

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
ESCUELA DE POSGRADO



MAESTRIA EN CIENCIAS
MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

TESIS

**RELACIÓN GEOTÉCNICA Y LITOMORFOESTRUCTURAL
DEL TÚNEL DE LA MINA PAREDONES NIVEL 5
SAN PABLO - CAJAMARCA**

**Para Optar el Grado Académico de
MAESTRO EN CIENCIAS**

**Presentada por:
Franklin Ricardo Montoya Toroverero**

**Asesor
Dr. Valentín Víctor Paredes Oliva**

**Cajamarca - Perú
2018**

COPYRIGHT © 2018 by
FRANKLIN RICARDO MONTOYA TOROVERERO
Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
ESCUELA DE POSGRADO



MAESTRÍA EN CIENCIAS
MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

TESIS APROBADA

RELACIÓN GEOTÉCNICA Y LITOMORFOESTRUCTURAL
DEL TÚNEL DE LA MINA PAREDONES NIVEL 5
SAN PABLO - CAJAMARCA

Para Optar el Grado Académico de
MAESTRO EN CIENCIAS

Presentada por:
Franklin Ricardo Montoya Toroverero

Comité científico

Dr. Valentín Víctor Paredes Oliva
Asesor

Dr. Reinaldo Rodríguez Cruzado
Miembro del comité científico

M.Cs. Zenón Quispe Mamani
Miembro del comité científico

Dr. Alejandro Claudio Lagos Manrique
Miembro del comité científico

Cajamarca - Perú
2018



Universidad Nacional de Cajamarca

Escuela de Posgrado

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 10..... de la mañana del día 19 de octubre de Dos Mil Dieciocho, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **Dr. ALEJANDRO LAGOS MANRIQUE**, y como integrantes del Jurado Titular, **Mg. REYNALDO RODRÍGUEZ CRUZADO, M.Cs. ZENÓN QUISPE MAMANI**, en calidad de Asesor el **Dr. VALENTIN PAREDES OLIVA**. Actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada **“RELACIÓN GEOTÉCNICA Y LITOMORFOESTRUCTURAL DEL TÚNEL DE LA MINA PAREDONES NIVEL 5 SAN PABLO-CAJAMARCA”**, presentada por el **Bach. en Ingeniería Geológica FRANKLIN RICARDO MONTOYA TOROVERERO**, con la finalidad de optar el Grado Académico de **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias, con Mención en **GESTIÓN AMBIENTAL**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó Aprobado con la calificación de Dieciocho (18) Excelente..... la mencionada Tesis; en tal virtud, el **Bach. en Ingeniería Geológica FRANKLIN RICARDO MONTOYA TOROVERERO**, está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias, con Mención en **GESTIÓN AMBIENTAL**.

Siendo las 11:20..... horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

.....
Dr. Alejandro Lagos Manrique
Miembro de Jurado Evaluador

.....
Dr. Valentín Paredes Oliva
Asesor

.....
Mg. Reinaldo Rodríguez Cruzado
Miembro de Jurado Evaluador

.....
M.Cs. Zenón Quispe Mamani
Miembro de Jurado Evaluador

DEDICATORIA

A mis Padres: Enrique, Flor y mis mentores Enrique Montoya Lezcano y Reinaldo Rodríguez Cruzado. A mis Hnos. Edson y Mónica. Por brindarme en los momentos más álgidos sus consejos y apoyo, por estar siempre a mi lado y formar parte de este viaje de trascendencia que resulta la vida.

AGRADECIMIENTOS

Quiero brindar mi más sincero agradecimiento a Dios por la oportunidad de realizar esta Tesis, por estar con nosotros en cada momento, por guiar nuestros pasos cada día y renovar nuestro conocimiento. Agradezco también a mi alma mater, Universidad Nacional de Cajamarca, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica – Escuela de Posgrado; a mis docentes, por todas sus enseñanzas y el apoyo brindado para abrirme pasó hacia el desarrollo profesional.

De igual gratitud a mis padres, hermanos, mi esposa e hijo por el apoyo desinteresado que me han mostrado en todo momento. Y también agradezco a mi asesor de tesis Dr. Valentín Víctor Paredes Oliva y al Dr. Reinaldo Rodríguez Cruzado, ya que sin su apoyo ésta Tesis no hubiera sido posible realizarlo.

EPIGRAFE

La oscuridad nos envuelve a todos,
pero mientras el sabio tropieza en alguna
pared, el ignorante permanece tranquilo
en el centro de la estancia.

Anatole France

ÍNDICE

Pág.

DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
EPÍGRAFE.....	vii
ÍNDICE	viii
LISTA DE ABREVIATURAS	xi
LISTA DE TABLAS.....	xiii
LISTA DE FIGURAS	xv
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT	xx

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	3
1.2.1 JUSTIFICACIÓN CIENTÍFICA	3
1.2.2 JUSTIFICACIÓN TÉCNICO – PRÁCTICA	3
1.2.3 JUSTIFICACIÓN INSTITUCIONAL Y PERSONAL	4
1.3 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.4 LIMITACIÓN	5
1.5 OBJETIVOS	5
1.5.1 OBJETIVO GENERAL	5
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
1.6 DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS.....	6

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES	7
2.1.1 A NIVEL INTERNACIONAL	7
2.1.2 A NIVEL NACIONAL	10
2.1.3 A NIVEL LOCAL.....	12
2.2 BASE TEÓRICAS.....	12
2.2.1 TENSIONES	12
2.2.2 MORFOLOGÍA	13
2.2.3 ESTRUCTURAS.....	13
2.2.4 GEOMECÁNICA	13
2.2.5 ESTIMACIÓN DE ESFUERZOS INSITU	23
2.2.6 CRITERIO DE ROTURA PARA MACIZOS	23
2.2.7 MECANISMOS DE FALLA	24
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	25

CAPÍTULO III PLANTEAMIENTOS DE LA HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1	HIPÓTESIS	29
3.1.1	HIPÓTESIS GENERAL	29
3.1.2	HIPÓTESIS ESPECÍFICA.....	29
3.2	VARIABLES	29
3.3	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	30

CAPÍTULO IV MATERIALES Y MÉTODOS

4.1	UBICACIÓN	32
4.2	ACCESIBILIDAD	32
4.3	CLIMA	33
4.4	MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES	33
4.5	GEOLOGÍA LOCAL	34
4.6	GEOMORFOLOGÍA	36
4.7	VEGETACIÓN Y FAUNA	39
4.8	HIDROLOGÍA	39
4.9	IMPACTOS AMBIENTALES	40
4.10	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	40
4.10.1	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	40
4.10.2	MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	42
4.10.3	POBLACIÓN, MUESTRA, UNIDAD DE ANÁLISIS.....	43
4.10.4	TÉCNICAS DE INSTRUMENTACIÓN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	43
4.10.5	TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	44
4.10.6	EQUIPOS Y MATERIALES	45
4.10.7	MATRIZ DE CONSISTENCIA METODOLÓGICA	48

CAPÍTULO V RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	50
5.1.1	LITOLOGÍA	50
5.1.2	ESTRUCTURAS.....	51
5.1.3	VETA DE MINERALIZACIÓN	56
5.1.4	GEOMORFOLOGÍA	58
5.1.5	GEOMECÁNICA	59
5.1.6	HIDROGEOLOGÍA.....	69
5.1.7	ESFUERZOS.....	71
5.1.8	FACTOR DE SEGURIDAD.....	75
5.1.9	SOSTENIMIENTO	91
5.1.10	IMPACTOS AMBIENTALES.....	94
5.2	DISCUSIÓN	95
5.3	CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	100

	Pág.
CONCLUSIONES	102
RECOMENDACIONES	103
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104

APÉNDICES

APÉNDICE A: DATOS DE CAMPO Y DISTRIBUCIÓN DE PALEOESFUERZOS	113
APÉNDICE B: DATOS DE CAMPO DE GEOMECÁNICA	121
APÉNDICE C: PLANOS	126
APÉNDICE D: SECCIÓN	135
APÉNDICE E: MATRIZ DE IMPACTOS AMBIENTALES	137

LISTA DE ABREVIATURAS

WGS-84	:	Sistema Geodésico Mundial 1984.
UTM	:	Universal Transversal de Mercator.
GPS	:	Sistema de posicionamiento global.
INGEMMET	:	Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú.
Pág.	:	Página.
Fm.	:	Formación.
DT	:	Método de la detonación de taladros.
MDT	:	Modelo digital del terreno.
MDE	:	Modelo digital de elevaciones.
MDP	:	Modelo digital de pendientes.
SASPlanet	:	SAS.Planeta.
SRF	:	Factor de reducción de tensiones.
σ_{ci}	:	Resistencia a la compresión uniaxial.
$\sigma_{3m\acute{a}x}$:	Tensión de confinamiento.
σ'_t	:	Resistencia a la tracción
σ_1	:	Esfuerzo principal mayor.
σ_3	:	Esfuerzo principal menor.
m o k	:	Coefficiente de reparto de tensiones.
F.A	:	Factor de ajuste.
GSI	:	Índice de Resistencia Geológica.
m_i	:	Constante de Hoek & Brown.
m_b	:	Constante de Hoek & Brown.
s, a	:	Constantes de Hoek & Brown.
c	:	Cohesión.
φ	:	Ángulo de Fricción.
E_i	:	Módulo de deformación de laboratorio de la matriz rocosa.
E_m	:	Módulo de deformación.
D	:	Factor de disturbancia.
F_s	:	Influencia de plasticidad del frente.
A	:	Ángulo de la elipse de deformación.
N^{\wedge}	:	Número de estabilidad.
Q^{\wedge}	:	Soportes de Q (Barton).
A	:	Factor de esfuerzos inducidos.
B	:	Factor de ajuste por orientación de juntas de estructuras.
C	:	Factor de ajuste por gravedad.
S	:	Radio Hidráulico.
FS	:	Factor de Seguridad.
E_n	:	Estación Geomecánica.
H_p	:	Altura de carga.
H_t	:	Altura del túnel.
W_1	:	Peso de carga de roca.
B_1	:	Ancho de la zona de roca donde existe movimiento.
B	:	Luz de túnel.
MEF	:	Método de Elementos Finitos.
MEC	:	Método de Elemento de Contorno.
MGE	:	Método gráfico de estabilidad.
σ_{θ}	:	Tensión Tangencial.
σ_r	:	Tensión radial.
$\sigma_{r\theta}$:	Tensión cizallante.
RQD	:	Índice de calidad de roca.
RMR	:	Valoración de la masa rocosa.
Q	:	Índice de calidad tunelera.

vs.	:	Versus.
MINEM	:	Ministerio de Energía y Minas.
α	:	Ángulo de orientación.
Osinergmin	:	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería.
RMi	:	Índice del Macizo Rocoso.
T	:	Tensión.
P	:	Compresión.
N	:	Norte.
S	:	Sur.
E	:	Este.
W	:	Oeste.
PI.	:	Punto inicial bocamina
H	:	Horizontal.
N.F.	:	Nivel freático.
V	:	Vertical.
Lt.	:	Litros.
Seg.	:	Segundo.
SENAMHI	:	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

LISTA DE TABLAS

	Pág.	
Tabla 2.1	Dimensiones determinadas de los tajeos .	11
Tabla 2.2	Clasificación de Terzaghi. Fuente: Hoek y Brown (1985), Excavaciones subterráneas en roca.	15
Tabla 2.3	Índice de calidad de la roca (RQD). Fuente: Deere (1967).	16
Tabla 2.4	Calidad de macizos rocosos en relación al índice RMR ₈₉ . Fuente: Bieniawski 1979, 1989.	17
Tabla 2.5	Características geotécnicas. Fuente: Bieniawski, 1989.	17
Tabla 2.6	Orientación de las discontinuidades en el túnel (Posterior Bieniawski, 1989) Fuente: Mecánica de rocas en excavaciones mineras, 2004.	17
Tabla 2.7	Índice de Resistencia Geológica (GSI). Fuente: Hoek 1998; Marinos y Hoek, 2000.	19
Tabla 2.8	Clasificación de la roca de acuerdo con el Índice de Calidad Q. Fuente: Barton, Lien y Lunde, 1974.	20
Tabla 3.1	Variable Independiente y Variables Dependientes.	31
Tabla 4.1	Coordenadas del área de estudio.	32
Tabla 4.2	Acceso a la zona de estudio.	33
Tabla 4.3	Matriz de consistencia metodológica.	49
Tabla 5.1	Tipos de fallas determinadas con relaciones porcentuales.	55
Tabla 5.2	Unidades Morfogenéticas del área de investigación.	59
Tabla 5.3	Resistencia compresiva de la roca intacta.	60
Tabla 5.4	Constantes elásticas.	61
Tabla 5.5	Distribución de esfuerzos en el macizo rocoso relacionada con cada estación geomecánica.	72
Tabla 5.6	Distribución de esfuerzos en la periferie de la excavación relacionada con la altura de carga en cada estación geomecánica.	74
Tabla 5.7	Altura de carga en la periferie de la excavación relacionada con los esfuerzos tenso-deformacionales que gobiernan el comportamiento mecánico de la roca.	74
Tabla 5.8	Análisis de estabilidad de excavaciones subterráneas.	75
Tabla 5.9	Cálculo del radio hidráulico.	75
Tabla 5.10	Resumen de los criterios geomecánicos	92
Tabla 5.11	Sostenimiento geomecánico con anclajes.	94
Tabla 5.12	Sostenimiento geomecánico con shotcrete.	94
Tabla 5.13	Inestabilidades y modos de rotura RMR, esfuerzo principal mayor (σ_1) y resistencia la compresión simple (σ_{ci}).	97
Tabla 5.14	Desplazamientos máximos relacionados con la zona plástica.	98
Tabla 5.15	Factor de seguridad entre Phase ² 8,0 y Potvin.	99
Tabla 5.16	Información de campo de estructuras geológicas de las estaciones: E-1, E-2, E-3, E-4, E-5, E-6, E-7, E-8 y E-9. Apéndice A.	114
Tabla 5.17	Información de campo de estructuras geológicas de las estaciones: E-10, E-11, E-12, E-13, E-14, E-15, E-16, E-17 y E-18. Apéndice A.	115
Tabla 5.18	Información de campo de estructuras geológicas de Las estaciones: E-19 y E-20. Apéndice A.	116
Tabla 5.19	Información de la estación geomecánica 1. Apéndice B.	121
Tabla 5.20	Información de la estación geomecánica 2. Apéndice B.	122
Tabla 5.21	Información de la estación geomecánica 3. Apéndice B.	123
Tabla 5.22	Información de la estación geomecánica 4. Apéndice B.	124
Tabla 5.23	Información de la estación geomecánica 5. Apéndice B.	125

		Pág.
Tabla 5.24	Matriz de impactos ambientales cuantitativos. Apéndice E.	138
Tabla 5.25	Matriz de impactos ambientales cualitativos. Apéndice E.	139

LISTA DE FIGURAS

	Pág.	
Figura 2.1	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).	14
Figura 2.2	Hoek-Brown sistema de clasificación de la masa rocosa, 2000. Fuente: Marinós y Hoek (2000).	18
Figura 2.3	Método gráfico de sostenimiento del Sistema Q. Fuente: Grimstad y Barton (2007).	20
Figura 2.4	Categoría de Refuerzo Sistema Q. Fuente: Grimstad y Barton (2007).	21
Figura 2.5	Método gráfico de estabilidad modificado (N°). Fuente: Osinergmin, 2017.	22
Figura 2.6	Radio hidráulico. Fuente: Osinergmin, 2017.	22
Figura 2.7	Envoltorio de rotura esquemática para la rotura frágil en la que se muestran las cuatro zonas de diferente mecanismo de comportamiento de la roca. Según Diederichs et al. (2003). Cortesía de Springer-Verlag. Fuente: Ramírez y Alejano (2013).	24
Figura 2.8	Mecanismos de falla y comportamiento del macizo rocoso para facilitar la comprensión del comportamiento del macizo rocoso (Modificado de Lorig, 2009). Fuente: Jordá, B., Jordá, B., y Fernández, A. (2010)	25
Figura 3.1	Variable Independiente y Variables Dependientes.	31
Figura 4.1	Diagrama estadístico de meteorológico de Chilete. Fuente: SENAMHI, 2018.	33
Figura 4.2	Vista panorámica Sector Paredones.	39
Figura 4.3	Metodología de la secuencia de procesamiento de información.	42
Figura 4.4	Equipo e instrumentos indispensables en el cartografiado geológico geotécnico.	46
Figura 4.5	Programas usados en el procesamiento y presentación de información	48
Figura 5.1	A. Aglomerado volcánico. B. Proyección de la Veta Murciélagos en superficie. C. Dique traquiandesítico. D. Zonamiento de alteración argílica, roca traquiandesítica y Veta Murciélagos desde el PI. + 50 m. estación geomecánica 1.	51
Figura 5.2	Diagrama de diedros rectos, planos de fallas (azimut y buzamiento), estrías y paleoesfuerzos bidireccionales (σ_1 , σ_2 , σ_3 , máximo, intermedio y mínimo); población 1, conformado por planos de falla de las estaciones 1, 2, 4, 6, 7, 8, 12, 16, 17, 18 y 20 (N° de fallas 62).	53
Figura 5.3	Diagrama de diedros rectos, planos de fallas (azimut y buzamiento), estrías y de paleoesfuerzos bidireccionales (σ_1 , σ_2 , σ_3 , máximo, intermedio y mínimo); población 2, conformado por planos de falla de las estaciones 3, 5, 10 y 13 (N° de fallas = 25).	54
Figura 5.4	Diagrama de diedros rectos, planos de fallas (azimut y buzamiento), estrías y de paleoesfuerzos bidireccionales (σ_1 , σ_2 , σ_3 , máximo, intermedio y mínimo); población 3, conformado por planos de falla de las estaciones 9, 11, 14 y 19 (N° de fallas = 30).	54
Figura 5.5	A. Espejo de falla dextral, ubicado en el flanco izquierdo de la Carretera San Pablo – Paredones. B. Espejo de falla, ubicado en el hastial derecho del Nivel 5. C. Espejo de falla dextral compuesto por brecha milonítica, ubicada en el hastial izquierdo del Nivel 5.	57

	D. Plano de falla sinistral, ubicada en el flanco izquierdo de la trocha carrozable en dirección al Nivel 4. E. Se muestra dos fallas geológicas (inversa y normal) ubicadas en el flanco izquierdo de la trocha carrozable a la Veta H. y F. Plano de falla dextral, ubicado en el flanco izquierdo de la trocha carrozable al Nivel 3.	
Figura 5.6	Representación gráfica de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso utilizando el RocData en relación a los criterios de linealización del método de la equivalencia de áreas - estación 1.	62
Figura 5.7	Representación gráfica de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso utilizando el RocData en relación a los criterios de linealización del método de la equivalencia de áreas - estación 2.	64
Figura 5.8	Representación gráfica de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso utilizando el RocData en relación a los criterios de linealización del método de la equivalencia de áreas - estación 3.	65
Figura 5.9	Representación gráfica de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso utilizando el RocData en relación a los criterios de linealización del método de la equivalencia de áreas - estación 4.	67
Figura 5.10	Representación gráfica de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso utilizando el RocData en relación a los criterios de linealización del método de la equivalencia de áreas - estación 5.	69
Figura 5.11	A. Túnel del Nivel 5 en la progresiva de PI. + 450 m. al PI. + 485 m. se observó la influencia de agua subterránea en la clave y hastiales; generando derrumbes sobre todo de la clave. B. Las filtraciones de agua están afectando al sostenimiento por cuadros de maderas en muchos de los casos deteriorándose.	70
Figura 5.12	Elipsoide de deformación en función del DT: Nivel 4 (A), Nivel 5 (B) y Nivel 6 (C).	73
Figura 5.13	Representación litológica y Veta Murciélagos de la sección subterránea 4,00 x 2,50 m. de la estación geomecánica 1.	77
Figura 5.14	Gráfica de frecuencias muestra la serie de intervalos de SRF vs. desplazamientos totales máximos, obtenido por 11 interacciones de valores de la estación geomecánica 1.	77
Figura 5.15	Vectores y contornos de desplazamiento total en la sección transversal de la estación geomecánica 1.	78
Figura 5.16	Representación de la litológica y Veta Murciélagos afectado por la falla inversa la sección subterránea 3,05 m. x 3,20 m. de la estación geomecánica 2.	79
Figura 5.17	Gráfica de frecuencias muestra la serie de intervalos de SRF vs. desplazamientos totales máximos, obtenido por 13 interacciones de valores de la estación geomecánica 2.	80
Figura 5.18	A. Visualización del método discontinuo, obteniendo espectros de contorno muy dispersos en relación de distribución de discontinuidades cartografiadas de campo. B. Vectores y contornos de desplazamiento ligados con el lineamiento de la falla, en la sección transversal de la estación geomecánica 2.	81
Figura 5.19	Representación litológica y Veta Murciélagos; de la sección subterránea 2,92 m. x 3,55 m. de la estación geomecánica 3.	82
Figura 5.20	Gráfica de frecuencias muestra la serie de intervalos de SRF vs. desplazamientos totales máximos, obtenido por 16 interacciones de valores de la estación geomecánica 3.	83
Figura 5.21	A. Muestra la deformación de la excavación subterránea periféricamente homogénea, originando mayor deformación en la clave y solera. B. Vectores y contornos de desplazamiento	84

	Pág.
	que afectan a la excavación perimetralmente de 3,20 m. a 4,00 m. en el espectro de contornos deformacionales de la estación geomecánica 3.
Figura 5.22	Representación litológica de la sección subterránea 3,00 m. x 6,00 m. del Nivel 5 de la estación geomecánica 4. 85
Figura 5.23	Gráfica de frecuencias muestra la serie de intervalos de SRF vs. desplazamientos totales máximos, obtenido por 16 interacciones de valores de la estación geomecánica 4. 86
Figura 5.24	A. Flujo de vectores distribuidos simétricamente en la periferie de la excavación generando deformaciones homogéneas por las condiciones de la roca caja techo y piso B. Contornos de desplazamiento en la sección transversal de la estación geomecánica 4, afectando perimétricamente con profundidades: 2,50 m. a 3,10 m. 87
Figura 5.25	La litología de este tramo está influencia por agua subterránea siendo la parte más afectada el hastial izquierdo de la sección subterránea 3,20 m. x 4,30 m. de la estación geomecánica 5. 89
Figura 5.26	Gráfica de frecuencias muestra la serie de intervalos de SRF v.s desplazamientos totales máximos, obtenido por 11 interacciones de valores de la estación geomecánica 5. 90
Figura 5.27	Vectores y contornos de desplazamiento total en la sección transversal de la estación geomecánica 5. 91
Figura 5.28	A. Escombros de rocas acumulados en los hastiales de la excavación y anclajes sueltos sin tuercas ni placa de reparto no realizando sostenimiento de la clave. B. Partículas de polvo posadas en el hastial izquierdo y maderos dispersos en la cuneta del hastial derecho. 95
Figura 5.29	Distribución de esfuerzos tectónicos de las estaciones: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8. Apéndice A. 117
Figura 5.30	Distribución de esfuerzos tectónicos de las estaciones: 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 y 16. Apéndice A. 118
Figura 5.31	Distribución de esfuerzos tectónicos de las estaciones: 17, 18, 19 y 20. Apéndice A. 119

LISTA DE PLANOS

		Pág.
PLANO 01	IMAGEN SATELITAL SASPLANET – BING MAPS. Apéndice C.	127
PLANO 02	MDT – MDE – UBICACIÓN. Apéndice C.	128
PLANO 03	GEOLÓGICO - ESTRUCTURAL LOCAL. Apéndice C	129
PLANO 04	UNIDADES MORFOGENÉTICAS. Apéndice C	130
PLANO 05	GEOMORFÓLOGICO ALTITUDINAL. Apéndice C	131
PLANO 06	ZONIFICACIÓN DE INESTABILIDAD. Apéndice C	132
PLANO 07	GEOTÉCNICO. Apéndice C	133
PLANO 08	SOSTENIMIENTO SUBTERRÁNEO. Apéndice C	134
PLANO 09	SECCION A - A'. Apéndice D	136

RESUMEN

El túnel de la Mina Paredones Nivel 5, ubicada en el Distrito de San Bernardino, Provincia de San Pablo, Departamento de Cajamarca al SW de dicha ciudad, geológicamente está constituida por secuencias de rocas volcánicas del Grupo Calipuy y pequeños apófisis subvolcánicos fuertemente silicificados con trazas de pirita diseminada de composición dacítica. El sistema estructural tienen orientación NW, relacionada con las vetas mineralizadas: Murciélago y Pacasmayo, con buzamientos subverticales al NE y SW. Con el objetivo de analizar e interpretar el comportamiento litomorfoestructural del macizo rocoso con las caídas de bloques y las deformaciones, vinculado con las variables litológicas, morfológicas, geoestructurales, hidrológicas, hidrogeológicas y tensionales; adquiriendo información bibliográfica y cartografiado de campo. Mediante la utilización de metodología: exploratoria, descriptiva, correlacional y explicativa; de la excavación subterránea con la interacción del sostenimiento y tensiones. Se ubicaron cinco zonas de monitoreo geomecánico con Factores de Seguridad que superan 1,50 y otras menores de 1,50 tomando en cuenta las condiciones del macizo rocoso según su evaluación geomecánica según la teoría de Potvin – Mathews; combinando con el enfoque empírico del método gráfico de estabilidad y ancho escalado, la orientación del túnel y la presencia de zonas de debilidad. De acuerdo al cartografiado geotécnico se definió que la distribución de esfuerzos tenso-deformacionales es continuo, obteniendo como valor promedio del coeficiente de reparto de tensiones ($m = 0,55$) y ángulo de orientación $\alpha = 55^\circ$ en el Nivel 5. El método numérico utilizado mostró la información del análisis tenso-deformacional que está sucediendo en la excavación subterránea. El resultado final de la investigación muestra que las labores mineras son susceptibles a cambios tensionales, desplazamientos de las geoestructuras (fallas, diaclasas), afectando la estabilidad de las labores subterráneas; para tal comportamiento sería la elección del mejor sistema de sostenimiento produciendo el equilibrio de tensiones tanto del macizo rocoso y el sistema de soporte instalado, en términos de seguridad y costo.

Palabras Claves: Clasificaciones geomecánicas, distribución de tensiones, estabilidad, geología y factor de seguridad.

ABSTRACT

The tunnel of the Paredones Mine Level 5, located in the District of San Bernardino, Province of San Pablo, Department of Cajamarca SW of said city, geologically is constituted by sequences of volcanic rocks of the Calipuy Group and small strongly silicified subvolcanic apophyses with traces of disseminated pyrite of dacitic composition. The structural system has NW orientation, related to the mineralized veins: Murciélago and Pacasmayo, with subvertical dips to the NE and SW. With the objective of analyzing and interpreting the lithomorphstructural behavior of the rock mass with the falls of blocks and deformations, linked with the lithological, morphological, geostructural, hydrological, hydrogeological and tensional variables; acquiring bibliographic information and field mapping. Through the use of methodology: exploratory, descriptive, correlational and explanatory; of the underground excavation with the interaction of the support and tensions. Five geomechanical monitoring zones were located with Safety Factors that surpass 1,50 and others under 1,50 taking into account the conditions of the rock mass according to their geomechanical evaluation according to the Potvin - Mathews theory; combining with the empirical approach of the graphical method of stability and scaled width, the orientation of the tunnel and the presence of zones of weakness. According to the geotechnical mapping it was defined that the stress-strain distribution is continuous, obtaining the average value of the stress distribution coefficient ($m = 0,55$) and orientation angle $\alpha = 55^\circ$ in Level 5. The numerical method used showed the tenso-deformational analysis information that is happening in the underground excavation. The final result of the investigation shows that the mining works are susceptible to tension changes, displacements of the geostructures (faults, diaclases), affecting the stability of the underground works; for such behavior would be the choice of the best support system producing the balance of tensions of both the rock mass and the installed support system, in terms of safety and cost.

Key words: Geomechanical classifications, stress distribution, stability, geology and safety factor.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El comportamiento geológico estructural del túnel de la Mina Paredones, ubicada al SW de la ciudad de Cajamarca, en el Distrito de San Bernardino, Provincia de San Pablo, Departamento de Cajamarca, está conformada por afloramientos de rocas andesíticas, pertenecientes al Volcánico Chilate, siendo bastante complejo debido a la presencia de geoestructuras y paleoesfuerzos fuertemente disturbadas por las excavaciones realizadas generando redistribución de esfuerzos horizontales y verticales, dando lugar a flexionamientos, fallamientos y fuertes fracturamientos ocasionando roturas prismáticas y tetraédricas en la clave y hastiales afectando las labores mineras en operaciones de trabajo y avance. Por consiguiente en los años de operaciones mineras, la empresa Minera Paredones no tuvo un control Ambiental por parte del MEM, aprobado, ocasionando varios impactos ambientales que afectan las instalaciones internas del Nivel 5, al mismo tiempo el medio ambiente y la biodiversidad en la actualidad.

Según la información proporcionada por los actuales y antiguos trabajadores de esta mina, enfatizan que las caídas de bloques del Nivel 5 (Veta Murciélagos) son frecuentes y visibles en los hastiales y la clave de las galerías principales y secundarias; por planos de fallas (planos de debilidad), que van generando el dominio estructural en la excavación subterránea, al mismo tiempo las áreas de influencia deformacional en toda la secuencia litológica. Litológicamente y mineralógicamente la Veta Murciélagos tiene orientación SE, con un rumbo y buzamiento de $60^{\circ} - 75^{\circ}$ SE, emplaza paralelamente a la veta del Nivel 5, aflorando hacia el NE a una distancia de 200 m. la Veta West Pacasmayo es paralela a la Veta Murciélagos, con una longitud de 300 m. presentado la misma composición mineralógica. Evidenciando geoestructuras y paleoesfuerzos, definidas por la falla de rumbo sinistral, generando estructuras en forma de chimeneas verticales por el plano falla delimitando por la roca caja (techo y piso), originando

subsidiencias a gran escala en este Nivel de extracción paralizando por un tiempo las actividades mineras. Las condiciones hidrogeológicas están afectando al macizo rocoso progresivamente, relacionadas con la permeabilidad secundaria en relación a las discontinuidades y por efecto con las líneas de flujo de agua subterránea, afectando la resistencia de la roca, esponjamiento de roca, ocasionando presiones internas en la excavación, caída de bloques, pandeos constantes por la alteración argílica que presenta el macizo rocoso y como a los maderos de sostenimiento y pernos de anclaje; siendo áreas muy inestables por estas condiciones hidrogeológicas.

El cartografiado geológico estructural dio a conocer la ocurrencia: caídas de bloques, deformaciones de claves y soleras, se observa en diferentes tramos de las labores mineras: galería principal, cruceros, guinche, tajeos, cuarto de máquinas, chimeneas, etc. Para minimizar la ocurrencia de inestabilidades y deformaciones, la colocación de sostenimiento del Nivel 5 es: activo y pasivo, colocado en la geometría de la periferie de la excavación no teniendo en muchos casos una adecuada colocación ni funcionamiento, en muchos de los casos se evidencia notoriamente anclajes colocados en el mismo sentido de la orientación de la discontinuidad principal y en otros maderos que no cumplen con su funcionamiento de estabilización y soporte de cargas y esfuerzos según el sección a evaluar.

1.1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es el comportamiento de inestabilidad del túnel de la Mina Paredones Nivel 5 con las variables a analizar y el sostenimiento aplicado en la excavación subterránea cumpliendo con las condiciones geomecánicas requeridas por las geoestructuras?

PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿Qué condiciones están generando las constantes deformaciones y caídas de bloques del túnel de la Mina Paredones Nivel 5?

¿Cuál es el comportamiento tensional con las inestabilidades progresivas en las secciones transversales de la excavación?

1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

1.2.1 JUSTIFICACIÓN CIENTÍFICA

Los estudios geológicos geotécnicos en minería subterránea, son muy requeridos, por las entidades: geología (INGEMMET) y minería (MINEM), para obtener información real y actualizada de los proyectos mineros como: mineralización, litología, morfología, geoestructuras, hidrología e hidrogeología. Dichas entidades realizan controles en tipo de yacimiento, volumen de extracción, procesamiento de materia prima y estabilización geotécnica, requerida por el tipo de minería artesanal y gran minería. Sin embargo, las investigaciones a nivel científico son muy importantes para obtener consistencias más realistas del entorno y comportamiento del macizo rocoso y la variables que generan caídas de bloques y deformaciones progresivas ya sea en la caja techo y piso.

La tesis de investigación busca relacionar las variables: la litología, morfología, geoestructuras, hidrología, hidrogeología y tensiones vs. la inestabilidades excavación subterránea del túnel de la Mina Paredones Nivel 5, que está emplazada en el Volcánico Chilete analizando las interrelaciones entre cada variable, así obteniendo el rigor analítico y científico, por parte de esta investigación.

1.2.2 JUSTIFICACIÓN TÉCNICO – PRÁCTICA

No fue posible acceder a información de proyectos geotécnicos sobre implantación de excavaciones subterráneas en macizos rocosos, por parte de las empresas mineras relacionadas con el tema de investigación. Por lo tanto se logró, obtener información realista y confiable de campo para definir las posibles condiciones que están generando caída de bloques y deformaciones progresivas en la excavación subterránea. Es importante definir técnicamente que las probabilidades de generación de caídas de bloques y deformaciones, están ubicados en la galería principal de la zona de mayor transcurriencia y acceso en función de otras labores por parte de la empresa minera, ubicando estaciones geomecánicas para su análisis respectivo e interpretación.

Considerando que la inestabilidad del macizo rocoso es por los paleoesfuerzos, geoestructuras, hidrogeología y litología, presente del macizo rocoso de manera gradual hasta que llegue a su punto de equilibrio deformacional, entre el sostenimiento y las tensiones del lugar.

Al mismo tiempo las líneas de flujo de las aguas subterráneas en las partes superiores del basamento rocoso van filtrando y circulando, en toda la masa rocosa del entorno de la excavación generando esponjamientos, crecimiento y recristalización de minerales en la periferie de la excavación en lugares predominantes que se benefician de la infiltración-humedad, ocasionando inestabilidades frecuentemente del túnel. Por consiguiente también está ligada a la argilización que presenta la roca caja y la veta de sulfuros, siendo un tramo muy inestable geotécnicamente por su composición presente en la excavación.

1.2.3 JUSTIFICACIÓN INSTITUCIONAL Y PERSONAL

La realización de la tesis y los resultados que se lograron están orientados a la obtención de información geológico estructural y geotécnica del área de estudio, permitiendo conocer el comportamiento geomecánico y la distribución de tensiones que son necesarias para utilizar el adecuado modelo numérico y el tipo de sostenimiento a implantar.

Comprender la importancia de la geomecánica en proyectos de ingeniería es necesario para obtener el comportamiento del macizo rocoso con la interacción de la excavación, requiriendo de esfuerzo técnico, teórico, científico y financiero, para encontrar que condiciones están generando este tipo de fenómenos deformacionales, que en muchos casos impiden procesos de avance operacional de extracción en las operaciones mineras y en casos muy extremos muertes fatales de personal por accidentes por desprendimiento de rocas, en minería subterránea. Lo expuesto muestra la realidad de lo que ocurre en minería subterránea, logrando así resultados en la tesis de investigación que serán de mucha utilidad para la sociedad científica y técnica que operan en minería subterránea.

Desde mi punto de vista como alumno de la Unidad de Posgrado y docente de Ingeniería de Geológica y Minas, de la Universidad Nacional de Cajamarca, tenemos visiones muy claras en la investigación para brindar conocimiento teórico y práctico en proyectos de ingeniería como al alumnado de Nuestra Alma Mater.

1.3 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se desarrolló en el túnel de la Mina Paredones Nivel 5, en la Veta Murciélago, ubicada en el Volcánico Chilete formada por rocas andesíticas como roca caja (techo y piso) y la Veta Murciélago compuesto de minerales sulfurosos (covelina, pirita, calcopirita, galena, esfalerita) con orientación sub-vertical emplazada en dicha roca. Analizando como variables: litología, morfología, geoestructuras, hidrología, hidrogeología y tensiones que están generando desprendimientos de rocas y deformaciones en la periferie de la excavación subterránea.

1.4 LIMITACIÓN

Para desarrollar está investigación del túnel de la Mina Paredones del Nivel 5 la empresa minera dio la aprobación para el ingreso a sus instalaciones mineras, acotando además que no brindo ningún tipo de información documentaria por parte de sus avances exploratorios y minado progresivos. Por consiguiente se obtuvo información ligada a la investigación por parte de ingenieros y trabajadores que cuidan las instalaciones mineras quienes brindaron apoyo con el acompañamiento y orientación en las labores. No lográndose ningún tipo de financiamiento para esta realización de tesis.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento litomorfoestructural del macizo rocoso y la inestabilidad del túnel de la Mina Paredones Nivel 5.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar la interrelación del comportamiento litomorfoestructural con la inestabilidad del túnel de la Mina Paredones.

Determinar la inestabilidad geotécnica de caída de bloques y deformación sucesiva del frente de explotación.

Calcular el Factor de Seguridad por la zonificación de inestabilidad mediante el software Phase y el método de sostenimiento.

Definir los impactos ambientales que se originan en la excavación subterránea del Nivel 5.

1.6 DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS

El capítulo I, menciona la problemática del problema de investigación, relacionando con las variables a ejecutar y los objetivos planteados.

El capítulo II, abarca toda la revisión bibliográfica, exponiendo diferentes estudios realizados hasta la fecha por diversos autores, discutiéndose su aplicación en las excavaciones subterráneas.

El capítulo III, enfocado a la descripción del entorno del área de investigación aplicando: materiales y metodología a utilizar.

El capítulo IV, enmarca resultados y discusiones, planteados por las variables de la tesis. Aportando a la investigación científica.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 A NIVEL INTERNACIONAL

Jordá, Jordá y Fernández (2010), aportaron con la investigación: “Contribución al conocimiento geotécnico de la mina Mochi de cara a su musealización”. Esta mina de hierro subterránea localizada en el paraje de La Sierra del Cordel está emplazada en la Formación Carbonatada Cámbrica, mostrando reportes geotécnicos con puntuaciones de roca de muy mala calidad y bajo régimen tensional insitu. El procesamiento tenso-deformacional utilizado por medio del MEF-MEC, alcanzaron movimientos máximos de desplazamientos, debido a los efectos tensionales que son menores de 1 milímetro, en un régimen elástico, no produciendo plastificación en la excavación de sección de avance de galería 4,50 m. H: 2,10 m. V. Sin embargo las zonas de cruce de galerías requieren de sostenimiento por las constantes caídas de bloques, con $FS < 1,00$.

Sin embargo la “Evaluación de la estabilidad de las labores y pilar corona en las minas abandonadas de S`Argentera (Ibiza, España) combinando clasificaciones geomecánicas, métodos empíricos y análisis numéricos-enfocados a su posible aprovechamiento turístico”, mediante los análisis empíricos: índice de Barton, método gráfico y ancho escalado del pilar corona, como la modelación numérica (elementos finitos-análisis tenso-deformacional Phase² V8,0; muestra que existe cierta plastificación, con desplazamientos totales menores de 4,00 cm. Las concentraciones de tensiones y tensiones máximas se ubican sobre todo en el centro del techo que propiciaron la caída de bloques posteriormente estabilizado por efecto arco de descarga, reporta que las cámaras son estables (Número de estabilidad $N`$ vs. Radio hidráulico). Sin embargo algunos modelos y cálculos muestran que presentan algunas inestabilidades locales o puntuales del tipo cinemático de bloques, que se aprecian en la mina y factores de seguridad aceptables mayor a 2,00, con probabilidad de fallo para ambos casos menor de

0,50; por lo que será conveniente ciertos monitoreos de posibles subsidencias del terreno y en especial de la carretera (Jordá et al., 2017).

Por consiguiente Thomas (2014) realizó el “Estudio comparativo entre requerimientos de soporte y fortificación de túneles definidos según métodos empíricos de clasificación geomecánica vs. métodos analíticos y numéricos”, utilizando las evaluaciones geotécnicas de clasificación: RMR, R_{Mi} y Q; categorizando los volúmenes de cuñas de roca desde 0,40 m³. a 0,003 m³., en tres escenarios: A, B y C; con fortificación de shotcrete mediante malla y fibras, obteniendo valores de fluctuantes 0,05 m. a 0,20 m. de revestimiento; en cambio el espaciado de anclajes colocados transversalmente varían desde 1,20 m. a 3,60 m. en función del factor de estado de diaclasas. Corroboró el análisis empírico mediante los modelos numéricos: Phase² V8,0 y Unwedge, obteniendo FS que superan 6,50. Concluyendo su investigación que mediante la utilización del R_{Mi} dentro del GSI es cuasi-constante (Escenarios A GSI = 63 – 64, B GSI = 43 – 48 y C GSI = 26 – 33; son utilizados para posteriores identificaciones y combinaciones de diferentes tamaños de bloques y con diferentes grados de alteración. Obteniendo así variaciones en los resultados), mientras que RMR varía escasamente y Q es constante dentro de estos grupo de escenarios.

La “Ingeniería de rocas en el túnel de conducción superior del proyecto hidroeléctrico Porce III, Colombia”, estima el comportamiento mecánico del macizo rocoso del complejo subterráneo, localizado en los Andes centrales, compuesta por esquistos de variada composición y neises cuarzo feldespáticos. Logrando a través de métodos empíricos y analíticos-numéricos; a través del análisis tenso-deformacional bidimensional, tiene un comportamiento lineal, elástico, isotrópico y homogéneo. Así mismo el frente de la excavación, por la dispersión de roca y el cambio de estado de esfuerzos desarrollan roturas de tipo de cuña por la propagación de fracturas en los planos de discontinuidades, con una geometría de sección tipo herradura (según geometría de diseño), en ambos tramos presentando concentraciones mayores de esfuerzos en los hastiales. Especificando los métodos empíricos y numéricos; conforman un modelo elasto-plástico de fundamento continuo de un material elástico lineal isotrópico (Suarez Burgoa et al., 2009).

Veyrat et al. (2014) realizó el “Análisis tenso-deformacional y diseño de fortificación para una explotación de cobre por tajeo por subniveles. Atacama Kozan (Chile)”, Los métodos analíticos y empíricos, aplicados en las tres unidades litológicas representan calidad de roca de regular a buena, utilizando método de Mathews, se ubican en la zona de colapso (MN01, MN ESTE, MN04, MN05, MN06) los techos, zonas de transición con estable los hastiales, con fortificación debido a la formación de bloques de roca, siendo controladas mediante pernos (8 m. - 15 m. de longitud) de anclaje y mallas. Puntualmente es necesario el empleo de shotcrete. Induciendo plastificaciones en el terreno circundante tanto en sus cajas, sobretodo el techo y además estructuralmente define inestabilidades por cuñas de roca.

