales; y menores estructuras de orientación (Az/Bz): $N168^\circ/75^\circ SW$, $N258^\circ/52^\circ NW$, $N73^\circ/39^\circ SW$ y $N312^\circ/43^\circ NE$, formando cuñas: Tetraédricas, prismáticas y doblemente prismáticas. Por consiguiente, el mapeo geomecánico por línea de detalle, reportó RQD desde: 28.73 a 83.72; RMR_{89} y Q Barton obteniendo resultados: Mala, regular y buena; y campo tensional m : 0.43 a 0.52, esfuerzos tensionales: σ_1 : 0.468 a 8.512 y σ_3 : 0.230 a 4.460 y ángulo de orientación tensional $\alpha = 90^\circ$. Por consiguiente, el RMI de rangos: Alto a muy alto, con energía de deformación elástica desde: 52 KJ/m^3 a 122 KJ/m^3 (Desde: Bajo a moderado) Influencia de fracturación 44.81 a 83.70 (moderado y alto.) con fragilidad de roca desde: 2.62 a 34.18 con estallido: Débil, fuerte y violento; y Criterio de Barla, con valores: 0.33 a 5.69, delimitando: Sin deformación, ligeramente deformado y moderadamente deformado, con cambios tensodeformacionales, generando estallidos de rocas, plasmando aureolas: Semicirculares, elípticas y homogéneas, en la sección del túnel plasmados en la clave, hastiales y contrabóveda, por afectación de medio plástico desde 0.67 m. a 1.80 m.

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

El cruce El Ñato, está emplazado en rocas del Grupo Goyllarisquizga de la Formación: Chimú – Pi + 791.35 m. al 813.70 m., Santa - Pi + 507.20 m. al 791.35 m. y Carhuaz - Pi + 4.20 m. al 507.20 m.; con orientación estratigráfica Az/Bz = N135° a N155°/58°SW a 64°SW; siendo cortadas transversalmente por diques volcánicos intermedios: Dacíticos, riolíticos y andesíticos, del Paleógeno cubiertos por Depósitos Eluvial-Deluvial: desde: Pi + 00.00 m. al 4.20 m. del Holoceno.

Las geoestructuras están delimitadas por el anticlinal Algamarca con Az = N125° y esfuerzos compresivos: NNE-SSW a NE-SW, originando: sinclinales y anticlinales, desplazando al eje del anticlinal por las fallas: Santo Cristo y Dominga, sin embargo, las discontinuidades (Az/Bz): N168°/75°SW, N258°/52°NW, N73°/39°SW y N312°/43°NE; ven el grado de fracturamiento y blocosidad del afloramiento rocoso subterráneo formando cuñas: Tetraédricas, prismáticas, doblemente prismáticas, etc.

La caracterización geomecánica por línea de detalle, se fundamentó en cuatro criterios: RQD (E-1 = 44.81, E-2 = 53.79, E-3 = 46.95, E-4 = 36.28, E-5 = 28.73 y E-6 = 83.72), RMR (E-1 = 38, E-2 = 47, E-3 = 35, E-4 = 33, E-5 = 39 y E-6 = 76), GSI (E-1 = 33, E-2 = 42, E-3 = 30, E-4 = 28, E-5 = 34 y E-6 = 71) y Q (E-1 = 3.94, E-2 = 7.89, E-3 = 1.74, E-4 = 1.68, E-5 = 2.81 y E-6 = 18.60), cuantificándolas desde rocas de calidad: Mala, media y buena.

Los cambios tensodeformacionales, muestra estallidos de rocas, plasmando por aureolas: Semicirculares, elípticas y homogéneas, en la sección corte del túnel ubicados en la clave, hastiales y contrabóveda, afectando al basamento rocoso desde 0.67 m. a 1.80 m. de profundidad de sección transversal del medio plástico.

Los valores cuantitativos y cualitativos por R_{Mi} muestran resultados en relación de las estaciones geomecánicas: 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.

El tipo de sostenimiento por utilizar debe ser por cuadros de maderos de eucalipto de sección cuadra: 0.25 m. x 0.30 m. o circular es $D = 0.30$ m., con altura de poste 2.45 m., ancho de sombrero 2.35 m., longitud de tirante: 1.00 m. a 1.50 m. implementando cuadros cónicos o rectos.

5.2 RECOMENDACIONES

La empresa debe realizar ensayos especializados para complementar la investigación.

La empresa debe utilizar sostenimiento pasivo por cuadros de maderos en el Nivel El Ñato.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilera, L., Villalobos, S., y Villalobos, F. (2018). *Metodología para la evaluación del potencial de estallidos de roca y diseño de soporte dinámico en túneles mediante modelamiento numérico*. Simposio de habilitación profesional. Departamento de Ingeniería Civil.

Arlandi, R., Bernardo, S., y Jordá, B. (2013). *Predicción empírica del Strainburst y Squeezing en galerías profundas - Mina El Teniente (Chile)*.

Ingeopres: Actualidad técnica de ingeniería civil, minería, geología y medio ambiente, ISSN 1136-4785, N°. 224, 2013 (Ejemplar dedicado a: Especial Latinoamérica), págs. 28-33. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4248210>

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 académico profesional de ingeniería de minas.

Berrocal, M. (2015). *Estabilidad de Excavaciones Subterráneas*. Lima - Perú: Ventura Graf.

Betancur, B., y López, C. (2019). *Caracterización y clasificación geomecánica del macizo rocoso en el nivel veintiuno en el nivel veintiuno de la Mina La Maruja (Distrito minero de Marmato, Caldas) para estimar las recomendaciones de estabilidad y soporte en la excavación y su correlación con las alteraciones hidrotermales* (Tesis pregrado). Universidad escuela de administración, finanzas e instituto tecnológico, Escuela de ciencias, Departamento de geología.

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. Recuperado de: <https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=pejDUvjwPdMC&oi=fnd&pg=PR11&dq=engineering+rock+mass+classifications+bieniawski+1989+pdf&ots=4TmcQz1YTt&sig=3z82jx-PjZrt-BSmTu8WRiprA5Q#v=onepage&q&f=false>

Brady, B., y Brown, E. (2006). *Rock mechanics for underground mining 3ra edition*. Trad. Franklin Montoya. Ámsterdam - The Netherlands: Springer.

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.

Daemen J. J. K. (1977) *Problems in tunnel support mechanics. Underground Space*, 1(3): 163–72.

Dávila, B. (2011). *Diccionario geológico*. INGEMMET, Lima – Perú: Arth Grouting S.A.C.

Deere, D. (1963). *Technical description of rock cores for engineering purposes*. *Rock Mech. And Rock Engrg.*, 1, págs. 107-116.

Deere, D., Hendron, A., Patton, F., y Cording, E. (1967). *Design of surface and near surface construction in rock*. *Failure and Breakage of Rock*, Proc. 8th U.S. Symp. Rock Mech., Ed: C. Fairhurst, págs. 237-302.

Donaires, V. (1965). *Sostenimiento de minas subterráneas* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Programa académico de Ingeniería Geológica, Minería y Metalurgia.

El clima y el tiempo promedio en todo el año en CajabambaPerú, (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 de Túneles: Caracterización, clasificación y análisis geomecánico de macizos rocosos*. Quito – Ecuador: Asociación de Ingenieros de Minas del Ecuador (AIME).

GEMMA (2007). *Movimientos en masas en la región andina: Guía para la evaluación de amenazas*. Edición N° 04.

Gómez, M. (2022). *Caracterización, zonificación geomecánica y recomendación del sostenimiento necesario para la estabilidad de labores y temporales y permanentes del macizo rocoso en el Nivel 1712 del cuerpo Zeus de la Mina Roble* (Tesis pregrado). Universidad de caldas, Facultad de ciencias exactas y naturales, programa de geología. Recuperado de: https://repositorio.ucaldas.edu.co/bitstream/handle/ucaldas/17402/Mateo_GomezRodriguez_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y (consultada 11 agosto 2022).

González, de V. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid - España: Prentice Hall.

Grimstad, E. (2002). *Rock Mass Q used in designing Reinforced Ribs of Sprayed Concrete and Energy Absorption*. 4th Int. Symp. on Sprayed Concrete. Switzerland.

Grimstad, E., y Barton, N. (2007). *Cuarenta años con el sistema Q en noruega y en el extranjero fortificando por medio Q sistemáticamente utilización Noruega*. Recuperado de <http://nff.no/wp-content/uploads/2016/01/Barton-N.-and-Grimstad-E.-2014-Forty-years-with-the-Q-system-in-Norway-and-abroad.-Fjellsprengningsteknikk-NFF-Oslo-25p.pdf>

Gullón, A. (2011). *Manual de túneles y obras subterráneas 2: Capítulo 26 Sostenimiento con cerchas metálicas*. Madrid – España: Graficas Arias montano, S.A.

Herrera, E. (2021). *Evaluación geomecánica para el diseño del sostenimiento del túnel de exploración Chaquicocha fase II Minera Yanacocha S.R.L., 2018* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de ingeniería, Escuela académico profesional de ingeniería de minas.

Hoek, E. (1995). *Support of Underground Excavations in Hard Rock*. Rotterdam.

Hoek, E., y Brown, E. (1985). *Excavaciones Subterráneas en Rocas*. Trad. Raymundo Dely. Mexico: McGraw-Hill.

Hoek, E., y Brown, E. (1997). *Practical estimates of rock mass strength*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 34, págs. 1165-1186.

Hoek, E., y Marinos, P. (2000). *Predicting tunnel squeezing: Problems in weak heterogeneous rock masses*. Tunnel and tunnelling international. Part 1 – November 2000, Part – December 2000, págs. 1-22. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/285906099_Predicting_Tunnel_Squeezing_Problems_in_Weak_Heterogeneous_Rock_Masses

Kaiser, P. (2017). *Ground control in strainingbursting ground-A critical review and path forward on design principles*. En J. Vallejos (Ed.), 9° International Symposium on Rockburst and Seismicity in Mines (RaSiM 9), Santiago, Chile, págs. 146-158.

Kwasniewski M., Szutkowski I. y Wang J. (1994). *Study of ability of coal from seam 510 for storingelastic energy in the aspect of assessment of hazard in Porabka-Klimontow Colliery*. Sci. Rept. Silesian Technical University (Polonia).

Lillo, J., y Oyarzun, R. (2013). *Geología estructural aplicada a la minería y exploración minera: Principios básicos*. Móstoles – España: Ediciones GEMM – Aula2punto.net. Recuperado de: www.aulados.net/GEMM/GEMM.html

Lostalé, A. (2011). *La central hidroeléctrica subterránea San Esteban II*. Ingeopres 209: Actualidad técnica de ingeniería civil, minería, geología y medio ambiente, ISSN 1136-

4785, N° 209, 2011 (Ejemplar dedicado a: Excavación y explotación de túneles y obras subterráneas. Alta tecnología en túneles), págs. 42-49. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/293594>

Marinos, V., Marinos, P., y Hoek, E. (2005). *El Índice de Resistencia Geológica: Aplicaciones y limitaciones*. Boletín de Ingeniería Geología y Medio Ambiente 64. págs. 55-65. Recuperado de: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10064-004-0270-5>

Ministerio de vivienda. (2019). *Norma técnica E.30 – Diseño sismorresistente del reglamento nacional de edificaciones. Resolución ministerial N° 043-2019-vivienda*. Lima – Perú: Ministerio de vivienda. Recuperado de: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/299950/d289856_opt.pdf

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 R_{Mi} para la aplicación de sostenimiento, San Pablo – Cajamarca (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de ingeniería, Escuela académico profesional de ingeniería de minas.