En efecto la “Aplicación análisis geométrico de fracturas a la determinación de bloques en las canteras de granito de O Porriño, Pontevedra (No España)”, obteniendo resultados predominantes de orientación en dos grupos de fallas conjugadas con orientación NNE-SSW y NNW-SSE, aunque presentan otros grupos de orientación NE-SW y NW-SE también conjugados y finalmente otro de menor importancia E-W, con buzamiento de planos de fallas entre 70°-90°. Calculados a partir del análisis poblacional de fallas correspondiente a un régimen de desgarre, lo mismo que ocurre con los obtenidos a partir de diaclasas. Concluyendo que son coherentes con una extensión E-W, relacionada con la apertura del Océano Atlántico y el acortamiento N-S, durante la etapa compresiva Alpina (edad Eoceno-Mioceno) en la parte septentrional de la Península, a la cual se asocia la fracturación del macizo rocoso (Gumiel et al., 2006).

Soto y Manzano (2002), mediante el análisis “Geometría y cinemática de fallas recientes en el margen septentrional del mar de Alborán (sector de Maro, provincia de Málaga)”, logra resultados geométricos y cinemáticos de las fallas de Maro y Alberquillas, por cálculos de los diedros rectos, ambas fallas presentan dos poblaciones de estrías subhorizontales normales, constituyendo mecanismos focales de fallas sobre todo la falla de Alberquillas mostrando compresión subvertical de orientación 66°/33° y extensión SW-NE (23°/231°), congruente con el estado de esfuerzos deducidos para la falla de Maro (P = 77°/232° y T = 13°/60°), presentan alto ángulo (buzamiento > 45°), coincidiendo con los contactos litológicos principales entre metapelitas y mármoles de grado medio.

2.1.2 A NIVEL NACIONAL

Cartografiado geológico del cuadrángulo de Cajamarca a la escala 1/50, 000, por (Navarro y Flores, 2007), enfoca el contexto geológico regional en los aspectos de la estratigrafía, geología estructural, tectónica y plutonismo, con breves descripciones de los yacimientos y prospectos reconocidos en la región de Cajamarca, Hoja 15-f cuadrante – IV, para interpretaciones, análisis y ubicación de las Formaciones geológicas, siendo de gran apoyo para geología local.

Berrocal (2015), difunde conocimientos prácticos para el reconocimiento y el comportamiento mediante la “Medición de tensiones INSITU en el macizo rocoso”, siendo el macizo rocoso, un conjunto complejo de rocas y otros componentes. Para su teoría propuso el Método de la Prensa Mecánica, utilizando una serie de bloques de madera de 0,15 m. x 0,15 m. y una prensa mecánica, efectuando un orificio en el centro del bloque de madera y varios cortes de mayor y menor longitud, en la periferie del orificio, obteniendo luego de varios ensayos que la dirección de presión de las quijadas de la prensa mecánica coinciden con esfuerzo mayor, al mismo tiempo determinando la aureola de deformación y tipo de excavación a diseñar. Posteriormente proponiendo el Método de detonación de taladros (DT), que proporciona información en tiempo real, como: la orientación de esfuerzos, el parámetro k , los valores de las tensiones principales mayor y menor; y el factor de ajuste F.A de la tensión vertical. Permitiendo diseñar formas o secciones que desvíen y reflejen simétricamente las tensiones insitu.

Sin embargo, la investigación denominada “Geomecánica aplicada al control de las labores mineras para la minimización las caídas de rocas de la Mina Madrugada Cia. Minera Huinac SAC-Ancash-2009”, obtuvo características del macizo rocoso mediante el análisis litológico estructural, estableciendo el comportamiento mecánico del macizo rocoso. Aportando valores del cartografiado geotécnico estructural y procesamiento mediante el software Phase² V8,0, acotando que la excavación es estable en los dos primeros tramos, por el análisis tensional de esfuerzos analizados con valoraciones de roca buena y el tercer tramo conformado roca de calidad mala, con deformaciones progresivas ocasionando pandeos en hastiales y techo. Por consiguiente obteniendo rangos de abertura máxima en cada tramo y tiempo de autosostenimiento por avance de labor (Torres et al., 2009).

Salazar y Córdova (2013), analizaron la “Geomecánica del minado masivo tajeos por subniveles por pilares corridos”. Aseverando mediante la estimación de esfuerzos verticales según el criterio insitu con valores obtenidos: 2,34 a 3,12 MPa. y profundidades promedio de 90 m. a 120 m., y estimaciones de variación del k : 0,90 a 1,10 utilizando el criterio de Sheorey (1994). Mediante los cálculos MGE, obtuvo la longitud máxima de tajeos (cámaras) en cada bloque de extracción y finalmente realizando una serie de simulaciones numéricas (Phase² V8,0) de esfuerzos y deformaciones; en los cuatro bloques o áreas de minado, con valores de estabilidad aceptables, con dimensiones de las cámaras y pilares mostradas en la Tabla 2.1, para operaciones de minado. Revalidando dichos cálculos anteriormente detallados con el gráfico de estabilidad de pilares, con factores de seguridad mayores que 1,40 (estable), lo cual adecua para este tipo de estructura.

Tabla 2.1. Dimensiones determinadas de los tajeos.

Zona	Altura de tajeo (m.)	Ancho de camara (m.)	Ancho de pilar (m.)	Altura de puente (m.)
Bloque 9303	30	10	10	-
Bloque 9368	20	7	8	-
Bloque 9478	19	10	10	6
Bloque 9847	20	10	10	6

Bardales (2014), afirma mediante el “Análisis estructural de las secuencias Cretácicas de Los Baños del Inca y alrededores, Cajamarca – Perú”, que son macroestructuras que muestran lineamientos estructurales de orientación NS-NNW y NNW-NNE, siendo perpendiculares al eje de los macro pliegues, con mejor exposición en el flanco Sur del macroanticlinal y en los flancos del macrosinclinal, con longitudes que difícilmente superan centenas de metros. Los resultados obtenidos de las 76 fallas, reportan campos de paleoesfuerzos en tres orientaciones: NE-SW, con variaciones al NNE-SSW (generalmente régimen compresivo) y NW-SE. Registrando principalmente tensores extensivos con régimen principalmente normal (σ_1 vertical). Estando enmarcadas con fallas normales los plegamientos por deformación longitudinal, mientras flancos fallas inversas paralelas a las capas, en los flancos de pliegues, están relacionadas al plegado generando principalmente por “flexural slip”. En cambio los pliegues menores fueron originados en etapas tardías del plegamiento, como estructuras de acomodación a la deformación.

La investigación de análisis aborda la fracturación frágil del “Análisis tectónico del basamento Cretáceo de la cordillera Nor occidental alrededor del valle Cajamarquino – Cajamarca – Perú”, definiendo que la geoforma del valle Cajamarquino y alrededores es producto de tres regímenes tectónico: compresivos, desgarre y extensivo asociado a fallas NW-SE, formando una cuenca tipo “Pull Apart” (Flor negativa), y estas cortadas por estructuras NE-SW, asociadas a fallas direccionales y direccionales normales. Mostrando tendencias de lineamientos estructurales de orientación NW-SE, NE-SW y de menos estructuras de orientación NNE-SSW y E-W (Castañeda, 2014).

2.1.3 A NIVEL LOCAL

El enfoque del proyecto mineralógico de la mina Paredones ubicado en San Bernardino, realizó la “Evaluación geológica preliminar del proyecto Paredones” para la reiniciación de las actividades de explotación. Realizando mapeos geológicos superficiales y subterráneos en todo el yacimiento minero, obteniendo un reconocimiento geológico a escala 1/15,000, permitiendo verificar los lugares de interés de las Vetas: Murciélagos (Superior, Nivel 5 y Nivel 3), Huayrapongo (Veta 1, 2, 3, 4, 5 y 6) y Pilcay; enmarcados en el flanco derecho e izquierdo del valle de San Pablo, aportando con la geología de este cuerpo mineralógico dacítico y el control estructural determinada por la falla dextral el río San Pablo y las Veta Murciélagos y Pacasmayo (Paredes, 2011).

2.2 BASE TEÓRICAS

2.2.1 TENSIONES

Las tensiones del macizo rocoso introducen esfuerzos suficientemente grandes, que exceden la resistencia de la roca, distinguiéndose por la ocurrencia como: caídas de bloques, cerramiento gradual, convergencia de la excavación, derrumbes del techo, colapso de hastiales y casos extremos estallidos de rocas (Berrocal, 2015, p. 27). Los parámetros de estabilidad de excavaciones subterráneas, están definidas por el comportamiento y la influencia que ejercen las tensiones principales IN SITU, sobre la abertura y el entorno de la excavación subterránea, procurando una tipificación numérica que lo respalde, fundamentándose en el análisis empírico, entre la magnitud y dirección de las tensiones.

2.2.2 MORFOLOGÍA

Está enfocado a fenómenos que constituyen el campo de interés desde diversos puntos de vista del relieve de los distintos territorios, así como los agentes y mecanismos de erosión y los factores que controlan su actividad siempre necesitando conocer el campo de profesiones diferenciado por: fisiógrafos, topógrafos, ingenieros, geógrafos y geólogos (Muñoz, 1995, p. 14). En efecto el modelamiento terrestre experimenta una evolución a lo largo del tiempo que puede ser caracterizado mediante etapas o estados identificables secuencialmente, de fenómenos denominados rejuvenecimiento o reactivaciones, implicando un proceso en la tendencia hacia el transporte conocido como ciclo geográfico o ciclo de erosión repitiéndose por sucesivas fases de rejuvenecimiento (Morris, 1899, p. 215).

2.2.3 ESTRUCTURAS

Está estrechamente relacionado a aspectos de las ciencias del comportamiento de materiales, de la física en estado sólido, con los avances en el campo de la geología estructural. Estableciendo la historia de desplazamientos, deformaciones, esfuerzos, velocidades de deformación, temperaturas y presiones sufridas por la corteza y la parte superior del manto terrestre asociado a ella. Desde luego son estas estructuras tales como: pliegues, fallas, foliaciones, lineaciones y diaclasas Bruce et al. (1981). Son de mayor importancia para delimitar: controles estructurales, la forma de un yacimiento mineral, los flujos de escorrentía, etc., las que tiene un interés directo para el geólogo de campo.

2.2.4 GEOMECÁNICA

Las clasificaciones geomecánicas durante las etapas preliminares de diseño y ejecución de excavaciones son importantes, para el uso de valoraciones del macizos rocosos considerando provechoso para el replanteo de toda la información que se considere importante: siempre que sea insuficiente y conocer el estado tensional. Acotando de las excavaciones subterráneas son estructuras muy complejas y con la ayuda de herramientas empíricas se puede construir modelos simplificados para estudiar la estabilidad de la excavación.

Las clasificaciones se han desarrollado desde Ritter (1879), estableciendo métodos empíricos para determinar el sostenimiento requerido para túneles. Se suele usar, por ejemplo, para analizar la influencia de las discontinuidades estructurales o las tensiones que se originan alrededor de la excavación. Para Considerar el sostenimiento inicial elegido para la excavación se pueden utilizar varias clasificaciones para determinar la relación existente entre las condiciones del macizo y el sostenimiento requerido; estimando la resistencia y deformación del macizo rocoso.

Bieniawski (1989), recomienda “que las clasificaciones se usen en el contexto global del diseño ingenieril y solo en fases preliminares y/o planeamiento, pero no para definir las medidas finales de diseño”. Clasificaciones más utilizadas:

2.2.4.1 CLASIFICACIÓN DE TERZAGHI

Terzaghi (1946), propuso el primer sistema racional de clasificación para calcular las cargas que deben soportar los arcos de acero en los túneles.

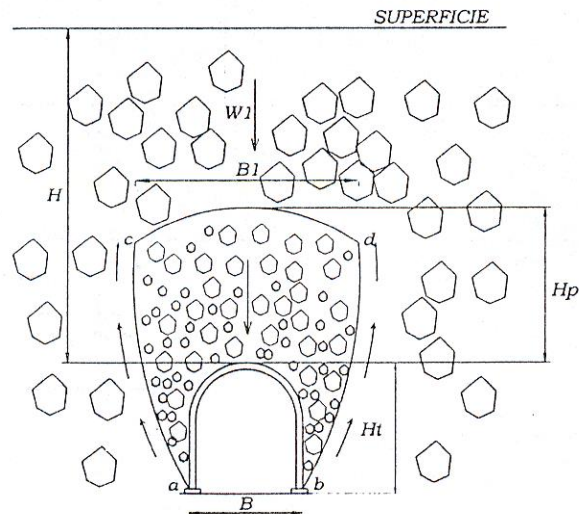


Figura 2.1. Diagrama simplificado que representa el movimiento de roca suelta hacia el túnel y la transferencia de carga a la roca circundante.
Fuente: Gavilanes y Andrade (2004).

Proponiendo que en 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 Ht y B del túnel.

Tabla 2.2. Clasificación de Terzaghi

Estado de la roca	Carga de roca H_p (pies)	Observaciones
1. Dura y masiva	Cero	Sólo 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, usese refuerzo elástico.

Fuente: Hoek y Brown (1985), Excavaciones subterráneas en roca.

2.2.4.2 ÍNDICE DE CALIDAD DE ROCA (RQD)

Deere (1967), definió el Índice de Calidad de la Roca (RQD), para estimar valores cuantitativos de la calidad de la masa rocosa, a partir de dos metodologías: forma lineal y volumétrica; cada una de ellas relacionada con la calidad de la matriz rocosa. Su

relación disponibles son las discontinuidades; expresando el grado de fracturación, partir de cartografiado geotécnico en función al número de fracturamiento por metro lineal o cúbico, determinadas al realizar el levantamiento litológico – estructural en área o zona determinada. El RQD es un parámetro fundamental tanto en la clasificación de Bieniawski y como en la de Barton.

Tabla 2.3. 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).

Sin embargo el RQD se puede estimar a partir del espaciamiento promedio de las discontinuidades basado en la siguiente ecuación de Priest y Hundson (1976):

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

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

2.2.4.3 VALORACIÓN DE LA MASA ROCOSA (RMR)

La aplicación de la clasificación geomecánica definida por el RMR, divide al macizo rocoso en dominios estructurales, es decir, en unidades en las cuales cada tipo de roca es limitada por unidades estructurales (discontinuidades). Bieniawski (1989), divide al macizo rocoso en zonas o tramos que representan características geológicas más o menos uniformes de acuerdo a las observaciones hechas en campo. Esta clasificación se puede usar para obtener distintos parámetros como el tiempo de mantenimiento, el tramo sin sostenimiento y la presión de sostenimiento para excavaciones subterráneas. Acotando que el RQD y el espaciado de las juntas se evalúan por separado, sin considerar que están relacionados a través del tamaño de bloques del macizo, factor que tiene gran influencia en la suma de los valores de ambos parámetros logrando 40 puntos sobre 100 del RMR.

Tabla 2.4. Calidad de macizos rocosos en relación al índice RMR₈₉.

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

Fuente: Bieniawski 1979, 1989.

Tabla 2.5. Características geotécnicas.

Clase	I	II	III	IV	V
Tiempo de mantenimiento y longitud	10 años con 15 m. de vano	6 años con 8 m. de vano	1 semana con 5 m. de vano	10 horas con 2.5 m. de vano	30 minutos con 1 m. de vano
Cohesión	4 Kp/cm ² .	3 - 4 Kp/cm ² .	2 - 3 Kp/cm ² .	1 - 2 Kp/cm ² .	< 1 Kp/cm ² .
Ángulo de rozamiento	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15

Fuente: Bieniawski 1989.

Tabla 2.6. Orientación de las discontinuidades en el túnel (Posterior Bieniawski, 1989).

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

Fuente: Mecánica de rocas en excavaciones mineras, 2004.

2.2.4.4 ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA (GSI)

Hoek (1994), propone el Índice Resistencia Geológico (GSI), para evaluar la calidad del macizo rocoso en función del grado y las características de la fracturación, estructura geológica, tamaño de bloques y alteración de las discontinuidades. El uso en el criterio de Hoek & Brown ha sido presentado en diversos artículos por (Hoek 1994), (Hoek 1995) y (Hoek Corner y Thompson Brown 2002, 58). asociado a macizos de roca dura y equivalente al sistema RMR. 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. 1998; Marinos y Hoek, 2000; Marinos et al. 2005; Hoek et al. 2005).







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

Figura 2.2. Hoek-Brown sistema de clasificación de la masa rocosa, 2000.
Fuente: Marinos y Hoek (2000).

Tabla 2.7. Índice de Resistencia Geológica (GSI).

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

Fuente: Hoek 1998; Marinos y Hoek, 2000.

2.2.4.5 ÍNDICE DE CALIDAD TUNELERA (NGI)

Barton, Lien y Lunde (1974), desarrollaron el Índice Q o también conocido como Índice de Calidad de Túneles (NGI), a partir del estudio de un gran número de túneles, constituyen un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite estimar parámetros geotécnicos de macizos y diseñar sostenimientos para túneles y cavernas subterráneas. Barton (2002), hace un estudio de la aplicación del parámetro Q y de sus seis componentes para la predicción, correlación y extrapolación de datos investigados in-situ y para la obtención de una primera estimación de datos de juntas y del macizo continuo. El índice Q tiene un alto grado de fiabilidad ya que está basado en un elevado número de casos que comprenden muy diversos tamaños de excavación, profundidades y calidad de macizos rocosos. Esta clasificación se diferencia de las demás por tener el estado tensional del macizo rocoso como parámetro SRF, pero su evaluación es muy subjetiva y no considera la historia tectónica ni otros factores geomorfológicos. El sistema Q se basa en la estimación de seis parámetros independientes y expresa la calidad de la roca Q, como función de estos parámetros:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

RQD = Índice de calidad de roca.

J_n = Numero de familias de discontinuidades.

J_r = Rugosidad de las discontinuidades.

J_a = Alteración de las discontinuidades.

J_w = Presencia de agua.

SRF = Factor de reducción de esfuerzos.

Tabla 2.8. Clasificación de la roca de acuerdo con el Índice de Calidad Q.

Valores de 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.

En el 2002 se actualizó basándose en 900 nuevos casos de excavaciones en Noruega, Suiza e India. Esta actualización también incluyó una investigación analítica respecto al espesor, espaciamiento 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 grafico de sostenimiento la que afino Grimstad y Barton (2007). La Figura 2.3 constituye la actualización más reciente del Sistema Q, y muestra las recomendaciones de sostenimiento (espesor del concreto lanzado reforzado con fibras (Sfr), el espaciamiento entre pernos y la longitud entre los mismos), Osinergmin (2017).

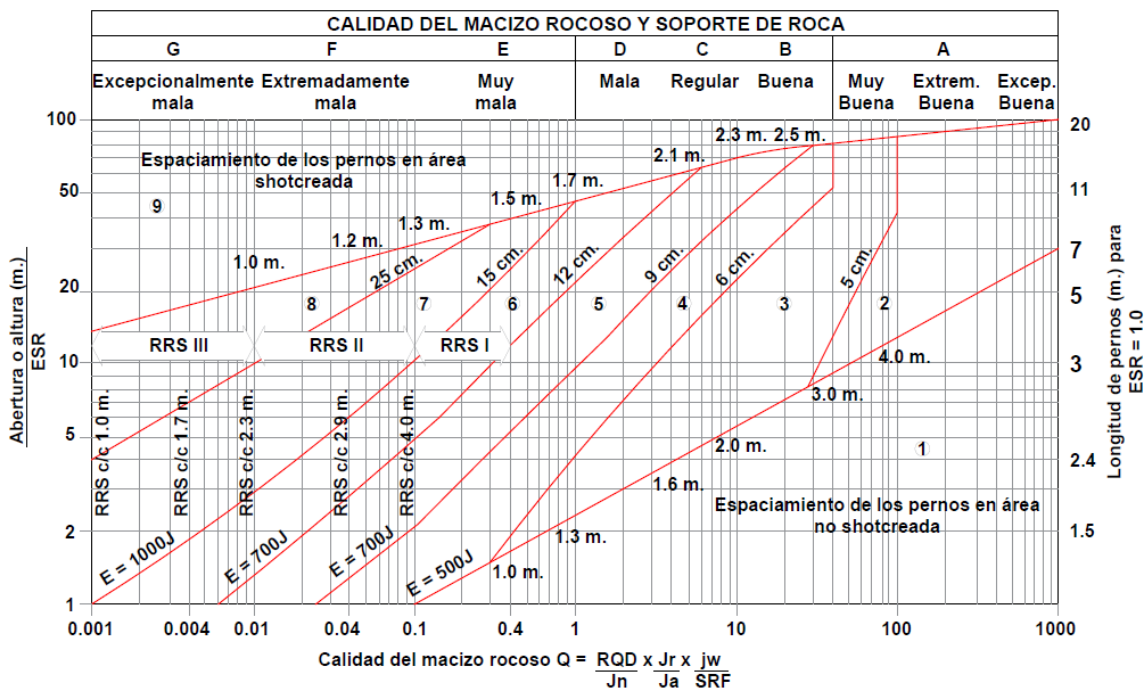


Figura 2.3. Método gráfico de sostenimiento del Sistema Q.

Fuente: Grimstad y Barton (2007).

CATEGORÍAS DE REFUERZO

1 Sin soporte o empernado puntual		
2 Empernado puntual, SB		
3 Empernado sistemático más shotcrete proyectado con espesor 5-6 cm. con fibras, B + Sfr		
4 Empernado sistemático más shotcrete proyectado con espesor 6-9 cm. con fibras, Sfr(E500) + B		
5 Empernado sistemático más shotcrete proyectado con espesor 9-12 cm. con fibras, Sfr(E700) + B		
6 Cimbras, empernado sistemático y shotcrete proyectado con espesor 10-15 cm. con fibras, Sfr(E700) + RRSI + B	RRS I	Si 30/6 ϕ 16 - ϕ 20 (abertura de 10 m.). D40/6 + 2 ϕ 16 - 20 (abertura de 20 m.).
7 Cimbras, empernado sistemático y shotcrete proyectado con espesor >1,5 cm. con fibras, Sfr(E1000) + RRSII + B	RRS II	Si 35/6 ϕ 16 - 20 (abertura de 5 m.). D45/6 + 2 ϕ 16 - 20 (abertura de 10 m.). D55/6 + 4 ϕ 20 (abertura de 20 m.).
8 Revestimiento de concreto, CCA o Sfr(E1000) + RRSII + B	RRS III	D40/6 + 4 ϕ 16 - 20 (abertura de 5 m.). D55/6 + 2 ϕ 20 (abertura de 10 m.). Evaluación especial (abertura de 20 m.).
9 Evaluación especial		
Espaciado de pernos principales basado con ϕ 20 mm.		
E = Absorción de energía en fibra reforzada con shotcrete proyectado.		
ESR = Radio de soporte de excavación.		
Áreas con líneas de daño que no tiene data empírica.		

RRS = Espaciado relacionado con el valor de Q

RRS I Si 30/6 ϕ 16 - ϕ 20 (abertura de 10 m.).
D40/6 + 2 ϕ 16 - 20 (abertura de 20 m.).

RRS II Si 35/6 ϕ 16 - 20 (abertura de 5 m.).
D45/6 + 2 ϕ 16 - 20 (abertura de 10 m.).
D55/6 + 4 ϕ 20 (abertura de 20 m.).

RRS III D40/6 + 4 ϕ 16 - 20 (abertura de 5 m.).
D55/6 + 2 ϕ 20 (abertura de 10 m.).
Evaluación especial (abertura de 20 m.).

Simbología:

Si 30/6 = Única capa de concreto proyectado más 6 pernos de anclaje

D = Doble capa de refuerzo.

ϕ 16 = Pernos de diámetro de 15 mm.

c/c = Espaciamiento RSS, Centro - Centro

Figura 2.4. Categoría de Refuerzo Sistema Q.

Fuente: Grimstad y Barton (2007).

2.2.4.6 MÉTODO GRÁFICO DE ESTABILIDAD MATHEWS (MGE)

El método gráfico de estabilidad fue inicialmente propuesto por Mathews et al. (1981) y subsecuentemente modificado por Potvin (1988) y Nickson (1992) para posteriormente obtener lo que conocemos como Método Gráfico de Estabilidad Modificado. Consiste en la determinación de número de estabilidad (N'), el cual se obtiene con la siguiente ecuación:

$$N' = Q^A x A x B x C \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

Q' = Índice de calidad de roca Barton (1974)

A = Factor de condición de esfuerzos

B = Factor de orientación de estructuras

C = Factor de componente gravitacional

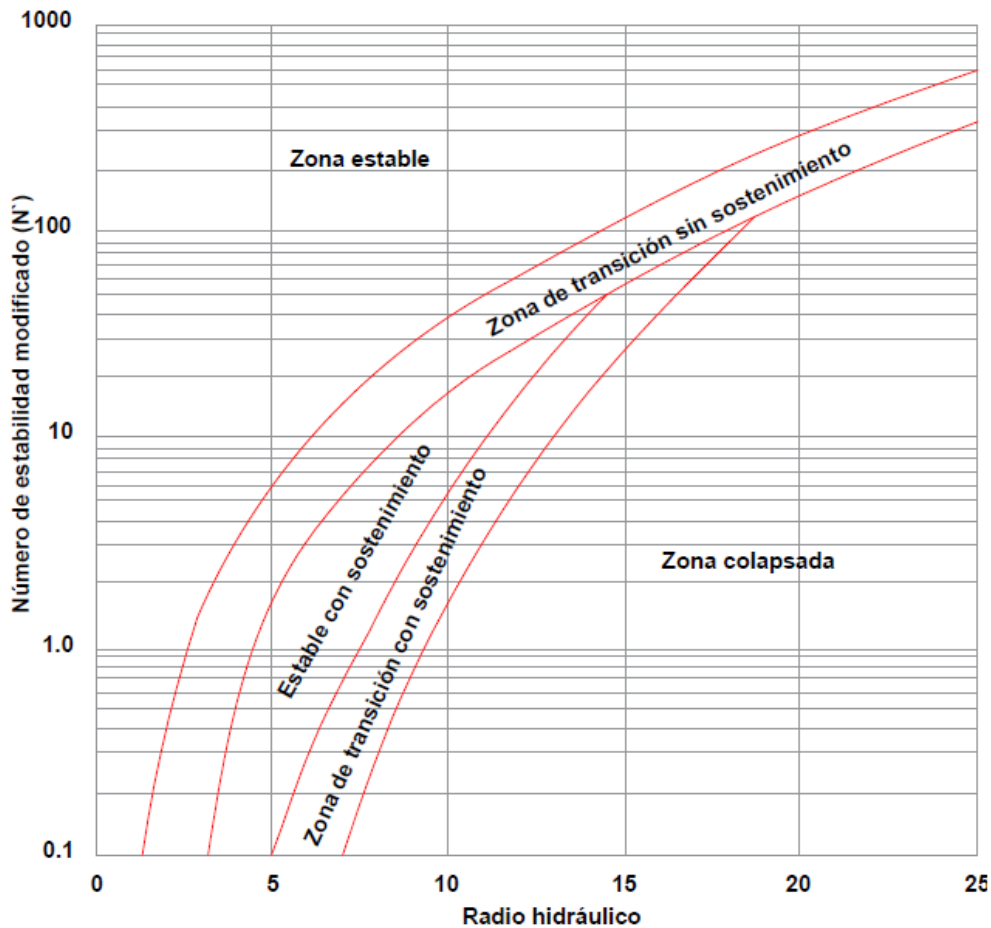
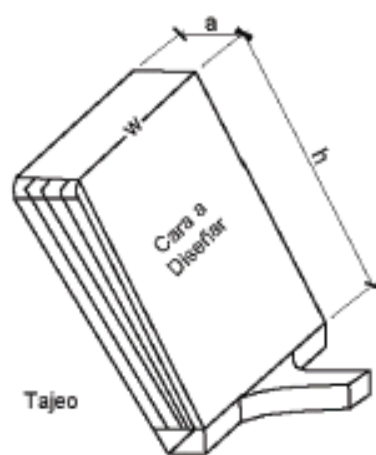


Figura 2.5. Método gráfico de estabilidad modificada (N').
Fuente: Osinergmin, 2017.

Radio Hidráulico: Área de la superficie dividida por el perímetro de la pared expuesta que se está analizando.



RADIO
HIDRÁULICO
(CAJA TECHO)

$$HR_{CT} = \frac{w \times h}{2w + 2h}$$

Ecuación 5

RADIO
HIDRÁULICO
(TECHO)

$$HR_T = \frac{a \times w}{2a + 2w}$$

Ecuación 6

Figura 2.6. Radio hidráulico.
Fuente: Osinergmin, 2017.

2.2.5 ESTIMACIÓN DE ESFUERZOS INSITU

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

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

Donde:

z = Profundidad con respecto a superficie.

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

2.2.6 CRITERIO DE ROTURA PARA MACIZOS

Los criterios de rotura clásicos como el de Mohr-Coulomb y el de Hoek-Brown asumen que la cohesión y la fricción contribuyen a la resistencia máxima y que se movilizan instantánea y simultáneamente. Esto, se ha observado que es rigurosamente cierto para niveles de confinamiento elevado en macizos que se comporten de manera dúctil (calidad geotécnica mala) Sin embargo Martín et al. (1999) indican que la suposición de movilización instantánea y simultánea de la cohesión y la fricción, no es correcta en rocas frágiles sometidas a un campo tensional compresivo con bajo confinamiento. En estas condiciones las fracturas se abren nada más iniciarse lo que inhibe la movilización simultánea de cohesión y la fricción (Ramírez y Alejano, 2013).

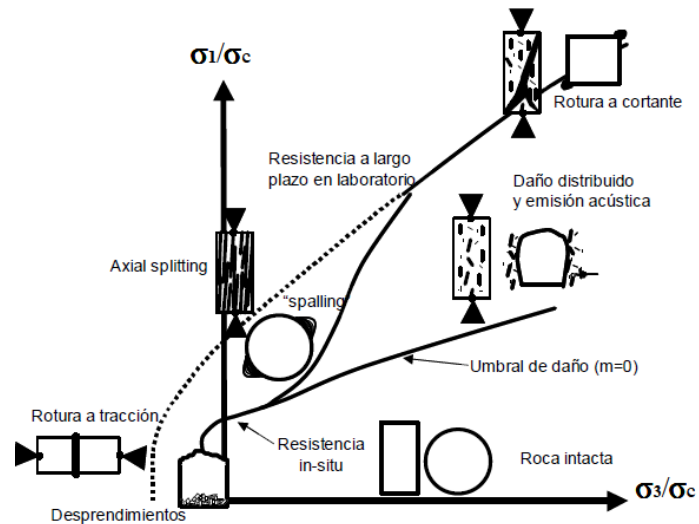


Figura 2.7. Envoltorio de rotura esquemático para la rotura frágil en la que se muestran las cuatro zonas de diferente mecanismo de comportamiento de la roca. Según Diederichs et al. (2003). Cortesía de Springer-Verlang.

Fuente: Ramírez y Alejano (2013).

2.2.7 MECANISMOS DE FALLA

La estabilidad de toda excavación minera subterránea está influenciada principalmente por el macizo rocoso, estructuras y los esfuerzos presentes, así cada uno individualmente o en combinación puede determinar la estabilidad (Osinermin, 2017).

2.2.7.1 MECANISMOS DE FALLA CONTROLADA POR ESFUERZOS

La influencia de los esfuerzos en una excavación minera depende generalmente de la magnitud y orientación de los esfuerzos, dimensiones de las excavaciones y tipo y/o calidad del macizo rocoso (Osinermin, 2017).

2.2.7.2 MECANISMOS DE FALLA POR ESTRUCTURAS

Una excavación minera a poca profundidad está influenciada principalmente por los sistemas estructurales del macizo rocoso. A medida que el minado se profundiza, los esfuerzos inducidos en las excavaciones aumentan considerablemente llegando a originar zonas de fallamiento por sobre esfuerzos. Como tenemos: Esfuerzos in situ altos ($\sigma_1/\sigma_c > 0,40$), Esfuerzos in situ intermedios ($0,15 > \sigma_1/\sigma_c < 0,40$) y Esfuerzos in situ bajos ($\sigma_1/\sigma_c < 0,15$) (Osinermin, 2017).

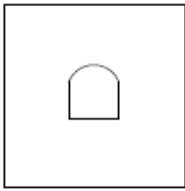
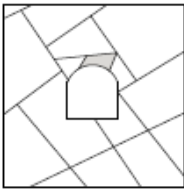
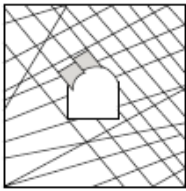
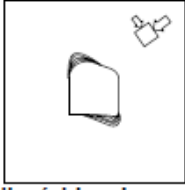
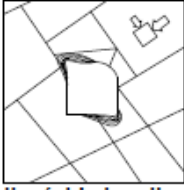
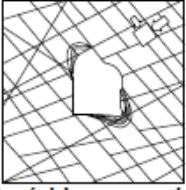

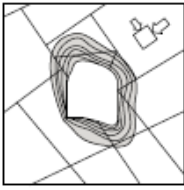
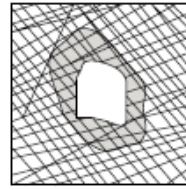
	Masivo (RMR>75)	Moderadamente fracturada (50>RMR<75)	Altamente fracturada (RMR<50)
Esfuerzos in situ bajos	 <p>Respuesta elástica lineal</p>	 <p>Deslizamiento o caídas de bloques y cuñas</p>	 <p>Deslajamiento de la superficie de la excavación</p>
Esfuerzos in situ intermedios	 <p>Falla rígida adyacente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

Figura 2.8. Mecanismos de falla y comportamiento del macizo rocoso para facilitar la compresión del comportamiento del macizo rocoso (Modificado de Lorig, 2009).
Fuente: Jordá, B., Jordá, B., y Fernández, A. (2010).

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

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

Anisotropía: La presencia de planos de debilidad de orientaciones preferentes (estratificación, laminación, familia de diaclasas tectónicas) implica diferentes propiedades y comportamiento mecánico en función de la dirección considerada.

También la orientación de los esfuerzos que se ejercen sobre el material rocoso puede implicar una anisotropía asociada al estado tensional (Gonzales de Vallejo, 2004).

Argilización: Proceso de transformación de los feldespatos y otros silicatos aluminicos en arcilla. Las rocas argilizadas, generalmente son incompetentes (Ramírez, 2004).

Discontinuidad: Es cualquier plano de origen mecánico o sedimentario que independiza o separa los bloques de matriz rocosa en un macizo rocoso. Generalmente la resistencia a la tracción de los planos de discontinuidad es muy bajo o nula. Su comportamiento mecánico queda caracterizado por su resistencia al corte o, en su caso por la del material de relleno (Gonzales de Vallejo, 2004).

Heterogeneidad: Las zonas con diferente litología, grado de alteración o meteorización, contenido en agua, etc., puede presentar propiedades muy diferentes (Gonzales de Vallejo, 2004).

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

Diaclasas: Es un plano de discontinuidad, de fractura o de separación en una roca, que normalmente no implica desplazamiento. Las diaclasas suelen producirse como familias paralelas, que dividen al macizo rocoso en bloques (Jiménez y Andrade (2004)).

Elipsoide de deformación: Se define como la forma que adquiere una esfera de radio unidad al ser sometida a una deformación interna homogénea. Cada elipsoide de deformación tiene tres ejes, perpendiculares entre sí, que denomina ejes de deformación y se denota con las letras X, Y, Z (Martínez, 2003).

Esfuerzo: Es la calidad de fuerza, que actúa sobre una unidad de roca en cierta dirección. Si es igual en todas las direcciones se llama isotrópico (Berrocal, 2015).

Factor de seguridad: Es un concepto que se origina del método de equilibrio límite en el análisis de estabilidad. Este factor es un índice que expresa la relación entre: la

resistencia la corte media del material del macizo a lo largo de una potencial superficie de ruptura vs. la resistencia de corte estrictamente necesaria para mantener el terreno en equilibrio (Suárez, 2016).

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

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

Hidrogeología: Se llama agua subterránea a la que se encuentra en la zona de saturación bajo el nivel freático. Las aguas subterránea proceden principalmente de la infiltración de la aguas meteóricas, tales como el agua de lluvia, del hielo y de nieve fundidos y de los escapes por filtración de cursos de agua, lagos, embalses u otros depósitos de agua (Jiménez y Andrade, 2004).

Macizo rocoso: Es el conjunto de bloques de matriz rocosa y las discontinuidades de diverso tipo que afectan al medio rocoso. Mecánicamente los macizo rocosos son medios discontinuos, anisótropos y heterogéneo. Prácticamente puede considerarse que presentan una resistencia a la tracción nula (Gonzales de Vallejo, 2004).

Matriz rocosa: Es el material rocoso exento de discontinuidades, o los bloques de “roca intacta” que quedan entre ellas. La matriz rocosa, a pesar de considerarse continua, presenta un comportamiento heterogéneo y anisótropo ligado a su fábrica y a su microestructura mineral. Mecánicamente queda caracterizada por su peso específico, resistencia y deformabilidad (Gonzales de Vallejo, 2004).

Método elementos de contorno: Este método únicamente discretiza el entorno del macizo rocoso y de las excavaciones consideradas, mediante segmentos para estudios bidimensionales o superficiales en el caso tridimensional. En general es un método que se puede considerar más apto para el análisis de excavaciones subterráneas (túneles, exploraciones por cámaras y pilares) que para el estudio de taludes (Ramírez y Alejano, 2013).

Modelo híbrido: Se usa con frecuencia en la ingeniería de rocas, básicamente en flujo y tensiones/deformación en problemas de rocas fracturadas. Los principales tipos de modelos híbridos en la hibridación son: BEM/FEM, DEM/FEM y DEM/BEM (Jing y Hudson, 2002).

Métodos numéricos: Proporcionan una aproximación al sostenimiento de los túneles y no se consideran un método de cálculo; sin embargo, puede ser muy útiles en macizos rocosos fracturados, y como medio de establecer las propiedades del macizo rocoso y los sostenimientos requeridos. También son útiles para estimar costos del sostenimiento en las etapas de ante proyecto (Gonzales de Vallejo, 2004).

Métodos tenso-deformacionales: Estos métodos constituyen una alternativa a los métodos de equilibrio límite, siempre y cuando su utilización esté justificada y sea apropiada para el análisis (Gonzales de Vallejo, 2004).

Resistencia: La máxima tensión que un cuerpo puede soportar sin fallar por rotura o por deformación continua. La resistencia a la rotura, se refiere a la tensión en el momento de la rotura. El término puede ser descrito como el punto más elevado de la curva tensión – deformación (Jiménez y Andrade (2004)).

Shotcrete: Es un recubrimiento de concreto, con espesores variables, sobre el entorno de la excavación, impregnados por vía seca y vía húmeda, con la finalidad de sujetar y confinar las rocas sueltas y/o contener las rocas fracturadas (Berrocal, 2015).

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

CAPÍTULO III

PLANTEAMIENTOS DE LA HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 HIPÓTESIS

3.1.1 HIPÓTESIS GENERAL

La presencia de geoestructuras, paleoesfuerzos y las líneas de flujo de agua subterránea, generaron redistribución de tensiones en la periferie de la excavación subterránea originando el comportamiento litomorfoestructural del macizo rocoso y provocando la inestabilidad del túnel de la Mina Paredones.

3.1.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICA

La caída de bloques y el estado tenso-deformacional que está ocurriendo en el Nivel 5, origina estados de deformación muy distintos y vectores de fluctuación constantes en la excavación subterránea, ocasionando inestabilidades e impactos ambientales en las labores mineras abandonadas por la Mina Paredones.

3.2 VARIABLES

Variable Independiente		Afectación
Inestabilidad	:	Excavación subterránea Desprendimiento de bloques de roca Redistribución de tensiones
Variables Dependientes		Componentes
Litología	:	Formaciones litológicas y alteraciones de roca.
Estructuras	:	Se distinguen discontinuidades tipo sistemático y singulares asociadas con el macizo rocoso.

Hidrológicos	:	Drenaje superficial y zonas de recarga
Hidrogeológicos	:	Líneas de flujo, estimación de caudales y presiones
Tensiones	:	Esfuerzos naturales por tectonismo y gravitacionales.

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 3.1. Variable Independiente y Variables Dependientes.

Variable independiente	Variables dependientes	Definición conceptual	Definición operacional	Parámetro
	V-01 : Litología			
	Componentes	1 Formación litológica	Originada por eventos volcánicos	Potencia m.
		2 Alteraciones	Por estar expuesta a agentes meteoricos	Área/Volumen Km2./Tn
	V-02 : Estructuras			
	Componentes	1 Discontinuidades	Estructura defina por planos de debilidad	Longitud m.
		2 Fallas	Estructura con movimiento cinemático	Longitud m.
		3 Diques	Estructura de emplazamiento	Área/Volumen Km ² ./Tn
		4 Veta	Estructura mineralizada	Área/Volumen Km ² ./Tn
Inestabilidad	V-03 : Hidrológicos			
	Componentes	1 Drenaje	Aguas de escorrentía superficial	Longitud Km.
		2 Zonas de recarga	Por infiltración de aguas pluviales	Área Km ² .
	V-04 : Hidrogeológicos			
	Componentes	1 Acuífero	Capacidad de almacenar y transmitir agua subterránea	Área/ Espesor promedio Km ² . m.
		2 Líneas de flujo	Recorrido de las líneas de flujo en los acuíferos	Dirección NW
	V-05 : Tensiones			
	Componentes	1 Orientación	Dato adimensional	Grados A°
		2 Magnitud	Datos numéricos de tensiones	Esfuerzo MPa.
		3 Sostenimiento	Fortificación en la periferie de la excavación	Área/ longitud m ² . m.

CAPÍTULO IV MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 UBICACIÓN

Geográficamente la zona de estudio del túnel de la Mina Paredones, se encuentra SW de la ciudad de Cajamarca, perteneciente al Departamento de Cajamarca, Provincia de San Pablo y Distrito de San Bernardino, en la zona Norte del país accidental de los Andes Peruanos. Correspondiente al cuadrángulo de Cajamarca (15 - f), con coordenadas: UTM – DATUM – WGS84 – ZONA - 17S.

Tabla 4.1. Coordenadas del área de estudio.

Vértice	Este	Norte
1	739500	9206000
2	742000	9206000
3	742000	9203500
4	739500	9203500

Las coordenadas de bocamina son: 9204708N – 740509E

4.2 ACCESIBILIDAD

El acceso al área de estudio se llevó a cabo mediante dos rutas: la primera como punto de partida desde la ciudad de Cajamarca con rumbo SSW hasta San Juan; luego se tomó la dirección WNW hasta Chilete siguiendo la misma carretera pavimentada, hasta cierto tramo y finalmente cambiando bruscamente de orientación a carretera pavimentada en buenas condiciones, hasta llegar a la Mina Paredones de la zona de estudio.

Tabla 4.2. Acceso a la zona de estudio.

Tramo		Estado de vía	Vía	Transporte	Recorrido	
De	A				Distancia (Km.)	Tiempo (h.)
Cajamarca	San Juan	Regular	Terrestre	Auto	25	00:35
San Juan	Chilete	Regular	Terrestre	Auto	60	01:10
	Mina					
Chilete	Paredones	Buena	Terrestre	Camioneta	4	00:10

4.3 CLIMA

El clima es semicalido, con temperaturas anuales entre 13 - 22°C; y precipitación pluvial promedio anual, entre 260 y 460 milímetros. La relación de evapotranspiración potencial es alta, más de 2,00 mm., lo que determina una fisonomía semiárida. La estación meteorológica tipo: convencional – San Pablo – 000319, con Latitud: 7° 7' 3,89'', Longitud: 78° 49' 51'' y cota: 2338 msnm.; se encuentra en el Distrito: San Pablo, Provincia: San Pablo y Departamento: Cajamarca. Diagrama de frecuencias estadísticas del año 2018 desde los meses de Enero a Agosto.

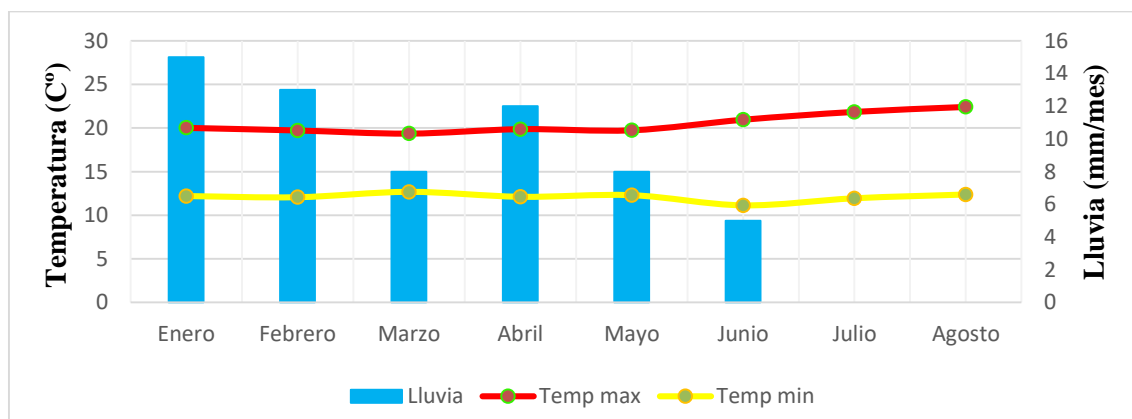


Figura 4.1. Diagrama estadístico metereológico de Chilete. Fuente: SENAMHI, 2018.

4.4 MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES

El análisis morfotopométrico de la zona estudiada, se enmarca en un área constituida por rocas volcánicas del Paleógeno – Neógeno, depositadas por facies volcánicas. Para realizar el cartografiado morfoestructural se manejó información topográfica en función: MDT, MDE, MDP y la naturaleza de las variables del

modelamiento superficial: litología, hidrología y estructuras. A partir de estos modelos digitales, englobamos dos modelos aplicables que se utilizan en la presente investigación como son el modelo digital del terreno (MDT) y el modelo digital de elevaciones (MDE). En primera instancia se ha realizado un análisis morfoestructural a partir del modelo digital del terreno (MDT), enlazándose con imágenes satelitales y ámbitos de actualización geográfica, en relación con el software ruso SASPlanet (imagen satelital) y la resolución $Z = 21$ (pixel de 0,298 m. x 0,298 m.). Analizando de manera más conjunta parámetros morfotopométrico, en relación a la altitud, topografía, morfología y con la obtención de alineamientos estructurales del área de investigación. La segunda etapa lo conforma el modelo digital de elevaciones (MDE) que es un complemento compatible con el MDT, conformando la base primordial del resto de mapas, como la obtención de pendientes, combinándolo con el MDT, MDE y MDP (Modelo digital de pendientes), relacionado con archivos vectoriales y raster, que ayudaran a definir e interpretar las morfoestructuras geológicas identificables, así como una serie de elementos que están acondicionados con la litomorfoestructural, con la red fluvial y su relación de fracturación del área de investigación.

4.5 GEOLOGÍA LOCAL

El túnel de la Mina Paredones se encuentra emplazada sobre roca volcánica, pertenecientes al Cenozoico del Paleógeno – Neógeno del Grupo Calipuy (Volcánico Chilete) siendo el producto del vulcanismo post-tectónico de la región cordillerana representando un magmatismo efusivo que siguió al emplazamiento definido del batolito de la costa. Posiblemente correspondiente a cuellos o chimeneas volcánicas que alimentaron los niveles superiores del Grupo Calipuy, caracterizado por potentes y extensa secuencia de rocas volcánicas del Eoceno al Oligoceno, incluyendo algunos campos volcánicos, flujos piroclásticos, cenizas y domos andesíticos porfiríticos de composición riolítica a andesítica de color gris verdoso y probablemente son en su mayoría de la edad Miocénica.

Las rocas volcánicas están mayormente expuestas de Norte a Sur. Constituyendo una discordancia angular por la variedad de depósitos Cuaternarios del Holoceno: Coluviales, Aluviales y Fluvio-aluviales. Localizándose los Coluviales en las

zonas elevadas, los Aluviales en las faldas de los cerros, laderas de valle y finalmente Fluvio- aluviales en los lechos de los ríos.

4.5.1 GRUPO CALIPUY

4.5.1.1 VOLCÁNICO CHILETE

Es predominantemente piroclástico que aflora en el pueblo de Chilete, litológicamente conformado por intercalaciones de derrames andesíticos, tobas blanquecinas, areniscas tobáceas y aglomerados lenticulares y materiales volcánicos retrabajados mayormente andesíticos bien pseudo-estratificados que oscilan sus buzamientos entre 25° – 30°. Definiendo claramente sus facies volcánicas que van desde verdes violáceos en las instalaciones de la Mina Paredones y hasta gris claros en el poblado de San Antonio, al mismo tiempo en campo se evidenció estructuras de emplazamiento (sills y diques) dacíticos de color gris blanquecino.

4.5.2 DEPÓSITOS CUATERNARIOS

4.5.2.1 DEPÓSITOS COLUVIALES

Se encuentran ubicados en las laderas y flancos de los taludes de las trochas carrozables que brindan acceso a la Mina Paredones del Nivel 5, caracterizándose por contener en su estructura: bloques angulosos de roca Andesítica con diámetros: 0,30 a 0,10 m. y gravas angulosas, distribuidos de forma caótica, sin selección ni estratificación aparente en su composición. Habiéndose formado por alteración, desintegración insitu y acción de la gravedad sobre el macizo rocoso expuesto. Constituyendo conos de escombros en la trocha carrozable Mina Paredones – centro poblado de San Antonio en 320 m. de longitud y para acceder al Nivel 5 la roca del talud es de mala calidad desintegrándose casi en su totalidad formando conos de escombros 250 m. de afectación de trocha.

4.5.2.1 DEPÓSITOS ALUVIALES

Predominantemente se encuentran ubicados en las faldas de los cerros y laderas de los valles de la Mina Paredones, constituidos por materiales muy finos y pequeños fragmentos angulosos con mucho contenido de limos y arcillas, generados por las pulverización de mena para obtener el mineral preciado, luego siendo depositados como relaves mineros sobre todo en las faldas de la quebrada California (depósito de relaves) y también en las entradas de las labores mineras; por su gran extensión este tipo de depósito Cuaternario generado por procesos metalúrgicos es de gran afectación ambiental en la área de estudio. En su mayor parte los depósitos presentan fuertes oxidaciones, notándose por las coloraciones rojizas anaranjadas hasta amarillentas. Exhibiéndose suelos muy anisótropos con propiedades relacionadas por su granulometría.

4.5.2.1 DEPÓSITOS FLUVIO-ALUVIALES

Este depósito se encuentra en el cauce del río San Pablo al NW del Nivel 5 a 175,00 m. de distancia, constituidos por materiales redondeados por el cauce del río y energía del agua que va puliendo y desgastando la roca por el transporte fluvial, en algunos casos conformando terrazas por sus grandes bloques de rocas acumulados en los márgenes del río y otros en el cauce, teniendo una secuencia de clasificación de estructura deposicional gradada por su esferoides de las rocas transportadas y depositada.

4.6 GEOMORFOLOGÍA

Son geoestructuras conformadas por los procesos geotectónicos de las rocas volcánicas del Paleógeno – Neógeno y procesos exógenos hasta la actualidad, está claramente controlada por la dureza de las rocas, por ejemplo, las geoformas que exhiben los afloramientos volcánicos son: abruptas y de mayor altitud, mientras que los depósitos cuaternarios muestran formas y pendientes suaves; generados por los procesos morfo genéticos que definieron las morfoestructuras que se encontraron en la zona de investigación. La composición andesítica presente a generado que la mayor unidades geomorfológica lo conforman la área de estudio son lomadas, directamente relacionadas con los procesos de erosión y acorde de la génesis, edad de las rocas, geometría de relieve

y tipo de relieve. La superficie muestra aspectos “ruiniformes” que contrastan nítidamente su relieve de los afloramientos volcánicos y cuerpos intrusivos.

Por ello las unidades morfogénicas (UM), que se evidenciaron en campo y mediante modelos digitales, han definido esta clasificación denominada: planicies, lomadas, laderas y escarpes (Rodríguez, 2018).

4.6.1 PLANICIES

Esta unidad morfogénica es bastante homogénea, ligeramente ondulada, de poca erosión y de fácil manejo para actividades agrícolas; constituyendo una área 65,25 ha. con una relación porcentual de 10%. Con rangos de pendientes 0° - 8° define esta unidad morfogénica y comprende áreas distribuidas en el cauce del río San Pablo y las áreas aledañas a este efluente, relacionadas con los depósitos Aluviales y Fluvio-aluviales; conformando un río maduro en todo su recorrido de NE-SW por su deposición de clastos redondeados a sub redondeados en una matriz de gravas y arenas de tonalidad gris oscura, de potencia regular, están yacieron depositadas en las zonas marginales del cauce y zonas de disipación hidráulica, producto de los procesos de erosión de las rocas del Paleógeno – Neógeno y depositadas en el Cuaternario entre el Pleistoceno y Holoceno. Los diámetros que presentan estos clastos están comprendidos entre 0,02 m. – 0,80 m. Geotécnicamente estos depósitos Cuaternarios son considerados como suelos friccionantes pobremente consolidados y de elevada permeabilidad (relación con los vacíos). El valle de la quebrada California también conforma esta unidad morfogénica en su totalidad por depósitos Aluviales generados por los desmontes de relaveras de las operaciones mineras abandonadas en toda su área SE de deposición compuesto por materiales transportados y depositados por el agua; con tamaños que varían desde arcillas hasta limos con tonalidades amarillentas producto del proceso de la lixiviación de minerales.

4.6.2 LOMADAS

Morfológicamente se distingue por la presencia de superficies muy rugosas, altas temperaturas y ausencia de vegetación; constituyendo a la meteorización física, química y erosión que origina una extensa cubierta detrítica conformada por: quebradas, terrazas,

cárcavas y zonas de acumulación de desmonteras y relaveras al Este de la Veta Pacasmayo en la quebrada California. Generándose fuertes erosiones profundas que facilitan el avance lateral y frontal de las cárcavas, evidenciándose alguna de ellas en sus secciones en forma de V irregulares y otras más erosionadas con tendencia geométrica en forma de U; produciendo una erosión acelerada por la poca cobertura vegetal. Al mismo tiempo estas cárcavas originan lechos jóvenes denominadas quebradas, conformando canales de descarga del tipo angosto pero profundo y por su composición litológica angulosa y gravosa como unidades juveniles o menores, con un área 331,19 ha. y relación porcentual 53%. Esta acumulación de rocas y sedimentos de forma paulatina y acelerada; conforman las terrazas de unidades litológicas Cuaternarias: Coluviales, Coluvio-aluviales y Aluviales, en todas las pendientes y márgenes de esta unidades morfológica. Genéticamente son materiales producto de varios procesos erosivos relacionados con los ríos y quebradas, definidos por su matriz heterogénea e irregular sin una estratificación definida.

4.6.3 LADERAS

Ocupan un área 295,66 ha. con un porcentaje 37%, comprendiendo la zonas elevadas del área de estudio, sobre las unidades litológicas compuestas principalmente por rocas volcánicas y domos andesíticos; fuertemente fracturados y meteorizados, con pendientes morfogenéticas de 20° - 50°, debido a los agentes erosivos y los cambios litológicos pero en especial a su comportamiento frente a las deformaciones estructurales que han actuado durante fines del Cenozoico, los cuales han dado lugar a las geoformas actuales.

En la Figura 4.2, se observa las unidades geomorfológicas del Paleógeno (Eoceno-Oligoceno), anteriormente descritas, que enmarcan el cartografiado geomorfológico, visualizándose desde el Sector Huayrapongo la ubicación del Sector Paredones emplazada en una lomada, delimitada por dos quebradas: California (derecha) y El Ingenio (Izquierda); teniendo como efluente principal el río San Pablo.



Figura 4.2. Vista panorámica Sector Paredones

4.7 VEGETACIÓN Y FAUNA

Holdridge (1967), nombra tipos de vegetación correspondiente a la zona de vida monte espinoso – Premontano Tropical, constituida sobre una matorral desértico - Premontano Tropical, constituido por: espino (*Acacia caven*), molle (*Schinus molle*), Sonca (*Carnegiea Gigantea*), Sanco (*Echinocereus spp.*), Congona (*Brosimum alicastrum Swartz*), Achupalla (*Puya clava*), Penca Sábila (*Aloe vera*), Carrizo (*Arundo donax L.*), Penca azul (*Agave Parryi*). La fauna silvestre en la área de estudio está constituida por aves, mamíferos y roedores; como tenemos: Corali (*Micruroides euryxanthus*), lagartija (*Podarcis liolepis*) (Storer et al. 2003).

4.8 HIDROLOGÍA

Regionalmente el drenaje más importante es el río San Pablo, ubicado en un acuífero volcánico, en la subcuenca del río del mismo nombre de la Cordillera Occidental de la Provincia de San Pablo, teniendo como nacimiento en la parte superior por la unión de dos ríos: Magdalena y Socosmayo en la cota 1,100 msnm. luego aguas abajo formando el río Llaminchad en el Distrito de San Bernardino (como nacimiento), con orientación SW confluyendo con el río Magdalena con la cota 850 msnm. y a su vez formando aguas abajo el río Chilete con orientación WSW desembocando dichas aguas en el Océano Pacífico.

4.9 IMPACTOS AMBIENTALES

Los impactos ambientales observados en el interior de la excavación del Nivel 5, fueron y son causados por las actividades mineras de explotación del proyecto metálico por la Empresa Minera Paredones, ocasionado hasta hoy en día una serie de impactos ambientales no remediados como: caída de rocas, gases tóxicos, putrefacción de maderos, deformación de excavaciones, ripios, partículas en suspensión (polvo), infiltración de agua, acumulación de escombros y desechos en los hastiales, ruido, etc. No teniendo controles de monitoreo anual, semestral ni trimestral la Empresa Minera Paredones, por las condiciones que presenta las labores subterráneas. Las labores subterráneas del Nivel 5, afectan directamente sobre todo a trabajadores, capataces e ingenieros, que operan en este Nivel, para obtener el mineral, desde: la extracción, transporte, procesamiento y comercialización; afectándoles de manera paulatina que a la larga del ocasionaría enfermedades peligrosas a su salud y la seguridad.

4.10 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.10.1 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La metodología de investigación es de tipo no experimental, transversal, asociado al diseño de investigación: exploratorio, descriptivo y explicativo, basada en observaciones de la excavación subterránea. El diseño metodológico se realizó en tres etapas:

4.10.1.1 PRIMERA ETAPA

Está basada en información de campo conformada por salidas a la zona de investigación, realizando reconocimiento superficial y subterráneo, con el capataz de la Mina Paredones. Superficialmente se realizó el recorrido ubicando los Niveles 1, 2, 3, 4, 5 y 6, definiendo el tipo de litología, el emplazamiento mineralógico (Veta Murciélagos), la alteración mineralógica, morfología, geoestructuras e hidrología, que definieron este tipo de explotación subterránea. Una vez bien definido esta etapa importante del reconocimiento superficial se proyectó realizar el reconocimiento subterráneo los niveles 4, 5 y 6, logrando visualizar las condiciones de los emboquilles en cada Nivel, así mismo

la distribución de las labores subterráneas, el emplazamiento y composición mineralógica de la veta, la consistencia de las cajas, el grado de alteración con lo observado superficie y subterráneo, el tipo de sostenimiento aplicado, las áreas más críticas, la hidrogeología y las geoestructuras conforman el macizo rocoso.

4.10.1.2 SEGUNDA ETAPA

Esta etapa correspondió a la obtención de información netamente de campo 2015-2017, conformada por ocho salidas de campo debidamente planificadas por las tareas a realizar consistiendo en la observación, descripción y medición de las diferentes diaclasas, estructuras tectónicas y seccionamientos geotécnicos, específicamente del Nivel 5 e información de los Niveles 4 y 6, para mejores interpretaciones. Acotando también que los cartografiados subterráneos realizados fueron apoyados por un Ingeniero de Minas y el capataz de la Mina Paredones. Para mejorar el diseño metodológico, se buscó artículos científicos (internet e impresos en libros), estudios de la Mina Paredones, datos geológicos existentes, publicaciones científicas en los últimos años relacionados con el tema de investigación y varios análisis de ortofotos e imágenes satelitales para un mejor estudio de geoestructuras, geoformas, hidrología, hidrogeología y litología.

4.10.1.3 TERCERA ETAPA

Con la información obtenida en las etapas anteriores, se procesó e interpretó, utilizando los software`s: SASPlanet, Erdas Erviewer V13, ArcGis 10.3, Unwedge V3, AutoCad 2016, Global Mapper 14, Dips, RocData, Phase² V8,0, Faulkin y Adobe Illustrator CS6; obteniendo figuras, mapas temáticos y finales. Mostrando la realidad del Nivel 5 porque se está originando la deformación progresiva en la periferie de la excavación y caída de bloques.

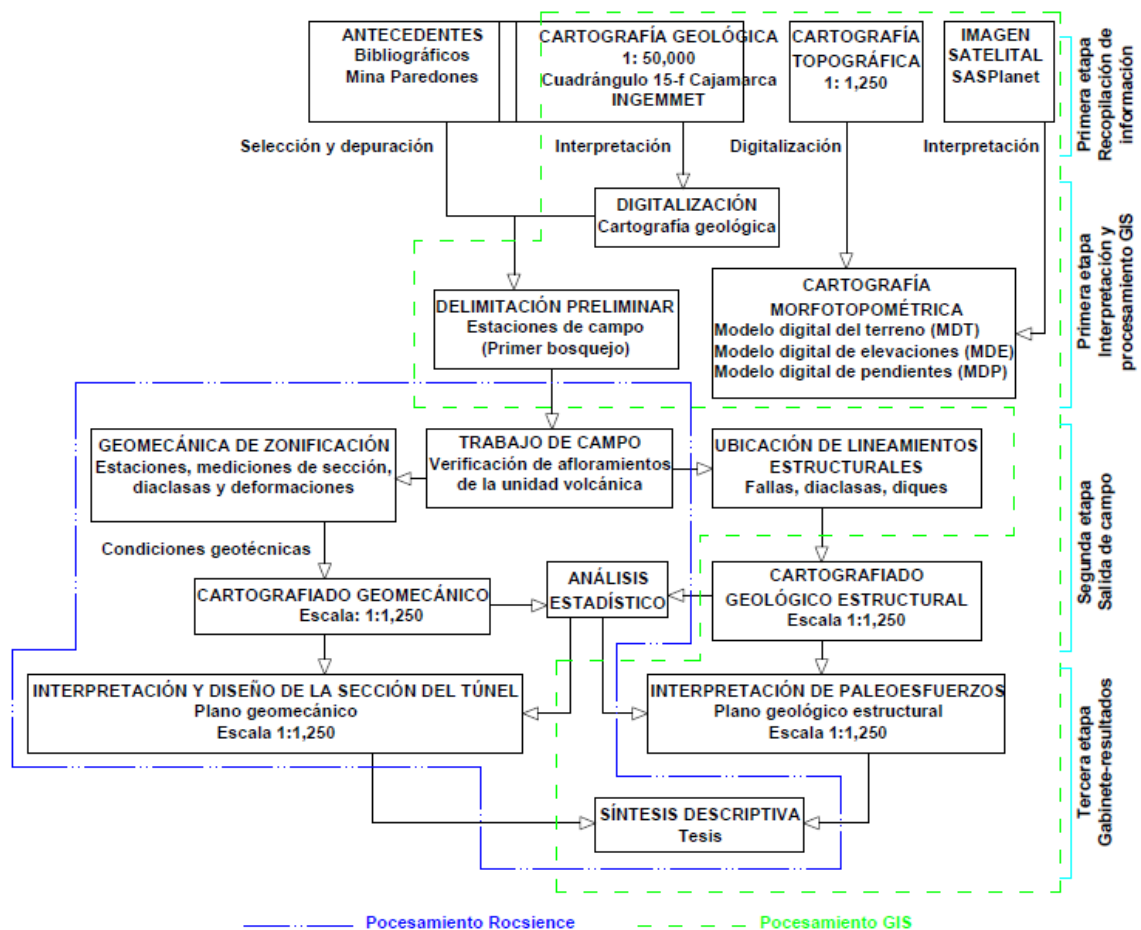


Figura 4.3. Metodología de la secuencia de procesamiento de información.

4.10.2 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

El proceso de investigación es fundamental decidir que método se va utilizar.

Método deductivo: Es una forma de razonamiento que parte de una verdad universal para obtener conclusiones particulares. En la investigación científica, este método tiene una doble función “encubrir consecuencias desconocidos de principios conocidos (López, 1975, p. 42) el método deductivo se contrapone a la inducción”.

Método inductivo: Plantea un razonamiento ascendente que fluye de lo particular o individual hasta lo general. Puede observarse que la inducción es un resultado lógico y metodológico de la aplicación del método comparativo (Abreu, 2014).

Método analítico: Es un método fundamental para toda investigación científica o académica y es necesario para realizar operaciones teóricas como la conceptualización y la clasificación (Abreu, 2014).

Método sintético: Es un proceso de razonamiento que tiene a reconstruir un todo, a partir de los elementos distinguidos por el análisis; se trata en consecuencia de hacer una explosión metódica y breve en resumen (Ruiz, 2007).

4.10.3 POBLACIÓN, MUESTRA, UNIDAD DE ANÁLISIS

4.10.3.1 POBLACIÓN

El túnel de la Mina Paredones del Nivel 5 abarca desde el PI. + 540 m. y la poligonal cerrada que engloba un área de investigación de 6,25 Km².

4.10.3.2 MUESTRA

Roca andesita la caja (techo piso) y la Veta Murciélago

4.10.3.3 UNIDADES DE ANÁLISIS

Las unidades de análisis: litología, morfología, geoestructuras, hidrología, hidrogeología y tensiones, que definen la investigación, ubicadas en un polígono cerrado.

4.10.4 TÉCNICAS DE INSTRUMENTACIÓN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

4.10.4.1 TÉCNICAS DE CAMPO: OBSERVACIÓN

En el año 2015 se realizó un primer reconocimiento general del área de estudio enmarcándose sobre todo en el Nivel 5, por la ocurrencia de caídas bloques y la deformación en tramos específicos de la clave y solera de la excavación subterránea. Este método observacional y toma de fotografías fue lo más resaltante en esta primera etapa, llamándose la atención porque se genera este tipo condiciones geoestructurales y

tensionales en excavaciones subterráneas. La Mina Paredones en el año 2016, renueva actividades de explotación informalmente en el Nivel 5 observándose claramente la afectación que se había generado en las cajas, formando en algunos casos chimeneas verticales de que superan los 5,00 m. por la afectación de tensiones y la extracción de mineral. Posteriormente centrándome en información: litología, geoestructural, hidrológica, hidrogeológica y tensional, para mejores interpretaciones.

4.10.4.2 TÉCNICAS DOCUMENTAL

La recopilación de información se basó por parte de ingenieros que trabajaron en esta Empresa Minera Paredones y estudios técnicos que proporcionaron los amigos relacionados a este proyecto investigación. Complementando a esta base informativa con investigaciones, papers, artículos y libros, relacionados con el tema se logró estructurar el marco teórico, la interpretación y análisis de resultados.

4.10.4.3 TÉCNICAS DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Se ha teniendo como base de referencia geológica local del Cuadrángulo de Cajamarca a la escala 1:50,000 realizado por el INGEMMET (2007), así mismo lo conformaron imágenes satelitales, planos MDE, planos geológicos estructurales, registro geológico estructural, registro geológico geotécnico y libreta de campo. Delimitando las unidades litológicas, geoestructurales (diaclasas, fallas, diques, lineaciones de planos falla), hidrológicas e hidrogeológicas, al mismo tiempo la ubicación de estaciones de monitoreo, cálculo de tensiones, dimensionamiento de la sección del túnel, orientación del túnel y condiciones del macizo rocoso, teniendo como base las coordenadas: UTM – DATUM - WGS84 – ZONA - 17S.

4.10.5 TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

La primera etapa lo define la imagen satelital por el programa SASPlanet, con el sistema de coordenadas geodésicas de georreferencia y una vez efectuado la descarga con sistema cartesiano WGS84, Zona 17S, mediante el procesamiento complementario ArcGis 10.3 para su mejor utilización. A partir de la imagen satelital de alta resolución

Z = 21, se generó archivos raster por áreas de sombras para generar el modelo digital de terreno (MDT) y modelo digital elevaciones (MDE), posteriormente obteniéndose planos: geológicos-estructurales, unidades geomorfológicas, altitudinales, geotécnicos, etc. Además se utilizó los modelos numérico o matemáticos, corresponden a la geomecánica del túnel del Nivel 5, determinado así el análisis tenso-deformacional de la excavación subterránea con la interacción de la data de campo para dar homogeneidad a la muestra y así evitar datos erróneos y sesgos estadísticos.

4.10.6 EQUIPOS Y MATERIALES

4.10.6.1 EQUIPOS E INSTRUMENTOS PARA INFORMACIÓN DE CAMPO

Las salidas de campo siempre estuvieron constituidas por los siguientes equipos y materiales.

- GPS Garmin (Navegatorio), para ubicar estaciones de control en la área de investigación, teniendo como referencia las coordenadas UTM, según el elipsoide WGS84, zona sudamericana.
- Martillo Schmidt, para obtener la resistencia a la compresión uniaxial de la pared de la junta en función del número de rebotes y el peso específico.
- Brújula Brunton azimutal, para medir orientación e inclinación de discontinuidades, estructuras, fallas.
- Picota, utilizado para fracturar la roca y obtener la muestra.
- Lupa, para visualizar de manera microscópica la composición mineralógica de la roca y minerales emplazados en la matriz.
- Protactor, usado para medir el pitch o inclinación de la estrías en grados (°) respecto a la horizontal de referencia.
- Rayador, usado para rayar la superficie de roca o minerales y definir la proyección de alteración y resistencia.
- Cámara fotográfica, utilizado para tener evidencia del trabajo de campo representando las mejores tomas fotográficas de geoestructuras y sostenimiento.
- Flexómetro, para obtener mediciones la sección del túnel, discontinuidades, estructuras, etc.

- Linterna, usado para iluminarse en la excavación subterránea y diferenciar en que condiciones se encuentra la excavación.
- Wincha, utilizado para grandes mediciones avance en bocamica al interior de mina del Nivel 5.
- Ácido clorhídrico 20%, usado para definir la composición y clasificación de la roca, mediante reacciones químicas que se origina en superficie de la roca cuando se realiza un goteo del ácido clorhídrico en la superficie.
- Libreta de campo, usado para apuntar información de cartografiado, de manera ordenada, secuencial y pertinente según sea el enfoque de información de campo.
- Colores, plumones, lápices, borrador, corrector, tajador, regla graduada, usados para detallar de manera descriptiva mediante diferencias visualizadoras que se plasman en los planos y libretas.
- Carta Geológica del Cuadrángulo de Cajamarca (15-f) escala 1:50,000, usado como base primordial a la información de investigación y cartografiado.
- Imágenes satelitales escala 1:11,000, para ubicar estructuras y ver unidades de cartografiado en relación al MDT.



Figura 4.4. Equipo e instrumentos indispensables en el cartografiado geológico geotécnico.

4.10.6.2 SOPORTE TÉCNICO PROGRAMAS COMPUTACIONALES

Los programas computacionales son primordiales para el contexto informacional, procesamiento y obtención de información. Se utilizaron los siguientes software`s de procesamiento:

- SASPlanet, para obtener imágenes satelitales de alta resolución, con búsqueda de sensores satelitales.
- Erdas Erviewer V13, aplicador que trabaja en conjunto con el SASPlanet, en la obtención georreferenciada.
- AutoCad 2016, funcionamiento primordial para realización de secciones geológicas, cortes y diseños que acompañan el resto de programas.
- Global Mapper 14, su uso aplicativo en la tesis fue en la obtención de georreferencia satelital, como generador de curvas de nivel mayores, intermedias y menores.
- ArcGis 10.3, conjunto de aplicaciones con extensiones correspondientes al avance y obtención de información. Permitió la realización y elaboración de planos temáticos.
- Dips, RocData, Phase² V8,0, software`s de mecánica de rocas siendo útiles en la obtención de información de las constantes elásticas, como de la interacción de tenso-deformacional de la excavación subterránea.
- Faulkin y Adobe Illustrator CS6, útiles para el tratamiento estadístico de geoestructuras: fallas, espejos de fallas en función del pitch de la estructura a analizar.



Figura 4.5. Programas usados en el procesamiento y presentación de información.

4.10.7 MATRIZ DE CONSISTENCIA METODOLÓGICA

Instrumento de varios cuadros formado por columnas y filas y permite evaluar el grado de coherencia y conexión lógica entre el título, el problema, los objetivos, la hipótesis, las variables dependientes e independientes, técnicas e instrumentos de recolección de datos, población, muestra y unidad de análisis.

Tabla 4.3. Matriz de consistencia metodológica.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	POBLACIÓN. MUESTRA Y UNIDAD DE ANÁLISIS
<p>Problema General</p> <p>¿Cuál es el comportamiento de inestabilidad del túnel de la Mina Paredones Nivel 5 con las variables a analizar y el sostenimiento aplicado en la excavación subterránea con las condiciones geomecánicas requeridas por las geoestructuras ?</p> <p>Problemas Específicos</p> <p>¿Qué condiciones están generando las constantes deformaciones y caídas de bloques del túnel de la Mina Paredones nivel 5?</p> <p>¿Cuál es el comportamiento tensional con las inestabilidades progresivas en las secciones transversales de la excavación?</p>	<p>General</p> <p>Evaluar el comportamiento litomorfoestructural del macizo rocoso con la inestabilidad del túnel de la Mina Paredones Nivel 5.</p> <p>Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Determinar la interrelación comportamiento litomorfoestructural con la inestabilidad del túnel de la Mina Paredones. ✓ Determinar la inestabilidad geotécnica de la caída de bloques y deformación sucesiva del frente de explotación. ✓ Calcular el Factor de Seguridad por la zonificación de inestabilidad mediante el software Phase y el método de sostenimiento. ✓ Definir los impactos ambientales que se originan en la excavación subterránea del Nivel 5. 	<p>General</p> <p>La presencia de geoestructuras, paleoesfuerzos y líneas de flujo de agua subterránea, generaron redistribución de tensiones en la periferie de la excavación subterránea originando el comportamiento litomorfoestructural del macizo rocoso, provocando la inestabilidad del túnel de la Mina Paredones.</p> <p>Específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ La caída de bloques y el estado tenso-deformacional que está ocurriendo en el Nivel 5, origina estados de deformación muy distintos y vectores de fluctuación constantes en la excavación subterránea, ocasionando inestabilidades e impactos ambientales por las labores mineras abandonadas por la Mina Paredones. 	<p>Variable Independiente</p> <p>Inestabilidades.</p> <p>Variables Dependientes</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Litología. Formaciones litológicas y alteraciones de roca. ✓ Estructuras. Se distinguen discontinuidades tipo sistemático y singulares asociadas con el macizo rocoso. ✓ Hidrológicos. Drenaje superficial y zonas de recarga. ✓ Hidrogeológicos. Líneas de flujo, estimación de caudales y presiones. ✓ Tensiones. Esfuerzos naturales por tectonismo y gravitacionales. 	<p>Técnica de Campo: <i>Observación</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ En el año 2015 se realizó el reconocimiento general del área de estudio y el Nivel 5. Evidenciando las instalaciones abandonadas por consiguiente me llamo la atención porque se estan generando caídas de bloques y deformaciones en el entorno de la excavación. <p>Técnica Documental</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Sa basó en la recopilación de información relacionadas con este tema investigación. <p>Instrumentos de Recolección de Datos</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Imágenes Satelitales y planos, tablas geotécnicas, registros geológico-geotécnico y libreta de campo. 	<p>Población</p> <p>El túnel de la Mina Paredones desde Pl. + 540 m.</p> <p>Muestra</p> <p>La roca caja andesita y la Veta Murciélago.</p> <p>Unidades de Análisis</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Litología ✓ Morfología ✓ Geoestructuras ✓ Hidrología ✓ Hidrogeología ✓ Tensiones

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

5.1.1 LITOLOGÍA

Litológicamente el área está constituida por secuencias de rocas volcánicas del Grupo Calipuy (Volcánico Chilete) y un pequeño apófisis subvolcánico fuertemente silicificado con trazas de piritita diseminada de composición dacítica ubicado en la quebrada California al Este de la Veta Pacasmayo, siendo el responsable de la alteración existente en este sector. El Volcánico Chilete está conformado por tobas volcánicas de color violáceo a gris claro, de composición andesítica, con paquetes de 2,50 m. a 3,10 m. de potencia de aglomerado volcánico con clastos de origen volcánico a sedimentario (el origen sedimentario de los clastos en el aglomerado es por un antiguo río de depositación Fluvio-aluvial hoy conocido como el río San Pablo, que en su trayectoria de desplazamiento el flujo de lava andesítica arrastro y encapsulo al depósito cuaternario formando los aglomerados volcánicos como se muestra en la Figura 5.1. A), con esferoides: redondeada a subredondeada, con una matriz cementante de sílice en su composición, y con paquetes potentes de rocas andesíticas bien pseudo-estratificadas de color verde violáceo a gris claro. Debido a la gran actividad volcánica se han depositado en discordancia angular sobre el substrato Cretácico, alineándose completamente con la tendencia general de las grandes estructuras de la región (anticlinales y sinclinales) que afectan a las rocas del Volcánico Paleógeno – Neógeno del Grupo Calipuy.

En la Figura 5.1 - A. Aglomerado volcánico ubicado al NE de la Mina Paredones, en el flanco izquierdo de la trocha carrozable del Centro Poblado El Ingenio – San Antonio, ocupando una extensión de 105 m². constituida por una matriz englobante sílicatada con clastos angulosos a subangulosos de 10 cm. a 15 cm. B. Proyección de la Veta Murciélagos en superficie trabajado anteriormente por los españoles, con potencias de 1,50 m. a 2,00 m. C. Dique traquiandesítico de composición blanquecina, con contenidos del 65% de plagioclasas, 23% de cuarzo y feldespatos alcalinos 8%, ubicado

en el Nivel 5 en el PI. + 150 m., cortando estructuralmente en forma de clavo en el hastial derecho con potencias de 80 cm. a 85 cm., con Az N237°, Bz 86°NW. D. Zonamiento predominante desde el PI. + 50 m., por la alteración de sulfuros, relacionado con la Veta Murciélago compuesta por dos tipos de rocas: el hastial derecho muestra rocas traquiandesíticas, de color gris verdusco moderadamente meteorizada; y el hastial izquierdo y la mitad de clave se evidencia alteración argílica de composición rojiza con vetillas de stockwork altamente meteorizadas originadas por la oxidación de sulfuros al estar en contacto con las aguas meteóricas, conformando el sombrero de hierro o gossan.

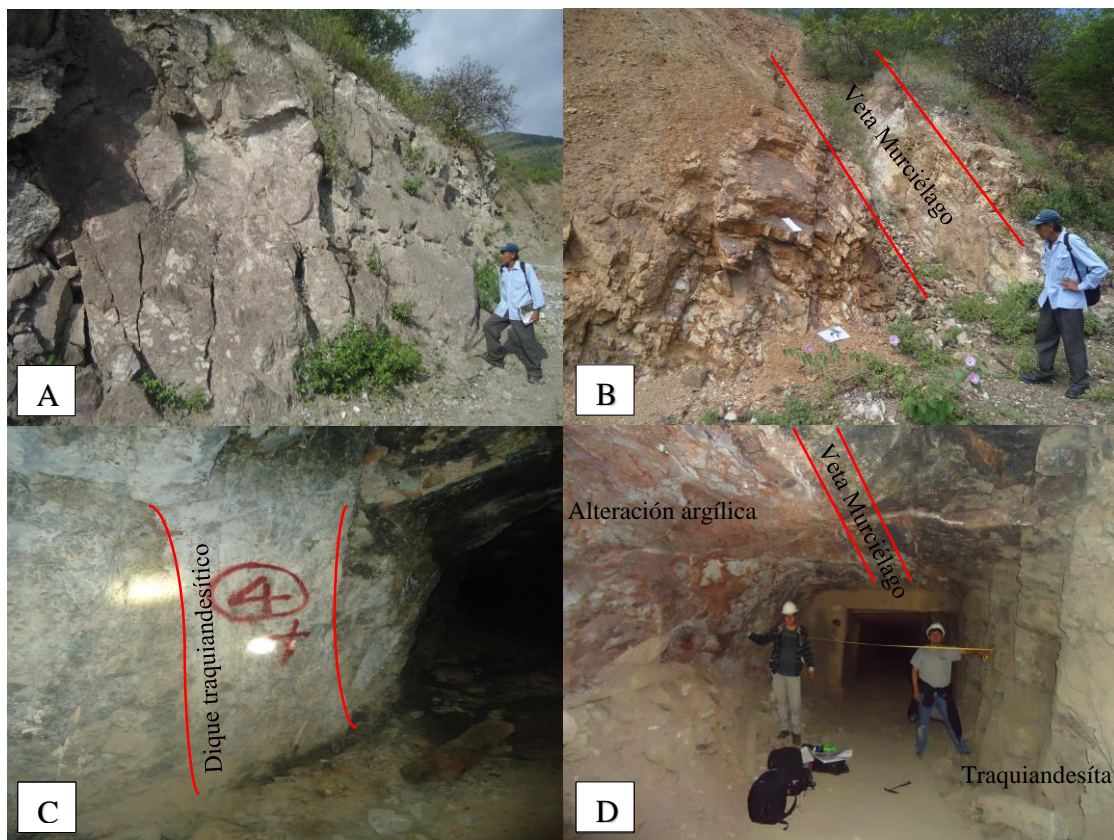


Figura 5.1. A. Aglomerado volcánico. B. Proyección de la Veta Murciélago en superficie. C. Dique traquiandesítico. D. Zonamiento de alteración argílica, roca traquiandesítica y Veta Murciélago, desde el PI. + 50 m. estación geomecánica 1.

5.1.2 ESTRUCTURAS

Los trabajos y metodologías utilizadas en el cálculo de paleoesfuerzos, están relacionados con las geoestructuras y alrededores, conformándose en casi toda su extensión por depósitos cuaternarios y vegetación; dificultando la obtención en la toma de información, aprovechando los socavones de cada Nivel, cortes de carretera y

quebradas. Los datos fueron tomados en rocas volcánicas del Volcánico Chilete del área de investigación, obteniendo datos mesoestructurales (se realizó a partir de MDT e imágenes satelitales, se ha realizado interpretación de los principales elementos morfoestructurales) de fallas y la aplicación de métodos de análisis poblacional de fallas, se ha calculado en los estados puntuales de esfuerzos compatibles con la cinemática poblacional de fallas geológicas presentes en cada estación y estimación de paleoesfuerzos. Estas fallas transformantes han jugado un papel importante en la metalogénia del corredor estructural de orientación NW-SE, que se ha emplazado a lo largo de grandes accidentes estructurales andinos que presentan la misma orientación geoestructural. Los plegamientos y las facies volcánicas también fueron afectados por fallas de rumbo a escala regional y local, presentada el primer sistema geoestructural predominante en el proyecto NW, coincidiendo con el alineamiento andino.

La toma de datos cinemáticos de fallas, se determinó en campo por los tectoglifos obteniendo sentido de movimiento de falla; datos de gran importancia para definir el tipo de falla en campo (estrías, escalones y *slikensides*) y en algunos casos recristalización de minerales: cuarzo y calcita, o también llamadas fallas mal abrigo. Asimismo relacionándose con las vetas de mineralización que favorecen la existencia de procesos de presión-disolución.

En las 23 estaciones estructurales cinemáticas se ha utilizado los modelos dinámicos de diedros rectos de Anderson (1905 y 1951) y la teoría de Ramsay (1967), analizando cada una de ellas por separado, para posteriormente agruparlas en poblaciones de fallas geométricas. Los planos de todas las poblaciones de fallas están orientadas preponderantemente con orientación: WNW-ESE (población 1), NNE-SSW (población 2) y ENE-WSW (población 3).

En la Figura 5.2, la población 1 muestra: el diagrama de diedros rectos, planos de fallas (azimut y buzamiento), estrías y paleoesfuerzos bidireccionales (σ_1 , σ_2 , σ_3 , máximo, intermedio y mínimo); conformado por un total de 62 N° fallas, de las estaciones: 1, 2, 4, 6, 7, 8, 12, 16, 17, 18 y 20; para el análisis, obteniendo las correspondientes valores: trend y plunge de los esfuerzos principales (σ_1 , σ_2 , σ_3). Observándose el alto valor del esfuerzo vertical σ_2 (plunge = 71,60°), en relación con los otros paleoesfuerzos, asemejándose al modelo dinámico de Anderson como falla de

desgarre por estar cerca de la verticalidad y la correspondiente ubicación de los esfuerzos: compresivos y distensivos; como puntos en la proyección estereográfica dominada en orientación WNW-ESE. En cambio la Figura 5.3 de la población 2, está conformado por un total de 25 planos de fallas, de las estaciones: 3, 5, 10 y 13; estando controlada por el esfuerzo vertical σ_3 (plunge = 63,00°) con fallas inversas, presentando el control estructural NNE-SSW con sus esfuerzos principales. La Figura 5.4 muestra los paleoesfuerzos de la población 3, conformado por planos de falla de las estaciones 9, 11, 14 y 19; con un total de 30 planos de fallas, obteniendo el plunge = 69,90° del paleoesfuerzo σ_2 como valor determinante del esfuerzo principal, dominado por fallas de desgarre (plano de falla) con orientación tectónica de esfuerzo compresivo ENE-WSW. Los plunges (buzamientos de punto) bajos, leves a altos, obtenidos por el software Faulkin determinaron el comportamiento diferenciado en relación a los paleoesfuerzos principales como se muestra en la población 1-3, estando dominada por el esfuerzo vertical σ_2 ; en cambio en la población 2 sucede lo contrario está gobernada por el esfuerzo vertical σ_3 . Reportando valores precisos de la tectónica dominante de la zona de investigación.