Musy, A. (2001). *Cours "Hydrologie générale"*. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. IATE/HYDRAM. Laboratoire d'Hydrologie et Aménagement. Capitulo 3. La precipitación. <http://dgrwww.epfl.ch/HYDRAM/e-drologie/>

Osinermin. (2017). *Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas*. Magdalena del Mar, Lima - Perú: Edición: INVERSIONES IAKOB S.A.C.

Palmstrom, A. (2000). *Recientes desarrollos en la estimación del sostenimiento en roca mediante R_{Mi}*. published in: Journal of Rock Mechanics and Tunnelling Technology, vol. 6, No. 1, May 2000, págs. 1-19

Priest, S., y Hudson, J. (1976). *Discontinuity spacing in rock*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 13, págs. 135-148.

Qiao, C., y Tian, Z. Y. (1998). *Study of the possibility of rockburst in Dong-qua-shan Copper Mine, Chinese J. Rock Mech. Eng. (exp.)* 17, págs. 917-921.

Ramírez, C. (2004). *Manual de geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea*. Lima – Perú: Sociedad nacional de Minería, Petróleo y Energía.

Ramírez, O., De La Cuadra, I., Laín, H., y Grijalbo, O. (2008). *Mecánica de rocas aplicada a la minería metálica subterránea*. Instituto geológico y minero de España.

Reyes, R. (1980). *Boletín N° 31 Serie A. Carta Geológica Nacional: Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba*. Lima – Perú: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

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

Salazar, D., y Córdova, R. (2013). *Geomecánica del minado masivo tajeos por subniveles con pilares corridos - Mina Marcapunta Norte – Sociedad Minera El Brocal (Perú)*. Ingeopres: Actualidad técnica de ingeniería civil, minería, geología y medio ambiente, ISSN 1136-4785, N°. 224, 2013 (Ejemplar dedicado a: Especial Latinoamérica), págs. 46-51.
Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4248238>

Senamhi. (2023). *Datos hidrometeorológicos en Cajamarca: Estación Cachachi*.
Recuperado de: <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=cajamarca&p=estaciones>

Tunnels & tunnelling international, (2008). *RMR and Q – Setting records: Rock mass classification*. Págs. 26-29. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/290087135_RMR_and_Q_-_Setting_records_straight

UCR y RSN (2015). *Glosario de geología*. Rodrigo Facio – San José – Costa Rica: SIEDIN.

Valencia, E. (2021). *Diseño de sostenimiento dinámico para mitigar los estallidos de rocas* (Tesis de posgrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Vallejo, C. (2002). *Aplicaciones del Índice GSI para el Mapeo Geomecánico y la definición del Sostenimiento de labores Mineras subterráneas*. XI Congreso Peruano de Geología. Lima – Perú.

Veyrat, S., Galera, F., Sancho, M., Andersson, H., Thoese, W., y Rietschel, C. (2017). *Experiencias para mitigación de estallido de roca: Proyecto hidroeléctrico Cheves (Perú)*. Ingeopres: Actualidad técnica de ingeniería civil, minería, geología y medio ambiente, ISSN 1136-4785, N°. 257, 2017, págs. 22-33. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5961734>

Wang, Y., Li, W., y Li, Q. (1998). *Fuzzy estimation method of rockburst prediction*. Chinese Journal of Rock Mechanics Engineering págs. 493-501.

ANEXOS

ANEXO A: AUTORIZACIÓN DE LA EMPRESA

ANEXO B: REGISTRO GEOLÓGICO GEOMECÁNICO

ANEXO C: PLANOS



Algamarca 04, de agosto del 2023.

CARTA N° 001-2023-RR. HH/GWGR-HNSCONSORCIO SRL

SEÑOR: Leonardo Castrejón Chilón.
Ex. Alumno de la UNC – (Facultad Ing. Minas).
CAJAMARCA.

ASUNTO: Respuesta a Solicitud de autorización para realizar Tesis en el Nivel 2880 – El Ñato.

REFERENCIA: SOLICITUD.

Sr. Leonardo Castrejón Chilón, reciba un cordial saludo a nombre de HNS CONSORCIO SRL, recibida su SOLICITUD: AUTORIZACIÓN PARA REALIZAR TESIS EN EL NIVEL 2880 – EL ÑATO, se concede el permiso para realizar tesis en la labor del Nivel 2880 – El Ñato con el tema: **“ESTALLIDO DE ROCAS DEL CRUCERO EL ÑATO, NIVEL 2880 – EMPRESA MINERA HNS CONSORCIO SRL., SAN MIGUEL DE ALGAMARCA – CACHACHI – CAJABAMBA -CAJAMARCA”**, para optar el grado de ingeniero de Minas.

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

HNS CONSORCIO SRL
Exploración y Explotación de Metales


Wilson García Reyes
JEFE DE RR. - HH


Ing. Luis Quevedo
SUPERINTENDENTE

Cuadro 5.1. Registro geológico geotécnico, EG-1.

REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO										ESTALLIDO DE ROCAS DEL CRUCERO EL ÑATO, NIVEL 2880 - EMPRESA MINERA HNS CONSORCIO S.R.L., SAN MIGUEL DE ALGAMARCA - CAJABAMBA - CAJAMARCA										TENSIONES		Subterráneo																												
UBICACIÓN										GALERÍA PRINCIPAL										Parametros	valores																													
CÓDIGO	E-1									TRAMO	Pl. + 71 m.									Profundidad (m.)	26																													
RESPONSABLE	Leonardo Castrejón Chlón									HOJA N°	1									G01 (Mpa.)	0.468																													
SISTEMA	WGS			84			ZONA 17S			EJECUTADO POR	Leonardo Castrejón Chlón									G03 (Mpa.)	0.230	m	0.49																											
DIS. Nro	DIMENSIONES DE EXCAVACIÓN					MACIZO ROCOSO				TIPOS		RESIST. COMP. UNMAX.		RQD TRAMO		ORIENTACIÓN				ESPACIADO(m)		PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC. METEOR.	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN																					
	FORMA DE EXCAVACIÓN		OPCION			LITOLOGÍA FORMAC.	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	E=Estratificada o Seudo	D=Diadclasa	σ _{ci}	ND	37	DIRECCIÓN				1=>2	1=<1	1= Nada	1=Muy Rug.	TIPO		1=Arcilloso	1=Ninguna	1=Inalterada	1=Seco	1=Lec. Real																					
	1= Baúl	2= Circular	3= Herradura	4= Cuadrada	5= Rectangular										6= Elíptica	7= Irregular	1=Fresco	1=Alto					1=Bloq-Regul.	Fn=F.Normal						L	2.00	2= 2-0.6	2= 1-3	2= <0.1	2=Rugosa	2=Oz	2=Duro>5mm	2=Lig. Alt.	2=Húmedo	2=Lec. Apar.										
	3=Mod	3=Mod	3=Bajo	3=Lev. Met.	2=Mediano										2=Bloq-Irreg.	Fi=F.Inversa	4= 0.2-0.06	4= 10-20					4= 1-5	4=Ondulad.-lisa						4=Oxidos	4=Suave<5mm	4=Muy Alt.	4=Goteo																	
4=Alt. Met.	5=Compl.	4=Fract-Intenso	mf=Microfalla	Prom. Golpes	5= <0.06										5= >20	5= >5	5=Suave	5=Suave>5mm					5=Descomp.	5=Flujo																										
HASTIAL DER. (m.)	APICE MAYOR (m.)	HASTIAL IZQ. (m.)	ANCHO DE CÁMARA (m.)	CUNETAS (m.)		LITOLOGÍA FORMAC.	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	E=Estratificada o Seudo	D=Diadclasa	σ _{ci}	ND	37	Z/R	DIP	DD	COMPOBACION	1=>2	1=<1	1= Nada	1=Muy Rug.	6=Bx	7=Panizo	8=Veta	9=Epsonita	10=Hidrocincita	11=Yeso	12=-																					
Altura (m.)	Ancho (m.)	1=Fract-Intenso	mf=Microfalla	Prom. Golpes	SE=Sobrees.																									C=Contacto																				
1	2.83	3.00	2.55	2.43	0.30																									0.50	Carhuaz	1	1	3	E	R3 (35 MPa)	44.81	161	78	251	V	3	3	5	5	1	5	1	1	1
2																															Secuencias de limolitas de color negruzco, de textura fina, con superficies de juntas inalteradas.					R3 (35 MPa)	44.81	168	75	258	V	4	3	4	5	-	-	-	-	2
3												R3 (35 MPa)	44.81	152	79	242	V	3	3	5	5	1	5	1	2	1																								
4												R3 (35 MPa)	44.81	157	81	247	V	4	3	4	5	-	-	-	-	1	1																							
5												R3 (35 MPa)	44.81	148	74	238	V	3	3	5	5	-	-	-	-	2	1																							
6												R3 (35 MPa)	44.81	155	79	245	V	4	3	4	5	1	5	1	1	1																								
7												R3 (35 MPa)	44.81	149	70	239	V	3	3	5	5	-	-	-	-	2	1																							
8												R3 (35 MPa)	44.81	153	75	243	V	3	3	5	5	-	-	-	-	2	1																							
9												R3 (35 MPa)	44.81	161	73	251	V	4	3	5	5	1	5	1	2	1																								
10												R3 (35 MPa)	44.81	154	78	244	V	3	3	4	5	1	5	1	2	1																								
11												R3 (35 MPa)	44.81	152	80	242	V	3	3	4	5	-	-	-	-	2	1																							
12												R3 (35 MPa)	44.81	148	72	238	V	4	3	5	5	-	-	-	-	2	1																							
13												R3 (35 MPa)	44.81	146	65	236	V	4	3	4	5	-	-	-	-	2	1																							
14												D-1	R3 (35 MPa)	44.81	258	48	348	V	4	1	4	5	1	5	1	2	1																							
15												R3 (35 MPa)	44.81	241	44	331	V	3	1	4	4	1	5	1	1	1																								
16												R3 (35 MPa)	44.81	245	60	335	V	4	1	2	5	4	2	1	1	1																								
17												R3 (35 MPa)	44.81	252	42	342	V	4	1	4	5	-	-	-	-	1	1																							
18												R3 (35 MPa)	44.81	244	51	334	V	3	1	4	5	1	5	1	1	1																								
19												R3 (35 MPa)	44.81	256	43	346	V	3	1	2	5	1	5	1	2	1																								
20												R3 (35 MPa)	44.81	251	52	341	V	4	1	4	4	-	-	-	-	2	1																							
21												R3 (35 MPa)	44.81	249	58	339	V	3	1	4	5	-	-	-	-	1	1																							
22												R3 (35 MPa)	44.81	237	47	327	V	4	1	2	5	-	-	-	-	2	1																							
23												R3 (35 MPa)	44.81	242	40	332	V	3	1	2	4	4	2	1	2	1																								
24												R3 (35 MPa)	44.81	253	49	343	V	4	1	2	5	4	2	1	2	1																								
25												R3 (35 MPa)	44.81	255	50	345	V	4	1	4	5	-	-	-	-	2	1																							
26												D-2	R3 (35 MPa)	44.81	93	43	183	V	4	1	4	4	1	5	1	2	1																							
27												R3 (35 MPa)	44.81	75	40	165	V	4	1	4	5	4	5	1	1	1																								
28												R3 (35 MPa)	44.81	82	38	172	V	3	1	5	5	-	-	-	-	2	1																							
29												R3 (35 MPa)	44.81	86	41	176	V	4	1	4	5	1	5	1	2	1																								
30												R3 (35 MPa)	44.81	79	51	169	V	3	1	4	5	4	2	2	2	1																								
31												R3 (35 MPa)	44.81	92	38	182	V	3	1	4	5	1	5	2	2	1																								
32												R3 (35 MPa)	44.81	84	47	174	V	4	1	5	5	-	-	-	-	2	1																							
33												R3 (35 MPa)	44.81	70	42	160	V	3	1	4	5	1	5	1	1	1																								
34												R3 (35 MPa)	44.81	96	34	186	V	3	1	4	5	4	2	1	1	1																								
35												R3 (35 MPa)	44.81	84	38	174	V	4	1	4	5	1	5	1	2	1																								
36												R3 (35 MPa)	44.81	98	41	188	V	3	1	5	5	-	-	-	-	1	1																							
37												R3 (35 MPa)	44.81	76	36	166	V	3	1	4	5	4	2	2	1	1																								
38												R3 (35 MPa)	44.81	84	40	174	V	3	1	4	5	-	-	-	-	1	1																							
39												R3 (35 MPa)	44.81	88	37	178	V	3	1	5	5	1	5	1	1	1																								
40												D-3	R3 (35 MPa)	44.81	326	74	56	V	4	1	5	4	1	5	1	1	1																							
41												R3 (35 MPa)	44.81	320	76	50	V	4	1	5	5	4	2	1	2	1																								
42												R3 (35 MPa)	44.81	321	62	51	V	2	1	3	5	-	5	1	1	1																								
43												R3 (35 MPa)	44.81	330	68	60	V	4	1	5	5	1	5	1	2	1																								
44												R3 (35 MPa)	44.81	319	70	49	V	4	1	5	5	1	5	1	1	1																								
45												R3 (35 MPa)	44.81	321	69	51	V	4	1	3	4	4	2	1	2	1																								
46												R3 (35 MPa)	44.81	328	73	58	V	2	1	5	5	1	5	2	2	1																								
47												R3 (35 MPa)	44.81	332	68	62	V	4	1	4	5	-	-	-	-	2	1																							
48												R3 (35 MPa)	44.81	329	62	59	V	4	1	4	5	-	-	-	-	2	1																							
49												R3 (35 MPa)	44.81	327	70	57	V	4	1	3	4	-	-	-	-	2	1																							
50												R3 (35 MPa)	44.81	314	74	44	V	2	1	3	5	-	-	-	-	2	1																							
51												R3 (35 MPa)	44.81	328	72	58	V	4	1	4	5	4	2	2	2	1																								
52												R3 (35 MPa)	44.81	319	68	49	V	2	1	2	5	-	-	-	-	2	1																							
Túnel													72	68																																				