Población 1

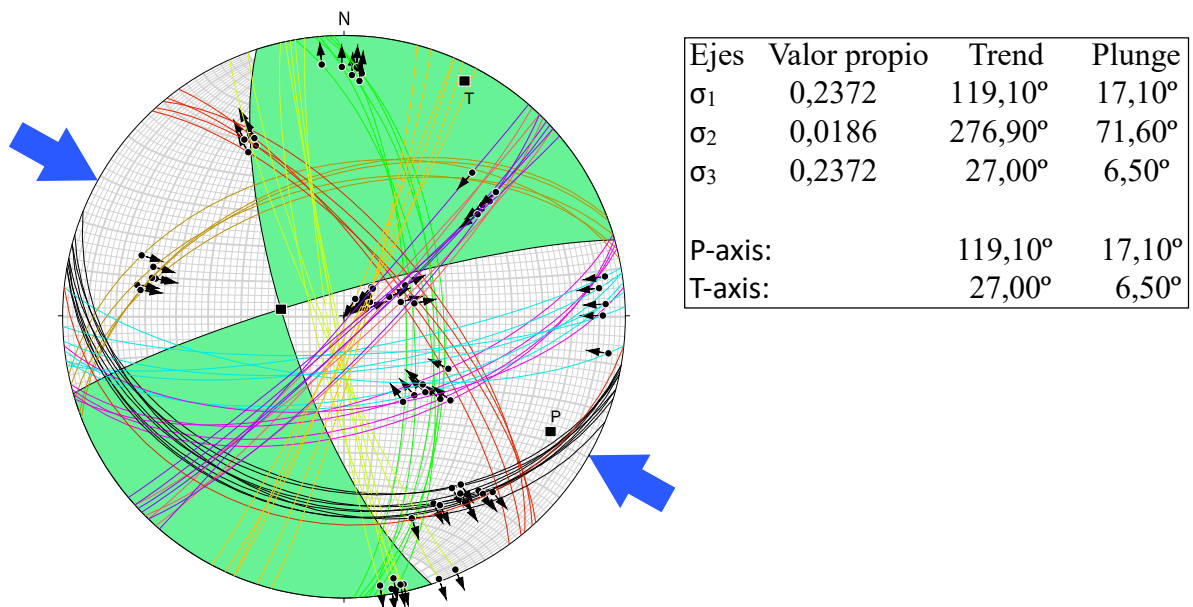


Figura 5.2. Diagrama de diedros rectos, planos de fallas (azimut y buzamiento), estrías y paleoesfuerzos bidireccionales (σ_1 , σ_2 , σ_3 , máximo, intermedio y mínimo); población 1, conformado por planos de falla de las estaciones 1, 2, 4, 6, 7, 8, 12, 16, 17, 18 y 20 (N° de fallas = 62).

Población 2

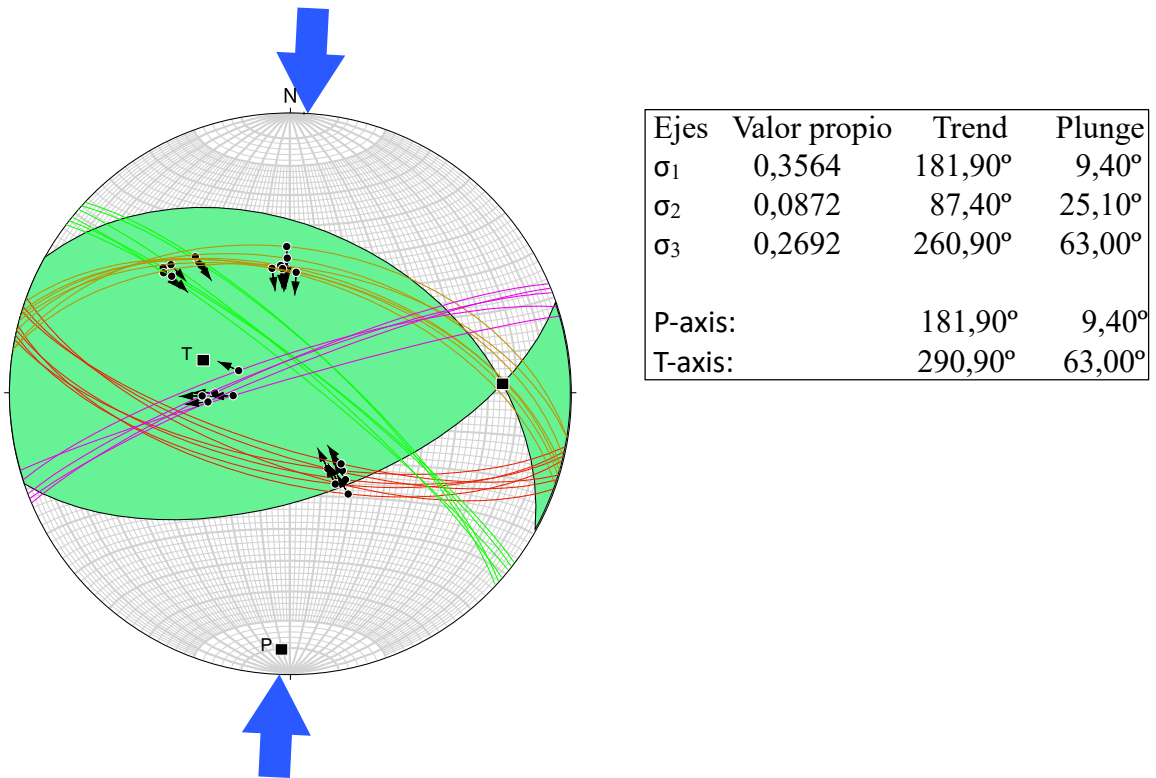


Figura 5.3. Diagrama de diedros rectos, planos de fallas (azimut y buzamiento), estrías y de paleoesfuerzos bidireccionales (σ_1 , σ_2 , σ_3 , máximo, intermedio y mínimo); población 2, conformado por planos de falla de las estaciones 3, 5, 10 y 13 (Nº de fallas = 25).

Población 3

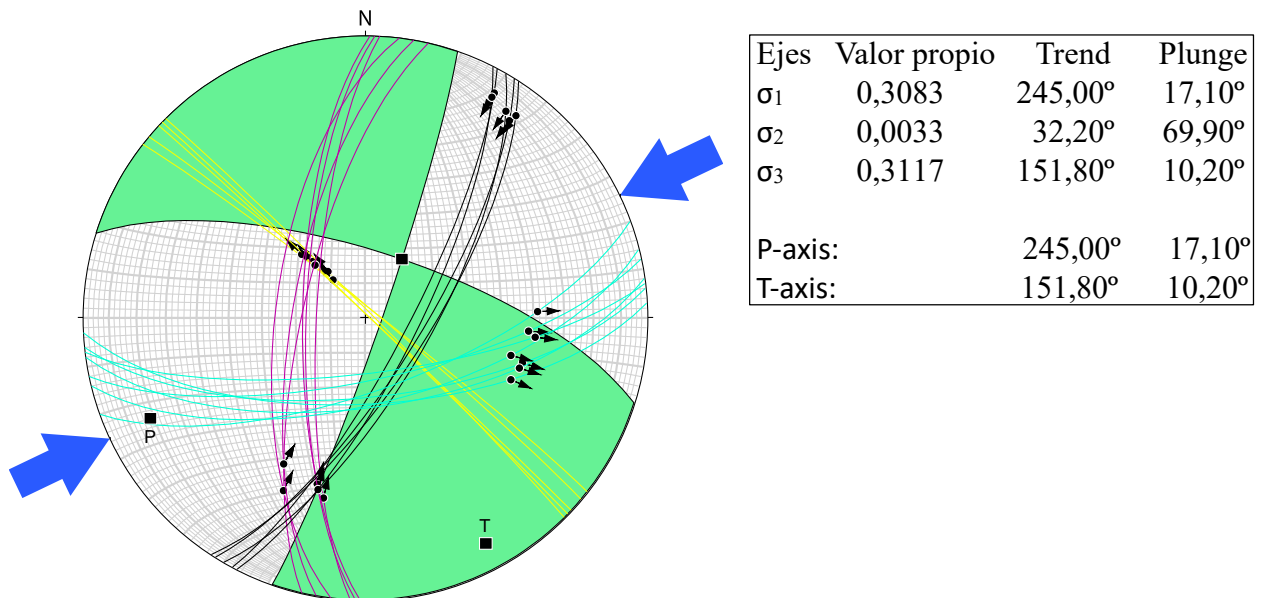


Figura 5.4. Diagrama de diedros rectos, planos de fallas (azimut y buzamiento), estrías y de paleoesfuerzos bidireccionales (σ_1 , σ_2 , σ_3 , máximo, intermedio y mínimo); población 3, conformado por planos de falla de las estaciones 9, 11, 14 y 19 (Nº de fallas = 30).

Estas discontinuidades singulares presentan superficies de cizallamiento y en otros casos rellenos miloníticos y brechosos acumulando tensiones tectónicas importantes, con la orientación de los paleoesfuerzos.

En la Tabla 5.1, del conjunto de 117 planos de fallas medidas en campo, se han logrado obtener valores tensoriales en cada una de las estaciones (Apéndice A), como en su conjunto poblacional. Las fallas normales (estaciones 1, 8, 13, 17 y 19) y las fallas inversas (estaciones 3, 9, 10, 12 y 18); tienen orientaciones diferenciadas: NNW-SSE y NE-SW; las primeras con buzamientos altos 60° - 81°, representando un porcentaje 23,08% y las otras con buzamientos moderados a altos 50° - 75° con un porcentaje 28,21%, ambas presentando pitch alto por el requerimiento analítico por los modelos cinemáticos. Las fallas de desgarre: dextrales (estaciones 2, 5, 11, 14, 15, 16 y 20) y sinestrales (estaciones 4, 6 y 7); representan buzamientos de moderados a altos y pitch bajo; relacionado sobre todo con el esfuerzo vertical σ_2 y oblicuos al σ_1 y σ_3 ; guardando una relación directa con las estructuras mineralizadas NE-SW; conformando un porcentaje acumulativo total 48,71%. La confiabilidad tectónica realizada en los casos mostrados, presentan los rasgos más significativos, que admiten la existencia de más de un estado de esfuerzos responsables del control estructural.

Tabla 5.1. Tipos de fallas determinadas con relaciones porcentuales.

Tipo de falla	Número de estaciones	Número de fallas	Porcentaje (%)
Normal	5	27	23,08
Inversa	5	33	28,21
Dextral	7	39	33,33
Sinestral	3	18	15,38
Número total de fallas	20	117	100,00

Apéndice A, muestra los resultados gráficos del análisis de las poblaciones de fallas para las diferentes estaciones estructurales, empleando el software's computacionales: Faulkin y Adobe Illustrator CS6.

En la Figura 5.5 – Planos de fallas A, B, C, D, E y F. A. Espejo de falla dextral con Az N46°, Bz 82°SE y Pitch 35°; ubicado en la flanco izquierdo de la carretera San Pablo – Paredones, con acanaladuras de 10 cm. a 12 cm. B. Falla normal con marcadores de movimiento cinemático alterados ubicada en el PI. + 65 m., con Az N103°, Bz 34°SW

y Pichth 50°. C. Falla de dextral con Az N253°, Bz 49°NW y Pichth 40°; compuesto por brecha milonítica de 10 cm. – 15 cm. desplazando 1,10 m. a la Veta Murciélago (potencia 0.35 m.), observándose notoriamente en el hastial izquierdo los tectoglifos. D. Ubicado en la trocha carrozable en dirección a la excavación subterránea del Nivel 4, con planos de falla sinistral (Az N166°, Bz 85°NW y Pichth 3°) ligeramente alteradas, proyectándose en el túnel del Nivel 5, con mayor claridad en el hastial derecho, donde se evidencia un intenso movimiento tectónico por la fracturación y repliegamiento tectónico de la matriz rocosa. E. Se muestra dos fallas: inversa (Az N78°, Bz 62°SE y Pichth 71°) y Normal (Az N250°, Bz 82°NW y Pichth 73°), presentando recristalización de minerales de cuarzo en el espejo de falla del mismo sentido de la dirección de desplazamiento y muy cerca al movimiento se observa aglomerado volcánico con matriz cementante de sílice y clastos subangulosos a redondeados con diámetros de 4,00 cm. a 5,50 cm., la dirección de compresión NNW-SSE afectando a las fallas cinemáticas con orientación ENE-WSW. F. Falla rumbo dextral (Az N30°, Bz 74°SE y Pichth 12°), ubicado en el flanco izquierdo de la trocha carrozable del túnel del Nivel 3, presentando el plano de falla óxidos, puntos de cobre, pirita y cuarzo. Con dirección de esfuerzo compresional ENE-WSW, vertical al $\sigma_2 = 70^\circ$ y oblicuos al $\sigma_1 = 19,70^\circ$ y $\sigma_3 = 3,20^\circ$; afectando a la falla en orientación NE-SW, cinemáticamente.

5.1.3 VETA DE MINERALIZACIÓN

La Veta Murciélago está controlada por la tectónica regional de la flexión de Cajamarca al Norte y al Sur la flexión de Cascas de orientación WNW-ESE (Rodríguez et al., 2006).

El alineamiento estructural tiene una tendencia de ENE-WSW, coincidiendo con la secuencia de domos intrusivos andesíticos gris verdosos porfiríticos, relacionados con las fallas identificadas en campo que cortan algunas estructuras mineralizadas con desplazamientos sinistral, con rumbos desde N30° a 50°W y buzamientos de 78°NE-87°SW, con los sistemas geoestructurales vistos en el corte de la carretera de Chilete-San Pablo. Probablemente el sistema de Vetas: Murciélago (Nivel 5) y Pacasmayo (Nivel 1) están controladas por dos fallas transformantes dextrales del sistema E-W, que coinciden con las Quebradas: California y El Ingenio. Esta falla dextral se alinea con el eje el río San Pablo y paralelo a la falla en la orientación SE se ubica la falla de rumbo, con

orientación NNE–SSW, cortando y desplazando a las demás estructuras mineralizadas ubicadas en el Sector Huayrapongo que corresponden al mismo lineamiento del flanco derecho del Sector Paredones.

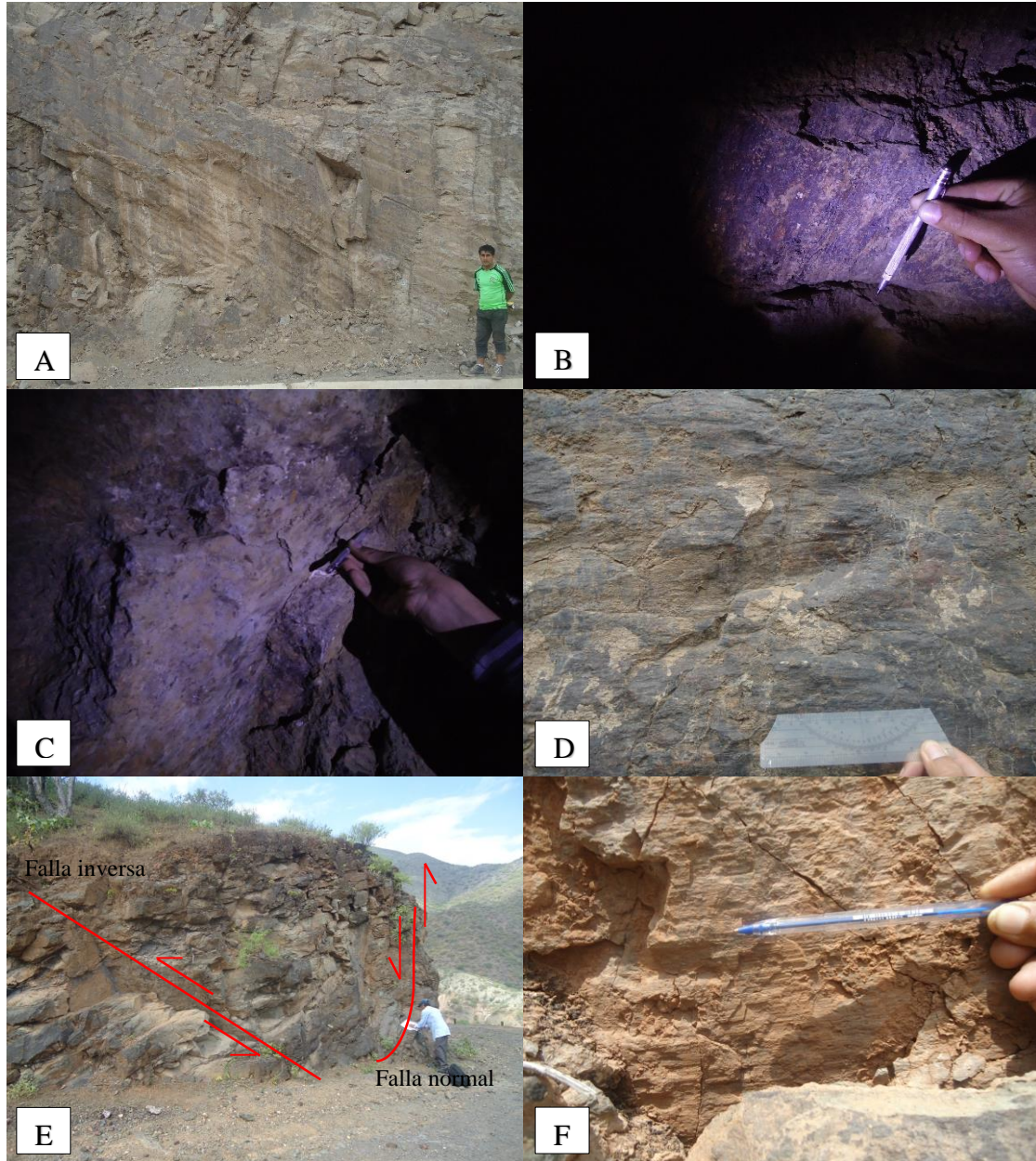


Figura 5.5. A. Espejo de falla dextral, ubicado en el flanco izquierdo de la carretera San Pablo – Paredones. B. Espejo de falla, ubicado en el hastial derecho del Nivel 5. C. Espejo de falla dextral compuesto por brecha milonítica, ubicada en el hastial izquierdo del Nivel 5. D. Plano de falla sinistral, ubicada en el flanco izquierdo carrozable en dirección al Nivel 4. E. Se muestra dos fallas geológicas (inversa y normal) ubicadas en el flanco izquierdo de la trocha carrozable a la Veta H. y F. Plano de falla dextral, ubicado en el flanco izquierdo de la trocha carrozable al Nivel 3.

5.1.4 GEOMORFOLOGÍA

El análisis geomorfológico incluyó etapas de procesamiento: la primera en obtener imágenes satelitales de alta resolución para mejores visualizaciones del entorno de investigación realizando interpretaciones de los principales elementos morfoestructurales (Orientación de la Veta Murciélagos, litología de las cajas y tipo de morfología que está emplazado) y la segunda etapa conformada en la creación de archivos raster por áreas de sombras para generar el modelo digital de terreno (MDT) y modelo digital elevaciones (MDE), así obteniendo las unidades morfogénicas consistentes con la realidad topográfica, que se relacionan con el análisis morfotopométrico. Definiéndose cuatro unidades morfogénicas: planicies, lomadas, laderas y escarpes, conformando 6,25 Km² de área. Obteniendo que los porcentajes de las unidades geomorfológicas varían considerablemente como tenemos: lomadas con 53%, 37% laderas, 10% planicies y escarpes 0%.

En la Tabla 5.2, muestra las Unidades Morfogénicas, (Rodríguez, 2018) estrechamente ligadas con la pendiente de cada unidad morfológica, relacionado con la litología presente en superficie desde depósitos hasta stock andesíticos, definiéndose función del tipo de relieve, geometría, litología, origen y edad litológica. Las planicies conformando el 10%, generalmente ubicada en el cauce del río San Pablo, con pocas áreas de cultivo agrícola. En cambio las lomadas tienen 53% del total siendo la unidad geomorfológica más extensa de mayor utilización agrícola por parte de los pobladores y más accesible. Las laderas por las variaciones geométricas de pendiente y la consistencia de la roca; lo conforma un 37% en algunos casos inaccesible. Por último no se evidenciaron escarpes predominantes ya sea por utilización de software y mapeo cartográfico geomorfológico. Efectuando la correspondiente superposición de las unidades morfogénicas y la galería del túnel Nivel 5, se manifiesta que desde el PI. + 139 m. es ubicada emplazada en superficie por laderas y desde el PI. + 139 m. al PI. + 540 m., está situado en lomadas.

Tabla 5.2. Unidades Morfogenéticas del área de investigación.

Tipo de relieve	Geometría	Litología	Origen	Edad de la litología			
Unidad morfogenética	Pendiente	Asociada a su composición Dep. Fluv.-aluv.	Asociado al evento	Período	Época	Edad	%
Planicies	0° - 8°		Transpor.	Cuaternario	Holoceno	Versiliano	10
Lomadas	8° - 20°	Vol. Chilite	Volcánico	Paleógeno	Eoceno - Mioceno	Bartoniano - Burdigaliano	53
Laderas	20° - 50°	Vol. Chilite y stock andesítico	Volcánico	Paleógeno-Neógeno	Eoceno - Mioceno	Bartoniano - Burdigaliano	37
Escarpas	> 50°						0
Total							100

5.1.5 GEOMECAÁNICA

5.1.5.1 RESISTENCIA DE LA ROCA

Los parámetros fundamentales del comportamiento geomecánico de la masa rocosa, es la resistencia a la compresión uniaxial (σ_{ci}). Durante las etapas de cartografiado en campo, como parte del mapeo geotécnico, se obtuvieron valores de estimación de la resistencia compresiva de la roca intacta teóricamente, logrando obtener valores representativos de la roca, debido a su grado de fracturamiento y debilitamiento. Extrayendo muestras de campo de la roca caja techo, piso y veta; para ensayos de laboratorio, se determinaron los parámetros utilizados en geomecánica

Las propiedades de resistencia de la masa rocosa, referidas a la compresión y tracción; en la función de la gráfica σ_1 vs. σ_3 , se obtuvo la envolvente de falla (Hoek et al., 2002 – programa RocData), obteniendo tres parámetros de corte: tracción, compresión uniaxial y compresión triaxial, y las constantes elásticas de la matriz rocosa se muestran en las Figuras de los criterios de linealización de cada estación geomecánica. En cambio la gráfica σ_n vs. σ_t , se obtuvo la envolvente de falla de Mohr & Coulomb, congruente con la fractura de falla por corte al alcanzar la resistencia pico del material rocoso.

En la Tabla 5.3, se observa la σ_{ci} de las diferentes estaciones geomecánicas teniendo variaciones: 40 MPa. – 130MPa., presentando como fundamento los estudios

realizados por Palmstrom (2003) en relación a las investigaciones propuestas por este autor la resistencia promedio del tipo de roca. De igual manera la utilización de las clasificaciones geomecánicas tienen una similitud con las Tablas 4.8 y 4.9; realizadas guardando un comportamiento correlacional con el factor de seguridad y el estado tenso-deformacional que refleja el macizo rocoso.

Tabla 5.3. Resistencia compresiva de la roca intacta.

Estaciones	σ_{ci} (MPa)	RQD (%)	RMR	GSI	Q
E-1	40	45,59	48	43	2,53
E-2	70	77,25	61	56	12,87
E-3	90	79,68	62	57	8,85
E-4	130	77,65	65	60	12,94
E-5	110	68,08	57	52	3,74

La Tabla 5.4, muestra las constantes elásticas que presenta la roca en función de la ubicación y condiciones geomecánica de la roca, utilizando los criterios: Hoek – Brown Generalizado y Mohr – Coulomb; siendo la base principal para el análisis numérico. Interpretando la Tabla 5.4, se da hincapié a lo siguiente: los efectos de daño ocasionados por la voladura se refleja en D , desde 0 (no alterados) y 1 (alterado); consignando la apariencia de la sección transversal del macizo rocoso; de igual similitud el mb que es el valor reducido del mi (considera el tipo de roca, textura, composición, tamaño de grano, diaclasamiento, alteración, meteorización, blocosidad, color, relleno, estado tensional) y las constantes de Hoek – Brown como se muestra el $s < 1$, mostrando que no son rocas intactas por no haber superado el valor $s > 1$: teniendo cercanías con el $a > 0,50$ (Generalizado) y el Em , tendiendo fundamento en k propuesto por Sheorey (1994), para el dimensionamiento en el diseño de minado subterráneo y tipo de sostenimiento. Los valores de c y ϕ° , reflejan la calidad de masa rocosa con el RMR (Tabla 5.3), se determinó realizando el cartografiado geotécnico a la sección de la excavación subterránea obtenido puntuación correspondientes en relación al macizo rocoso, resistencia, RQD y posteriormente a las discontinuidades.

Tabla 5.4. Constantes elásticas.

Estaciones	Criterio Hoek - Brown						Criterio Mohr - Coulomb		
	<i>mi</i>	<i>D</i>	<i>Ei</i> (MPa)	<i>mb</i>	<i>s</i>	<i>Em</i> (GPa)	<i>a</i>	<i>c</i> (MPa)	φ°
E-1	20	1,00	12000,00	0,341	0,0001	0,550	0,509	0,080	50,21
E-2	28	0,80	26250,00	2,040	0,0013	3,507	0,504	0,325	61,95
E-3	23	0,50	40500,14	3,265	0,0042	10,405	0,503	0,884	59,23
E-4	30	0,00	63700,00	7,190	0,0117	33,124	0,503	1,617	64,67
E-5	28	0,80	49500,00	1,608	0,0007	5,138	0,505	0,829	52,91

5.1.5.2 CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA

A partir de los resultados concluir la siguiente zonificación geomecánica:

ESTACIÓN GEOMECÁNICA 1: Está ubicada en el PI. + 50 m., con medidas de sección subterránea 4,00 m. H: 2,50 m. V; correspondiente a la zona de alteración compuesta por: el hastial derecho muestra rocas traquiandesíticas, de color gris verdusco moderadamente meteorizada con presencia de oxidaciones; y el hastial izquierdo y la clave por alteración argílica de composición rojiza con vetillas de stockwork altamente meteorizadas originadas por la oxidación de sulfuros y al estar en contacto con las aguas meteóricas, conformado el sombrero de hierro o gossan. Litológicamente, lo conforman cuatro juntas de diaclasas el hastial derecho, de características estructurales por las discontinuidades que determinan el modelo geológico, originando caídas de bloques y desplanchamientos (zona de alteración que afecta la estabilidad). Geomecánicamente la zona de alteración argílica tiene una $\sigma_{ci} < 20$ MPa, y conforme va acercándose en contacto con el gouge (veta Murciélagos con valores: RQD = 10%, RMR < 10, GSI = 12) va aumentando su resistencia hasta llegar a la roca traquiandesítica (roca caja piso). El método utilizado para el cálculo es la metodología lineal del RQD de 1976 a partir de frecuencias de discontinuidades donde ND = 31, en una longitud de L = 1,70 m. utilizando la ecuación 1 y 2, obteniendo un RQD = 45,59% clasificándolo en la Tabla 2.3 de mala calidad; El RMR₈₉ se obtuvo a partir de la suma: σ_{ci} , RQD, las propiedades de las juntas y factor de orientación de juntas (Muy desfavorable, Tabla 2.6), obteniendo un RMR = 48 de calidad media clasificándolo por la Tabla 2.4; el criterio de utilización del GSI (Hoek y Marinos 2000) se obtuvo utilizando la Figura 2.2 en la interpolación de la estructura (Muy fracturado disturbado/agrietado) y condiciones superficiales (Regular),

obteniendo un GSI = 43 y utilizando la Tabla 2.7 clasificándolo de calidad regular; y el resultado del Q (Barton, 1974), se basa en la estimación de seis parámetros independientes: RQD = 45,59%, $J_n = 12$, $J_r = 2$, $J_a = 3$, $J_w = 1$, SRF = 1; utilizando la ecuación 3 se obtiene un $Q = 2,53$ y de acuerdo con la Tabla 2.8 roca mala calidad. Estructuralmente dominado por una área de intenso cizallamiento en el hastial derecho que se proyecta desde superficie con una falla rumbo sinestral, localmente ocasionando intensos desprendimientos de roca.

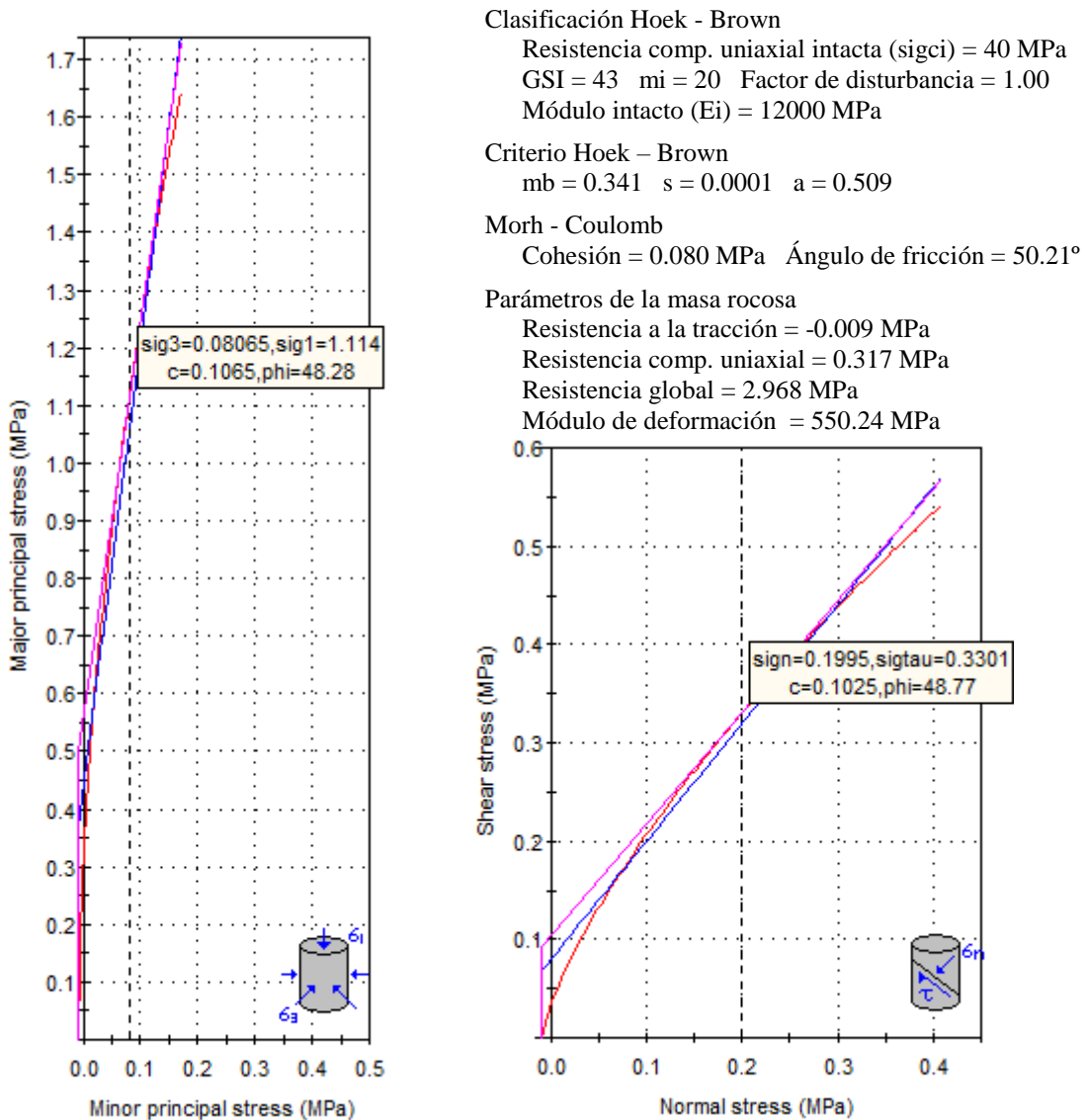


Figura 5.6. Representación gráfica de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso utilizando el RocData en relación a los criterios de linealización del método de la equivalencia de áreas - estación 1.

La Figura 5.6, se muestra el criterio linealización entre la envolvente de Hoek – Brown y la linealización de Morh-Coulomb del método de equivalencia de áreas obteniendo el parámetro $\sigma_{3\text{máx}} = 0,17$ MPa de presión de confinamiento máximo y resistencia a la tracción $\sigma'_t = - 0,009$ MPa la masa rocosa, utilizado para determinar el ángulo de fricción y resistencia cohesiva en este intervalo de esfuerzos definido por: $\sigma'_t < \sigma_3 < \sigma_{3\text{máx}}$.

ESTACIÓN GEOMECÁNICA 2: Litológicamente lo conforma roca andesita de buena calidad, en condiciones secas ligeramente alteradas, con contenidos de piritas diseminada en toda la sección transversal de dimensiones 3,05 m. H: 3,20 m. V; ubicada desde PI. + 50 m. al PI. + 65 m., con superficies de juntas ondulada-lisa y aberturas promedio de 3,74 mm.; conformada por bloques de roca bien trabadas por su diaclasamiento. El método utilizado para el cálculo es la metodología lineal del RQD de 1976 a partir de frecuencias de discontinuidades donde ND = 19, en una longitud de L = 2,00 m. utilizando la ecuación 1 y 2, obteniendo un RQD = 77,25% clasificándolo en la Tabla 2.3 de buena calidad; El RMR₈₉ se obtuvo a partir de la suma: σ_{ci} , RQD, las propiedades de las juntas y factor de orientación de juntas (Muy desfavorable, Tabla 2.6), obteniendo un RMR = 61 de calidad buena clasificándolo por la Tabla 2.4; el criterio de utilización del GSI (Hoek y Marinos 2000) se obtuvo utilizando la Figura 2.2 en la interpolación de la estructura (Moderadamente fracturado) y condiciones superficiales (Bueno), obteniendo un GSI = 56 y utilizando la Tabla 2.7 clasificándolo de calidad regular; y el resultado del Q (Barton, 1974), se basa en la estimación de seis parámetros independientes: RQD = 77,25%, $J_n = 12$, $J_r = 1,50$, $J_a = 0,75$, $J_w = 1$, SRF = 1; utilizando la ecuación 3 se obtiene un $Q = 12,87$ y de acuerdo con la Tabla 2.8 roca buena calidad. Estructuralmente definida por dos fallas geológicas: una falla rumbo sinistral al inicio de la progresiva y la otra falla inversa al final; ocasionado por los movimientos cinemático geológico estructurales en este tramo de gran intensidad originando caídas de bloques, en forma de cuñas (formas: tetraédricas, prismas truncados y doblemente truncados) sobre todo en la área de la clave de mayor afectación por la redistribución de tensiones y geoestructuras.

En la Figura 5.7, muestra mediante el método numérico (RocData) la linealización se obtiene valores promedio de los esfuerzos principales en cada representación gráfica, constituyendo valores promedio del $\sigma_{3\text{máx}} = 0,35$ de la masa rocosa

y los parámetros de resistencia a la tracción $\sigma'_t = -0,044$ MPa la masa rocosa, resistencia a la compresión uniaxial y resistencia global.

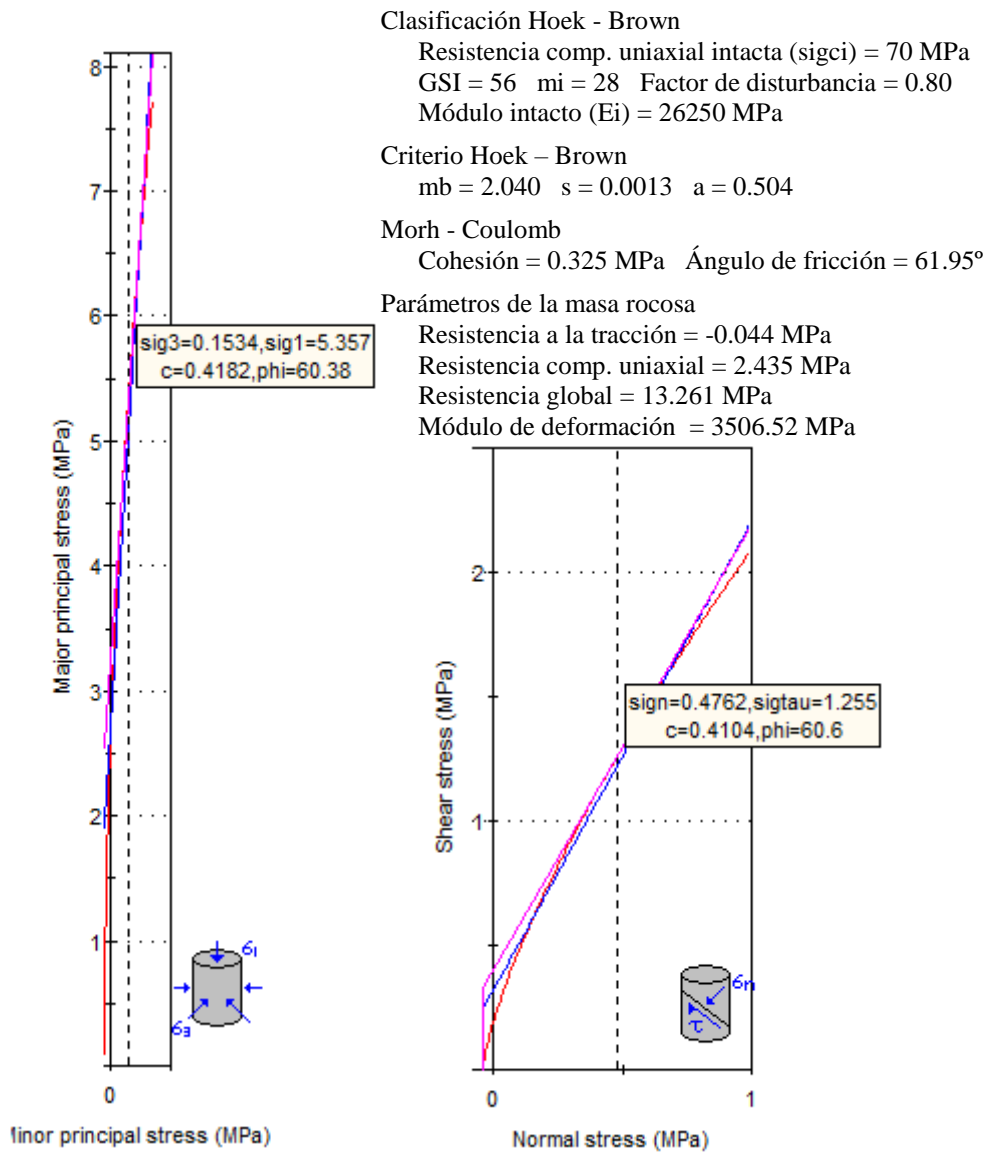


Figura 5.7. Representación gráfica de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso utilizando RocData en relación a los criterios de linealización del método de la equivalencia de áreas - estación 2.

ESTACIÓN GEOMECÁNICA 3: Ubicada desde PI. + 233,85 m. a PI. + 269,70 m.; con medidas de sección subterránea 2,92 m. H: 3,55 m. V; las condiciones geomecánicas lo conforman la roca caja techo y piso de roca andesítica; en condiciones secas ligeramente alteradas, con superficies de juntas ondulada-lisa y aberturas promedio < 5 mm., conformada por cuatro familias de discontinuidades que definen este tramo evaluado; y la veta Murciélagos (ubicada en una zona de estrangulamiento mineralógico

compresional de minerales sulfurados, delimitando subverticalmente a la caja techo y piso con orientación N125° - 80°SW y una potencia 0,50 m. – 0,35 m. con valores: RQD = 80%, RMR = 72, GSI = 67. Mineralógicamente emplazado en la roca andesítica con una matriz cementante de sílice y minerales accesorios como: galena, piritita, covelina, blenda, cuarzo, etc.

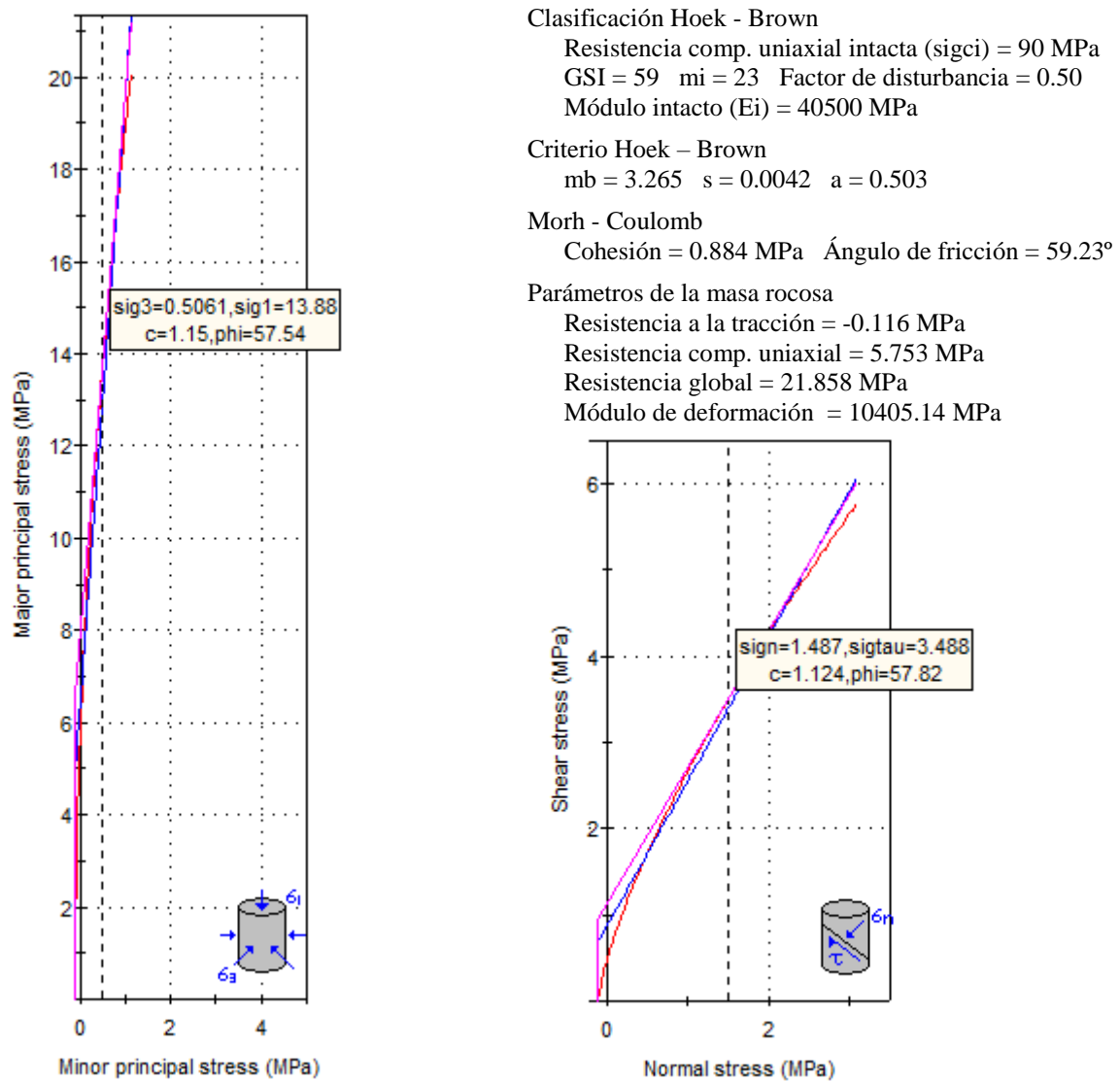


Figura 5.8. Representación gráfica de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso utilizando RocData en relación a los criterios de linealización del método de la equivalencia de áreas - estación 3.

Los parámetros geomecánicos de la roca andesítica (roca caja techo y piso) se realizaron de la siguiente manera utilizando la metodología lineal del RQD de 1976 a partir de frecuencias de discontinuidades donde $ND = 25$, en una longitud de $L = 3,00$ m. utilizando la ecuación 1 y 2, obteniendo un RQD = 79,68% clasificándolo en la Tabla 2.3

de buena calidad; El RMR_{89} se obtuvo a partir de la suma: σ_{ci} , RQD, las propiedades de las juntas y factor de orientación de juntas (Favorable, Tabla 2.6), obteniendo un $RMR = 62$ de calidad buena clasificándolo por la Tabla 2.4; el criterio de utilización del GSI (Hoek y Marinos 2000) se obtuvo utilizando la Figura 2.2 en la interpolación de la estructura (Levemente fracturado) y condiciones superficiales (Bueno), obteniendo un $GSI = 57$ y utilizando la Tabla 2.7 clasificándolo de calidad regular; y el resultado del Q (Barton, 1974), se basa en la estimación de seis parámetros independientes: $RQD = 79,68\%$, $J_n = 12$, $J_r = 1$, $J_a = 0,75$, $J_w = 1$, $SRF = 1$; utilizando la ecuación 3 se obtiene un $Q = 8,85$ y de acuerdo con la Tabla 2.8 roca de calidad media.

En la Figura 5.8, se observa las envolventes y linealizaciones correspondientes a cada gráfica, con valor de confinamiento máximo $\sigma_{3m\acute{a}x} = 1,13$ y resistencia a la tracción $\sigma'_t = -0,116$ MPa la masa rocosa. Obteniendo parámetros de la masa rocosa en función de la resistencia (compresión y tracción) y módulo de deformación. El valor $D = 0,50$ genera problemas de deformación en la periferie comportándose homogéneamente su deformación.

ESTACIÓN GEOMECAÁNICA 4: Geomecánicamente ubicada desde PI. + 338,50 al PI. + 370,30 m.; conformada de roca andesítica de color gris verdusco la roca caja techo y piso; con medidas de sección subterránea 3,00 m. H: 600 m. V, presentando condiciones secas inalteradas, con superficies suaves en las juntas, con aberturas promedio de 2,75 mm., conformada por tres familias de discontinuidades que definen este tramo evaluado. La clasificación geomecánica se siguió las siguientes etapas: la metodología lineal del RQD de 1976 a partir de frecuencias de discontinuidades donde $ND = 16$, en una longitud de $L = 1,80$ m. utilizando la ecuación 1 y 2, obteniendo un $RQD = 77,65\%$ clasificándolo en la Tabla 2.3 de buena calidad; El RMR_{89} se obtuvo a partir de la suma: σ_{ci} , RQD, las propiedades de las juntas y factor de orientación de juntas (Media, Tabla 2.6), obteniendo un $RMR = 65$ de calidad buena clasificándolo por la Tabla 2.4; el criterio de utilización del GSI (Hoek y Marinos 2000) se obtuvo utilizando la Figura 2.2 en la interpolación de la estructura (Levemente fracturado) y condiciones superficiales (Bueno), obteniendo un $GSI = 60$ y utilizando la Tabla 2.7 clasificándolo de calidad regular; y el resultado del Q (Barton, 1974), se basa en la estimación de seis parámetros independientes: $RQD = 77,65\%$, $J_n = 9$, $J_r = 1,50$, $J_a = 1$, $J_w = 1$, $SRF = 1$; utilizando la ecuación 3 se obtiene un $Q = 12,94$ de acuerdo con la Tabla 2.8 roca de muy buena calidad.

La Veta Murciélago emplazada presenta una potencia de 0,90 m. a 0,70 m. cinemáticamente dominada por fallas estructurales de régimen de rumbo (stepover extensional), delimitado por los planos de fallas a los hastiales de la excavación subterránea; presentado los mismos parámetros geotécnicos de la estación geomecánica 3 la Veta Murciélago, mineralógicamente presenta una composición masiva.

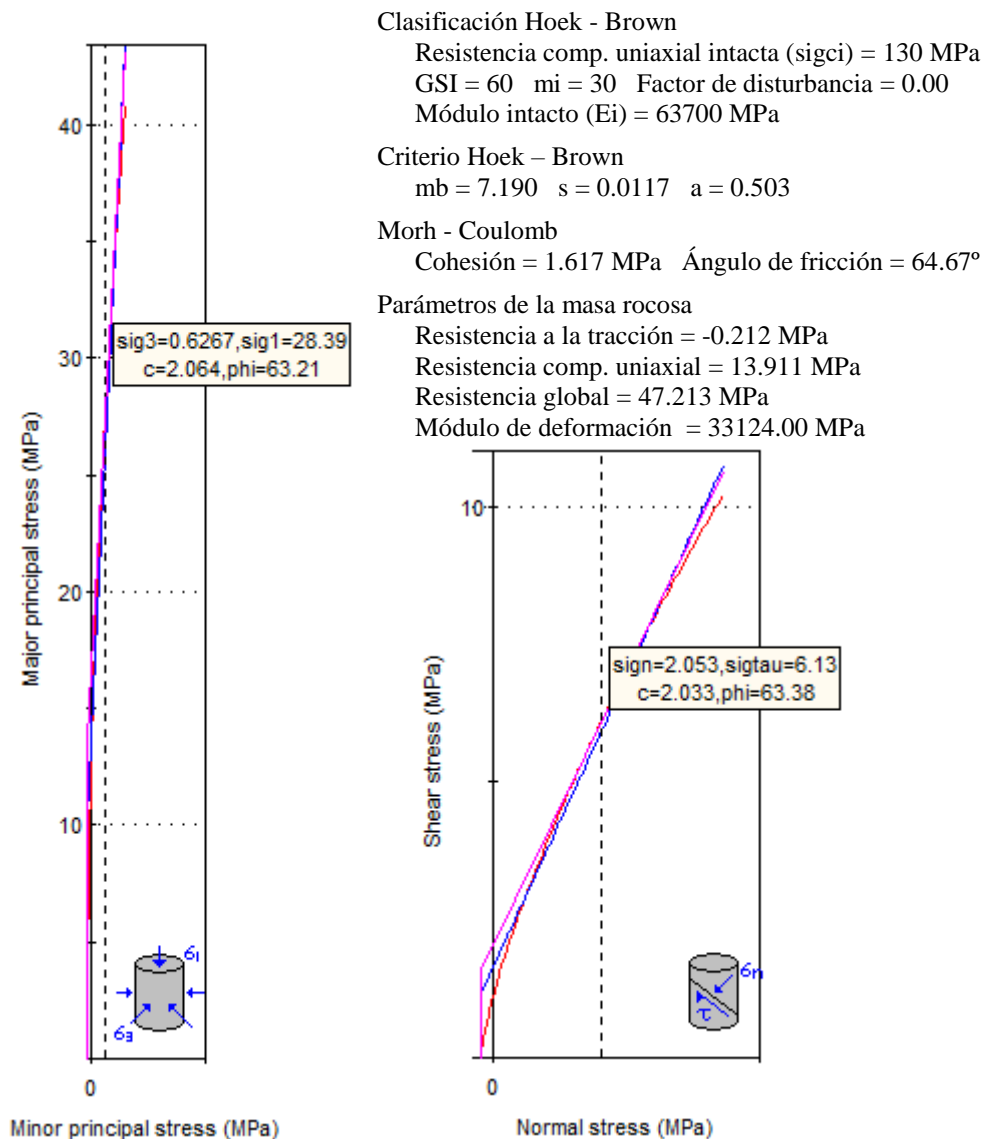


Figura 5.9. Representación gráfica de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso utilizando el RocData en relación a los criterios de linealización del método de la equivalencia de áreas - estación 4.

En la Figura 5.9, se visualiza la utilización los criterios lineal y no lineal por el método numérico (RocData), para determinar los parámetros de la masa rocosa y las

constantes elásticas. El valor $D = 0$, muestra que la sección de minado presenta el grado de disturbancia circundante es mínima, obteniendo valores de $s = 0,0117$ superiores a las otras estaciones geomecánicas y con altos valores en la c y ϕ° ; con moderado valor del Em . Finalmente efectuando la linealización por el método de equivalencia de áreas se obtuvo el confinamiento máximo $\sigma_{3m\acute{a}x} = 1,47$ y resistencia a la tracción $\sigma'_t = -0,212$ MPa la masa rocosa.

ESTACIÓN GEOMECAÁNICA 5: El hastial derecho de la estación geomecánica está compuesta de rocas andesíticas del Volcánico Chilete, ubicada desde PI. + 450,60 m. al PI. + 467,20 m.; de color gris verdusco, con bajos contenidos de plagioclasas ligeramente meteorizada y; el hastial izquierdo y la clave por la constante filtración de aguas subterráneas está altamente meteorizada, ocasionando en todo su lineamiento colapsos paulatinos dicha sección, compuesta por rocas de alteración argílica. Por consiguiente, en toda la superficie de la sección transversal se forman minerales que se abastecen o se enriquecen de la humedad. Las cuatro juntas de discontinuidades determinan el dominio geológico del macizo rocoso. La clasificación geomecánica presenta la siguiente secuencia: se utilizó el RQD de 1976 utilizando la metodología lineal a partir de frecuencias de discontinuidades donde $ND = 23$, en una longitud de $L = 2,00$ m. utilizando la ecuación 1 y 2, obteniendo un $RQD = 68,08\%$ clasificándolo en la Tabla 2.3 de buena calidad; El RMR_{89} se obtuvo a partir de la suma: σ_{ci} , RQD , las propiedades de las juntas y factor de orientación de juntas (Media, Tabla 2.6), obteniendo un $RMR = 57$ de calidad media clasificándolo por la Tabla 2.4; el criterio de utilización del GSI (Hoek y Marinos 2000) se obtuvo utilizando la Figura 2.2 en la interpolación de la estructura (Levemente fracturado) y condiciones superficiales (Regular), obteniendo un $GSI = 52$ y utilizando la Tabla 2.7 clasificándolo de calidad regular; y el resultado del Q (Barton, 1974), se basa en la estimación de seis parámetros independientes: $RQD = 68,08\%$, $J_n = 12$, $J_r = 2$, $J_a = 2$, $J_w = 0,66$, $SRF = 1$; utilizando la ecuación 3 se obtiene un $Q = 3,74$ y de acuerdo con la Tabla 2.8 roca calidad media. Generando constantes hundimientos y colapsos de la clave.

En la Figura 5.10, se visualiza la utilización los criterios lineal y no lineal, para determinar los parámetros de la masa rocosa y las constantes elásticas. El valor $D = 0,80$, muestra que la sección de la excavación presenta el grado de disturbancia circundante es alto extendiéndose 2 m. a 3 m. de afectación, obteniendo valores de $s = 0,0007$ leves en

función de las otras estaciones geomecánicas y con moderados valores en la c y φ° ; con leve valor del Em . Finalmente efectuando la linealización por el método de la tangente se obtuvo el esfuerzo de confinamiento $\sigma_{3\text{máx}} = 1,72$ y resistencia a la tracción $\sigma'_t = -0,047$ MPa la masa rocosa.

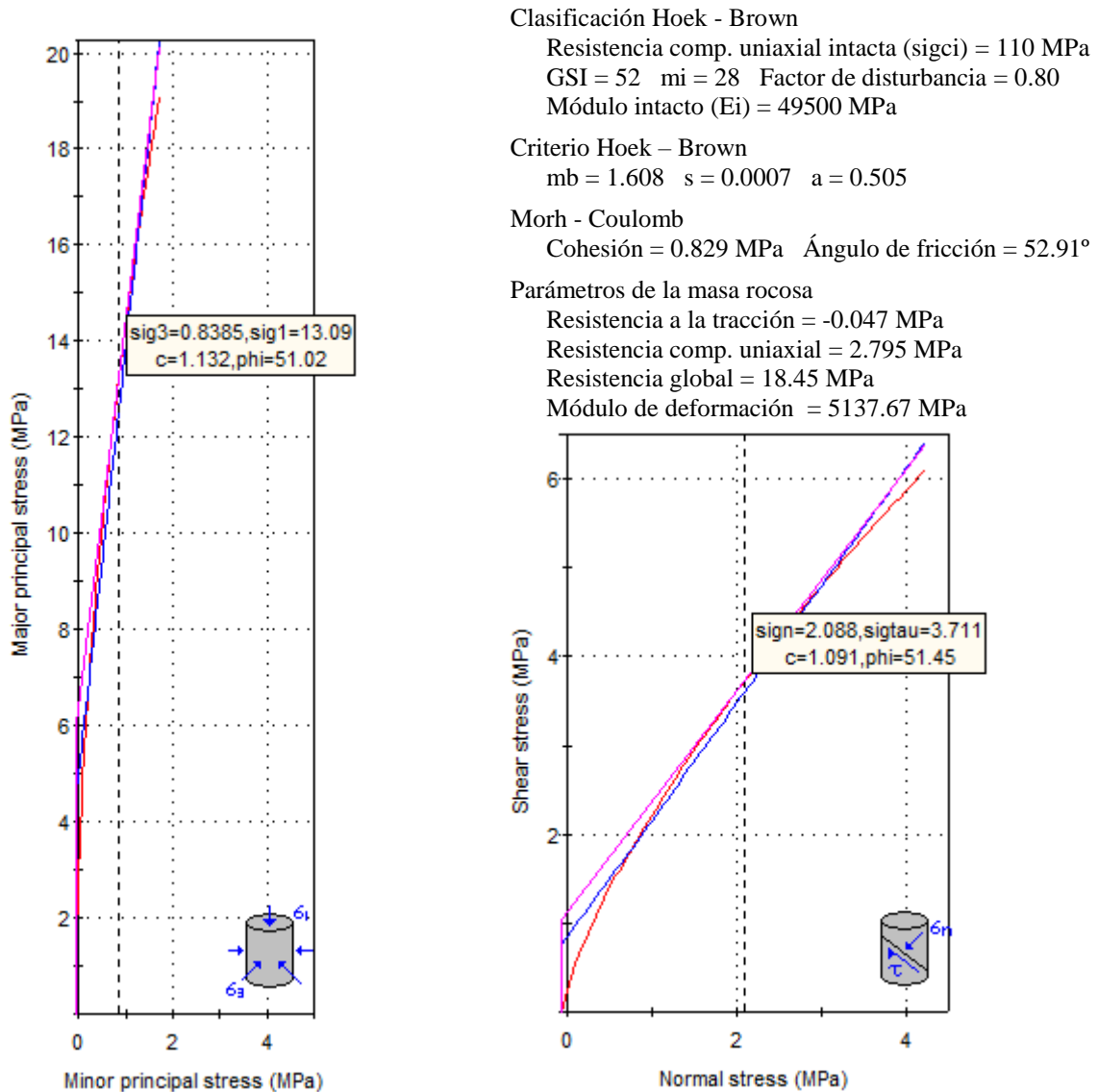


Figura 5.10. Representación gráfica de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso utilizando el RocData en relación a los criterios de linealización del método de la equivalencia de áreas - estación 5.

5.1.6 HIDROGEOLOGÍA

Hidrogeológicamente las circunstancias afectación y esponjamiento del entorno de la excavación subterránea en el macizo rocoso es por la presencia de agua como condición acelerante, para la estabilidad de las labores mineras. Los mapeos

observacionales demuestran la presencia de agua, logrando proporcionar opiniones hidrogeológicas de mayor incidencia de agua en las secciones subterráneas mayormente inestables en comparación con la menor efluencia de agua. Correlacionando litológicamente con los posibles problemas de esponjamiento o hinchamiento de las discontinuidades, que ejercen efectos negativos en la estabilidad de la excavación minera. El cartografiado hidrogeológico del túnel del Nivel 5 se ubica en el PI. + 105 m. mostrando indicios de percolación de agua subterránea ubicados en la clave y el hastial derecho del túnel, por su constante goteo de agua sobre todo de la clave al presenta un caudal $Q = 0.2 \text{ Lt./s.}$ ocasionando en la solera superficies de humedad puntualizada en este tramo. Al mismo tiempo los minerales como la epsomita se abastecen y recristalizan por la humedad que presenta la roca sobre todo en clave en una longitud de 2.50 m.

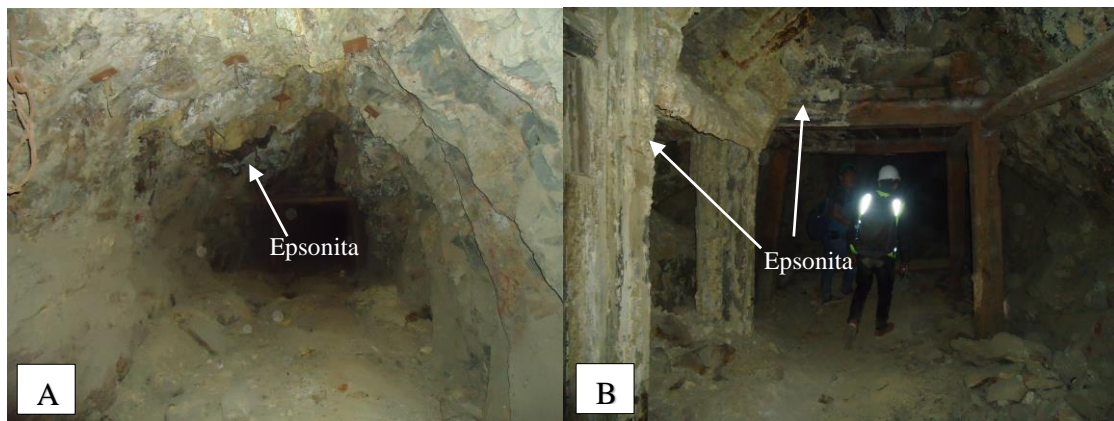


Figura 5.11. A. Túnel del Nivel 5 desde el PI. + 450 m. al PI. + 485 m. se observó la influencia de agua subterránea en la clave y hastiales; generando derrumbes sobre todo de la clave. B. Las filtraciones de agua están afectando al sostenimiento por cuadros de maderas en muchos de los casos deteriorándose.

Manifiestándose también en el PI. + 450 m. al PI. + 485 m. se encuentra la masa rocosa muy fractura y alterada sobre todo la clave y hastial izquierdo; relacionado con la orientación de la Veta Murciélagos estructuralmente dominada por la falla de orientación $N253^\circ - 49^\circ NW$ y pitch 36° ; interactuando como un dren de fluctuación de agua en este tramo por la constante humedad que está generando en toda la sección de la clave y hastiales, alojando minerales que se abastecen de esta humedad, por consiguiente afectando sobre todo a los marcos de maderas (sea el sostenimiento o tolvas hechas de madera), en muchos de los casos están deteriorándose por la constante humedad y en otros cubriéndose de superficies de minerales blanquecinos (epsomita), como se observa en la Figura 5.11 (B).

Por lo detallado anteriormente, en este nivel se está observando cada vez más inestabilidades progresivas y aceleradas; siendo el macizo rocoso el más afectado por: cargas litostáticas, tensiones, geoestructuras e hidrogeológicas, sobre todo por el abandono que complican las labores e instalaciones generando impactos como: desprendimiento de bloques, drenaje ácido de mina, putrefacción de maderos y levantamiento de partículas finas (Polvo). Como se detalla a continuación:

El desprendimiento de rocas es constante en sus instalaciones desde el ingreso hasta la parte final, no teniendo limpieza constante por las rocas que se acumulan, siendo acumulada en los hastiales de la excavación subterránea.

Por el bajo caudal que presenta el nivel freático no genera drenaje ácido de mina como contaminante en las instalaciones.

El deterioro de los cuadros de madera es constante generando gases tóxicos como metano en el ambiente y también por el apolillamiento de estos por no tener una humedad apropiada para su durabilidad.

El levantamiento de partículas es uno de los aspectos importantes porque genera pulverizaciones al momento de caminar, siendo muy contaminante por sus partículas finas que afectan la respiración de los trabajadores.

5.1.7 ESFUERZOS

Los resultados geomecánicos obtenidos de gabinete e ingresados al software RocData por cada una de las estaciones muestran diferentes valores en: magnitud de esfuerzos y deformaciones, relacionándolos con la distribución de esfuerzos de forma ascendente directamente proporcional con la profundidad de la excavación subterránea que soporta la carga gravitatoria del basamento rocoso y el coeficiente de reparto de tensiones. De acuerdo con las tensiones medidas insitu los valores obtenidos son menores $m < 1$ y mayores $\alpha > 45^\circ$, en relación con la elipse de deformación del DT, tomando como base las fisuras radiales por los taladros detonados que habían dejado por la actividad

Minera; analizando esta información se sugiere que la sección transversal del túnel debe ser en forma de Baúl, de acuerdo a la estimación de tensiones del macizo rocoso.

La Tabla 5.5, muestra los esfuerzos principales originados en el macizo rocoso por la excavación subterránea y los coeficientes de reparto de tensiones, calculados por la teoría de (Sheorey, 1994) para cada estación geomecánica en función de la altura de referencia de carga litostática (E-1 = 11,30 m., E-2 = 21,40 m., E-3 = 77,25 m., E-4 = 100,85 m. y E-5 = 135,40 m.); correlacionados con el RocData para mejores resultados de confiabilidad en la obtención de valores semejantes a los hallados en la data campo.

Tabla 5.5. Distribución de esfuerzos en el macizo rocosos relacionada con cada estación geomecánica.

Estaciones/ esfuerzos	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5
σ_1 (MPa)	0,310	0,610	2,050	2,680	3,240
σ_3 (MPa)	0,170	0,350	1,130	1,470	1,720
m	0,550	0,570	0,550	0,550	0,530

Para mejor interpretación se realizó el cartografiado geotécnico en función del Método de la detonación de taladros (DT), en cada nivel utilizando la investigación de referencia DT (Berrocal, 2015) determinando así la variación de los valores: m y α , en cada Nivel subterráneo. La Figura 5.12, se muestra las tres aureolas de deformación del mapeo geomecánico de cada Nivel, mostrando diferente ángulo de orientación mayor a 45° , detallándose a continuación: A. La aureola de deformación se ubica en el Nivel 4 en el tramo PI. + 350 m., con resultados: $m = 0,60$ y $\alpha = 47^\circ$, definidos por su diámetro mayor y menor. B. Se ubica en el Nivel 5 la aureola de deformación en el tramo PI + 535 m. (cuarto de máquinas) con un $m = 0,55$ (valor promedio de las estaciones geomecánicas y relacionadas con RocData 4.0) y $\alpha = 55^\circ$. C. Se ubica en el Nivel 6 la aureola de deformación en la tramo PI+ 200 m., con un $m = 0,48$ y $\alpha = 60^\circ$. Esquematizando con los resultados la magnitud de los esfuerzos y orientación de la elipse (aureola de deformación) de tensiones en la área del entorno de la excavación subterránea, para definir como está interactuando la ubicación y la redistribución de tensiones litostáticas en la periferie de la excavación subterránea en enlace con los valores de la Tabla 5.5. Como consecutivamente se demuestra los valores hallados en los modelos numéricos

(modelos híbridos) y analíticos en el diseño de la excavación y el análisis de interacción de roca – sostenimiento.

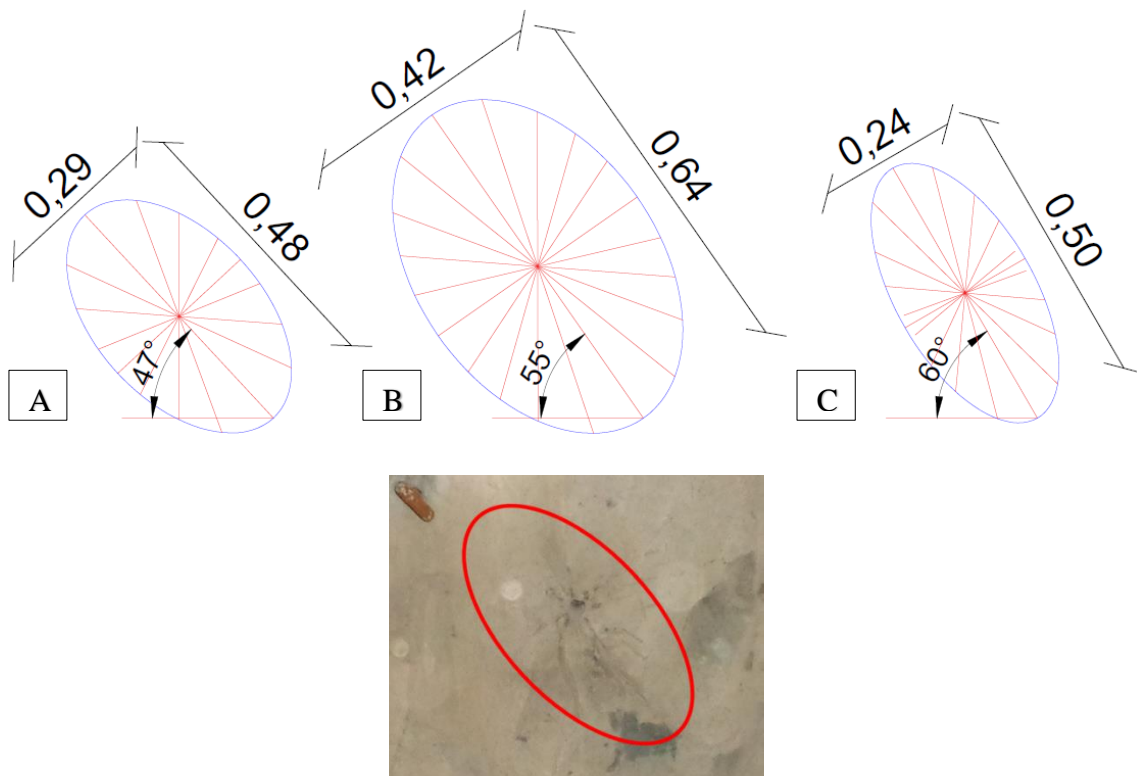


Figura 5.12. Elipsoide de deformación en función del DT: Nivel 4 (A), Nivel 5 (B) y Nivel 6 (C).

En la Tabla 5.6, se muestra los resultados delimitados por la interacción periférica de la excavación subterránea – roca, obteniendo valores de esfuerzos mucho menores por estar expuestos a mayores deformaciones por la abertura de avance de labor que es muy distinto a la Tabla 5.5 (Muestra resultados de la columna de roca vertical afectada por la subsidencia de inestabilidad por vectores: deformacionales y de desplazamiento), como se muestra en las unidades de análisis TM/m^2 . en cada una de las estaciones geomecánica, se obtuvo valor tensionales promedio que estarían siendo afectadas por el medio plástico de deformación y caída de bloques en toda su periferie subterránea, ocasionando una serie de eventos progresivos que tienen que ver con la altura de carga (H_p), propuesta por Terzaghi (1946) hasta llegar a su equilibrio tensional.

Las área de evaluación geológica realizada está relativamente ubicada a diferentes profundidades respecto a la superficie del terreno en cada una de las evaluaciones geotécnicas, relacionadas con la área de influencia directa de deformación,

obteniendo valores de altura de carga (H_p), utilizando la metodología propuesta por Terzaghi (1976), correlacionando y determinado valores de altura de deformación directa por caídas de roca.

Tabla 5.6. Distribución de esfuerzos en la periferie de la excavación relacionada con la altura de carga en cada estación geomecánica.

Estaciones/ esfuerzos	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5
σ_1 (TM/m ² .)	5,460	4,520	2,500	4,200	9,150
σ_3 (TM/m ² .)	3,000	2,490	1,400	2,310	5,030
m	0,550	0,550	0,550	0,550	0,550

En la Tabla 5.7, se muestra la altura de afectación, que dependerá de las características de la roca y de las dimensiones Ht y B del túnel; en relación a la ubicación de la estación geomecánica. Los valores muestran resultados muy variables desde 0,64 m. - 2,00 m., por los esfuerzos inducidos excediendo la resistencia de la roca, generando zonas de plastificación (Altura de afectación) progresiva en toda la periferie de la excavación subterránea en función: σ_θ , σ_r y $\sigma_{r\theta}$; en cada estación geomecánica hasta llegar al punto de equilibrio dominante de masa rocosa, comportándose como medio elástico que ira mejorando por efectos del confinamiento de la masa rocosa.

Tabla 5.7. Altura de carga en la periferie de la excavación relacionada con los esfuerzos tenso-deformacionales que gobiernan el comportamiento mecánico de la roca.

Estaciones/ Altura de soporte	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5
H_p (m.)	1,82	1,62	0,64	1,20	2,00

Las Tablas 5.8 y 5.9 muestra los resultados de probabilidad de falla aplicando la metodología de Potvin – Mathews 1988, sujeto al grado de estabilidad del tajeo que se expresa en función de N' , teniendo en cuenta Q de Barton y los factores de esfuerzos A , B y C ; para el dimensionamiento del minado progresivo en función de áreas y perímetros; para interpolar N' vs. S . La recuperación de mineral está sujeta a la estabilización por tramos de avance progresivo, con el área geomecánica. Las Tablas 4.8 y 4.9; muestran que la estación geotécnica E-1 se ubica en la zona de sostenimiento (geomecánicamente se encuentra ubicado en un tramo de zonamiento litológico de mala calidad la sección en

general), la E-2, E-3 están ubicadas en una zona estable (acotando que la estación E-2 se producen constantes caídas de bloques por el dominio de paleoesfuerzos estructurales; a diferencia de la estación E-3, no produciéndose dicho fenómeno), en cambio la E4 es ubicada en la zona de transición con sostenimiento (por las abertura que presenta en la clave de 0,90 m. en orientación de la Veta Murciélago de la sobre extracción de mineral la roca caja techo y piso) y la E-5 está ubicada en la zona de hundimiento, afectado notoriamente por la humedad.

Tabla 5.8. Análisis de estabilidad de excavaciones subterráneas.

Estación	Análisis de estabilidad N`				
	Q`	A	B	C	N`
E1	2,53	1	0,91	4,98	11,47
E2	12,88	1	0,92	6,58	77,97
E3	8,85	1	0,81	7,23	51,83
E4	12,94	1	0,88	6,10	69,46
E5	5,67	1	0,22	4,65	5,61

Tabla 5.9. Cálculo del radio hidráulico.

Estación	Radio Hidráulico				
	Lado x(m.)	Lado y(m.)	Área xy(m ² .)	Perimetro 2(x+y) m.	S=(A/P) m.
E1	32	11,30	361,60	86,60	4,18
E2	35	21,78	462,30	113,56	4,07
E3	20	78,44	1568,80	196,88	7,97
E4	50	102,41	5120,50	304,82	16,80
E5	60	137,49	8249,40	394,98	20,89

5.1.8 FACTOR DE SEGURIDAD

La metodología utilizada el software Phase² V8,0; utilizada se enmarca en modelos: analíticos y numéricos, capaces de utilizar el modelo híbrido conformada por: MEF-MEC, calculando interacciones de esfuerzos internos de la roca, materiales de soporte, deformaciones, zonas de plastificación, fluencia de materiales y factor de resistencia de roca. El programa consideró variables importantes que corresponden a las discontinuidades: espaciamiento, persistencia, abertura, orientación (Dip y Dip Direction) y caracterización geotécnica; como lo muestran las figuras de análisis de las secciones transversales, aparte de sus clasificaciones geomecánicas.

Los resultados descritos y considerados muestran la consistencia del programa en cada estación analizada por el software Phase² V8,0. Los diagramas muestran las frecuencias de intervalos de los SRF vs. los desplazamientos totales máximos del macizo rocoso, además de zonas de plastificación y vectores de deformación que van interactuando de acuerdo a las condiciones geomecánicas que presenta cada una de ellas. Las figuras además muestran aumentos progresivos del medio de plastificación, tanto de los elementos del macizo rocoso alrededor de la excavación; estando ligado con la disminución o aumentos de los volúmenes de bloques asociados con los escenarios de cálculo progresivo.

El análisis tenso-deformacional bidimensional enmarca el medio plástico de esfuerzos, eligiendo el método MEF y MEC. Para mejores discretizaciones del macizo rocoso se usó elementos triangulares de tres nodos (elementos parabólicos) para modelar la masa rocosa, con límite de distancia dos veces la excavación. Los desplazamientos máximos y mínimos del entorno del modelado son debidos a los efectos tensionales, parámetros de resistencia de juntas y módulos de elasticidad. Obteniendo resultados interesantes como a continuación se detalla:

El modelo computacional fue desarrollado en 3 etapas en cada estación: (1) Aplicación de carga debido al estado in-situ de esfuerzos gravitacionales, (2) simulación del factor de seguridad al frente de la excavación y (3) desplazamientos máximos y mínimos alrededor de la excavación.

5.1.8.1 ESTACIÓN GEOMECAÁNICA 1

En la Figura 5.13, se observa la representación litológica (la alteración argílica y roca traquiandesítica) y la Veta Murciélagos; de la sección subterránea con dimensiones de excavación: 4,00 m. H: 2,50 m.V, respecto a la profundidad vertical (superficie) ubicado a H = 11,30 m. del Nivel 5. Utilizando el modelo numérico híbrido compuesto por: MEF y MEC; para mejor discretización del macizo rocoso, en forma de triángulo obteniendo 3011 nodos y 3640 número de elementos discretizados, se obtuvo el FS = 0,54 como inestable por la distribución de colores que se observa en la leyenda delimitando el medio de plastificación y de contorno de factor de resistencia de la roca alrededor de este medio deformacional.

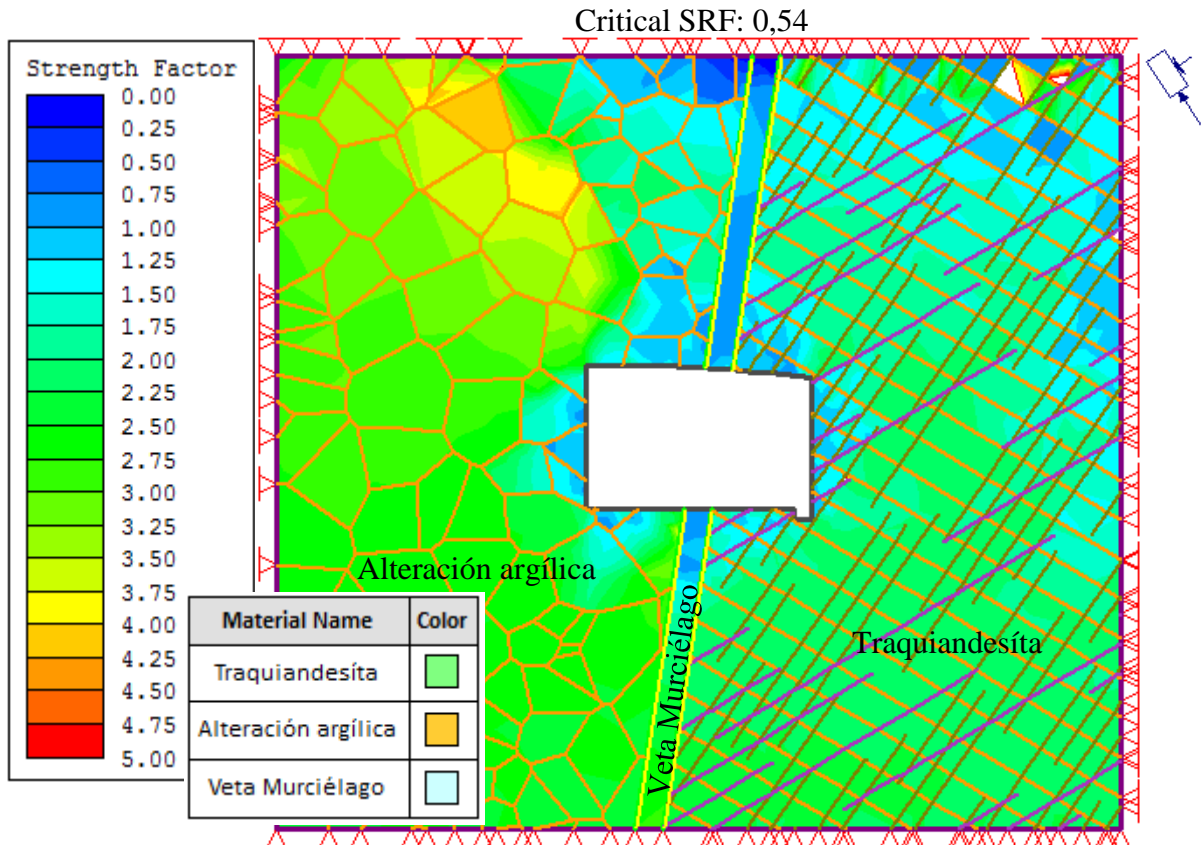


Figura 5.13. Representación litológica y Veta Murciélago de la sección subterránea 4,00 m. x 2,50 m. de la estación geomecánica 1.

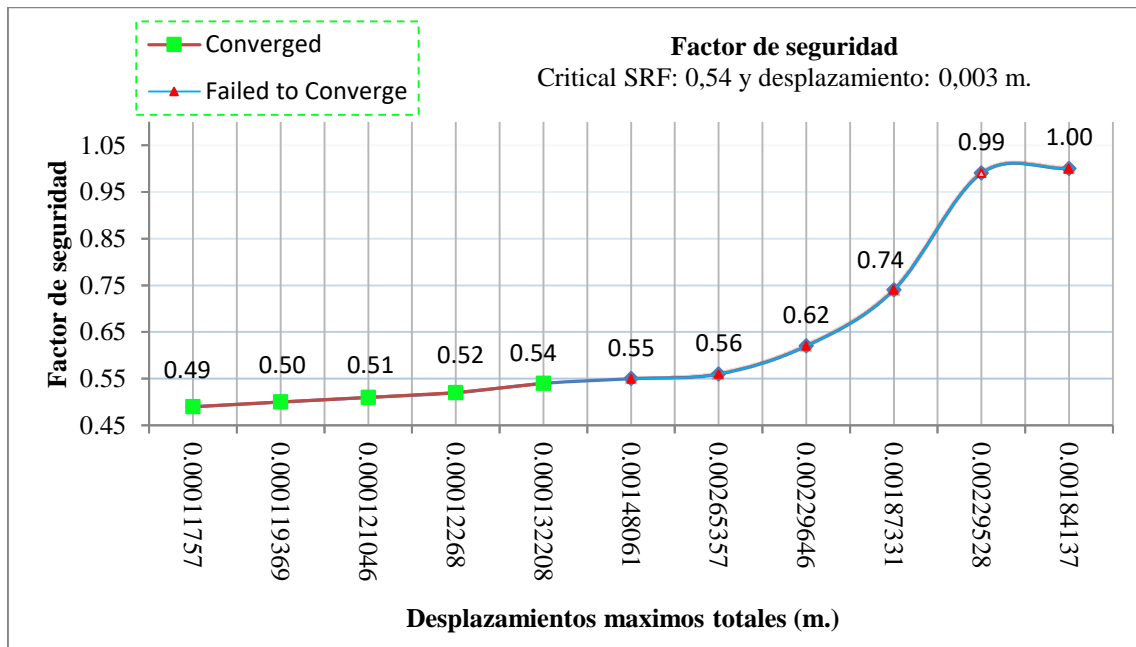


Figura 5.14. Gráfica de frecuencias muestra la serie de intervalos de SRF vs. desplazamientos totales máximos, obtenido por 11 interacciones de valores de la estación geomecánica 1.

La Figura 5.14, muestra la serie de intervalos entre el SRF vs. desplazamientos totales máximos, obtenido 11 interacciones de resultados, desde 0,49 hasta 1,00; considerándose como una excavación inestable de acuerdo a los parámetros geomecánicos y la reporte del software; relacionados con convergencias y fallas de convergencia en la periferie de la excavación.

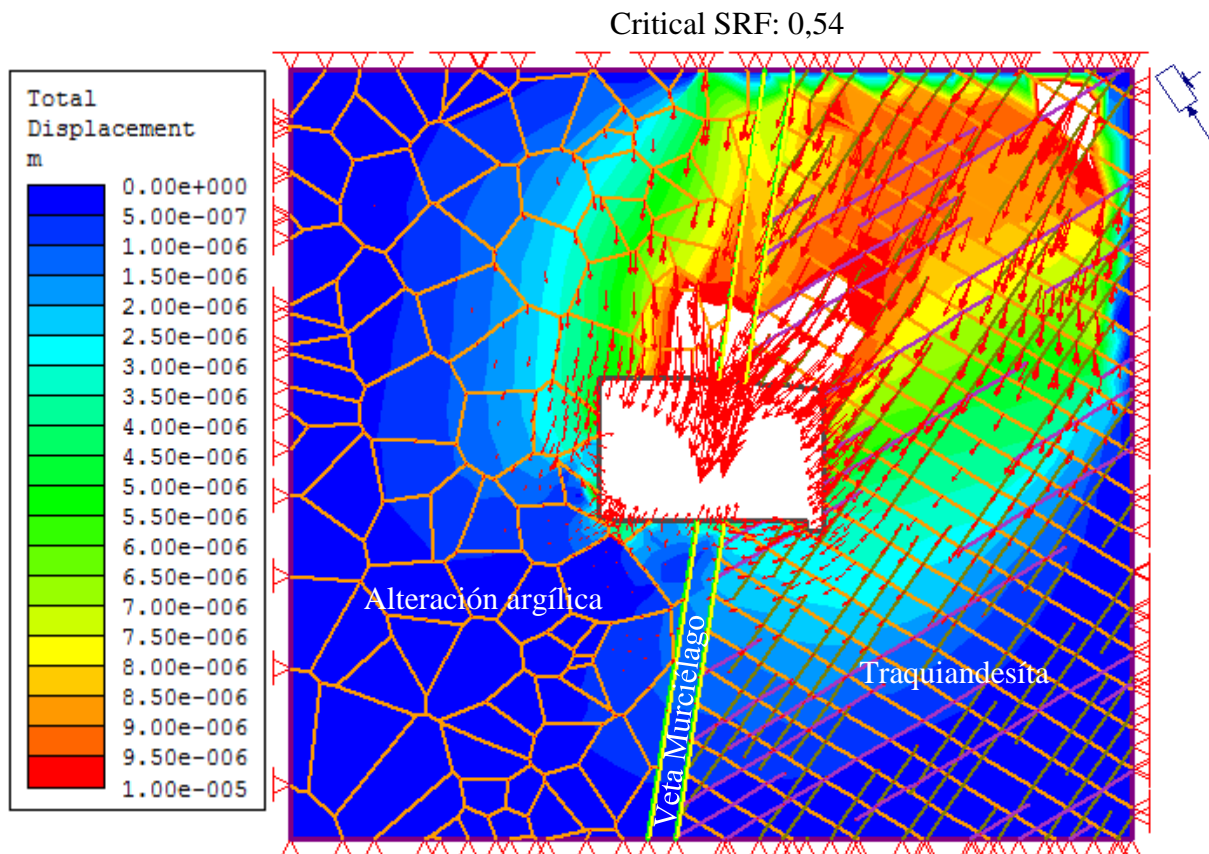


Figura 5.15. Vectores y contornos de desplazamiento total en la sección transversal de la estación geomecánica 1.