Cuadro 5.3. Registro geológico geotécnico, EG-3.

REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO										ESTALLIDO DE ROCAS DEL CRUCERO EL ÑATO, NIVEL 2880 - EMPRESA MINERA HNS CONSORCIO S.R.L., SAN MIGUEL DE ALGAMARCA – CAJABAMBA - CAJAMARCA										TENSIONES		Subterráneo											
UBICACIÓN										GALERÍA PRINCIPAL										Parametros	valores												
CÓDIGO	E-3									TRAMO	3			DE	Pl. + 404 m.			A	Pl. + 414 m.			Profundidad (m.)	151										
RESPONSABLE	Leonardo Castrejón Chlón									HOJA N°	3			COORDENADAS	-			ESTE (m.)	-			NORTE (m.)	-			COTA (msnm.)	-			01 (Mpa.)	2.718		
SISTEMA	WGS			84			ZONA 17S			EJECUTADO POR	Leonardo Castrejón Chlón									FECHA	25/09/2023						03 (Mpa.)	1.200	m	0.44			
DIS. Nro	DIMENSIONES DE EXCAVACIÓN					MACIZO ROCOSO					TIPOS		RESIST. COMP. UNIAJ.	RQD TRAMO		ORIENTACIÓN				ESPACIADO(m)	PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERC. METEOR.	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN					
	FORMA DE EXCAVACIÓN		OPCION			METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	E=Estratificada o Seudo D=Diaclasa	σ _{ci}	ND	32		DIRECCIÓN				TIPO	DUREZA														
1= Baúl	2= Circular	3= Herradura	4= Cuadrada	5= Rectangular	6= Elíptica								7= Irregular	1=Fresco	1=Alto	1=Bloq-Regul.	Fn=F.Normal			L	1.8	1=>2	1=<1	1= Nada	1=Muy Rug.	1=Arcilloso	1=Ninguna	1=Inalterada	1=Seco	1=Lec. Real			
2= Lev. Met.	2=Mediano	2=Bloq-Irreg.	Fi=F.Inversa	2= 2-0.6	2= 1-3	2= <0.1	2=Rugosa	2=Oz	2=Duro>5mm	2=Lig. Alt.	2=Húmedo	2= 0.6-0.2	3= 3-10	3= 0.1-1	3=Lig. Rug.	3=Mod. Alt.	3=Mojado	3= 0.2-0.06	4= 10-20	4= 1-5	4=Ondulad.-lisa	4=Óxidos	4=Suave>5mm	4=Muy Alt.	4=Goteo	3= 3-10	3= 0.1-1	3=Lig. Rug.	3=Mod. Alt.	3=Mojado	3=Lec. Proy.		
4=Alt. Met.	4=Fract-Intenso	mf=Microfalla	SE=Sobrees.	5= <0.06	5= >20	5= >5	5=Suave	5=Roca Tritur.	5=Suave>5mm	5=Descomp.	5=Flujo	4=Alt. Met.	4=Fract-Intenso	mf=Microfalla	SE=Sobrees.	C=Contacto	Prom. Golpes	λ	17.78	1 Golp	γ _p	46.95	Z/R	DIP	DD	COMPOBACION	6=Bx	7=Panizo	8=Veta	9=Epsonita	10=Hidrocincita	11=Yeso	12=
5=Compl.	Agregar MB,B,M,P,MP	C=Contacto	1 Golp	γ _p	46.95	Z/R	DIP	DD	COMPOBACION	6=Bx	7=Panizo	8=Veta	9=Epsonita	10=Hidrocincita	11=Yeso	12=																	
HASTIAL DER. (m.)	APICE MAYOR (m.)	HASTIAL IZQ. (m.)	ANCHO DE CÁMARA (m.)	CUNETAS (m.)		LITOLÓGIA FORMAC.	1	1	3	E	R3 (32 MPa)	46.95	155	56	245	V	4	2	4	5	-	-	1	1	1								
Altura (m.)	Ancho (m.)																																
1	2.17	2.56	2.10	2.90	0.30	0.50	Carhuaz	1	1	3	E	R3 (32 MPa)	46.95	155	56	245	V	4	2	4	5	-	-	1	1	1							
2											R3 (32 MPa)	46.95	151	52	241	V	5	1	4	5	-	-	1	1	1								
3											R3 (32 MPa)	46.95	145	50	235	V	4	2	4	5	4	2	1	2	1								
4							Secuencias de limolitas de color bituminoso, de textura fina, con superficies de juntas medianamente alteradas, con presencia de óxidos, con aberturas 1 mm. a 3 mm.				R3 (32 MPa)	46.95	152	51	242	V	4	2	3	5	-	-	2	1	1								
5											R3 (32 MPa)	46.95	140	48	230	V	4	2	4	4	4	2	1	1	1								
6											R3 (32 MPa)	46.95	146	44	236	V	5	1	4	5	4	2	1	1	1								
7											R3 (32 MPa)	46.95	149	49	239	V	5	1	4	5	4	2	1	1	1								
8											R3 (32 MPa)	46.95	157	52	247	V	4	2	3	5	-	-	1	2	1								
9											R3 (32 MPa)	46.95	159	57	249	V	5	1	4	5	-	-	1	1	1								
10											R3 (32 MPa)	46.95	135	55	225	V	5	1	4	5	-	-	1	1	1								
11											R3 (32 MPa)	46.95	138	56	228	V	4	1	4	5	-	-	1	1	1								
12											R3 (32 MPa)	46.95	146	48	236	V	5	1	3	5	4	2	2	2	1								
13											R3 (32 MPa)	46.95	150	43	240	V	5	2	4	5	4	2	1	1	1								
14											R3 (32 MPa)	46.95	142	52	232	V	4	2	4	5	4	2	1	1	1								
15											R3 (32 MPa)	46.95	153	50	243	V	5	2	3	5	4	2	1	1	1								
16											R3 (32 MPa)	46.95	142	49	232	V	4	2	4	5	4	2	2	2	1								
17											R3 (32 MPa)	46.95	149	47	239	V	4	2	4	5	-	-	1	1	1								
18											R3 (32 MPa)	46.95	151	46	241	V	5	1	4	5	4	2	1	1	1								
19											R3 (32 MPa)	46.95	153	42	243	V	4	1	4	4	-	-	1	1	1								
20											D-1	R3 (32 MPa)	46.95	81	68	171	V	3	1	4	5	1	5	1	1	1							
21											R3 (32 MPa)	46.95	78	66	168	V	3	1	4	5	4	2	1	2	1								
22											R3 (32 MPa)	46.95	70	54	160	V	4	2	4	5	-	3	1	1	1								
23											R3 (32 MPa)	46.95	65	59	155	V	3	1	-	5	4	2	1	1	1								
24											R3 (32 MPa)	46.95	59	63	149	V	3	1	4	5	4	2	1	1	1								
25											R3 (32 MPa)	46.95	62	61	152	V	3	1	4	5	1	5	1	1	1								
26											R3 (32 MPa)	46.95	67	57	157	V	4	2	4	4	-	-	1	1	1								
27											R3 (32 MPa)	46.95	58	58	148	V	3	1	-	5	-	-	1	2	1								
28											R3 (32 MPa)	46.95	54	62	144	V	3	1	4	5	1	5	1	2	1								
29											R3 (32 MPa)	46.95	68	45	158	V	4	1	4	5	4	2	1	2	1								
30											R3 (32 MPa)	46.95	64	53	154	V	3	1	4	5	-	-	1	1	1								
31											R3 (32 MPa)	46.95	59	57	149	V	3	2	-	5	1	5	1	1	1								
32											R3 (32 MPa)	46.95	61	56	151	V	4	1	4	5	-	-	1	1	1								
33											R3 (32 MPa)	46.95	63	59	153	V	3	1	4	5	4	2	1	1	1								
34											R3 (32 MPa)	46.95	58	62	148	V	3	1	-	4	-	-	1	2	1								
35											R3 (32 MPa)	46.95	57	57	147	V	4	2	4	5	-	-	1	1	1								
36											D-2	R3 (32 MPa)	46.95	312	43	42	V	3	1	4	5	-	-	1	1	1							
37											R3 (32 MPa)	46.95	300	40	30	V	3	1	4	5	-	-	1	1	1								
38											R3 (32 MPa)	46.95	315	41	45	V	3	1	-	5	4	2	1	2	1								
39											R3 (32 MPa)	46.95	308	38	38	V	3	1	4	5	-	-	1	1	1								
40											R3 (32 MPa)	46.95	309	51	39	V	4	1	4	5	-	-	1	1	1								
41											R3 (32 MPa)	46.95	311	49	41	V	3	1	4	5	-	-	1	1	1								
42											R3 (32 MPa)	46.95	306	49	36	V	3	1	4	5	4	2	1	1	1								
43											R3 (32 MPa)	46.95	321	50	51	V	3	1	-	4	-	-	1	2	1								
44											R3 (32 MPa)	46.95	318	41	48	V	4	1	-	5	-	-	1	1	1								
45											R3 (32 MPa)	46.95	304	49	34	V	3	1	4	5	-	-	1	1	1								
46											R3 (32 MPa)	46.95	309	52	39	V	3	1	-	5	-	-	1	1	1								
47											R3 (32 MPa)	46.95	314	57	44	V	3	1	4	5	4	2	1	1	1								
48											R3 (32 MPa)	46.95	309	50	39	V	4	1	-	4	4	2	1	2	1								
49											R3 (32 MPa)	46.95	318	48	48	V	3	1	4	5	-	-	1	2	1								
50											R3 (32 MPa)	46.95	320	49	50	V	3	1	4	5	-	-	1	1	1								
51											R3 (32 MPa)	46.95	306	56	36	V	4	1	-	5	-	-	1	1	1								
52											R3 (32 MPa)	46.95	310	52	40	V	4	1	4	5	4	2	1	1	1								
											Túnel		60	52	40	V	4	1	4	5	4	2	1	1	1								

Cuadro 5.4. Registro geológico geotécnico, EG-4.