En la Figura 5.15, se visualiza las trayectorias de los espectros de contorno en función de colores relacionados con las tensiones principales (mayor y menor) que se producen alrededor de la excavación sobre todo en la parte superior de la sección transversal, sometido a un campo tensional biaxial (2D). Los vectores de contorno se concentran en la periferie excavación mostrando la deformación que está ocurriendo en la realidad, obteniendo un desplazamiento total de 0,003 m. por el software, repercutiendo la mayor concentración de vectores de deformabilidad en la clave del túnel, con orientación NW-SE, congruente por los desplanchamientos progresivos que se producen

aquí por las cargas gravitatorias y por el tipo de alteración argílica sobre todo compuesto en la clave y el hastial izquierdo de este tramo.

5.1.8.2 ESTACIÓN GEOMECÁNICA 2

En la Figura 5.16, se muestra la litología traquiandesítica, Veta Murciélago y la falla inversa; en esta sección subterránea con dimensiones de minado 3,05 m. H: 3,20 m. V; respecto a la profundidad vertical H = 21,40 m. del Nivel 5, se utilizó el modelo híbrido: MEF y MEC; para mejores discretizaciones del macizo rocoso, con 8474 número de nodos y 9380 elementos de cálculo discretizados; reportando un FS = 2,35 de estabilidad por el modelo numérico (Phase² V8,0), delimitado por el espectro de colores la área de afectación en el entorno de la excavación, definiéndose claramente el medio: plástico y elástico, en el contorno del factor de resistencia.

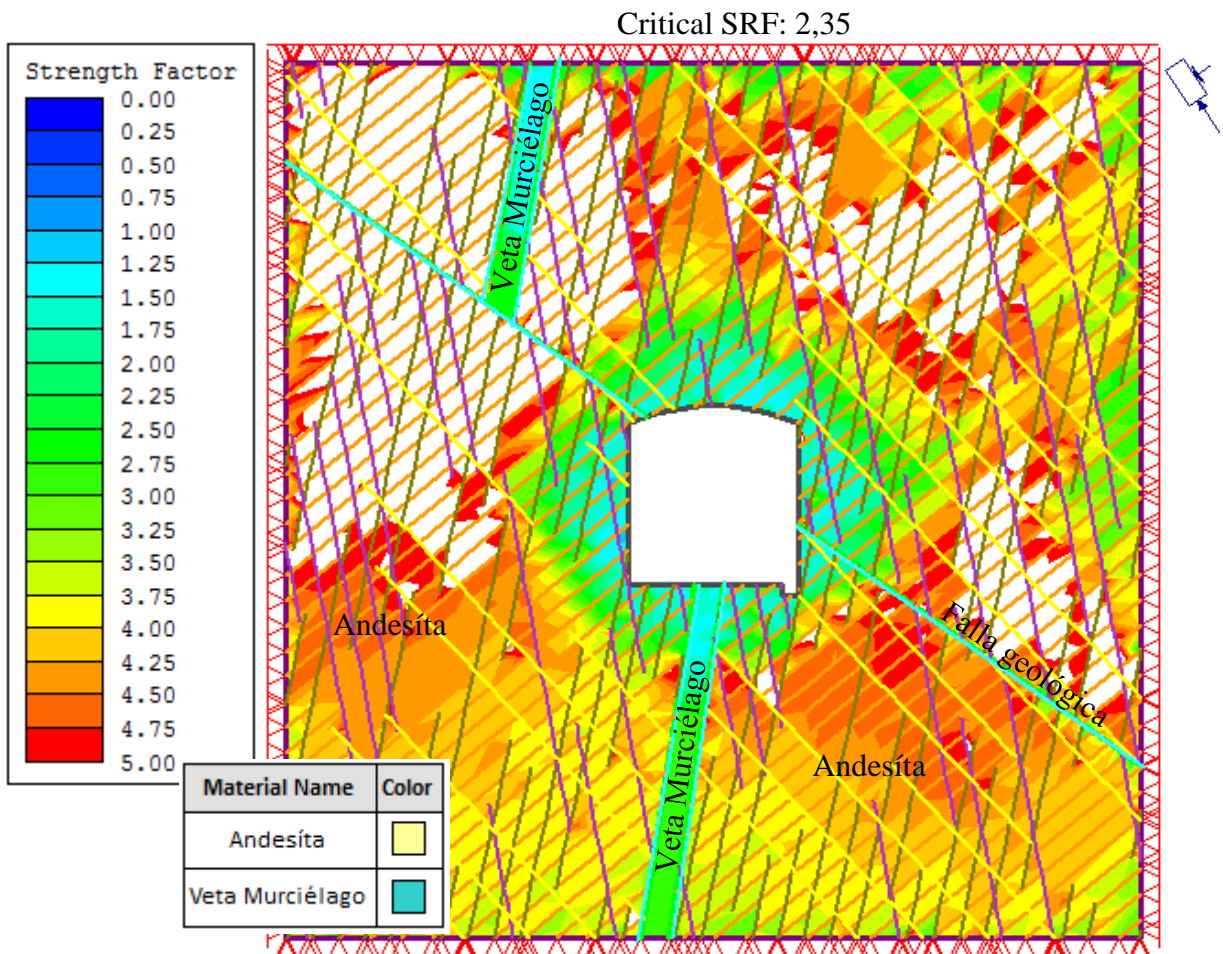


Figura 5.16. Representación de la litológica y Veta Murciélago; afectado por la falla inversa la sección subterránea 3,05 m. x 3,20 m. de la estación geomecánica 2.

En la Figura 5.17, se visualiza una serie de intervalos de SRF vs. desplazamientos totales máximos, obtenido 13 interacciones de valores de SRF desde 1,00 hasta 3,05; de sección influenciada; considerándose con una sección estable relacionados con convergencias y fallas de convergencia, ocasionando mínimos desplazamientos en el área de influencia perimétrica de excavación.

En la Figura 5.18, se muestra vectores y contornos de desplazamiento de 0,007 m. en la sección transversal de la estación geomecánica 2, repercutiendo en la mayor concentración de vectores de deformabilidad con la falla geológica de orientación NW–SE, generando zona de concentración vectorial sobre todo en la proyección de la falla geológica. La interpretación deformacional del túnel muestra que la mayor concentración está ubicada en la parte superior derecha del hastial y central de la clave; generando acortamiento compresivo de deformación.

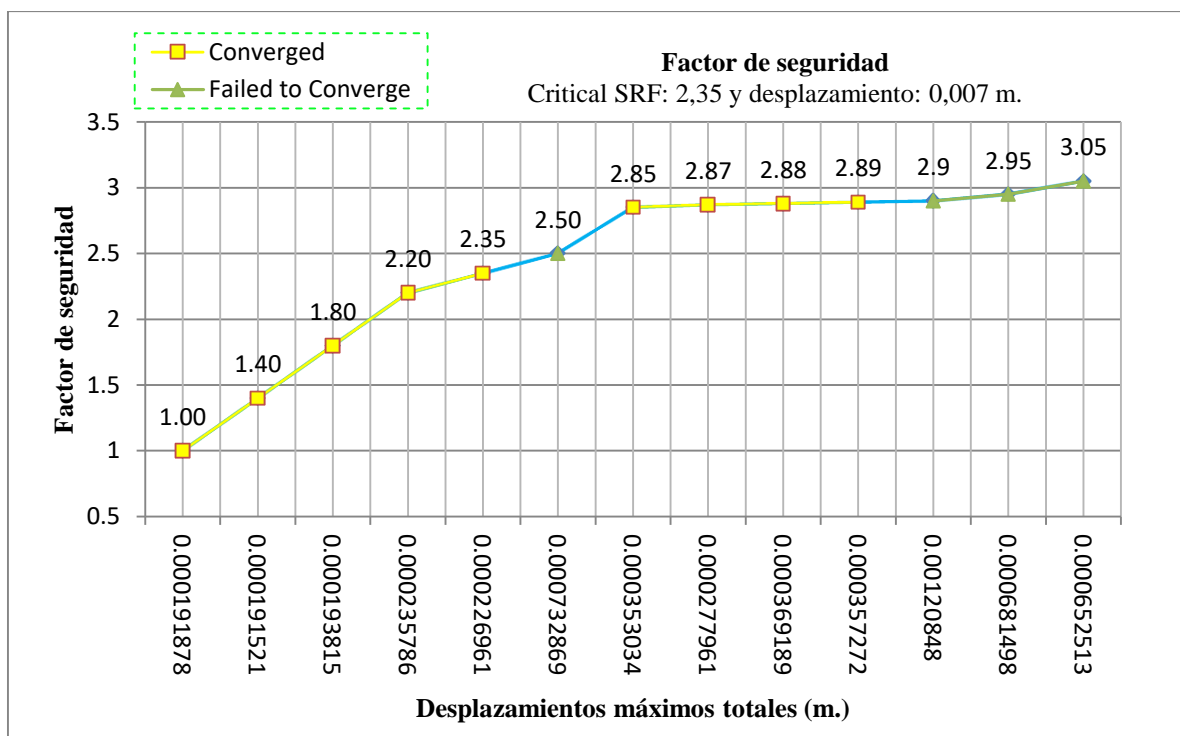
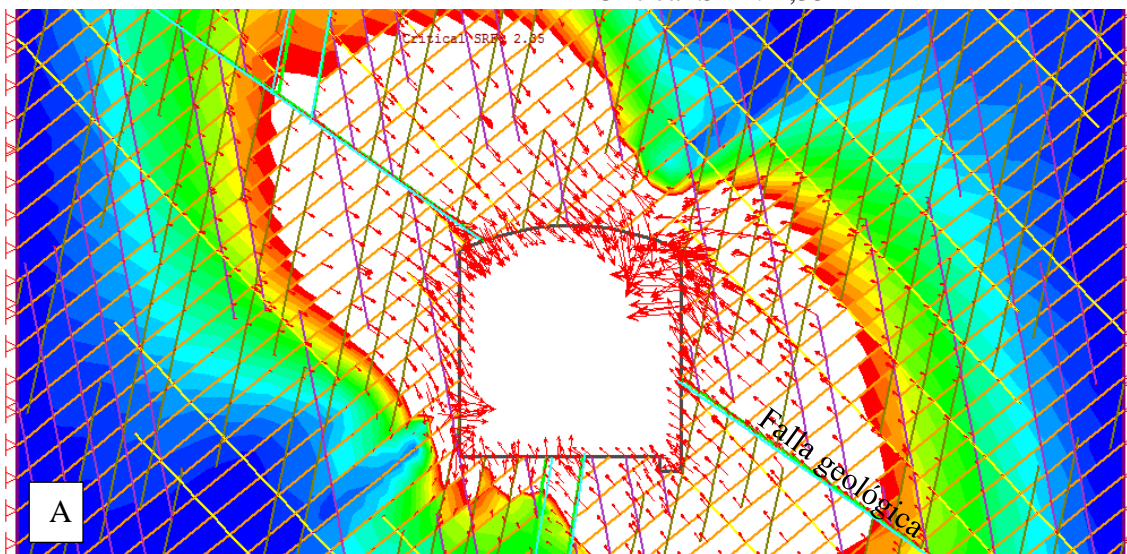


Figura 5.17. Gráfica de frecuencias muestra la serie de intervalos de SRF vs. desplazamientos totales máximos, obtenido por 13 interacciones de valores de la estación geomecánica 2.

Critical SRF: 2,35



Critical SRF: 2,35

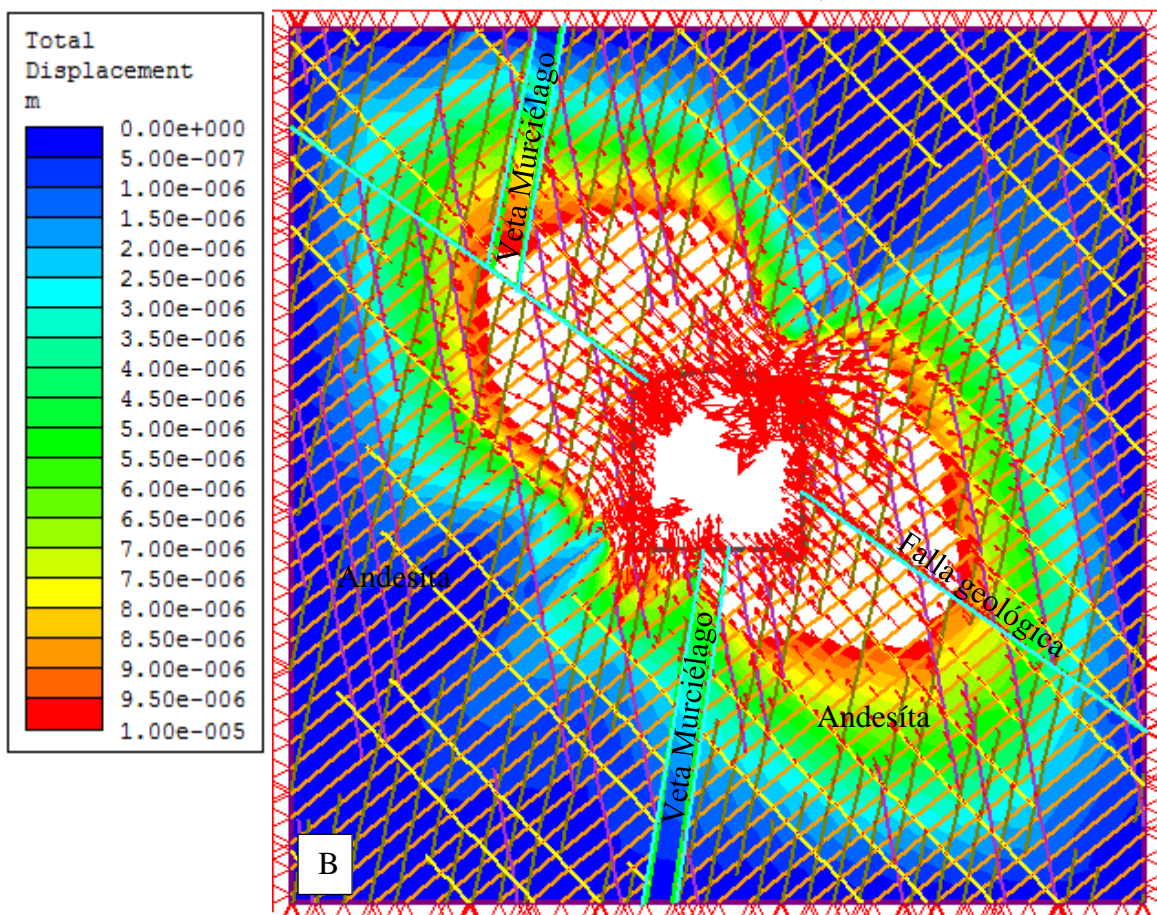


Figura 5.18. A. Visualización del método discontinuo, obteniendo espectros de contorno muy dispersos en relación de distribución de discontinuidades cartografiadas de campo B. Vectores y contornos de desplazamiento ligados con el alineamiento de la falla, en la sección transversal de la estación geomecánica 2.

5.1.8.3 ESTACIÓN GEOMECÁNICA 3

En la Figura 5.19, se muestra la composición litológica compuesta: roca andesita y el emplazamiento subvertical de la Veta Murciélago (buzamiento 85°SW) y el esquema de interacción de esfuerzos. La sección de minado subterráneo presenta las siguientes dimensiones 2,92 m. H: 3,55 m. V, de galería con una profundidad 77,25 m. del Nivel 5. El modelo matemático utilizando para discretizar el macizo rocoso es: MEF y MEC; logrando su procesamiento con 6254 nodos y 7428 número de elementos de interacción discretizados, obteniendo un $FS = 3,42$ en la sección transversal, delimitado por sus valores numéricos superiores al valor promedio sugerido de $FS = 1,50$. Consignándose en el análisis como un medio completamente elástico en toda su periferie de la excavación por su disposición de tonalidades de colores como se muestra en la Figura 5.19.

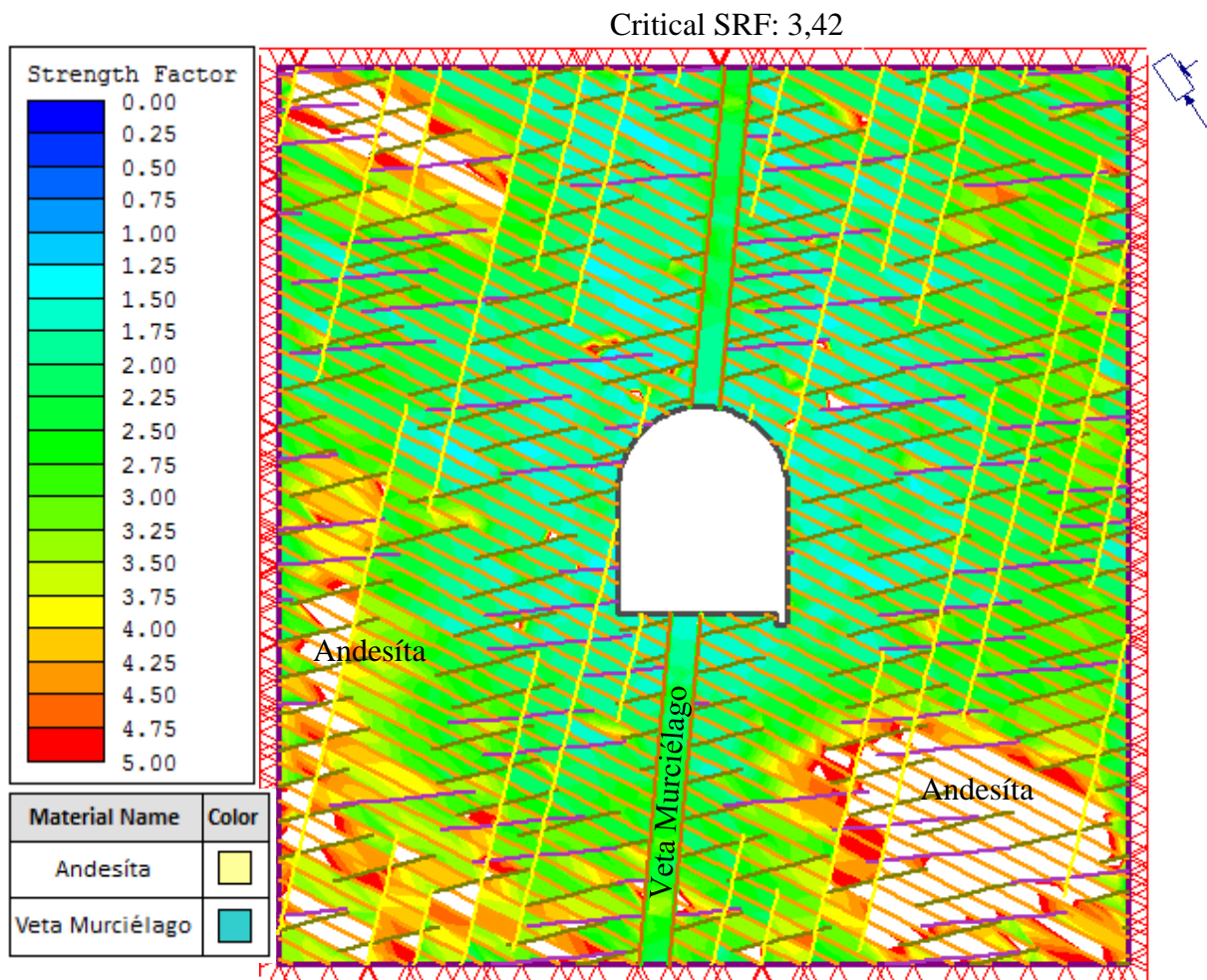


Figura 5.19: Representación litológica y Veta Murciélago; de la sección subterránea 2,92 m. x 3,55 m. de la estación geomecánica 3.

En la Figura 5.20, se muestra de forma estadística los intervalos de SRF vs. desplazamientos máximos totales, obtenidos por 16 interacciones de valores desde 1,00 hasta 3,60; correlacionándose con valores de convergencia y fallas de convergencia. Observándose notoriamente el incremento progresivo en esta Figura 4.20, con la estructura de la masa rocosa, reportando desplazamientos mínimos de 0,114 m. en toda la periferie de la excavación.

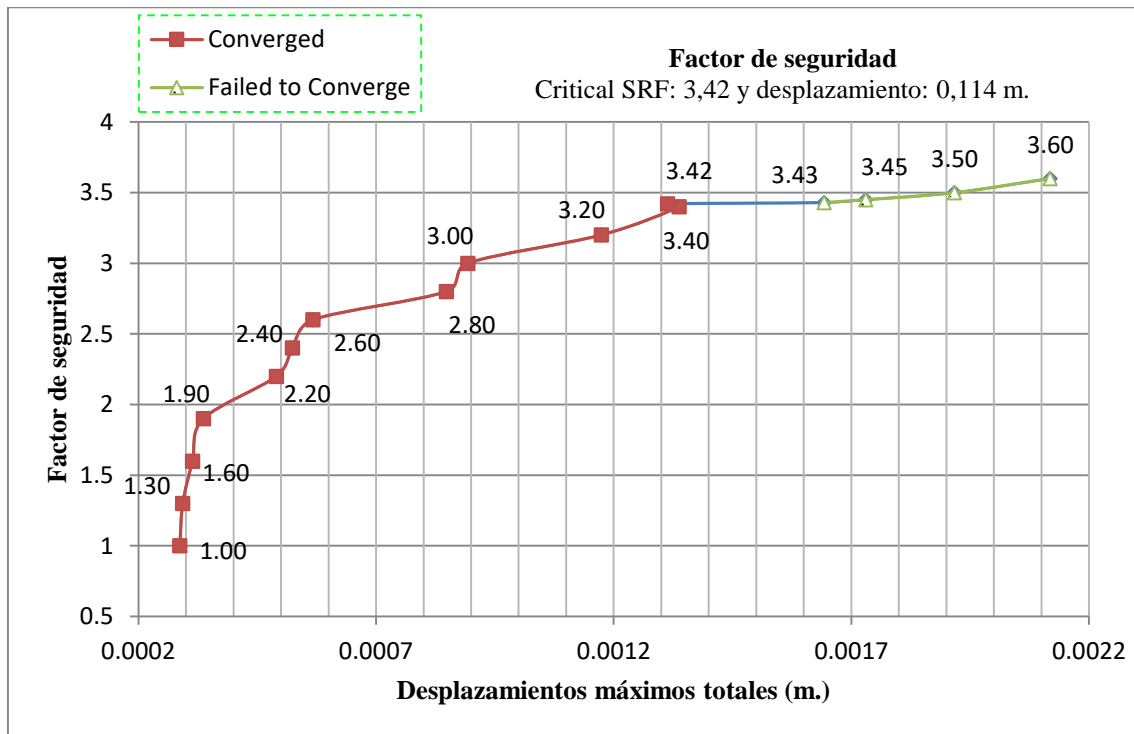
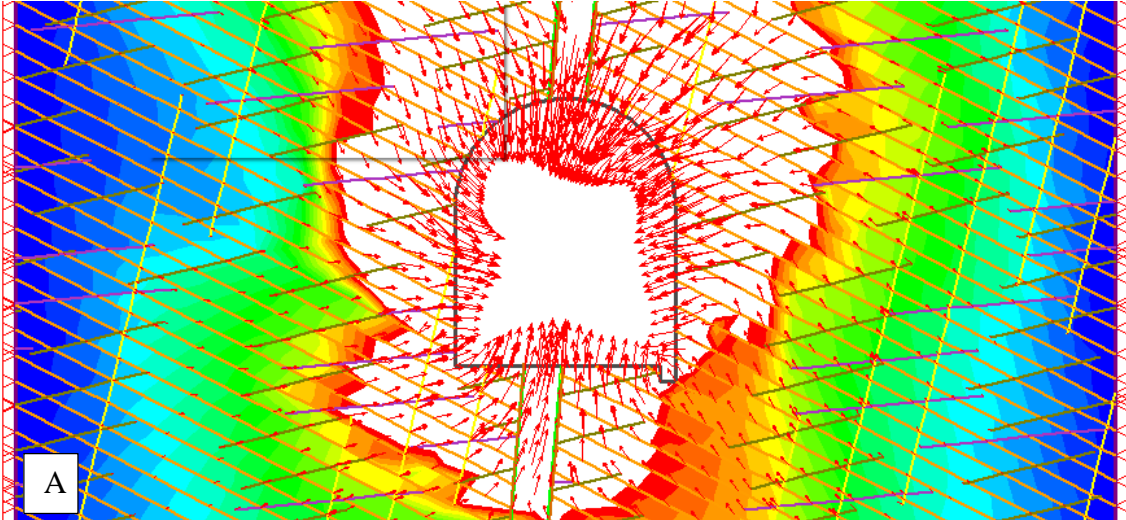


Figura 5.20: Gráfica de frecuencias muestra la serie de intervalos de SRF vs. desplazamientos totales máximos, obtenido por 16 interacciones de valores, de la estación geomecánica 3.

En la Figura 5.21, se visualiza la dirección de flujo vectorial y contorno de desplazamiento total en la sección transversal de la estación geomecánica 3, repercutiendo de mayor concentración de vectores de deformabilidad relacionado con la orientación NNE–SSW con la Veta Murciélagos. Observándose que la mayor incidencia está ubicada en la clave y la solera; generando mayor concentración vectorial y desplazamiento en la clave, con desplazamientos totales promedio de 0,114 m.

Critical SRF: 3,42



Critical SRF: 3,42

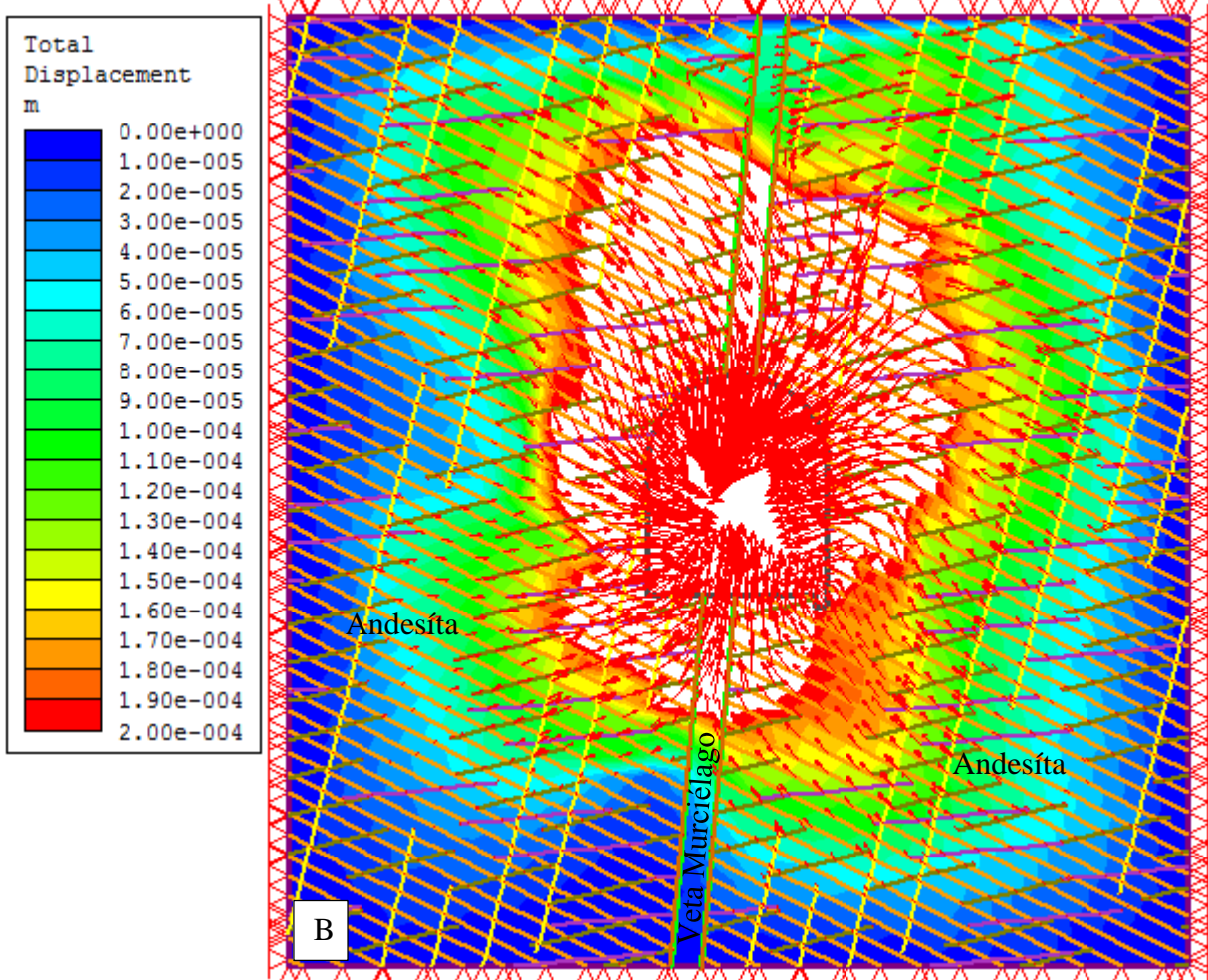


Figura 5.21: Muestra la deformación de la excavación subterránea periféricamente homogénea, originando mayor deformación en la clave y solera. B. Vectores y contornos de desplazamiento que afectan a la excavación perimetralmente de 3,20 m. a 4,00 m. en el espectro de contornos deformacionales de la estación geomecánica 3.

5.1.8.4 ESTACIÓN GEOMECÁNICA 4

En la Figura 5.22, se observa la composición litológica; con dimensiones de explotación subterránea minables de 3,00 m. H: 6,00 m. V y la notable sobre explotación 0,90 m. de potencia con proyección vertical en el sentido de la veta de 2,20 m. en la clave, ubicada a profundidad vertical de 100,85 m. de carga litostática; utilizando modelo híbrido de análisis: MEF y MEC; para mejores discretizaciones del macizo rocoso se obtuvo del proceso 3205 nodos y 3729 número de elementos discretizados, obteniendo un FS = 3,47 como estable. Correlacionando con la evaluación geomecánica de campo que reporta que es una roca de calidad buena por su matriz rocosa isotrópica, comportándose la periferie de la excavación como un medio de elástico y la presión de confinamiento adecuado del macizo rocoso.

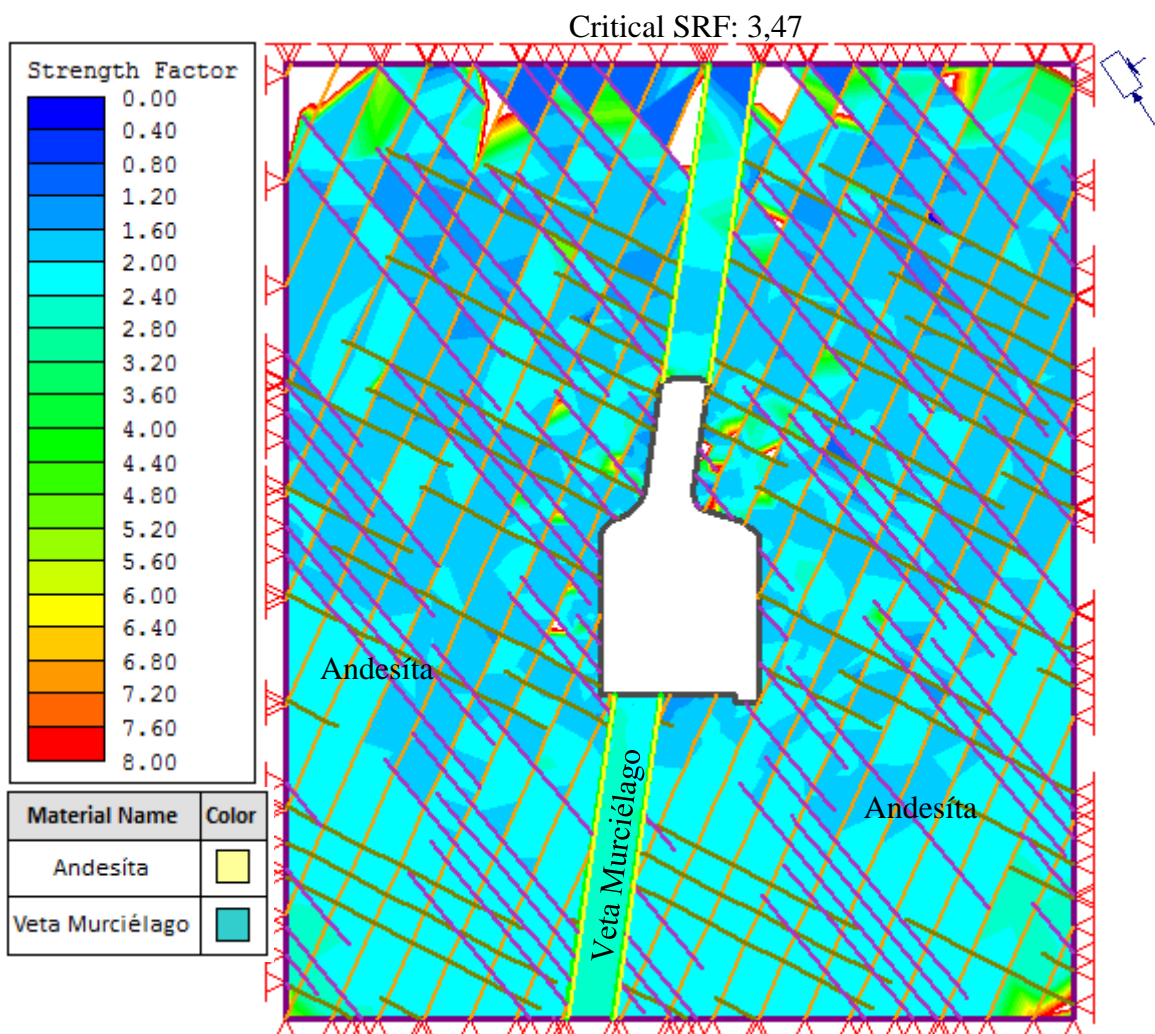


Figura 5.22: Representación litológica de la sección subterránea 3,00 m. x 6,00 m. del Nivel 5 de la estación geomecánica 4.

En la Figura 5.23, se muestra la gráfica de frecuencias por la serie de intervalos de SRF vs. desplazamientos totales máximos, obteniendo 16 interacciones de valores desde 1,00 hasta 3,83; incrementando progresivamente hasta 3,47 con convergencias paulatinas, luego presenta un comportamiento lineal 3,48 y decreciente 3,83 relacionados con fallas de convergencia y desplazamientos del macizo rocoso.

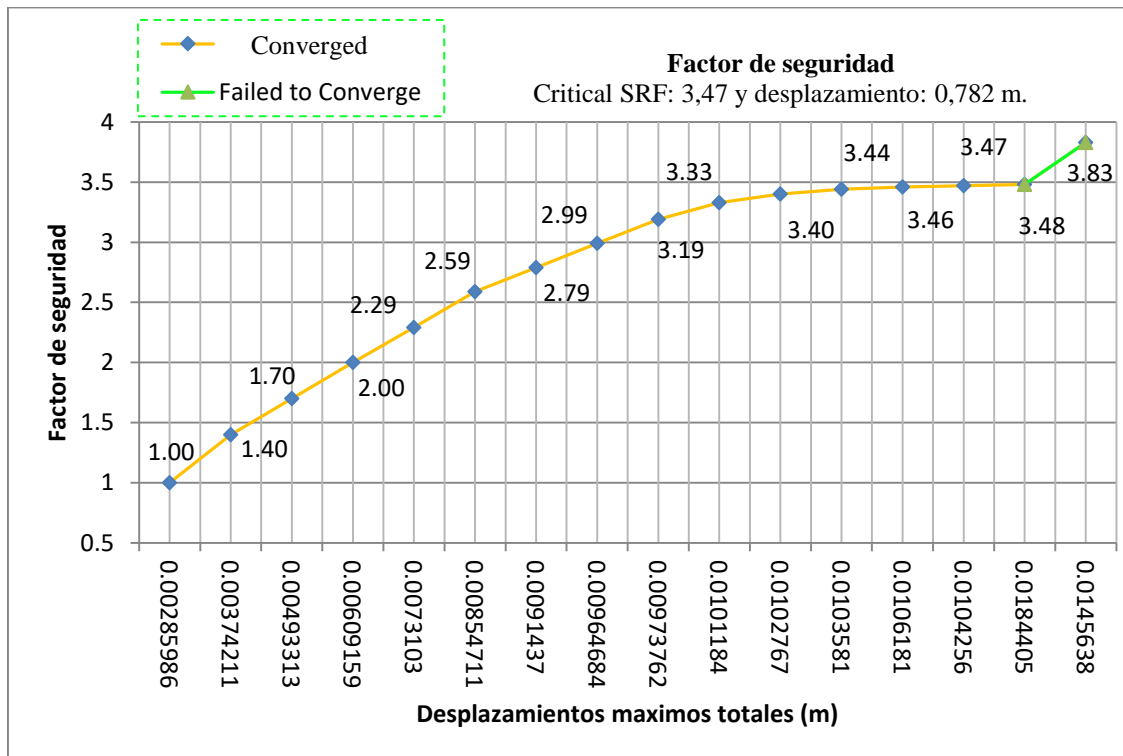
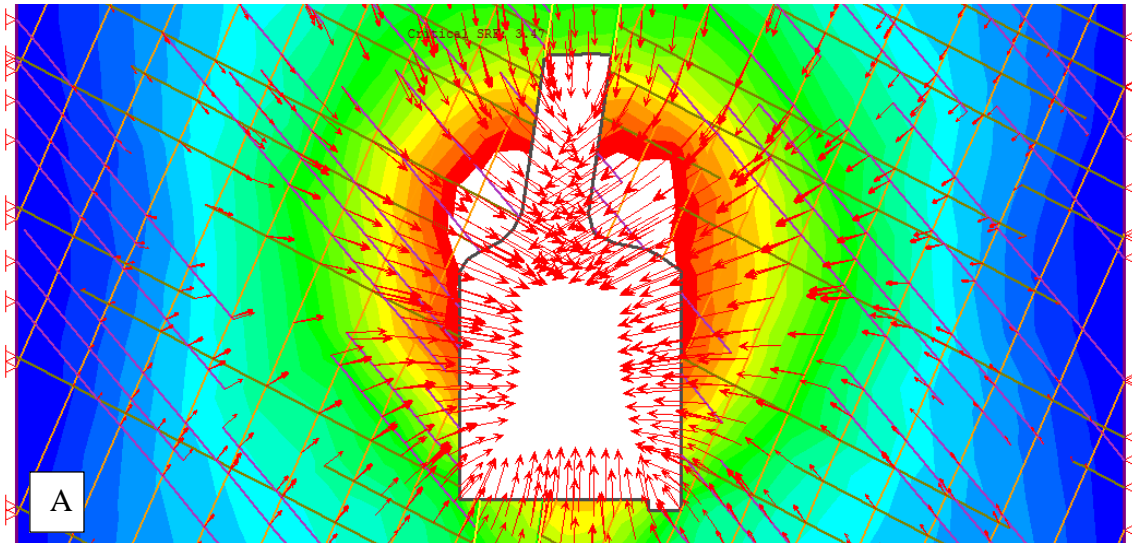


Figura 5.23: La gráfica de frecuencias muestra la serie de intervalos de SRF vs. desplazamientos totales máximos, obtenido por 16 interacciones de la estación geomecánica 4.

Critical SRF: 3,47



Critical SRF: 3,47

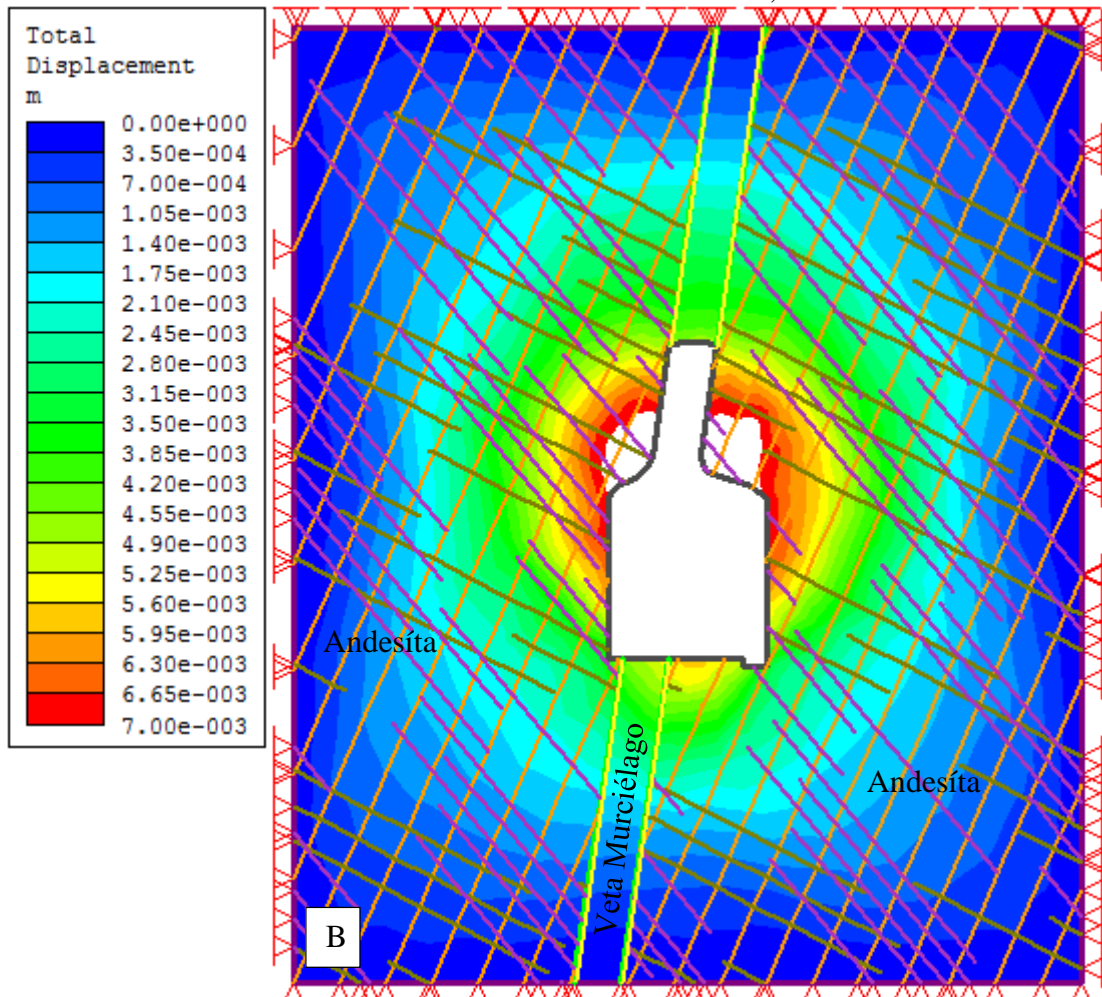


Figura 5.24: A. Flujo de vectores distribuidos simétricamente en la periferie de la excavación generando deformaciones homogéneas por las condiciones de la roca caja techo y piso B. Contornos de desplazamiento en la sección transversal de la estación geomecánica 4, afectando periméricamente con profundidades: 2,50 m. a 3,10 m.

En la Figura 5.24, se observa el flujo de vectores y las aureolas de desplazamiento progresivo en relación de la leyenda de colores como se muestra en la sección transversal, repercutiendo la mayor concentración de vectores de deformación en la periferie, relacionado con la orientación del diagrama de flujo, englobando comportamientos isotrópicos, en toda la periferie de la excavación subterránea por la distribución homogénea, con desplazamientos totales promedio de 0,782 m. Se evaluó que tiene deformaciones de compresión por el comportamiento por la aureola del flujo de vectores, en toda la periferie de excavación subterránea, de acuerdo con los mapeos geomecánicos de los niveles superiores e inferiores de esta mina han realizado galería subterránea en el mismo sentido ocasionando descompensación progresiva en esta sección como se muestra en la Figura 5.24

Acotando que esta sección necesita sostenimiento por puntales, para evitar posibles compresiones y deformación progresivas por la gran cavidad subterránea generada, sobre todo por la deformación homogénea de la caja techo y piso.

5.1.8.5 ESTACIÓN GEOMECÁNICA 5

En la Figura 5.25, se muestran dos tipos de litologías, la veta y la influencia de humedad en la roca siendo la parte más afectada el hastial izquierdo por la composición argílica que presenta, en comparación con el hastial derecho compuesto de roca andesita. Sin embargo geomecánicamente la estación está ubicado en una zona acceso al cuarto de máquinas, winche, refugio y buzón metálico. Por consiguiente el dimensionamiento subterráneo de la sección minada en estas labores es 3,20 m. H x 4,30 m. V; ubicada verticalmente a la profundidad de 135,40 m. La utilización del modelo matemático se efectuó en combinación con dos métodos: MEF y MEC; para mejores discretizaciones del macizo rocoso, con valores obtenidos 1411 interacciones de nodos y 1929 elementos discretizadores, obteniendo el FS = 0,54 la sección transversal. Siendo un excavación inestable por no superar el FS = 1,50 sugerido por la geomecánica. Mostrándose claramente el área de influencia directa por el medio: plástico, elasto-plástico y elástico, que está ocurriendo en la excavación subterránea.

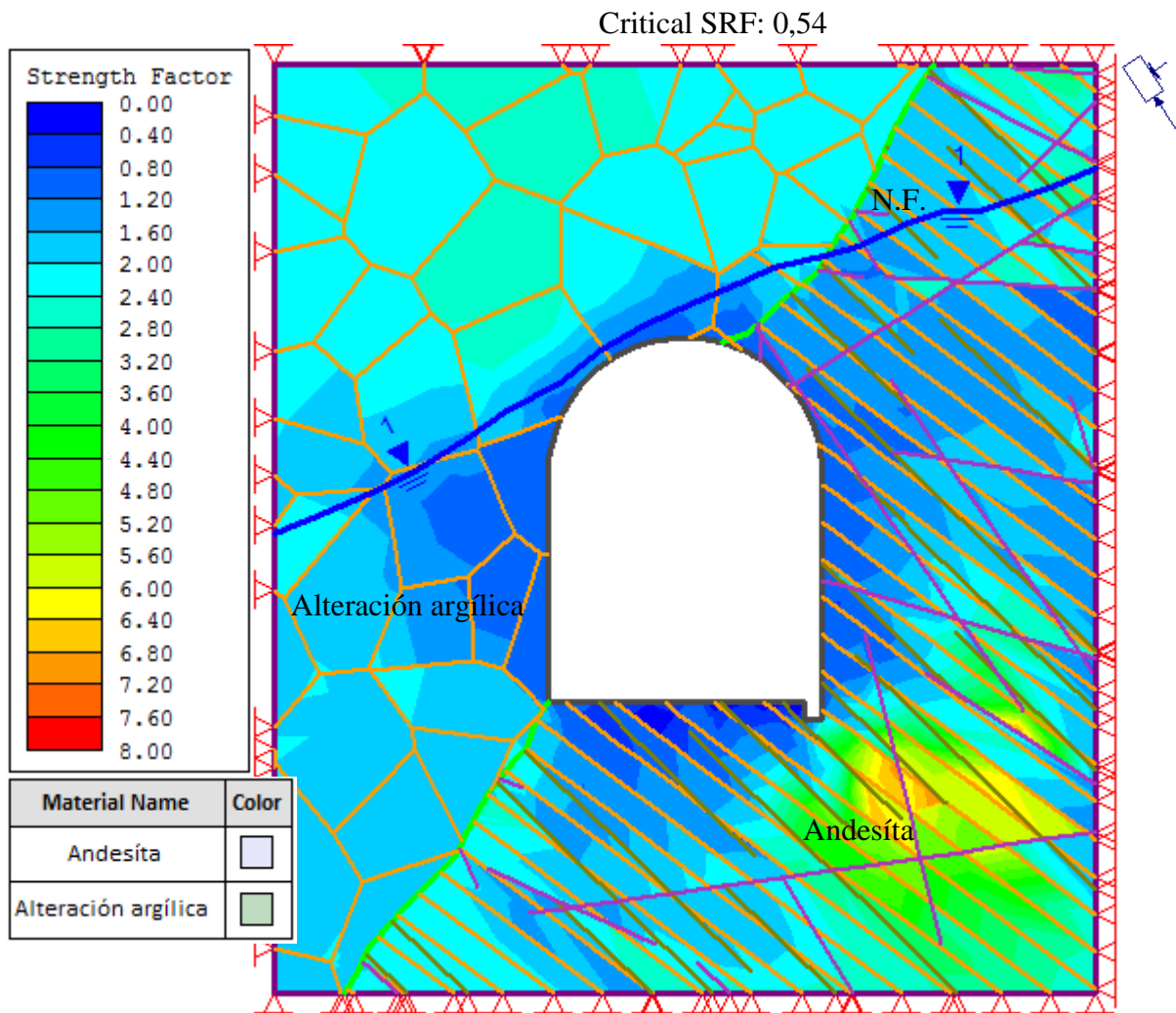


Figura 5.25: La litología de este tramo está influenciada por agua subterránea siendo la parte más afectada el hastial izquierdo de la sección subterránea 3,20 m. x 4,30 m. de la estación geomecánica 5.

En la Figura 4.26, se muestra la gráfica de frecuencias de intervalos del SRF vs. desplazamientos totales máximos, obtenido 11 interacciones de valores desde 0,49 hasta 1,00; por el procesamiento del modelo matemático. Conformando valores de aumento progresivo de convergencias hasta el 0,54 y resultados de fallas de convergencia desde 0,55 – 1,00.

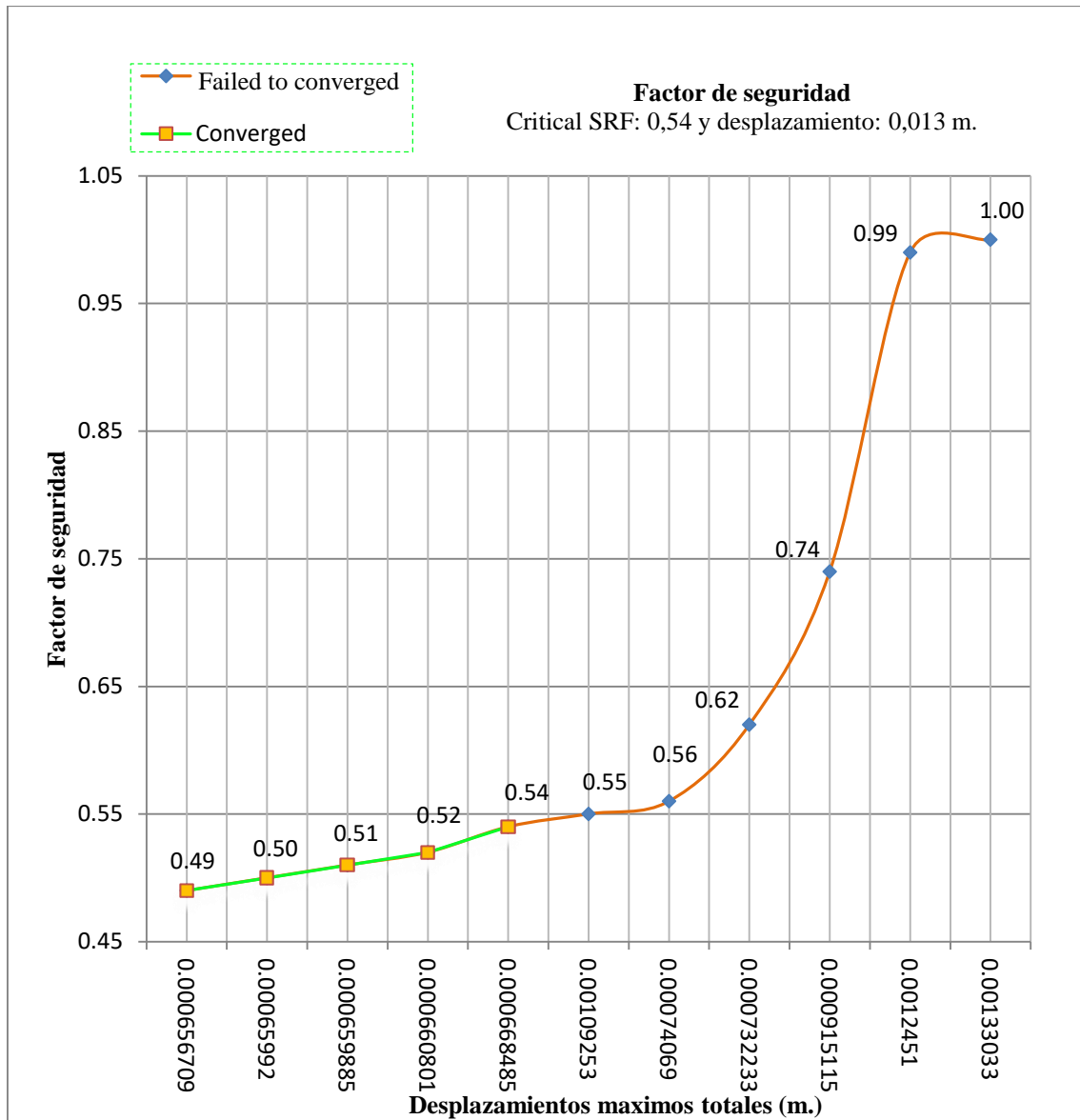


Figura 5.26: Gráfica de frecuencias muestra la serie de intervalos de SRF vs. desplazamientos totales máximos, obtenido por 11 interacciones de valores de la estación geomecánica 5.

En la Figura 5.27, se visualiza vectores y aureolas de contorno de desplazamiento en la sección transversal, repercutiendo la mayor concentración del flujo vectorial relacionado con la orientación NE-SW, como se muestra en la Figura 4.25. Analizando que la mayor incidencia deformacional se ocasiona en el hastial derecho y la solera, por la fluctuación de excavaciones subterráneas en el mismo alineamiento de la veta de los niveles inferiores y por la cercanía de las instalaciones a esta galería de acceso principal, evidenciándose notoriamente el esponjamiento de la solera y la deformación del hastial, obteniendo un desplazamiento total de 0,013 m.

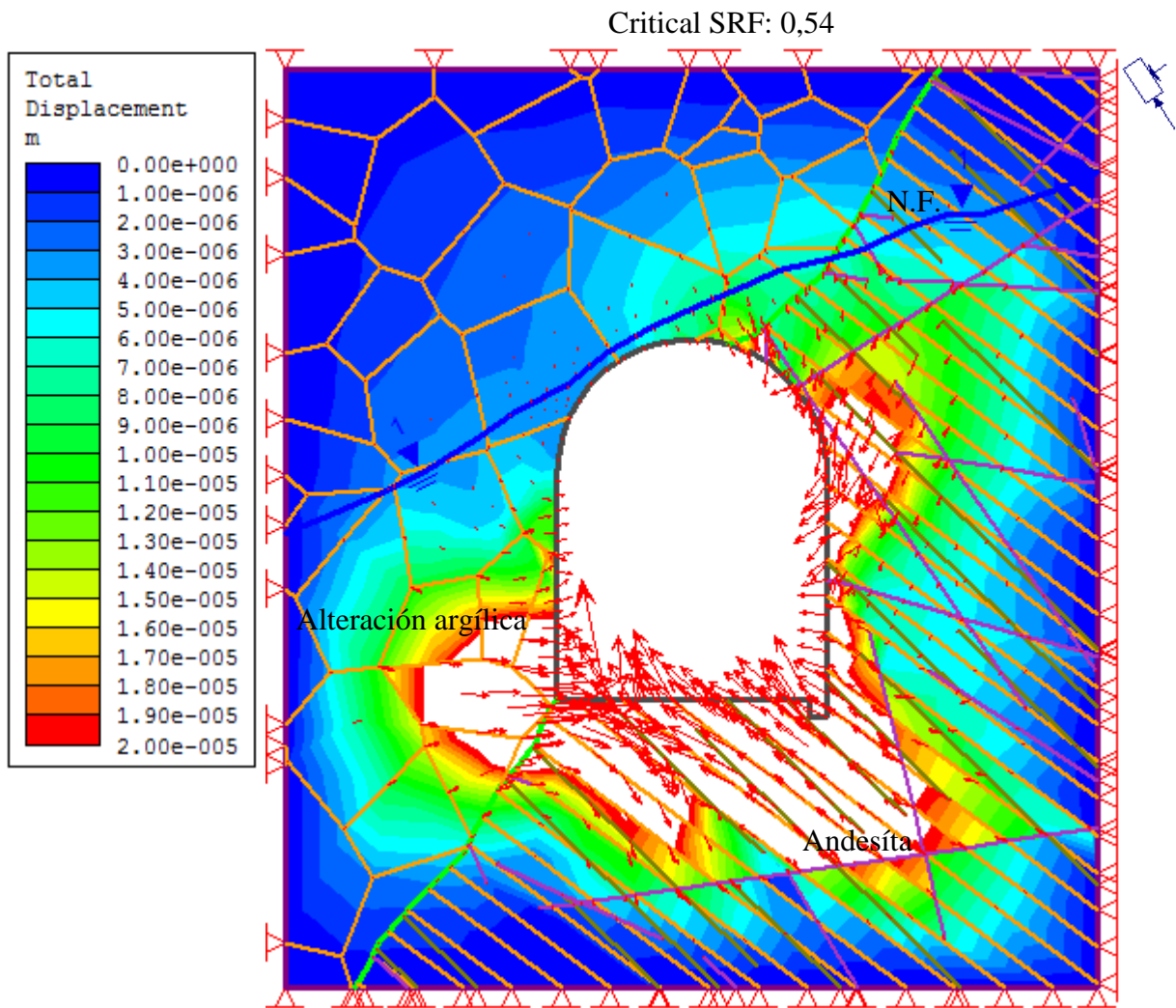


Figura 5.27: Vectores y contornos de desplazamiento total en la sección transversal de la estación geomecánica 5.

5.1.9 SOSTENIMIENTO

En base a los resultados del mapeo geológico geotécnico, en superficie y subterráneo; se obtuvo la información para aplicar el sostenimiento, ligado a las clasificaciones geomecánicas Tabla 5.10. El tipo de sostenimiento geotécnico está definido por los acápites anteriormente detallados, influenciando las variables: litología, geoestructuras, hidrología e hidrogeología y tensiones; generando y obteniendo resultados de cada estación de estudio.

Tabla 5.10. Resumen de los criterios geomecánicos.

Criterios geomecánicos		Estaciones				
		E-1	E-2	E-3	E-4	E-5
Clasificaciones	σ_{ci} (MPa.)	40,00	70,00	90,00	130	110
	RQD (%)	45,59	77,25	79,68	77,65	68,08
	RMR	48,00	61,00	62,00	65,00	57,00
	GSI	43,00	56,00	57,00	60,00	52,00
	Q	2,53	12,87	8,85	12,94	3,74
Constantes elásticas	m_i	20,00	28,00	23,00	30,00	28,00
	D	1,00	0,80	0,50	0,00	0,80
	E_i (MPa.)	12000	26250	40500	63700	49500
	mb	0,341	2,04	3,265	7,19	1,608
	s	0,0001	0,0013	0,0042	0,0117	0,0007
	Em (MPa.)	550,24	3506,52	10405,14	33124,00	5137,67
	a	0,509	0,504	0,503	0,503	0,505
	c (MPa.)	0,080	0,325	0,884	1,617	0,829
ϕ°	50,21	61,95	59,23	64,67	52,91	
Modos de rotura RMR	σ_1/σ_{ci}	0,137	0,065	0,028	0,032	0,083
	Tension	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Tensiones	Categoría	Fracturamiento alto	Fracturamiento moderado	Fracturamiento moderado	Fracturamiento moderado	Fracturamiento alto
	σ_1 (MPa.)	0,310	0,610	2,050	2,680	3,240
	σ_3 (MPa.)	0,170	0,350	1,130	1,470	1,720
	m	0,550	0,570	0,550	0,550	0,530
	$\alpha(^\circ)$			55°		
Altura de soporte (m.)		1,82	1,62	0,64	1,20	2,00
Análisis de estabilidad N'		11,47	77,97	51,83	69,46	5,61
Radio hidraulico S (m.)		4,18	4,07	7,97	16,80	20,89
Potvin	Zona de sostenimiento	Zona estable	Zona estable	Zona de sostenimiento central	Zona hundimiento	
FS (Phase ² 8,0)	0,54	2,35	3,42	3,47	0,54	

El sostenimiento por cuadros de madera serán aplicados a la estación: E-1 y E-4; cada una cumpliendo con las condiciones geomecánicas propuestas por el análisis de campo y gabinete: La estación E-1, por presentar una mala composición litológica la clave y los hastiales; la fluctuación de esfuerzos y la carga gravitacional por estar ubicada cerca de la superficie del terreno va generando colapsos permanentes verticales

correlacionándolo con los esfuerzos adquiridos; se sugiere la instalación de cuadros de madera rectos en un tramo de 50,00 m. con diámetro de puntal de madera 0,25 m., altura de poste de 2,10 m., ancho de sombrero 4,00 m. y con longitud de tirante de 3,00 m. entre sección y sección; con encribados (parrilamiento) para un mejor empalme entre el sombrero (madero) y la clave; y enrejados (tropeados) de los postes en los hastiales para la mejor estabilización y funcionabilidad de los maderos. En cambio la estación E-4 reporta un FS = 3,47 como promedio de las caja techo y piso, por las buenas características geomecánicas que presenta las cajas de roca, al mismo tiempo por la forma de excavación que presenta la clave en orientación de la Veta Murciélagos está siendo propenso a deformaciones compresionales las cajas; siendo necesario la instalación de sostenimiento por puntales de madera escuadradas y jack-pot (para mejorar el acoplamiento preciso de los puntales); en un tramo de 31,80 m, con las siguientes especificaciones ingenieriles: altura de puntal 0,90 m., diámetro de puntal de madera 0,10 m., con separaciones longitudinales de 3,00 m., transversales 1,05 m entre sección y sección, para su perfecto funcionamiento del sostenimiento. Especificando que los maderos a utilizar deben tener alta resistencia mecánica para su utilización, reducido peso, alta elasticidad y buena maniobrabilidad; y en presencia de agua aumenta su durabilidad.

La madera utilizada en la Mina Paredones en los primeros tramos de este Nivel 5 es de Canadá pino de Oregon y en otros tramos madera Eucalipto usada comúnmente en Perú.

La estación E-3 no requiere de sostenimiento por las condiciones que presenta la roca.

En las Tablas 5.11 y 5.12; de las estaciones E-2 y E-5; requieren estabilización mediante anclajes sistemáticos (barras helicoidales corrugadas aplicadas presentan una capacidad de soporte 19,90 Tn., con diámetro de acero 3/4" con lechadas de concreto, para su mejor trabajo ubicados de forma romboédrica en toda la sección para su mejor enmallado y funcionabilidad del sostenimiento) y shotcrete (recubrimiento de concreto con espesores variables, determinados por las clasificaciones geomecánicas. Elemento de soporte usado en esta unidad con fibras de polipropileno por su bajo costo y su alta resistencia a la flexotracción). La estabilización se realizará en la clave y los hastiales de la excavación subterránea por ser una área de afectación más crítica y de mayor

transitabilidad como: E-5 (extraen mineral del buzón metálico, acceso al cuarto de máquinas y al winche) y E-2 (tramo de mayor transcurencia de personal, vehículo, etc.); relacionando con FS logrando así el mejor trabado de la roca incompetente a la roca estable así obteniendo reportes de FS, para una mejor comprobación de los valores calculados. La mina Paredones del Nivel 5 se ha utilizado el método Austriaco de sostenimiento por ser un método moderno y eficiente; en ciertas áreas que aun hasta ahora siguen en buenas condiciones a pesar de los años.

Tabla 5.11. Sostenimiento geomecánico con anclajes.

Estaciones	Nº anclajes	Longitud de anclaje (m.)	Nº bolsas de cemento	Bulonado
E-2	42	1,90	7,00	Sistemático
E-5	63	2,50	11,00	

Tabla 5.12. Sostenimiento geomecánico con shotcrete.

Estaciones	Espesor (cm.)	Volúmen (cm ³ .)	Capacidad de soporte (Tn.)	FS	Condición
E-2	3,50	6,29	5,04	1,73	Vía húmeda
E-5	2,50	664,88	3,60	1,50	Vía seca

5.1.10 IMPACTOS AMBIENTALES

El método de identificación y valorización de impactos utilizados en la investigación son ajustados a distintas fases del proyecto generando resultados cuali-cuantitativos y realizan un análisis de las relaciones de causalidad entre una acción dada y sus posibles efectos sobre el medio. Pero, además de identificar los impactos directos, ayudarán a definir las interrelaciones cualitativas o cuantitativas de las actividades y acciones del proyecto con los indicadores ambientales y pueden emplearse además para sintetizar otro tipo de información, como por ejemplo ubicar en el espacio y tiempo las medidas preventivas o correctoras asociándolas con los responsables de su implementación. El método de Leopold presenta: metodología, identificación y valorización de los impactos ambientales previstos durante el desarrollo del proyecto. Forma de determinación: positivo (+), negativo (-), mínimo (0) y ninguno (no).

De acuerdo a la matriz de impactos ambientales se obtuvo promedios ponderados importantes en la actividad minera subterránea como: emisiones de gases, olores y requerimiento de oxígeno, conformando los impactos altos o de afectación en el Nivel 5, y los impactos moderados lo conforman: caídas de rocas, tensiones litostáticas, líneas de flujo, pseudo-estratificación, material particulado y utilización de madera, siendo igualmente notorios como los primeros impactos, por las evidencias físicas que se muestran directamente al momento de ingresar a la excavación subterránea de la Mina Paredones del Nivel 5, no presentando mejoras desde hace dos años hasta el día de hoy que se realizó la tesis. Los monitores de mejoramientos de calidad ambiental en cuanto al sostenimiento, mangas de ventilación, escombros de roca y material particulado, siguen siendo los de mayor incidencia: volumétrica u operacional, ocasionando disturbaciones aceleradas y progresivas que tienen que ver con el aspecto ambiental que está relacionado este acápite, con la matriz de impactos logrando obtener resultados que muestran la realidad de la excavación, en muchos de los casos ocasionando áreas muy peligrosas y arriesgadas al momento de haber realizado los cartografiados pertinentes.

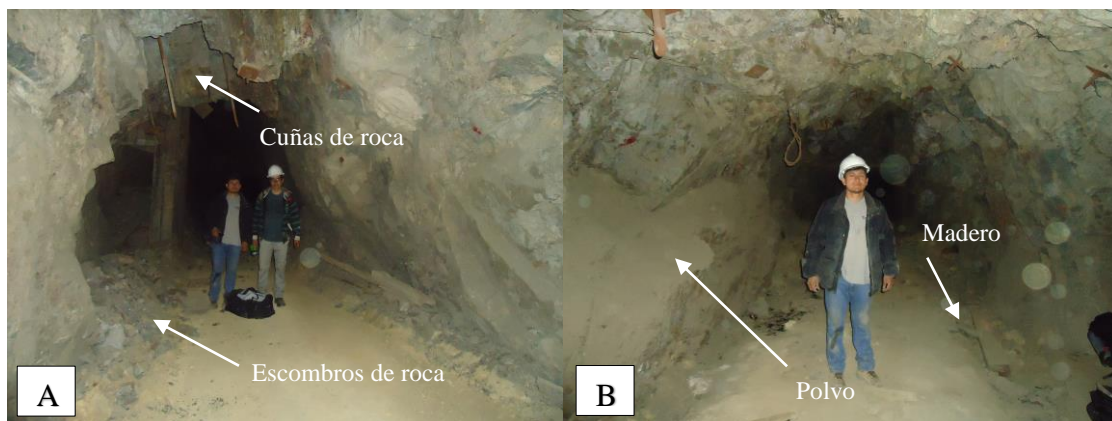


Figura 5.28. A. Escombros de rocas acumulados en los hastiales de la excavación y anclajes sueltos sin tuercas ni placa de reparto no realizando sostenimiento de la clave. B. Partículas de polvo posadas en el hastial izquierdo y maderos dispersos en la cuneta del hastial derecho.

5.2 DISCUSIÓN

Los resultados de las 5 estaciones geomecánicas, muestran: factores de seguridad (Tabla 5.15) y desplazamientos máximos (Tabla 5.14) en el medio plástico, para excavaciones subterráneas con dimensiones promedio: 3,20 m. x 3,90 m. del Nivel 5. Los resultados de los medios plásticos son generados en la periferie de la excavación,

demostrando que existe zona de plastificación en el contacto de hastiales y clave desde: 1,20 m. a 2,10 m. de proyección aproximadamente. En cuanto a los desplazamientos totales, estos son en todo momento menores de 0,15 cm., lo cual no se analizó en tiempos de operaciones mineras ocurriendo mayores riesgos, pudiendo haber ligeros movimientos cuando se realice perforación y voladura. Las tensiones máximas y concentración de tensiones; originan grietas de tracción en el centro del techo (estación 2 y estación 5) que proporcionan la caída de bloques de roca posteriormente estabilizados naturalmente por efecto del arco de descarga o mediante sostenimiento si lo requiere. Señalando que está respaldada por investigaciones relacionadas al tema, como a continuación se discuten:

La investigación de estructural de la Mina Paredones del Nivel 5, muestra tres familias de paleoesfuerzos definidas por el plunge que varía desde 60° a 70° en relación del esfuerzo vertical: σ_1 , σ_2 y σ_3 , por el modelo de Anderson obteniendo que el dominio estructural está dado por fallas de desgarre por las poblaciones: 1 y 3 de orientación NWW-ESE a ENE-WSW y fallas inversas la población 2 (NNE-SSW), con buzamiento moderados a altos, presentado correlaciones estructurales de mineralización de las Vetas: Murciélagos y West Pacasmayo más ligadas con la población 1 y rasgos de evidencia geológico estructural que permiten la existencia de más de un estado de esfuerzos responsables del control estructural del área de investigación, al mismo tiempo existe dos fallas transformantes dextrales de orientación E-W localizadas en las quebradas: California y El Ingenio, y la de mayor alineamiento estructural dextral la falla del río San Pablo de orientación NNE-SSW, cortando y desplazando a las geoestructuras mineralizadas de Sector Huayrapongo que corresponden al mismo lineamiento del Sector Paredones. En cambio Castañeda (2014), definiendo que la geoforma del valle Cajamarquino y alrededores es producto de tres regímenes tectónico: compresivos, desgarre y extensivo asociado a fallas NW-SE, formando una cuenca tipo “Pull Apart”, y estas cortadas por estructuras NE-SW, asociadas a fallas direccionales y direccionales normales. Mostrando tendencias de lineamientos estructurales de orientación NW-SE, NE-SW y de menos estructuras de orientación NNE-SSW y E-W. Logrando llegar a un asimilitud de con las estructuras de orientación NNE-SSW y E-W, ambas investigaciones pero con enfoque geoestructural diferente.

El método de explotación utilizado por la Mina Paredones son cámaras provisionales, por la buena calidad y resistencia de la roca andesita actuando como roca

de autosostenimiento o soporte, por las condiciones geomecánicas que presenta la roca caja y el emplazamiento mineralógico sub-vertical de la veta. La roca analizada muestra valores de buena calidad en la parte intermedia de la excavación por estar compuesta de roca andesítica, y la parte inicial y final de rocas de mala calidad generalmente de composición argílica a traquiandesítica, conformada dicha matriz rocosa por discontinuidades que definen el comportamiento geoestructural por las constantes caídas de rocas, distribución de tensiones (Tabla 5.13) y el estado deformacional (Tabla 5.14) de la excavación subterránea por el método híbrido. Al mismo tiempo su estado tensional es bajo por alturas de referencia de cargas litostáticas que varían desde: 11,30 m. a 135,40 m., en función de la sección de excavación (H:V), afectando sobre todo a la periferie de la excavación, obteniendo valores de altura de carga (Tabla 5.7) muy variantes en cada estación geomecánica categorizado por el grado de fracturamiento y la distribución de tensiones en las labores, obteniendo tendencia del régimen tensional bajo y fracturamiento alto a moderado del macizo rocoso, en función de σ_1/σ_{ci} , como se muestra de Tabla 5.13 y Tabla 5.15.

Tabla 5.13. Inestabilidades y modos de rotura RMR, esfuerzo principal mayor (σ_1) y resistencia la compresión simple (σ_{ci}).

Estaciones	σ_1/σ_{ci} .	Tensión in-situ	Categoría
E-1	0,137	Bajo	Fracturamiento alto
E-2	0,065	Bajo	Fracturamiento moderado
E-3	0,028	Bajo	Fracturamiento moderado
E-4	0,032	Bajo	Fracturamiento moderado
E-5	0,083	Bajo	Fracturamiento alto

Las gráficas de frecuencia estadística muestra claramente la variación progresiva del factor de seguridad y vectores de desplazamiento máximo, entre cada una de sus interacciones. Como se detalla a continuación los desplazamientos totales de cada estación:

Tabla 5.14. Desplazamientos máximos relacionado con la zona plástica.

Estaciones	Desplazamientos totales (m.)
E-1	0,003
E-2	0,007
E-3	0,114
E-4	0,782
E-5	0,013

Mostrando que los desplazamiento son mínimos por la consistencia de la roca caja piso y techo; y la tipología de emplazamiento de la veta y el tipo de diseño del minado a emplear para extraer el mineral.

Según Berrrocal (2015), muestra tablas de doble estrada en relación a la cota y coeficiente de reparto de tensiones; dimensionando la forma de la excavación. Por consiguiente la excavación subterránea del Nivel 5 tiene orientación NW-SE, mostrando resultados de distribución de esfuerzos en el macizo rocoso como se muestra en las Tablas 5.5 y 5.6, teniendo en consideración que la profundidad vertical de cada estación geomecánica es distinta, de igual manera la constante k fluctuando entre: 0,530 a 0,570, obtenido como valor promedio de 0,550 para los análisis correspondientes de interacción del macizo rocoso, estimando también valores de los Niveles 4 y 6: 0,48 y 0,60, en relación de la aureola de deformación por DT, se obtuvo que la excavación debe ser en forma de baúl por el $k < 1,00$ y $\alpha = 45^\circ$ que forma las fisuras radiales en el macizo rocoso. La tabla 5.5 muestra valores de columna de roca en relación de las tensiones litostáticas generadas por la sobre carga de roca que va a sostener la excavación, siendo muy distintos a los valores de la Tabla 5.6, estando enmarcados en distribuciones de tensiones periféricas de la excavación con unidades TM/m^2 . en cada estación relacionándolo con la Tabla 5.6 de altura de carga de afectación hasta que llegue al estado de equilibrio tensional. Así mismo Salazar Dlanto y Córdova Rojas (2013), aseverando mediante la estimación de esfuerzos verticales según el criterio insitu con valores obtenidos: 2,34 MPa. a 3,12 MPa. a profundidades promedio de 90 m. a 120 m., y estimaciones de variación del k : 0,90 a 1,10 utilizando el criterio de Sheorey (1994). De acuerdo con estas dos investigaciones si se llega a tener cálculos de valores casi semejantes, con la tesis de investigación

Así mismo Salazar y Córdova (2013), realizó una serie de simulaciones numéricas (Phase² V8,0) tenso-deformacional; en los cinco bloques o áreas de minado, con valores de estabilidad aceptables en operaciones de minado. Revalidando los factores de seguridad mayores que 1,40 (estable), adecuándose al tipo de estructura estudiada y aplicando el MGE (Potvin), estableciendo las longitudes de cámaras por zonas: Block 9303 (longitud de tajeo 30 m. con sostenimiento), Block 9368 (longitud de tajeo 51 m. con sostenimiento), Block 9478 (longitud de tajeo 53 m. con sostenimiento) y Block 984 (longitud de tajeo 47 m. con sostenimiento). Presentando ciertas tendencias con esta investigación en la utilización de los métodos discontinuos que dividen a la masa rocosa en bloques que pueden ser rígidos o deformables mostrando simulaciones más exactas en el análisis con respecto al factor de seguridad, por dos referencias: método numérico del software Phase² V8,0 (logrando condiciones geotécnicas de estabilidad en cada excavación subterránea; considerando las diferentes condiciones litológicas presentes en cada una de ellas. Acotando que las estaciones E-1 y E-5 son tramos inestables y las E-2 y E-3, E-4 son tramos estables) y el método analítico de Potvin en función: radio hidráulico y número de estabilidad N^* , interpolando en la gráfica se obtuvo valores de estabilidad. Definiendo que los cálculos realizados por las dos referencias si llegan a una correlación directa en la toma de datos de campo como la simulación algorítmica de procesamiento computacional en gabinete.

Tabla 5.15. Factor de seguridad entre Phase² 8,0 y Potvin.

Estaciones	Phase ² 8,0	Potvin
E-1	0,54	Zona de sostenimiento
E-2	2,35	Zona estable
E-3	3,42	Zona estable
E-4	3,47	Zona de transición con sostenimiento
E-5	0,54	Zona de hundimiento

Sin embargo Jordá et al (2010), Esta mina de hierro esta enmarca en el procesamiento tenso-deformacional por medio del MEF-MEC, alcanzando movimientos máximos de desplazamientos, debido a los efectos tensionales que son menores de 1 mm., en un régimen elástico; no produciendo plastificación en la excavación de sección de avance de galería 4,50 m. x 2,10 m. Sin embargo las constantes caídas de bloques de

rocas muestra puntuaciones de roca de muy mala calidad y bajo régimen tensional insitu con $FS < 1$.

En efecto Jordá Bordehore et al. (2017). Realizó la “Evaluación de estabilidad de las labores y pilares corona en las minas abandonadas de S`Argentera (Ibiza, España) combinando clasificaciones geomecánicas, métodos empíricos y análisis numéricos – enfocado a su posible aprovechamiento turístico”, por el MGE (Potvin) en relación: al número de estabilidad N° que varía: 4,40 a 75,50 y radio hidráulico varía 1,40 m. a 2,70 m.; en la serie de cámaras de varias dimensiones obteniendo como resultado zonas estables e inestables con existencia de cierta plastificación, con desplazamientos totales menores de 4 cm. por el Phase² V8,0. correlacionando con su factor de seguridad. En cambio el “Análisis tenso-deformacional y diseño de fortificación para una explotación de cobre por sublevel stopping. Atacama Kozan (Chile)”, aplicó el método Potvin-Mathews, en una serie de cámaras, determinando que las cámaras: MN01, MN06 y MN-Este; se encuentran en zona de transición entre estables con refuerzo y el colapso de la estructura, siendo los techos potencialmente inestables con apreciables plastificaciones en la periferie de la excavación. Fortificando con pernos, mallas y puntualmente el empleo de shotcrete (Veyrat Marquéz et al. 2014). En función de estas dos investigaciones presentan tendencias de valores numéricos casi similares, entre el número de estabilidad N° de 5,61 a 77,97 y radio hidráulico 4,18 m. a 20,89 m.; ver la Tabla 4.14 y Tabla 4.13; obteniendo zonas estables e inestables en relación de la consistencia de la roca y tramo a analizar, delimitados por medio de plastificación perimétrica en toda la excavación subterránea.

5.3 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

El desarrollo de la presente investigación está enfocada a interpretaciones detalladas de información de campo y gabinete, afirmando que lo constituye el Volcánico Chilote, pliegues y fallas subparalelas regionalmente pertenecientes al Corredor Andino, dando origen a esfuerzos de orientación NE-SW, siendo responsables de paleoesfuerzos de deformación: compresivo, desgarre y distensivo; definiendo claramente las deformaciones y los paleoesfuerzos con orientación: WNW-ESE, NNE-SSW y ENE-WSW, de manera local. Predominando el primer sistema geoestructural NW, coincidiendo con el Alineamiento Andino al mismo tiempo con la falla dextral del río San

Pablo desplazando al alineamiento mineralógico del Sector Huayrapongo y el segundo alineamiento estructural tiene una tendencia de ENE-WSW, coincidiendo con la secuencia de domos intrusivos andesíticos gris verdosos porfiríticos y de mineralización en la Veta Murciélago. Geomecánicamente las excavaciones subterráneas de la Mina Paredones sobre todo del Nivel 5, están emplazadas en roca de alteración argílica y andesita; con consistencia de la matriz rocosa regular a buena como lo demuestran el análisis geomecánico empírico de cada estación y el método de Potvin, con una mínima influencia de agua subterránea. Los esfuerzos calculados demuestran que las variaciones son casi similares en este nivel con valor promedio $m = 0,55$ y ángulo de orientación de tensiones $> 45^\circ$, correlacionando con el tipo de excavación realizada por esta mina en forma de baúl, para su mejor disipación de tensiones generadas al momento de su abertura subterránea. Para efectos de contrastación de la hipótesis el análisis numérico empleado está definido por: método de elementos finitos-modelo discontinuo (número de diaclasas que conforman al macizo rocoso), para la obtención de valores más reales al momento de la simulación algorítmica reportando tramos con $FS > 1,50$ (estables) y $FS < 1,50$ (inestables); manifestando que el comportamiento tenso-deformacional se manifiesta en la periferie de la excavación, indicado por los vectores de deformación y desplazamientos máximos, sobre todo analizados en el medio plástico por ser mayor la generadora de caída de bloques de roca, en función de la consistencia de la masa rocosa.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

La interrelación del comportamiento litomorfoestructural lo definen la orientación WNW-ESE del emplazamiento de la Veta Murciélago en el Volcánico Chilote, originando inestabilidades progresivas y aceleradas por presentar argilización en tramos avance de labores y en otros rocas andesíticas competentes de buena calidad, delimitado por el comportamiento geoestructural del macizo rocoso.

La inestabilidad geotécnica por caídas de bloques está ligada al arco afectación (Terzaghi 1946), por cada estación geomecánica demostrando que la altura de carga o de sobre carga tiene que ver con calidad de roca, orientación del túnel y geoestructuras obteniendo valores desde: 0,64 m. a 2,00 m. siendo importante en el frente de deformación.

Los Factores de Seguridad mostraron la realidad del entorno tenso-deformacional de la excavación desde valores: 0,54 a 3,47, dando a conocer que el modelo numérico (híbrido) de aplicación es muy importante para determinar el comportamiento plástico o elasto-plástico que está afectando a la excavación subterránea a ser propenso inestabilidades y realizar mejoramientos mediante sostenimiento relacionados con los campos tensionales de cargas distribuidas en la periferia de la excavación.

Se definió que los impactos ambientales están ligados al abandono de la Mina Paredones del Nivel 5 ocasionando impactos positivos a moderados de mayor incidencia en las labores subterráneas como: caídas de bloques, emisión de gases, material particulado y putrefacción de cuadros de madera, ocasionando malestares de salud al personal en el interior de la excavación como inseguridad en su ingreso a sus instalaciones.

RECOMENDACIONES

Realizar monitoreos de posibles subsidencias superficiales para mejorar la estabilización y estabilidad del macizo rocoso.

Realizar sostenimiento nuevo sobre todo en los marcos de madera, por estar completamente deteriorados en casi en su totalidad de la estabilización de la excavación subterránea.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, J. (2014). *El método de la Investigación*. Daena: Revista Internacional de la Buena Conciencia. 9 (3) 195-204. Diciembre 2014. ISSN 1870-557X, págs. 195 - 204.
Recuperado de
[http://www.spentamexico.org/v9-n3/A17.9\(3\)195-204.pdf](http://www.spentamexico.org/v9-n3/A17.9(3)195-204.pdf)
- Bardales, B. (2014). *Análisis estructural de las secuencia cretáceas de Los Baños del Inca y alrededores, Cajamarca – Perú* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.
- Barton, N. (2002). *Algunas nuevas correlaciones de valores Q para el apoyo en la caracterización insitu y el diseño del túnel*. Revista internacional de mecánica de rocas y ciencia en minería y geomecánica Abstracta, 39. págs. 185 - 216.
Recuperado de
https://www.researchgate.net/publication/292056400_Some_new_Q-value_correlations_to_assist_in_site_characterization_and_tunnel_design
- 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
- Berrocal, M. (2015). *Estabilidad de Excavaciones Subterráneas*. Lima - Perú: Ventura Graf.
- 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>
- Bruce, E., Winthrop, D. y Paul, F. (1981). *Geología estructural*. Trad. Dr. Mostserrats Domingo de Miro. Barcelona: Ediciones Omega, S.A.