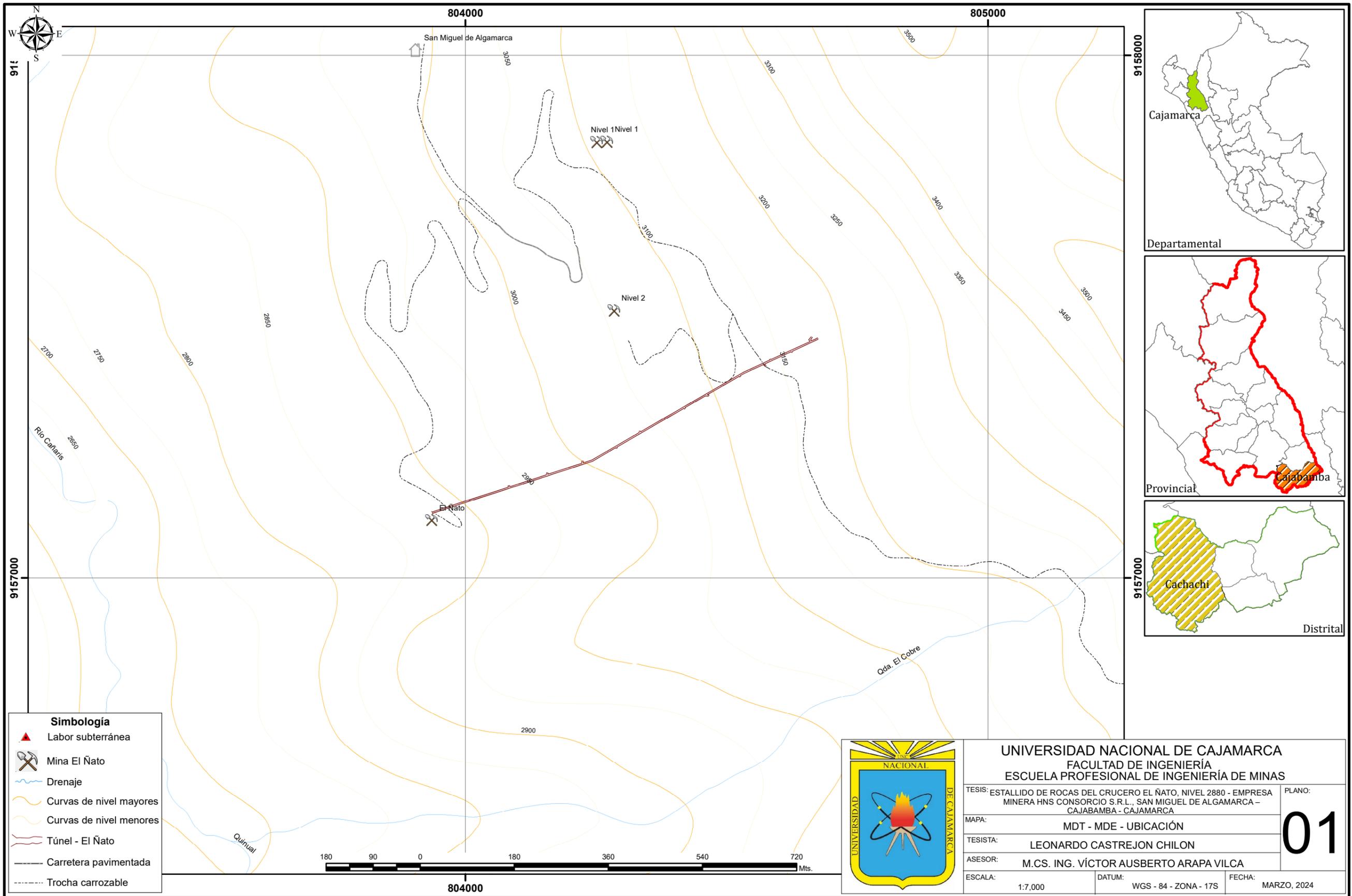
REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO										ESTALLIDO DE ROCAS DEL CRUCERO EL ÑATO, NIVEL 2880 - EMPRESA MINERA HNS CONSORCIO S.R.L., SAN MIGUEL DE ALGAMARCA - CAJABAMBA - CAJAMARCA										TENSIONES		Subterráneo										
UBICACIÓN										GALERÍA PRINCIPAL										Parametros	valores											
CÓDIGO	E-4									TRAMO	4									Profundidad (m.)	209											
RESPONSABLE	Leonardo Castrejón Chlón									HOJA N°	4									O1 (Mpa.)	3.344											
SISTEMA	WGS			84			ZONA 17S			EJECUTADO POR	Leonardo Castrejón Chlón									O3 (Mpa.)	1.440											
DIS. Nro	DIMENSIONES DE EXCAVACIÓN					MACIZO ROCOSO				TIPOS		RESIST. COMP. UNIAJ.		RQD TRAMO		ORIENTACIÓN				ESPACIADO(m)		PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERC. METEOR.	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN			
	FORMA DE EXCAVACIÓN		OPCION			METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	E=Estratificada o Seudo		σ _{ci}	ND	65	DIRECCIÓN				1=>2	1=<1	1= Nada	1=Muy Rug.	TIPO		1=Arcilloso	1=Ninguna	1=Inalterada	1=Seco	1=Lec. Real				
1= Baúl	2= Circular	3= Herradura	4= Cuadrada	5= Rectangular	6= Elíptica				7= Irregular	D=Diaplasa				Fn=F.Normal	Fr=F.Inversa	Fd=F.Directa	mf=Microfalla					SE=Sobrees.	C=Contacto						2= 2-0.6	2= 1-3	2= <0.1	2=Rugosa
HASTIAL DER. (m.)		APICE MAYOR (m.)		HASTIAL IZQ. (m.)		ANCHO DE CÁMARA (m.)		CUNETAS (m.)		4=Alt. Met.	5=Compl.	4=Fract-Intenso		4=Fract-Intenso		Prom. Golpes	λ	21.67	1 Golp	γ _p	36.28	Z/R	DIP	DD	COMPOBACION	3= 0.1-1	3= 3-10	3= 0.1-1	3=Lig. Rug.	3=Mod. Alt.	3=Mojado	3=Lec. Proy.
Altura (m.)	Ancho (m.)	6= Lev. Met.	7= Mediano	7= Bloq-Irreg.	7= Fd-F.Inversa	7= mf=Microfalla	7= SE=Sobrees.	7= C=Contacto	4= 0.2-0.06			4= 10-20	4= 1-5	4= Ondulad.-lisa	4= Óxidos																	
1	2.50	2.75	2.55	2.42	-	-	Santa	1	1	1	E	R3 (27 MPa)	36.28	140	64	230	V	4	2	1	5	-	-	1	1	1						
2												R3 (27 MPa)	36.28	142	61	232	V	4	2	2	5	4	2	1	2	1						
3												R3 (27 MPa)	36.28	145	58	235	V	5	2	1	4	-	-	1	1	1						
4												R3 (27 MPa)	36.28	155	52	245	V	4	1	1	5	-	-	1	1	1						
5												R3 (27 MPa)	36.28	149	61	239	V	4	2	1	5	-	-	1	2	1						
6												R3 (27 MPa)	36.28	156	58	246	V	4	2	1	5	-	-	1	1	1						
7												R3 (27 MPa)	36.28	157	53	247	V	4	1	2	5	4	2	1	1	1						
8												R3 (27 MPa)	36.28	141	60	231	V	5	2	1	4	-	-	1	1	1						
9												R3 (27 MPa)	36.28	147	62	237	V	5	1	1	4	-	-	1	1	1						
10												R3 (27 MPa)	36.28	150	52	240	V	4	1	1	5	-	-	1	1	1						
11												R3 (27 MPa)	36.28	153	57	243	V	4	2	1	5	-	-	1	1	1						
12												R3 (27 MPa)	36.28	146	61	236	V	5	1	2	5	4	2	1	1	1						
13												R3 (27 MPa)	36.28	160	52	250	V	5	1	1	5	-	-	1	1	1						
14												R3 (27 MPa)	36.28	152	54	242	V	4	2	1	4	-	-	1	1	1						
15												R3 (27 MPa)	36.28	148	61	238	V	4	2	1	5	-	-	1	1	1						
16												R3 (27 MPa)	36.28	156	59	246	V	4	1	1	5	-	-	1	1	1						
17												R3 (27 MPa)	36.28	147	56	237	V	4	2	2	5	4	2	1	1	1						
18												R3 (27 MPa)	36.28	152	63	242	V	5	2	1	4	-	-	1	1	1						
19												R3 (27 MPa)	36.28	157	67	247	V	4	2	1	5	-	-	1	1	1						
20												R3 (27 MPa)	36.28	48	72	138	V	4	1	2	5	4	2	1	1	1						
21												R3 (27 MPa)	36.28	41	69	131	V	4	1	3	5	4	2	1	1	1						
22												R3 (27 MPa)	36.28	45	74	135	V	3	1	3	5	4	2	1	1	1						
23												R3 (27 MPa)	36.28	39	63	129	V	4	1	3	5	4	2	1	1	1						
24												R3 (27 MPa)	36.28	37	59	127	V	3	2	5	4	4	2	1	1	1						
25												R3 (27 MPa)	36.28	42	58	132	V	3	1	2	5	4	2	1	1	1						
26												R3 (27 MPa)	36.28	51	61	141	V	4	1	1	5	-	-	1	1	1						
27												R3 (27 MPa)	36.28	39	68	129	V	3	1	2	5	4	2	1	1	1						
28												R3 (27 MPa)	36.28	42	54	132	V	4	1	2	5	4	2	1	2	1						
29												R3 (27 MPa)	36.28	56	71	146	V	3	1	1	4	-	-	1	1	1						
30												R3 (27 MPa)	36.28	51	68	141	V	4	2	1	5	-	-	1	1	1						
31												R3 (27 MPa)	36.28	34	57	124	V	3	1	2	4	4	2	1	1	1						
32												R3 (27 MPa)	36.28	32	61	122	V	4	1	1	5	1	5	1	1	1						
33												R3 (27 MPa)	36.28	50	54	140	V	3	1	1	5	1	5	1	1	1						
34												R3 (27 MPa)	36.28	56	58	146	V	4	1	2	5	4	2	1	1	1						
35												R3 (27 MPa)	36.28	42	61	132	V	3	1	2	4	4	2	1	1	1						
36												R3 (27 MPa)	36.28	312	80	42	V	4	1	1	5	-	-	1	1	1						
37												R3 (27 MPa)	36.28	308	77	38	V	3	2	2	5	4	2	1	1	1						
38												R3 (27 MPa)	36.28	296	69	26	V	4	1	2	5	4	2	1	1	1						
39												R3 (27 MPa)	36.28	290	74	20	V	4	1	2	5	4	2	1	1	1						
40												R3 (27 MPa)	36.28	301	81	31	V	4	1	2	5	4	2	1	1	1						
41												R3 (27 MPa)	36.28	284	72	14	V	4	1	2	4	4	2	1	2	1						
42												R3 (27 MPa)	36.28	308	63	38	V	4	1	1	5	-	-	1	1	1						
43												R3 (27 MPa)	36.28	299	68	29	V	4	2	1	5	-	-	1	1	1						
44												R3 (27 MPa)	36.28	305	74	35	V	4	1	2	5	4	2	1	1	1						
45												R3 (27 MPa)	36.28	286	83	16	V	3	1	2	5	4	2	1	1	1						
46												R3 (27 MPa)	36.28	281	81	11	V	4	1	1	4	-	-	1	1	1						
47												R3 (27 MPa)	36.28	299	79	29	V	4	1	1	5	-	-	1	1	1						
48												R3 (27 MPa)	36.28	307	68	37	V	4	1	1	5	-	-	1	1	1						
49												R3 (27 MPa)	36.28	304	74	34	V	4	2	1	5	-	-	1	1	1						
50												R3 (27 MPa)	36.28	286	79	16	V	4	1	1	4	-	-	1	2	1						
51												R3 (27 MPa)	36.28	312	62	42	V	3	1	2	5	4	2	1	1	1						
52												R3 (27 MPa)	36.28	307	68	37	V	4	1	2	5	4	2	1	1	1						
												Túnel		62	68																	

Cuadro 5.5. Registro geológico geotécnico, EG-5.

REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO										ESTALLIDO DE ROCAS DEL CRUCERO EL ÑATO, NIVEL 2880 - EMPRESA MINERA HNS CONSORCIO S.R.L., SAN MIGUEL DE ALGAMARCA – CAJABAMBA - CAJAMARCA										TENSIONES		Subterráneo											
UBICACIÓN										GALERÍA PRINCIPAL										Parametros	valores												
CÓDIGO	E-5									TRAMO	5									Profundidad (m.)	246												
RESPONSABLE	Leonardo Castrejón Chlón									HOJA N°	5									O1 (Mpa.)	3.94												
SISTEMA	WGS			84			ZONA 17S			EJECUTADO POR	Leonardo Castrejón Chlón									FECHA	25/09/2023			O3 (Mpa.)	1.7	m	0.43						
DIS. Nro	DIMENSIONES DE EXCAVACIÓN					MACIZO ROCOSO				TIPOS		RESIST. COMP. UNMAX.		RQD TRAMO		ORIENTACIÓN				ESPACIADO(m)		PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERC. METEOR.	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN				
	FORMA DE EXCAVACIÓN		OPCION			METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	E=Estratificada o Seudo		σ _{ci}	ND	70	DIRECCIÓN				1=>2	1=<1	1= Nada	1=Muy Rug.	TIPO		1=Inalterada	1=Seco	1=Lec. Real							
1= Baúl	2= Circular	3= Herradura	4= Cuadrada	5= Rectangular	6= Elíptica				7= Irregular	D=Diadacha				Fn=F.Normal	FD=F.Inversa	4=2.0-0.6	3= 3-10					3= 0.1-1	2= 2-0.6				2= 1-3	2= <0.1	2=Rugosa	2=Oz	2=Duro<5mm	2=Lig. Alt.	2=Húmedo
LITOLOGÍA FORMAC.		CUNETAS (m.)		HASTIAL DER. (m.)		HASTIAL MAYOR (m.)		HASTIAL IZQ. (m.)		ANCHO DE CÁMARA (m.)		Altura (m.)		Ancho (m.)		Prom. Golpes		λ	25.00	γ _p	28.73	Z/R	DIP	DD	COMPOBACION	5=<0.06	5=>20	5=>5	5=Suave	5=Roca Tritur.	5=Suave>5mm	5=Descomp.	5=Flujo
1=Fresco	1=Alto	1=Bloq-Regul.	1=Fract-Intenso	mf=Microfalla	SE=Sobrees.	C=Contacto	6=Bx	7=Panizo	8=Veta	9=Epsonita	10=Hidrocincita	11=Yeso	12=-																				
1	2.60	2.80	2.71	2.65	-	-	Santa	1	1	1	E	R3 (32 MPa)	28.73	142	58	232	V	5	2	1	5	-	-	1	1	1							
2												R3 (32 MPa)	28.73	132	54	222	V	4	2	2	5	4	2	1	2	1							
3												R3 (32 MPa)	28.73	148	46	238	V	5	2	1	4	-	-	1	1	1							
4												R3 (32 MPa)	28.73	135	57	225	V	4	1	1	5	-	-	1	1	1							
5												R3 (32 MPa)	28.73	139	49	229	V	5	2	1	5	-	-	1	2	1							
6												R3 (32 MPa)	28.73	152	42	242	V	4	2	1	5	-	-	1	1	1							
7												R3 (32 MPa)	28.73	162	50	252	V	4	1	2	5	4	2	1	1	1							
8												R3 (32 MPa)	28.73	149	57	239	V	4	2	1	4	-	-	1	2	1							
9												R3 (32 MPa)	28.73	152	61	242	V	4	1	1	4	-	-	1	1	1							
10												R3 (32 MPa)	28.73	158	46	248	V	4	1	1	5	-	-	1	1	1							
11												R3 (32 MPa)	28.73	162	52	252	V	4	2	1	5	-	-	1	1	1							
12												R3 (32 MPa)	28.73	147	61	237	V	5	1	2	5	4	2	1	2	1							
13												R3 (32 MPa)	28.73	158	64	248	V	5	1	1	5	-	-	1	1	1							
14												R3 (32 MPa)	28.73	146	54	236	V	4	2	1	4	-	-	1	2	1							
15												R3 (32 MPa)	28.73	142	61	232	V	4	2	1	5	-	-	1	1	1							
16												D-1	R3 (32 MPa)	28.73	59	70	149	V	4	1	1	5	-	-	1	1	1						
17												R3 (32 MPa)	28.73	57	64	147	V	4	1	2	5	4	2	1	2	1							
18												R3 (32 MPa)	28.73	52	73	142	V	3	2	1	4	-	-	1	1	1							
19												R3 (32 MPa)	28.73	50	58	140	V	4	1	1	5	-	-	1	1	1							
20												R3 (32 MPa)	28.73	48	54	138	V	4	1	2	5	4	2	1	1	1							
21												R3 (32 MPa)	28.73	52	61	142	V	4	1	3	5	4	2	1	1	1							
22												R3 (32 MPa)	28.73	50	53	140	V	3	1	3	5	4	2	1	1	1							
23												R3 (32 MPa)	28.73	56	68	146	V	3	2	3	5	4	2	1	1	1							
24												R3 (32 MPa)	28.73	54	54	144	V	4	1	5	4	4	2	1	1	1							
25												R3 (32 MPa)	28.73	48	59	138	V	4	1	2	5	4	2	1	1	1							
26												R3 (32 MPa)	28.73	49	64	139	V	4	1	1	5	-	-	1	2	1							
27												R3 (32 MPa)	28.73	52	70	142	V	3	1	2	5	4	2	1	2	1							
28												R3 (32 MPa)	28.73	63	55	153	V	3	1	2	5	4	2	1	2	1							
29												R3 (32 MPa)	28.73	67	64	157	V	4	1	1	4	-	-	1	2	1							
30												D-2	R3 (32 MPa)	28.73	225	68	315	V	4	2	1	5	-	-	1	2	1						
31												R3 (32 MPa)	28.73	220	57	310	V	3	1	2	4	4	2	1	2	1							
32												R3 (32 MPa)	28.73	223	61	313	V	4	1	1	5	1	5	1	1	1							
33												R3 (32 MPa)	28.73	218	54	308	V	4	1	1	5	1	5	1	1	1							
34												R3 (32 MPa)	28.73	225	58	315	V	4	1	2	5	4	2	1	2	1							
35												R3 (32 MPa)	28.73	223	61	313	V	3	1	2	4	4	2	1	1	1							
36												R3 (32 MPa)	28.73	217	80	307	V	4	1	1	5	-	-	1	2	1							
37												R3 (32 MPa)	28.73	238	77	328	V	4	2	2	5	4	2	1	2	1							
38												R3 (32 MPa)	28.73	227	69	317	V	4	1	2	5	4	2	1	1	1							
39												R3 (32 MPa)	28.73	231	74	321	V	3	1	2	5	4	2	1	2	1							
40												R3 (32 MPa)	28.73	229	81	319	V	4	1	2	5	4	2	1	1	1							
41												D-3	R3 (32 MPa)	28.73	311	16	41	V	4	1	2	4	4	2	1	2	1						
42												R3 (32 MPa)	28.73	308	25	38	V	4	1	1	5	-	-	1	1	1							
43												R3 (32 MPa)	28.73	316	18	46	V	4	2	1	5	-	-	1	1	1							
44												R3 (32 MPa)	28.73	324	22	54	V	4	1	2	5	4	2	1	1	1							
45												R3 (32 MPa)	28.73	321	21	51	V	3	1	2	5	4	2	1	1	1							
46												R3 (32 MPa)	28.73	318	27	48	V	4	1	1	4	-	-	1	1	1							
47												R3 (32 MPa)	28.73	324	20	54	V	4	1	1	5	-	-	1	1	1							
48												R3 (32 MPa)	28.73	328	19	58	V	3	1	1	5	-	-	1	1	1							
49												R3 (32 MPa)	28.73	317	16	47	V	4	2	1	5	-	-	1	1	1							
50												R3 (32 MPa)	28.73	324	24	54	V	3	1	1	4	-	-	1	2	1							
51												R3 (32 MPa)	28.73	329	27	59	V	3	1	2	5	4	2	1	1	1							
52												R3 (32 MPa)	28.73	303	12	33	V	3	1	2	5	4	2	1	1	1							
Túnel												58	12	33	V	3	1	2	5	4	2	1	1	1									

Cuadro 5.6. Registro geológico geotécnico, EG-6.

REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO										ESTALLIDO DE ROCAS DEL CRUCERO EL ÑATO, NIVEL 2880 - EMPRESA MINERA HNS CONSORCIO S.R.L., SAN MIGUEL DE ALGAMARCA – CAJABAMBA - CAJAMARCA										TENSIONES		Subterráneo									
UBICACIÓN										GALERÍA PRINCIPAL										Parametros	valores										
CÓDIGO	E-6									TRAMO	Pl. + 802 m.									Profundidad (m.)	304										
RESPONSABLE	Leonardo Castrejón Chlón									HOJA N°	6									O1 (Mpa.)	8.512										
SISTEMA	WGS			84			ZONA 17S			EJECUTADO POR	Leonardo Castrejón Chlón									O3 (Mpa.)	4.46	m	0.52								
DIS. Nro	DIMENSIONES DE EXCAVACIÓN					MACIZO ROCOSO				TIPOS		RESIST. COMP. UNIAJ.		RQD TRAMO		ORIENTACIÓN				ESPACIADO(m)		PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC. METEOR.	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN		
	FORMA DE EXCAVACIÓN		OPCION			LITOLOGÍA FORMAC.	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	E=Estratificada o Seudo		σ_{ci}	ND	18	DIRECCIÓN				1= >2	1= <1	1= Nada	1=Muy Rug.	TIPO		1=Arcilloso	1=Ninguna	1=Inalterada	1=Seco	1=Lec. Real		
1= Baúl	2= Circular	3= Herradura	4= Cuadrada	5= Rectangular	6= Elíptica		7= Irregular	1=Fresco	1=Alto	1=Bloq-Regul.	D=Diaclasa		L	2.5	DIRECCIÓN								2= 2-0.6	2= 1-3						2= <0.1	2=Rugosa
HASTIAL DER. (m.)		APICE MAYOR (m.)		HASTIAL IZQ. (m.)		ANCHO DE CÁMARA (m.)		CUNETAS (m.)		4=Alt. Met.	5=Compl.	4=Fract-Intenso	mf=Microfalla	Prom. Golpes	A	7.20	3 Golp	γ_p	83.72	Z/R	DIP	DD	COMPOBACION	4= 0.2-0.06	4= 10-20	4= 1-5	4=Ondulad.-lisa	4=Óxidos	4=Suave<5mm	4=Muy Alt.	4=Goteo
Altura (m.)	Ancho (m.)	6=Bx	7=Panizo	8=Veta	9=Epsonita	10=Hidrocincita	11=Yeso	12=																							
1	2.53	2.80	2.70	2.52	-	-	Chimú	1	3	1	E	R5 (135 MPa)	83.72	155	60	245	V	3	1	1	2	2	3	1	1	1	1	1	1		
2												R5 (135 MPa)	83.72	146	58	236	V	3	1	2	2	4	2	1	1	1	1	1	1		
3												R5 (135 MPa)	83.72	161	55	251	V	3	1	2	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4												R5 (135 MPa)	83.72	149	61	239	V	4	1	3	2	4	2	1	1	1	1	1	1		
5												R5 (135 MPa)	83.72	150	53	240	V	3	1	1	3	4	2	1	1	1	1	1	1		
6												R5 (135 MPa)	83.72	154	48	244	V	3	1	1	3	4	2	1	1	1	1	1	1		
7												R5 (135 MPa)	83.72	168	51	258	V	4	2	1	3	4	2	1	1	1	1	1	1		
8												R5 (135 MPa)	83.72	146	57	236	V	3	1	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
9												R5 (135 MPa)	83.72	149	53	239	V	3	1	2	2	4	2	1	1	1	1	1	1		
10												R5 (135 MPa)	83.72	152	46	242	V	3	1	1	3	4	2	1	1	1	1	1	1		
11												R5 (135 MPa)	83.72	154	44	244	V	4	1	2	3	4	2	1	1	1	1	1	1		
12												R5 (135 MPa)	83.72	163	53	253	V	3	1	1	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
13												R5 (135 MPa)	83.72	158	59	248	V	3	1	1	3	4	2	1	1	1	1	1	1		
14												R5 (135 MPa)	83.72	152	61	242	V	4	1	2	2	4	2	1	1	1	1	1	1		
15												R5 (135 MPa)	83.72	154	58	244	V	3	1	1	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	
16												R5 (135 MPa)	83.72	148	49	238	V	3	2	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17												R5 (135 MPa)	83.72	146	53	236	V	4	1	1	3	4	2	1	1	1	1	1	1		
18												R5 (135 MPa)	83.72	153	57	243	V	3	1	2	3	4	2	1	1	1	1	1	1		
19												R5 (135 MPa)	83.72	157	61	247	V	4	1	2	3	4	2	1	1	1	1	1	1		
20												R5 (135 MPa)	83.72	53	82	143	V	3	2	3	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
21												R5 (135 MPa)	83.72	73	75	163	V	4	2	2	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
22												R5 (135 MPa)	83.72	62	83	152	V	3	2	1	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
23												R5 (135 MPa)	83.72	58	76	148	V	3	1	3	2	4	2	1	1	1	1	1	1	1	
24												R5 (135 MPa)	83.72	69	84	159	V	4	2	3	3	1	5	1	1	1	1	1	1	1	
25												R5 (135 MPa)	83.72	55	69	145	V	3	2	1	3	4	2	1	1	1	1	1	1	1	
26												R5 (135 MPa)	83.72	57	80	147	V	3	2	3	3	4	2	1	1	1	1	1	1	1	
27												R5 (135 MPa)	83.72	70	72	160	V	3	2	3	3	4	2	1	1	1	1	1	1	1	
28												R5 (135 MPa)	83.72	68	71	158	V	3	1	3	2	1	5	1	1	1	1	1	1	1	
29												R5 (135 MPa)	83.72	63	83	153	V	4	2	1	3	4	2	1	1	1	1	1	1	1	
30												R5 (135 MPa)	83.72	59	64	149	V	3	2	1	3	4	2	1	1	1	1	1	1	1	
31												R5 (135 MPa)	83.72	57	59	147	V	3	2	3	3	1	5	1	1	1	1	1	1	1	
32												R5 (135 MPa)	83.72	54	64	144	V	3	2	3	3	4	2	1	1	1	1	1	1	1	
33												R5 (135 MPa)	83.72	61	73	151	V	4	1	2	2	4	2	1	1	1	1	1	1	1	
34												R5 (135 MPa)	83.72	63	64	153	V	3	2	1	3	1	5	1	1	1	1	1	1	1	
35												R5 (135 MPa)	83.72	54	58	144	V	3	2	3	3	2	3	1	1	1	1	1	1	1	
36												R5 (135 MPa)	83.72	315	56	45	V	4	1	1	3	1	5	1	1	2	1	1	1	1	
37												R5 (135 MPa)	83.72	330	59	60	V	4	1	1	2	1	5	1	1	1	1	1	1	1	
38												R5 (135 MPa)	83.72	320	65	50	V	4	2	1	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
39												R5 (135 MPa)	83.72	315	54	45	V	4	1	2	3	1	5	1	1	1	1	1	1	1	
40												R5 (135 MPa)	83.72	324	61	54	V	3	1	1	3	1	5	1	1	1	1	1	1	1	
41												R5 (135 MPa)	83.72	318	53	48	V	4	1	1	3	1	5	1	1	1	1	1	1	1	
42												R5 (135 MPa)	83.72	326	60	56	V	4	1	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
43												R5 (135 MPa)	83.72	322	59	52	V	4	1	1	3	1	5	1	1	1	1	1	1	1	
44												R5 (135 MPa)	83.72	310	53	40	V	4	2	1	3	1	5	1	1	1	1	1	1	1	
45												R5 (135 MPa)	83.72	318	67	48	V	4	1	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
46												R5 (135 MPa)	83.72	305	63	35	V	3	1	2	3	1	5	1	1	1	1	1	1	1	
47												R5 (135 MPa)	83.72	325	58	55	V	4	1	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
48												R5 (135 MPa)	83.72	338	55	68	V	4	1	1	3	1	5	1	1	1	1	1	1	1	
49												R5 (135 MPa)	83.72	319	62	49	V	4	1	1	3	1	5	1	1	1	1	1	1	1	
50												R5 (135 MPa)	83.72	327	60	57	V	4	2	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
51												R5 (135 MPa)	83.72	338	52	68	V	3	2	2	3	1	5	1	1	1	1	1	1	1	
52												R5 (135 MPa)	83.72	309	59	39	V	4	2	2	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Túnel												65																			

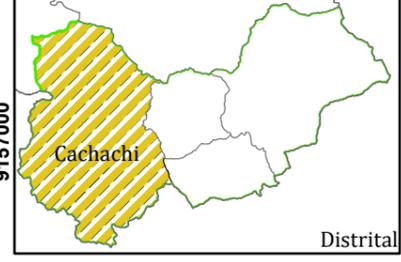
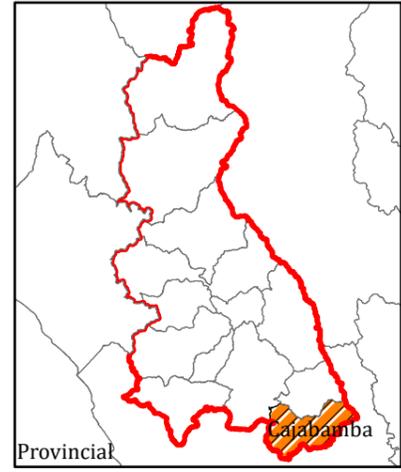
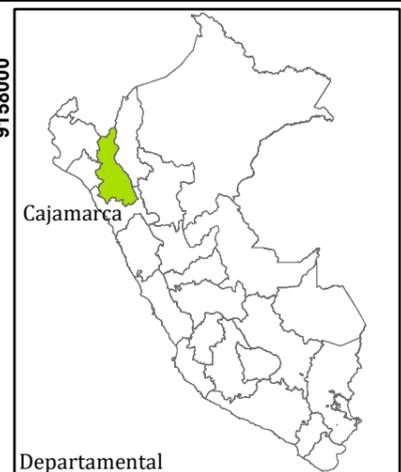


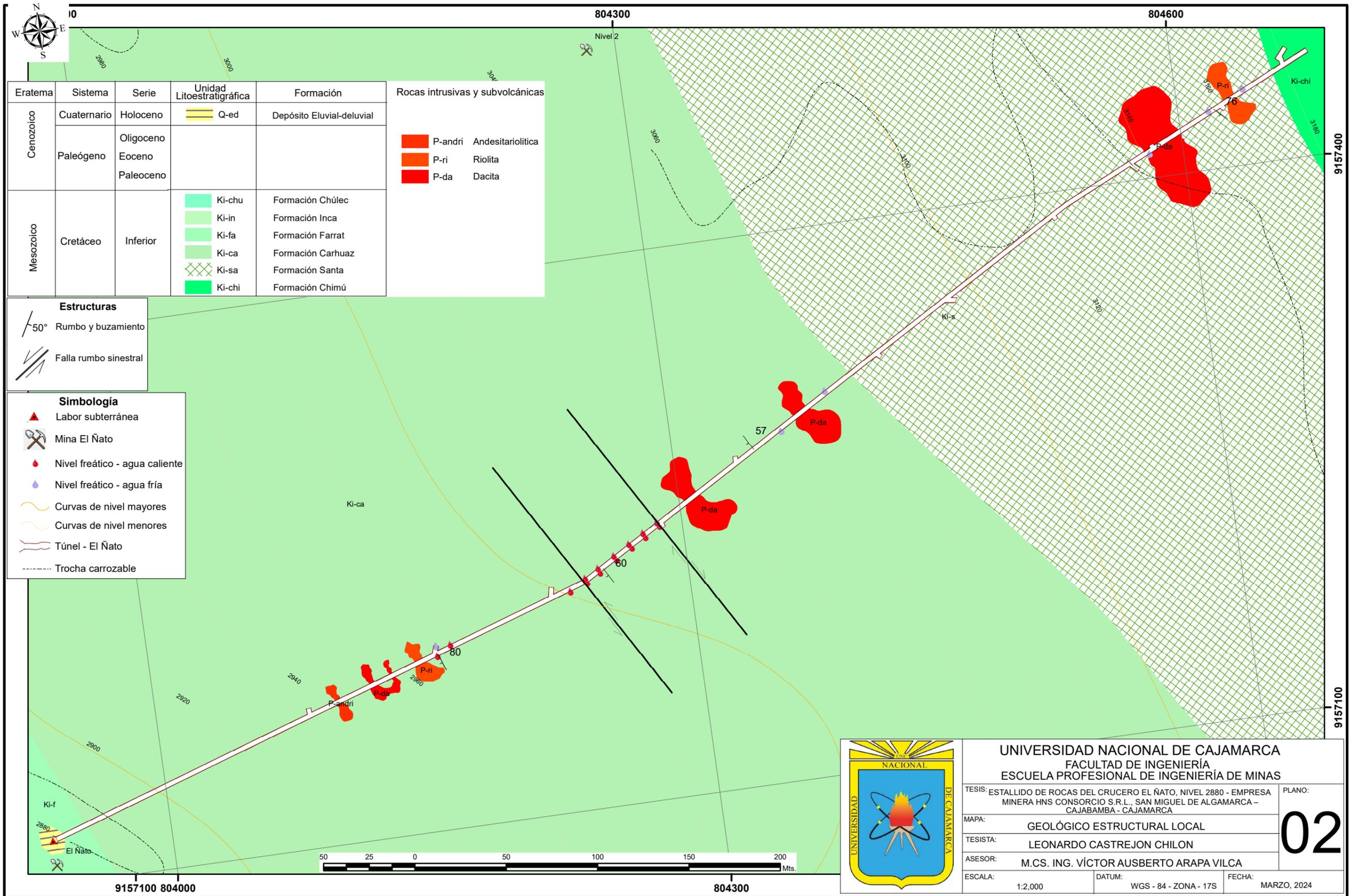
Simbología

	Labor subterránea
	Mina El Ñato
	Drenaje
	Curvas de nivel mayores
	Curvas de nivel menores
	Túnel - El Ñato
	Carretera pavimentada
	Trocha carrozable



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		
TESISTA: ESTALLIDO DE ROCAS DEL CRUCERO EL ÑATO. NIVEL 2880 - EMPRESA MINERA HNS CONSORCIO S.R.L., SAN MIGUEL DE ALGAMARCA - CAJABAMBA - CAJAMARCA		PLANO:
MAPA: MDT - MDE - UBICACIÓN		01
TESISTA: LEONARDO CASTREJON CHILON		
ASESOR: M.CS. ING. VÍCTOR AUSBERTO ARAPA VILCA		
ESCALA: 1:7,000	DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S	FECHA: MARZO, 2024





Eratema	Sistema	Serie	Unidad Litoestratigráfica	Formación	Rocas intrusivas y subvolcánicas
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Q-ed	Depósito Eluvial-deluvial	
	Paleógeno	Oligoceno			
		Eoceno Paleoceno			
Mesozoico	Cretáceo	Inferior	Ki-chu	Formación Chúlec	
			Ki-in	Formación Inca	
			Ki-fa	Formación Farrat	
			Ki-ca	Formación Carhuaz	
			Ki-sa	Formación Santa	
			Ki-chi	Formación Chimú	

Estructuras

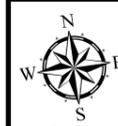
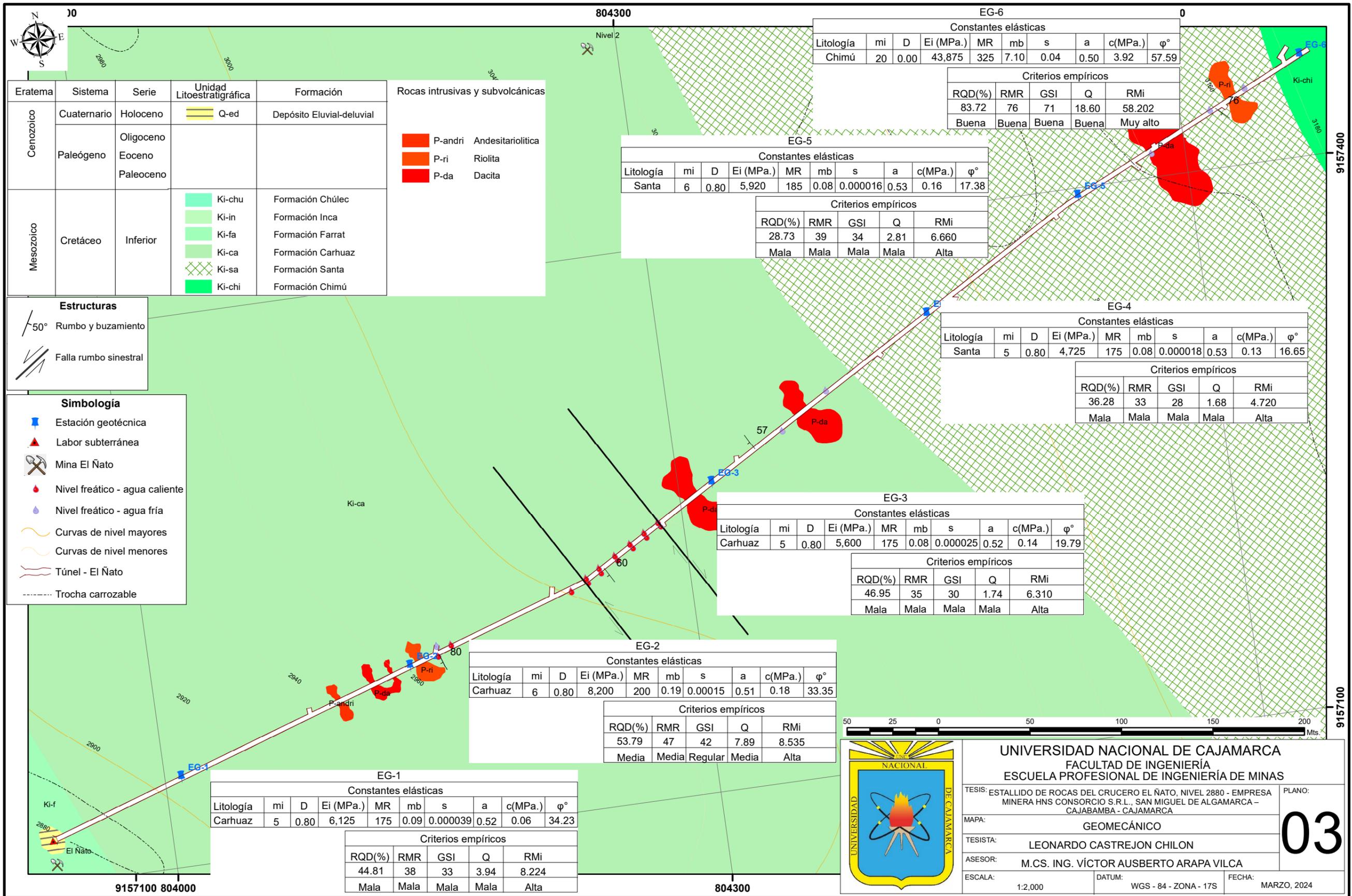
	50° Rumbo y buzamiento
	Falla rumbo sinistral

Simbología

	Labor subterránea
	Mina El Ñato
	Nivel freático - agua caliente
	Nivel freático - agua fría
	Curvas de nivel mayores
	Curvas de nivel menores
	Túnel - El Ñato
	Trocha carrozable



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		
TESIS: ESTALLIDO DE ROCAS DEL CRUCERO EL ÑATO, NIVEL 2880 - EMPRESA MINERA HNS CONSORCIO S.R.L., SAN MIGUEL DE ALGAMARCA - CAJABAMBA - CAJAMARCA		PLANO: <div style="font-size: 2em; font-weight: bold; text-align: center;">02</div>
MAPA:	GEOLOGICO ESTRUCTURAL LOCAL	
TESISTA:	LEONARDO CASTREJON CHILON	
ASESOR:	M.CS. ING. VÍCTOR AUSBERTO ARAPA VILCA	
ESCALA:	DATUM:	FECHA:
1:2,000	WGS - 84 - ZONA - 17S	MARZO, 2024



Eratema	Sistema	Serie	Unidad Litoestratigráfica	Formación	Rocas intrusivas y subvolcánicas
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Q-ed	Depósito Eluvial-deluvial	
	Paleógeno	Oligoceno			
		Eoceno			
		Paleoceno			
Mesozoico	Cretáceo	Inferior	Ki-chu	Formación Chúlec	
			Ki-in	Formación Inca	
			Ki-fa	Formación Farrat	
			Ki-ca	Formación Carhuaz	
			Ki-sa	Formación Santa	
			Ki-chi	Formación Chimú	

Estructuras

50° Rumbo y buzamiento

Falla rumbo sinistral

Simbología

- Estación geotécnica
- Labor subterránea
- Mina El Ñato
- Nivel freático - agua caliente
- Nivel freático - agua fría
- Curvas de nivel mayores
- Curvas de nivel menores
- Túnel - El Ñato
- Trocha carrozable

Rocas intrusivas y subvolcánicas

- P-andri Andesitaríolítica
- P-ri Riolita
- P-da Dacita

EG-1

Constantes elásticas									
Litología	mi	D	Ei (MPa.)	MR	mb	s	a	c(MPa.)	φ°
Carhuaz	5	0.80	6,125	175	0.09	0.000039	0.52	0.06	34.23

Criterios empíricos				
RQD(%)	RMR	GSI	Q	RMi
44.81	38	33	3.94	8.224
Mala	Mala	Mala	Mala	Alta

EG-2

Constantes elásticas									
Litología	mi	D	Ei (MPa.)	MR	mb	s	a	c(MPa.)	φ°
Carhuaz	6	0.80	8,200	200	0.19	0.00015	0.51	0.18	33.35

Criterios empíricos				
RQD(%)	RMR	GSI	Q	RMi
53.79	47	42	7.89	8.535
Media	Media	Regular	Media	Alta

EG-3

Constantes elásticas									
Litología	mi	D	Ei (MPa.)	MR	mb	s	a	c(MPa.)	φ°
Carhuaz	5	0.80	5,600	175	0.08	0.000025	0.52	0.14	19.79

Criterios empíricos				
RQD(%)	RMR	GSI	Q	RMi
46.95	35	30	1.74	6.310
Mala	Mala	Mala	Mala	Alta

EG-4

Constantes elásticas									
Litología	mi	D	Ei (MPa.)	MR	mb	s	a	c(MPa.)	φ°
Santa	5	0.80	4,725	175	0.08	0.000018	0.53	0.13	16.65

Criterios empíricos				
RQD(%)	RMR	GSI	Q	RMi
36.28	33	28	1.68	4.720
Mala	Mala	Mala	Mala	Alta

EG-5

Constantes elásticas									
Litología	mi	D	Ei (MPa.)	MR	mb	s	a	c(MPa.)	φ°
Santa	6	0.80	5,920	185	0.08	0.000016	0.53	0.16	17.38

Criterios empíricos				
RQD(%)	RMR	GSI	Q	RMi
28.73	39	34	2.81	6.660
Mala	Mala	Mala	Mala	Alta

EG-6

Constantes elásticas									
Litología	mi	D	Ei (MPa.)	MR	mb	s	a	c(MPa.)	φ°
Chimú	20	0.00	43,875	325	7.10	0.04	0.50	3.92	57.59

Criterios empíricos				
RQD(%)	RMR	GSI	Q	RMi
83.72	76	71	18.60	58.202
Buena	Buena	Buena	Buena	Muy alto

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

TESIS: ESTALLIDO DE ROCAS DEL CRUCERO EL ÑATO, NIVEL 2880 - EMPRESA MINERA HNS CONSORCIO S.R.L., SAN MIGUEL DE ALGAMARCA - CAJABAMBA - CAJAMARCA

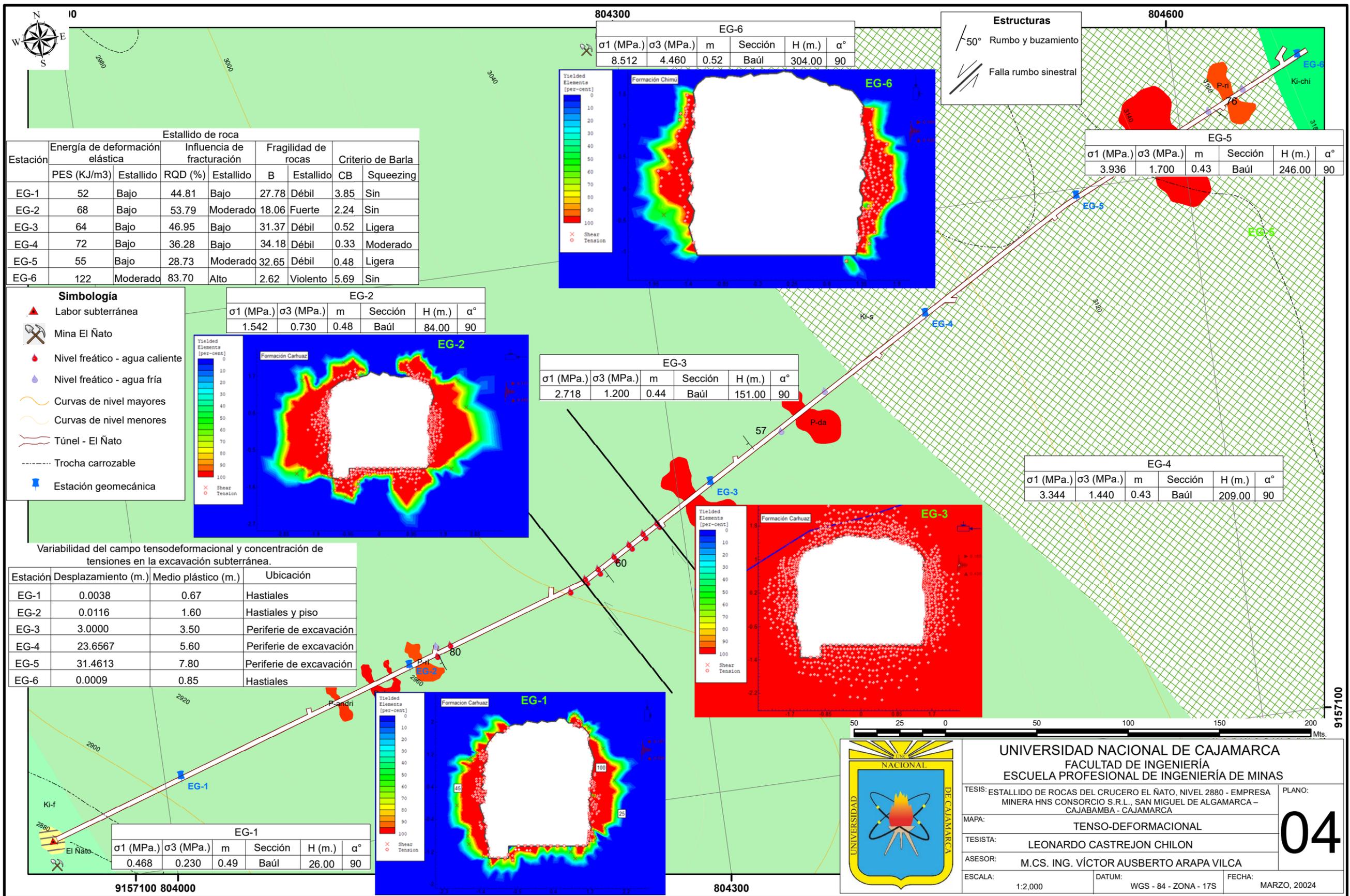
MAPA: **GEOMECÁNICO**

TESISTA: **LEONARDO CASTREJON CHILON**

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

ESCALA: 1:2,000 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: MARZO, 2024

03



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

TESISTA: ESTALLIDO DE ROCAS DEL CRUCERO EL ÑATO, NIVEL 2880 - EMPRESA MINERA HNS CONSORCIO S.R.L., SAN MIGUEL DE ALGAMARCA - CAJABAMBA - CAJAMARCA

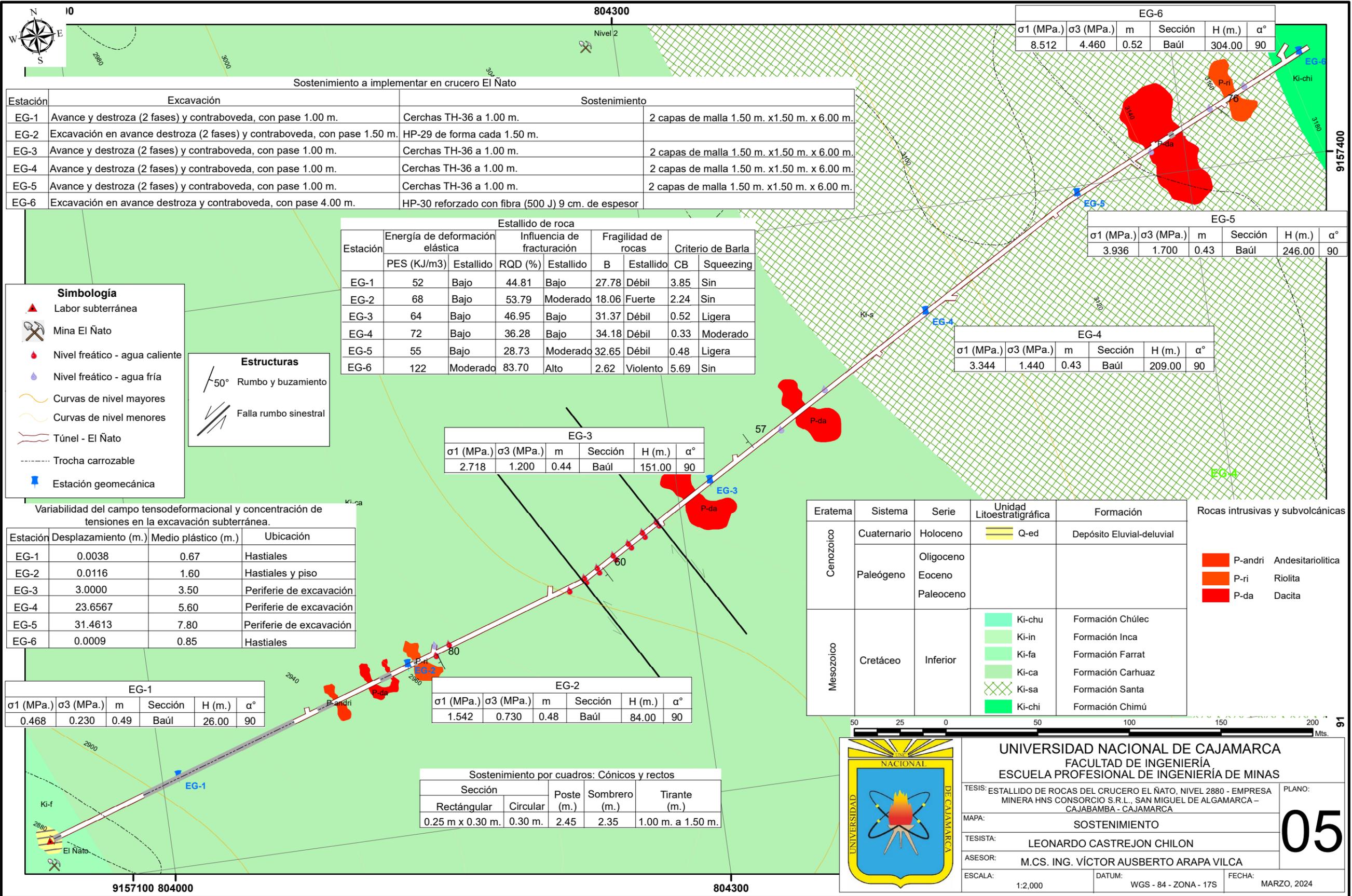
MAPA: TENSO-DEFORMACIONAL

TESISTA: LEONARDO CASTREJON CHILON

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

ESCALA: 1:2,000 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: MARZO, 20024

PLANO: **04**



Sostenimiento a implementar en crucero El Ñato

Estación	Excavación	Sostenimiento
EG-1	Avance y destroza (2 fases) y contraboveda, con pase 1.00 m.	Cerchas TH-36 a 1.00 m.
EG-2	Excavación en avance destroza (2 fases) y contraboveda, con pase 1.50 m.	HP-29 de forma cada 1.50 m.
EG-3	Avance y destroza (2 fases) y contraboveda, con pase 1.00 m.	Cerchas TH-36 a 1.00 m.
EG-4	Avance y destroza (2 fases) y contraboveda, con pase 1.00 m.	Cerchas TH-36 a 1.00 m.
EG-5	Avance y destroza (2 fases) y contraboveda, con pase 1.00 m.	Cerchas TH-36 a 1.00 m.
EG-6	Excavación en avance destroza y contraboveda, con pase 4.00 m.	HP-30 reforzado con fibra (500 J) 9 cm. de espesor

Estallido de roca

Estación	Energía de deformación elástica		Influencia de fracturación		Fragilidad de rocas		Criterio de Barla	
	PES (KJ/m3)	Estallido	RQD (%)	Estallido	B	Estallido	CB	Squeezing
EG-1	52	Bajo	44.81	Bajo	27.78	Débil	3.85	Sin
EG-2	68	Bajo	53.79	Moderado	18.06	Fuerte	2.24	Sin
EG-3	64	Bajo	46.95	Bajo	31.37	Débil	0.52	Ligera
EG-4	72	Bajo	36.28	Bajo	34.18	Débil	0.33	Moderado
EG-5	55	Bajo	28.73	Moderado	32.65	Débil	0.48	Ligera
EG-6	122	Moderado	83.70	Alto	2.62	Violento	5.69	Sin

- Simbología**
- Labor subterránea
 - Mina El Ñato
 - Nivel freático - agua caliente
 - Nivel freático - agua fría
 - Curvas de nivel mayores
 - Curvas de nivel menores
 - Túnel - El Ñato
 - Trocha carrozable
 - Estación geomecánica
- Estructuras**
- 50° Rumbo y buzamiento
 - Falla rumbo sinistral

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

Estación	Desplazamiento (m.)	Medio plástico (m.)	Ubicación
EG-1	0.0038	0.67	Hastiales
EG-2	0.0116	1.60	Hastiales y piso
EG-3	3.0000	3.50	Periferie de excavación
EG-4	23.6567	5.60	Periferie de excavación
EG-5	31.4613	7.80	Periferie de excavación
EG-6	0.0009	0.85	Hastiales

EG-1

σ_1 (MPa.)	σ_3 (MPa.)	m	Sección	H (m.)	α°
0.468	0.230	0.49	Baúl	26.00	90

EG-2

σ_1 (MPa.)	σ_3 (MPa.)	m	Sección	H (m.)	α°
1.542	0.730	0.48	Baúl	84.00	90

Sostenimiento por cuadros: Cónicos y rectos

Sección		Poste (m.)	Sombrero (m.)	Tirante (m.)
Rectángular	Circular	(m.)	(m.)	(m.)
0.25 m x 0.30 m.	0.30 m.	2.45	2.35	1.00 m. a 1.50 m.

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

- Rocas intrusivas y subvolcánicas
- P-andri Andesitaríolítica
 - P-ri Riolita
 - P-da Dacita



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

TESIS: ESTALLIDO DE ROCAS DEL CRUCERO EL ÑATO, NIVEL 2880 - EMPRESA MINERA HNS CONSORCIO S.R.L., SAN MIGUEL DE ALGAMARCA - CAJABAMBA - CAJAMARCA

MAPA: **SOSTENIMIENTO**

TESISTA: **LEONARDO CASTREJON CHILON**

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

ESCALA: 1:2,000 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: MARZO, 2024

05