- Castañeda, S. (2014). *Análisis tectónico del basamento Cretáceo de la cordillera noroccidental alrededor del valle Cajamarquino – Cajamarca – Perú* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.
- Deere, D., Hendron, A., Patton, F., y Cording, E. (1967). *Diseño de superficies y superficies del entorno de excavación en roca*. 8^{vo}. Simposium de mecánica de rocas en procedimientos. Fracturamiento y reforzamiento en roca (ed. C Fairhurst), págs. 237 - 302. New York – Estados Unidos: AIME.
- Diederichs, S., Carter, T., y Martín, D. (2003). *Predicción de estallidos prácticos en túneles de roca*. Recuperado de https://www.eoas.ubc.ca/courses/eosc547/lecture-material/Part3SupplementaryUpdate_Diederichs-et-al.pdf
- 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).
- Gonzales, de Vallejo. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Prentice Hall.
- 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>
- Grimstad, E., Kankes, K., Bhasin, R., Magnussen, W., y Kaynia, A. (2002). *Calidad de la masa de rocosa por el Q utilizada para diseñar de revestimiento sistemático con hormigón y absorción de energía*. Instituto Geotécnico de Noruega. Recuperado de file:///C:/Users/Montoya/Downloads/ROCK_MASS_QUALITY_Q_USED_IN_DESIGNING_REINFORCED_R.pdf
- Gumiel, P., Monteserin, V., Ferrero, A., Bellido, F., Baltuille M., y Vivar, V. (2005). *Aplicación análisis geométrico de fracturas a la determinación de bloques en las canteras de granito de O Porriño, Pontevedra (No España)*. Revista de la sociedad Geológica de España 19 (1-2), 2006. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/290996237_APLICACION_DEL_ANALISIS_GEOMETRICO_DE_FRACTURAS_A_LA_DETERMINACION_

DE_BLOQUES_EN_LAS_CANTERAS_DE_GRANITO_DE_O_PORRINO_
PONTEVEDRA_NO_ESPANA

- Hoek, E., y Brown, T. (1985). *Excavaciones Subterráneas en Rocas*. Trad. Raymundo Dely. Mexico: McGraw-Hill.
- Hoek, E., Carranza, T., y Corkum, B. (2001, junio). *El criterio de rotura de Hoek – Brown – Edición 2002*. London: Consulting Engineer & University of Minnesota & RocScience Inc. Recuperado de https://www.rocscience.com/documents/pdfs/library/RL_3.pdf
- Hoek, E., Marinos, P., y Benissi, M. (1998). *El índice de resistencia geológica (GSI): una herramienta de caracterización para evaluar las propiedades de ingeniería de las masas rocosas. El caso de la Formación de esquisto de Atenas*. Boletín de ingeniería geológica y medio ambiente, ISSN 1435-9529 (Print) 1435-9537 (Online), págs. 151 – 160. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/266496092_The_Geological_Strength_Index_GSI_A_characterization_tool_for_assessing_engineering_properties_of_rock_masses
- Hoek, E., Marinos, P., y Marinos, VP. (2005). *Características e ingeniería de masas de rocas sedimentarias tectónicamente no perturbadas pero litológicamente variadas*. Revista internacional de mecánica de rocas y ciencia en minería 42. págs. 277 - 285. Recuperado de <https://www.rocscience.com/assets/resources/learning/hoek/Characterization-and-Engineering-Properties-of-Sedimentary-Rock-Masses-2004.pdf>
- Holdridge, L. (1967). *Zonas de vida ecológica*. Ecología capítulo IV, págs. 65 - 81. Recuperado de http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/inventario_cajamarca_zona_norte2/capIV.pdf
- Jing, L., y Hudson, J. (2002). *Métodos numéricos en la mecánica de rocas*. Revista Internacional de Mecánica de Rocas y Ciencia Minera 39 (2002), págs. 409 - 427.
- Jordá, B., Jordá, B. y Fernández, A. (2010). *Contribución al conocimiento geotécnico de la Mina Mochi de cara a su musealización*. Ingeopres: Actualidad técnica de ingeniería civil, minería y medio ambiente, ISSN 1136-4785, N°. 195, 2010 AGO, págs. 28 - 33. Recuperado de

https://www.researchgate.net/publication/318338944_Contribucion_al_conocimiento_geotecnico_de_la_Mina_Monchi_de_cara_a_su_musealizacion.

(consultada 12 octubre 2017).

Jordá, B., Jordá, B., Durán, V., y Romero, C. (2017). *Evaluación de la estabilidad de las labores y pilar corona en las minas abandonadas de S'Argentera (Ibiza, España) combinando clasificaciones geomecánicas, métodos empíricos y análisis numéricos-enfocados a su posible aprovechamiento turístico*. Boletín geológico y minero, ISS 0366-0176; CODEN BGMIA3; v. 128 (1); p. 3-24. 4 (Dec). Recuperado de

https://www.researchgate.net/publication/315063147_Evaluacion_de_la_estabilidad_de_las_labores_y_pilar_corona_en_las_minas_abandonadas_de_S'Argentera_Ibiza_Espana_combinando_clasificaciones_geomecnicas_metodos_empiricos_y_analisis_numerico_-_enfocado. (consultada 05 abril 2017).

Lopez, C. (1975). *Método científico*. Publicado el 2 junio 2017 por Lilyreysel, pág. 42. Recuperado de

<https://lilyreysel.wordpress.com/2017/06/02/metodos-cientifico/>

Marín, P., Martín, F., y Parra, A. (2004, julio-agosto). *La Linealización del criterio de Hoek-Brown en el análisis de la estabilidad general de taludes en roca*. *Revista de Obras Públicas*. N° 3,446, p.37- p.44.

Marinos, P., y Hoek, E. (2000). *GSI: Una herramienta geológicamente sencilla para la estimación de resistencia de la masa rocosa*. Conferencia en procedimientos de GeoEng2000 (ed. MC Erwin), Melbourne, vol. 1, págs. 1422-1440. Technomic, Lancaster, PA. Recuperado de

<http://www.geoplanning.it/test/wp-content/uploads/2012/02/GSI.pdf>

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>

Martínez, C. (2003). *Geología estructural y dinámica global*. Salamanca – Madrid: Departamento de Geología Universidad de Salamanca.

Martín, C., Kaiser, P., y McCreath, D. (1999). *Parámetros de Hoek-Brown para predecir la profundidad de la falla frágil alrededor de los túneles*. *Can. Geotech. J.*, 36 (1): 136-51.

- Mathews, K., Hoek, E., Wylie, D., y Stewart, C. (1981). *Predicción de lapsos de excavación estables para la minería a profundidades inferiores a 1000 m. en roca resistente*. Recuperado de <https://trove.nla.gov.au/work/22460887?selectedversion=NBD13012658>
- Molineró, H. (2005). *Hidrología: tipo de acuíferos*. Sevilla – España: Universidad de Santiago de Compostela.
- Morris, D. (1899). *Ciclo geográfico*. Estados Unidos: Universidad de Harvard
- Muñoz, J. (1995). *Geomorfología general*. Madrid – España: Editorial Síntesis S.A.
- Navarro, M., y Flores, T. (2007). *Mapa geológico del cuadrángulo de Cajamarca escala 1:50,000 Hoja 15-f cuadrante - IV*. Lima – Perú: Ediciones OSI, Área de cartografía.
- Nickson, S. (1992). *Fortificación por hebras de cables en operaciones de excavaciones en roca resistente*. Tesis MS, Universidad de British Columbia, Vancouver, B.C. Recuperado de <https://open.library.ubc.ca/media/download/pdf/831/1.0081080/2>
- Niemeyer, R. (1999). *Apuntes de geología estructural primera parte: estructuras frágiles*. Antofagasta – Chile. Recuperado de: https://www.ucursos.cl/usuario/c19094b1ea89f1f08e243796b671e2e5/mi_blog/r/geologia_estructural_-_hans_niemeyer.pdf
- Osinergmin (2017). *Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas*. Magdalena del Mar, Lima, Perú: Edición: INVERSIONES IAKOB S.A.C.
- Palmstrom, A. (Noviembre de 2003). Recientes desarrollos en la estimación del sostenimiento en roca mediante el RMI. *Revista de la facultad de minas-Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín*, vol. 70, págs. 23 - 43.
- Potvin, Y. (1988). *Diseño empírico de abertura de excavaciones en Canadá*. Tesis Ph.D, Universidad de British Columbia, Vancouver, B.C. Recuperado de <https://open.library.ubc.ca/cIRcle/collections/ubctheses/831/items/1.0081130>
- 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., y Alejano, M. (2013). *Mecánica de rocas: Fundamentos e ingeniería de taludes*. Universidad Politécnica de Madrid y en la de Vigo, en el Master Internacional. Recuperado de http://oa.upm.es/14183/1/MECANICA_DE_ROCAS_1.pdf
- 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.
- Rodríguez, R., Rodríguez, O., y Enriquez, José. (2006). *Geología de yacimientos epitermales del tipo baja sulfuración en el corredor estructural San Pablo - Poculla en el norte del Perú*. En: XIII Congreso Peruano de Geología, Resúmenes extendidos, págs. 724 - 727. Recuperado de http://www.academia.edu/8651733/GEOLOG%3%8DA_DE_LOS_YACIMIENTOS_EPITERMALES_DEL_TIPO_BAJA_SULFURACI%3%93N_EN_EL_CORREDOR_ESTRUCTURAL_SAN_PABLO_PORCULLA_NORTE_DEL_PER%3%9A
- Rodríguez, C. (2018). *Impactos geotécnicos - ambientales en cabeceras de subcuencas por implantación de Minas Conga Cajamarca - Perú* (tesis doctoral). Universidad Nacional de Cajamarca.
- Ruiz, L. (2007). *El método científico y sus etapas*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/recursostics/el-mtodo-cientfico-y-sus-etapas-ramn-ruiz-mxico-2007-9039882>
- Salazar, D., y Córdova, R. (2013). *En mina Marcapunta Norte-Sociedad Minera El Brocal (Perú): Geomecánica del minado masivo tajeos por subniveles por pilares corridos*. Ingeopres 224, N°. 13(Jun). PP: 46-51. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/201695807/Geomecanica-del-minado-masivo-tajeos-por-subniveles-con-pilares-corridos-en-mina-Marcapunta-Norte-Sociedad-Minera-El-Brocal>. (consultada 28 de Febrero 2018).
- Sheorey, P. (1994). *Teoría para de tensiones in situ en rocas isotrópicas y transversalmente isotrópicas*. Revista internacional de mecánica de rocas y ciencia en minería y geomecánica abstracta, 31(1). págs. 23 - 34. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0148906294923124?via%3Dihub>

- Soto, I., y Manzano, J. (2002). *Geometría y cinemática de fallas recientes en el margen septentrional del mar de Alborán (sector de Maro, provincia de Málaga)*. Revista Geogaceta, 31 (2002), 139 – 142. ISSN: 0213683X. Recuperado de <http://www.sociedadgeologica.es/archivos/geogacetas/Geo31/Art35.pdf>
- Storer, T., Usinger, R., Stebbins, R., y Nybakken, J. (2003). *Zoología general*. Barcelona – España: Ediciones Omega, S.A.
- Suarez, B., Valencia, G., Ordóñez, C., Navarro, M., y Hidalgo, G. (2009). *Ingeniería de rocas en el túnel de conducción superior del proyecto hidroeléctrico Porce III, Colombia*. Boletín de ciencias de la tierra Número 26, p. 69-86, 2009. ISSN electrónico 2357-3740. ISSN impreso 0120-3630. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/260871050_INGENIERIA_DE_ROCAS_EN_EL_TUNEL_DE_CONDUCCION_SUPERIOR_DEL_PROYECTO_HIDROELECTRICO_PORCE_III_COLOMBIA. (consultada 30 de Noviembre 2016).
- Suarez, B. (2016). *Análisis de estabilidad de taludes con aplicaciones en MATLAB (1 ed.)*. Medellín – Colombia: independiente, por el autor.
- Terzaghi, K. (1946). *Defectos de roca y cargas sobre soporte de túnel: Túneles de roca con soportes de acero (eds RV Proctor & T. White)*. p.15-99. Londres – Inglaterra: Commercial Shearing, Youngstown, Ohio. Recuperado de <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015024486782;view=1up;seq=7;size=75>
- Thomas, C. (2014). *Estudio comparativo entre requerimientos de soporte y fortificación de túneles definidos según métodos empíricos de clasificación geomecánica versus métodos analíticos y numéricos* 194, N°. 8 (Jun). Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/132024>. (consultada 06 de octubre 2015).
- Torres, Y., Ruiz, C., Daga, H., y Vizcarra, A. (2009). *Geomecánica aplicada al control: Geomecánica aplicada al control de las labores mineras para la minimización de caída de rocas en la mina Madrugada Cía. minera Huinac S.A.C. – Ancash-2009*. Revista Aporte Santiaguino 2010; 3(1): 1. ISSN 2070-836X 35, N°. 16/08/2010. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/351305378/Geomecanica-aplicada-al-control-de-las-labores-mineras-para-la-pdf>. (consultada 06 de Enero 2017).
- Veyrat, M., Galera, G., Ibarra, M., Menchero, M., y Rojas, T. (2014). *Análisis tenso-deformacional y diseño de fortificación para una explotación de cobre por*

sublevel stopping. Atacama Kozan (Chile). 1er. Congreso Internacional de Diseño de Mina por Métodos, N°. 24 (Ene). Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/275960511_Analisis_tenso-deformacional_y_diseno_de_fortificaciones_para_una_explotacion_de_cobre_por_sublevel_stopping_Atacama_Kozan_Chile. (consultada 20 de Octubre 2017).

APÉNDICES

APÉNDICE A
DATOS DE CAMPO Y DISTRIBUCIÓN DE PALEOESFUERZOS

Tabla 5.17. Información de campo de estructuras geológicas de las estaciones: E-10, E-11, E-12, E-13, E-14, E-15, E-16, E-17 y E-18.

REGISTRO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL										TESS		RELACION GEOTÉCNICA Y LITOMORFOESTRUCTURAL						
										UBICACIÓN:		TÚNEL DE LA MINA PASADONES NIVEL 5 SAN PABLO - CAJAMARCA						
CÓDIGO										FORMACIÓN:		NIVEL 5						
RESPONSABLE										EQUIDAD POP.		VOLCÁNICO CHILITE						
SECTORA										EQUIDAD POP.		Fecha						
MONTAÑA TOROVERO FRANKIE R.										EQUIDAD POP.		24/07/2018						
WISSA										EQUIDAD POP.		MONTAÑA TOROVERO FRANKIE R.						
ZONA 175										EQUIDAD POP.		MONTAÑA TOROVERO FRANKIE R.						
Nº	Azimut, dirección del rumbo, strike (º)	Dip Dir (º)	Dip o buzamiento (º)	Criterio	Flech, Bata, Cabeceo (K)	Dirección medida (RK)	Sentido de la falla	Mov. Cinemát	Coordenadas superficie	Tramo subterráneo		Ubicación						
										De	A							
								Norte (m.)	Este (m.)	Cota (m.c.m.)								
								N = Norte	O = Oeste	E = Este								
								S = Sur	O = Oeste	E = Este								
								Prorictador	De = Dextral	S = Sinistral								
								(0-90)	De = Dextral	S = Sinistral								
1	279	9	47	+	83	N	Is	---	---	---	Pl. + 254 m.	---						
2	266	16	54	+	79	N	Is	---	---	---	Pl. + 254 m.	---						
3	263	13	51	+	81	N	Is	---	---	---	Pl. + 254 m.	---						
4	279	9	53	+	82	N	Is	---	---	---	Pl. + 254 m.	---						
5	267	17	55	+	78	N	Is	---	---	---	Pl. + 254 m.	---						
6	269	19	56	+	74	N	Is	---	---	---	Pl. + 254 m.	---						
7	265	15	55	+	83	N	Is	---	---	---	Pl. + 254 m.	---						
Observ.: Falla inversa ubicada en el hastial izquierdo del Nivel 5, donde al espejo de falla muestra claramente el movimiento cinemático que presenta, con orientación de desplazamiento al SE a la Veta West Pacasmayo.																		
1	193	283	72	+	43	NE	Sr	9204602.36	740552.95	1009.00	---	---						
2	187	277	64	+	37	NE	Sr	9204602.36	740552.95	1009.00	---	---						
3	183	273	76	+	36	NE	Sr	9204602.36	740552.95	1009.00	---	---						
4	181	271	72	+	41	NE	Sr	9204602.36	740552.95	1009.00	---	---						
5	190	280	69	+	44	NE	Sr	9204602.36	740552.95	1009.00	---	---						
6	182	272	73	+	39	NE	Sr	9204602.36	740552.95	1009.00	---	---						
Observ.: Falla sinistral ubicada en la trocha carrozable al Nivel 4, presentado superficies altamente agilizadas, en su composición litológica que presenta, con orientación la NW.																		
1	83	173	64	+	73	E	Is	9204202.31	740754.83	1118.00	---	---						
2	79	169	68	+	70	E	Is	9204202.31	740754.83	1118.00	---	---						
3	73	163	65	+	66	E	Is	9204202.31	740754.83	1118.00	---	---						
4	75	166	62	+	73	E	Is	9204202.31	740754.83	1118.00	---	---						
5	81	171	66	+	71	E	Is	9204202.31	740754.83	1118.00	---	---						
6	74	164	56	+	68	E	Is	9204202.31	740754.83	1118.00	---	---						
7	84	174	63	+	75	E	Is	9204202.31	740754.83	1118.00	---	---						
Observ.: Falla inversa ubicada en el hastial izquierdo de la trocha carrozable al Nivel 3, presentando recristalización de minerales de cuarzo el plano de falla, muy cerca a este evento tectónico aglomerados volcánicos.																		
1	247	337	81	+	70	W	Nr	9204199.67	740750.86	1118.00	---	---						
2	254	347	86	+	74	W	Nr	9204199.67	740750.86	1118.00	---	---						
3	248	338	83	+	67	W	Nr	9204199.67	740750.86	1118.00	---	---						
4	252	348	79	+	78	W	Nr	9204199.67	740750.86	1118.00	---	---						
5	249	339	81	+	66	W	Nr	9204199.67	740750.86	1118.00	---	---						
Observ.: Falla normal ubicada en el hastial izquierdo de la trocha carrozable al Nivel 3, estructuralmente presenta recristalización entre superficies de planos ocasionando una falla mal abriga.																		
1	32	122	74	+	15	S	Dr	9204019.75	740967.82	1085.00	---	---						
2	28	118	76	+	9	S	Dr	9204019.75	740967.82	1085.00	---	---						
3	33	123	72	+	12	S	Dr	9204019.75	740967.82	1085.00	---	---						
4	30	120	71	+	13	S	Dr	9204019.75	740967.82	1085.00	---	---						
5	27	117	75	+	12	S	Dr	9204019.75	740967.82	1085.00	---	---						
Observ.: Falla dextral ubicada en el hastial izquierdo de la trocha carrozable al Nivel 3, observándose que el espejo de falla está cubierto de óxidos, cobre, pirita, cuarzo y una pequeña veta de cobre.																		
1	248	238	78	+	18	NW	Dr	9204640.50	740664.32	1048.00	---	---						
2	256	246	74	+	20	NW	Dr	9204640.50	740664.32	1048.00	---	---						
3	259	249	80	+	13	NW	Dr	9204640.50	740664.32	1048.00	---	---						
4	257	247	82	+	15	NW	Dr	9204640.50	740664.32	1048.00	---	---						
5	252	242	79	+	16	NW	Dr	9204640.50	740664.32	1048.00	---	---						
6	258	248	75	+	14	NW	Dr	9204640.50	740664.32	1048.00	---	---						
Observ.: Falla dextral ubicada en el hastial derecho de la trocha carrozable al Nivel 3, por superficie de plano de falla moderadamente alterada y movimientos cinemáticos son visibles.																		
1	81	171	75	+	10	S	Dr	9204626.87	740774.78	1066	---	---						
2	88	178	79	+	9	S	Dr	9204626.87	740774.78	1066	---	---						
3	85	175	74	+	8	S	Dr	9204626.87	740774.78	1066	---	---						
4	96	186	72	+	7	S	Dr	9204626.87	740774.78	1066	---	---						
5	90	170	80	+	7	S	Dr	9204626.87	740774.78	1066	---	---						
Observ.: Falla dextral ubicada en el hastial izquierdo de la trocha carrozable al Nivel 1, altamente alterada en el plano de falla, presentando oxidaciones rojizas a amarillentas.																		
1	117	203	32	+	54	SW	Nr	9204622.00	740557.00	1086.00	---	---						
2	102	192	38	+	50	SW	Nr	9204622.00	740557.00	1086.00	---	---						
3	100	190	30	+	46	SW	Nr	9204622.00	740557.00	1086.00	---	---						
4	96	186	27	+	47	SW	Nr	9204622.00	740557.00	1086.00	---	---						
5	105	195	33	+	53	SW	Nr	9204622.00	740557.00	1086.00	---	---						
Observ.: Falla normal ubicada en el flanco izquierdo de la trocha carrozable que va al Nivel 4, presentando el plano de falla superficies moderadamente alteradas con patinas de óxidos y arcilla.																		
1	25	115	85	+	83	SE	Is	9204553.00	740809.00	1024.00	---	---						
2	28	118	87	+	84	SE	Is	9204553.00	740809.00	1024.00	---	---						
3	18	108	85	+	82	SE	Is	9204553.00	740809.00	1024.00	---	---						
4	23	113	86	+	79	SE	Is	9204553.00	740809.00	1024.00	---	---						
5	15	105	84	+	80	SE	Is	9204553.00	740809.00	1024.00	---	---						
6	23	113	89	+	84	SE	Is	9204553.00	740809.00	1024.00	---	---						
Observ.: Falla inversa ubicada en el flanco derecho de la trocha carrozable, en la que se encuentra definida por pseudo-estratificación de rocas andesíticas, cerca de un cuerpo intrusivo diátrico.																		

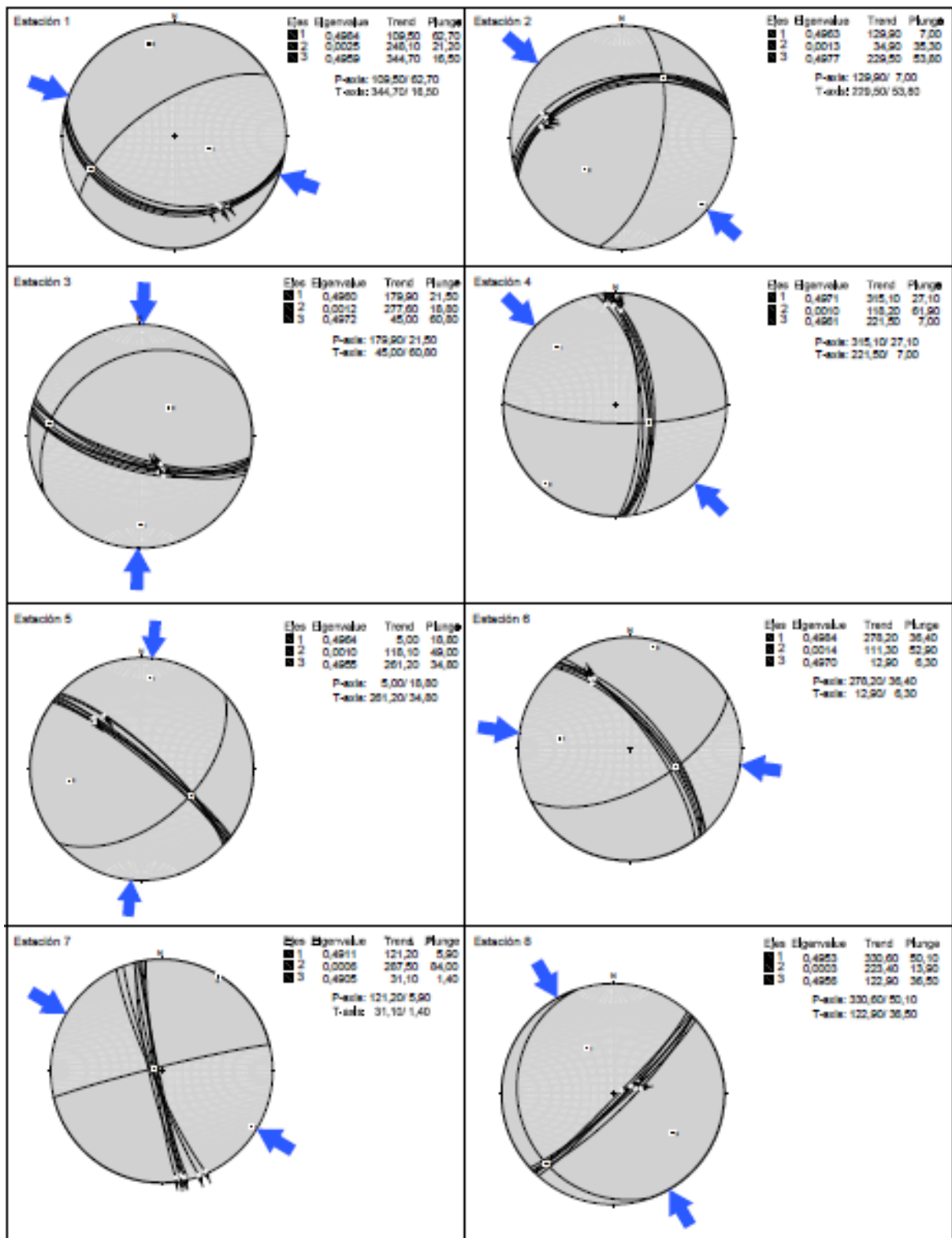


Figura 5.29. Distribución de esfuerzos tectónicos de las estaciones 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8.

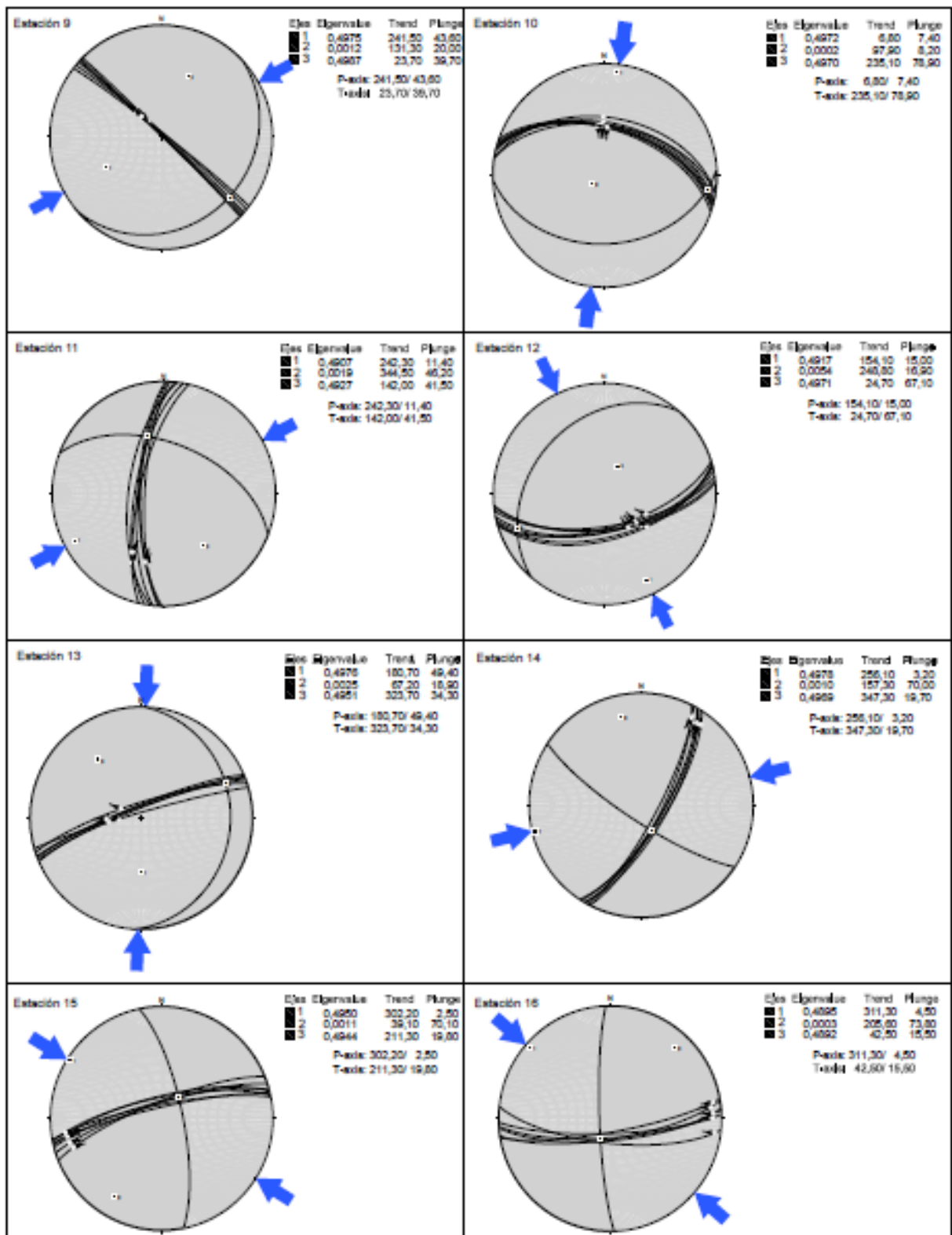


Figura 5.30. Distribución de esfuerzos tectónicos de las estaciones 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 y 16.

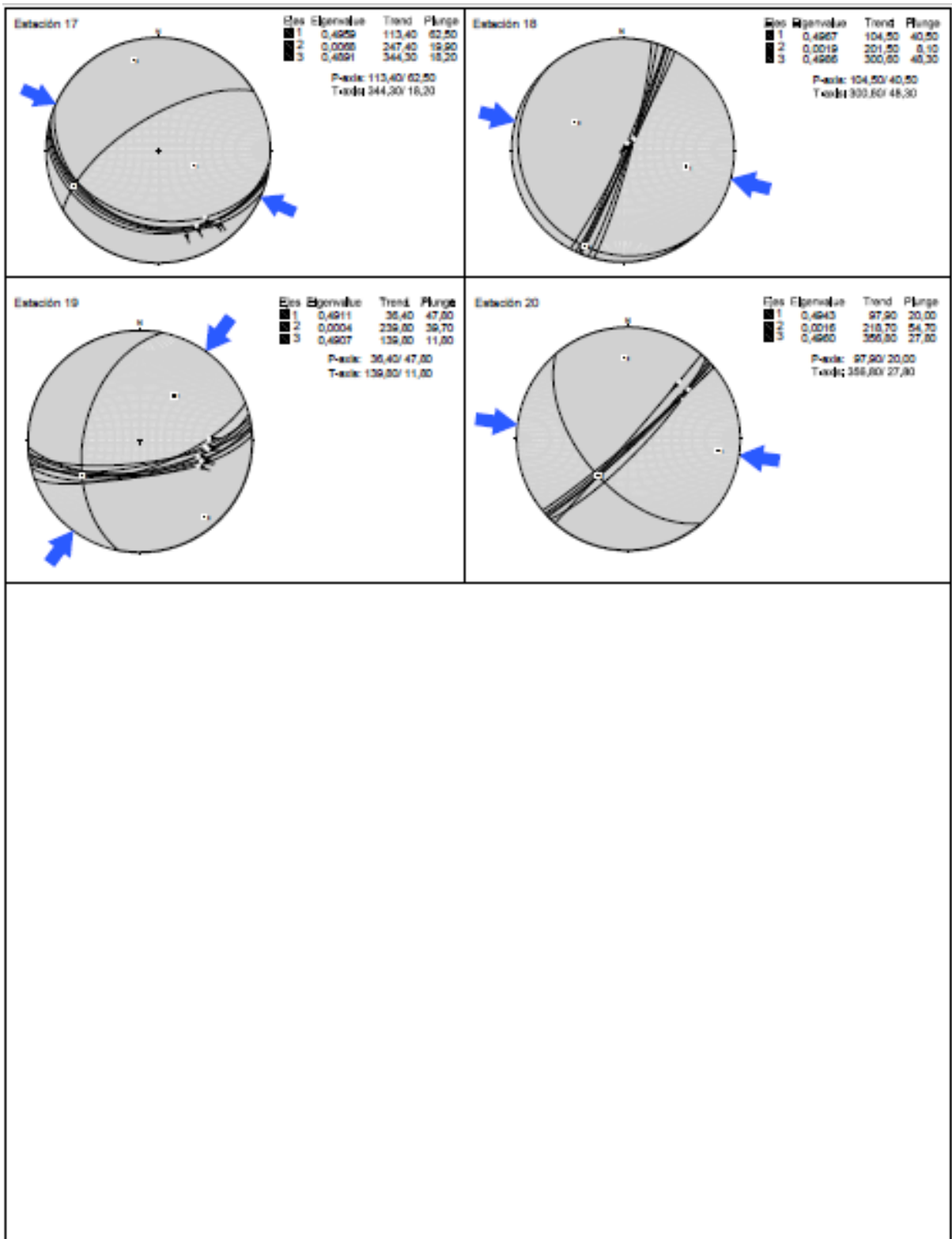


Figura 5.31. Distribución de esfuerzos tectónicos de las estaciones 17, 18, 19 y 20.

APÉNDICE B
DATOS DE CAMPO DE GEOMECÁNICA

Tabla 5.19. Información de la estación geomecánica 1.

REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO				UBICACIÓN		RELACION GEOTÉCNICA Y LITOMORFOESTRUCTURAL DEL TÚNEL DE LA MINA PAREDES NIVEL 5 SAN PABLO - CAJAMARCA										Subterráneo							
CÓDIGO	E-1			TRAMO	DE	NIVEL 5				A		---											
RESPONSABLE	Montoya Torovero Franklin R.			HOGA N°	3	COORDENADAS	Emboquilla	ESTE (m.)	740511.00	NORTE (m.)	8204704.00	COTA (metros)	879.00		24/07/2018								
SISTEMA	WGS	84	ZONA LTS	EJECUTADO POR	Montoya Torovero Franklin R.																		
DISEÑO	DIMENSIONES DE EXCAVACIÓN			MAZGO ROCOSO				TIPOS		RESIST. COMP. UNIAJ.	ROD TRAMO		ORIENTACIÓN			PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS				ALTRAC. METEOR.	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN	
	FORMA DE EXCAVACIÓN	HASTIAL	ANCHO DE CÁMARA	CUNETA	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	OSI	Ex=Estreñida o Seudo	RESIST. COMP. UNIAJ.	ND	31	DIRECCIÓN			ESPACIADO(m)	PERIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	TIPO				DUREZA
	1=Recto			5	1=Alto	1=Alto	1=Blanco-Regul.	D=Diastasa	OSi	L	1.7	Z/R	DIP	DO	1= <2	1= <1	1= Nada	1=Muy Rug.	1=Arcilloso	1=Ninguna	1=Interrada	1=Seco	1=Lac. Real
	2=Ocular				2=Mediano	2=Mediano	2=Blanco-irreg.	F=Fr. Normal	Y _r						2= 2-0.5	2= 1-3	2= <0.1	2=Rugosa	2=Or	2=Curs<5mm	2=Vig. Alt.	2=Mojado	2=Lac. Apar.
	3=Hermadura				3=Bajo	3=Bajo	3=Blanco-irreg.	F=Fr. Inversa	2 Golp						3= 0.5-0.2	3= 3-10	3= 0.1-1	3=Lig. Rug.	3=Clotita	3=Curs<5mm	3=Mod. Alt.	3=Mojado	3=Lac. Frey.
	4=Cuadrada						3=Blanco-Capas	F=Fr. Oblicua							4= 0.2-0.06	4= 10-30	4= 1-5	4=Ondulad.-lisa	4=Oxidosa	4=Susav<5mm	4=Muy Alt.	4=Gocho	
	5=Rectangular						4=Fract-Intenso	F=Fr. Microfracta							5= <0.06	5= >20	5= >5	5=Ondulad.-lisa	5=Fract Trifur.	5=Susav<5mm	5=Dercomp.	5=Flujo	
							Agregr. M.B. & M.P. MP	SE<Subres.											6=Fr				
							ChContacto												7=Fracta				
																			8=Epoxita				
1		3.50	4.00	0.30	Tl-vch	3	2	3	E	R3 (ROMPa)	45.59	216	16	306	4	1	5	3	4	2	3	1	1
2					Traquandelta	3	2	3	E	R3 (ROMPa)	45.59	211	25	301	4	1	4	3	4	5	3	1	1
3						3	2	3	E	R3 (ROMPa)	45.59	240	20	330	4	1	4	3	4	5	3	1	1
4						3	2	3	E	R3 (ROMPa)	45.59	248	9	338	4	1	4	3	4	5	3	1	1
5						3	2	3	E	R3 (ROMPa)	45.59	251	21	341	4	1	5	2	4	5	3	1	1
6						3	2	3	E	R3 (ROMPa)	45.59	226	14	316	4	1	5	2	4	5	3	1	1
7						3	2	3	E	R3 (ROMPa)	45.59	207	20	297	4	1	5	2	4	5	3	1	1
8						3	2	3	E	R3 (ROMPa)	45.59	212	22	302	4	1	3	3	4	5	3	1	1
9						3	2	3	E	R3 (ROMPa)	45.59	243	28	333	4	1	3	2	1	4	3	1	1
10						3	2	3	E	R3 (ROMPa)	45.59	191	36	281	4	1	5	3	1	4	3	1	1
11						3	2	3	E	R3 (ROMPa)	45.59	184	11	274	4	1	5	3	4	5	3	1	1
12						3	2	3	E	R3 (ROMPa)	45.59	218	41	308	4	1	4	3	4	5	3	1	1
13						3	2	3	E	R3 (ROMPa)	45.59	258	66	348	4	1	4	2	4	5	3	1	1
14					Tl-vch	3	2	3	Dlao-1	R3 (ROMPa)	45.59	333	75	63	4	2	4	3	1	4	3	1	1
15					Traquandelta	3	2	3	Dlao-1	R3 (ROMPa)	45.59	332	78	62	4	2	4	3	4	5	3	1	1
16						3	2	3	Dlao-1	R3 (ROMPa)	45.59	324	82	54	4	2	4	3	4	5	3	1	1
17						3	2	3	Dlao-1	R3 (ROMPa)	45.59	331	86	61	4	2	4	3	4	5	3	1	1
18						3	2	3	Dlao-1	R3 (ROMPa)	45.59	322	86	52	4	2	4	3	4	5	3	1	1
19						3	2	3	Dlao-1	R3 (ROMPa)	45.59	314	88	44	4	2	4	3	4	5	3	1	1
20						3	2	3	Dlao-1	R3 (ROMPa)	45.59	326	84	56	4	2	4	3	1	4	3	1	1
21						3	2	3	Dlao-1	R3 (ROMPa)	45.59	328	81	58	4	2	4	3	1	4	3	1	1
22						3	2	3	Dlao-1	R3 (ROMPa)	45.59	334	79	64	4	2	4	3	1	4	3	1	1
23						3	2	3	Dlao-1	R3 (ROMPa)	45.59	352	81	62	4	2	4	3	4	5	3	1	1
24						3	2	3	Dlao-1	R3 (ROMPa)	45.59	328	81	58	4	2	4	3	4	5	3	1	1
25						3	2	3	Dlao-1	R3 (ROMPa)	45.59	335	78	65	4	2	4	3	1	4	3	1	1
26						3	2	3	Dlao-1	R3 (ROMPa)	45.59	325	84	55	4	2	4	3	1	4	3	1	1
27						3	2	3	Dlao-1	R3 (ROMPa)	45.59	331	82	61	4	2	4	3	4	5	3	1	1
28						3	2	3	Dlao-1	R3 (ROMPa)	45.59	322	80	52	4	2	4	3	4	5	3	1	1
29					Traquandelta	3	2	3	Dlao-2	R3 (ROMPa)	45.59	145	89	235	3	1	4	2	1	4	3	1	1
30						3	2	3	Dlao-2	R3 (ROMPa)	45.59	160	85	250	3	1	3	2	1	4	3	1	1
31						3	2	3	Dlao-2	R3 (ROMPa)	45.59	166	82	256	3	1	4	2	4	5	3	1	1
32						3	2	3	Dlao-2	R3 (ROMPa)	45.59	122	45	212	3	1	4	2	4	5	3	1	1
33						3	2	3	Dlao-2	R3 (ROMPa)	45.59	163	79	253	3	1	4	2	4	5	3	1	1
34						3	2	3	Dlao-2	R3 (ROMPa)	45.59	123	61	213	3	1	2	3	1	4	3	1	1
35						3	2	3	Dlao-2	R3 (ROMPa)	45.59	112	77	202	3	1	2	3	1	4	3	1	1
36						3	2	3	Dlao-2	R3 (ROMPa)	45.59	96	72	186	3	1	3	2	1	4	3	1	1
37						3	2	3	Dlao-2	R3 (ROMPa)	45.59	121	52	211	3	1	3	2	1	4	3	1	1
38						3	2	3	Dlao-2	R3 (ROMPa)	45.59	171	20	261	3	1	3	3	1	4	3	1	1
39						3	2	3	Dlao-2	R3 (ROMPa)	45.59	168	21	258	3	1	2	3	1	4	3	1	1
40					Traquandelta	3	2	3	Dlao-3	R3 (ROMPa)	45.59	70	88	160	4	1	4	3	1	4	3	1	1
41						3	2	3	Dlao-3	R3 (ROMPa)	45.59	71	84	161	4	1	4	3	1	4	3	1	1
42						3	2	3	Dlao-3	R3 (ROMPa)	45.59	79	78	169	4	1	4	3	1	4	3	1	1
43						3	2	3	Dlao-3	R3 (ROMPa)	45.59	80	87	170	4	1	4	3	1	4	3	1	1
44						3	2	3	Dlao-3	R3 (ROMPa)	45.59	68	80	158	4	1	4	3	4	5	3	1	1
45						3	2	3	Dlao-3	R3 (ROMPa)	45.59	65	72	155	4	1	4	3	4	5	3	1	1
46						3	2	3	Dlao-3	R3 (ROMPa)	45.59	67	85	157	4	1	3	3	4	5	3	1	1
47						3	2	3	Dlao-3	R3 (ROMPa)	45.59	52	89	142	4	1	3	2	4	5	3	1	1
48						3	2	3	Dlao-3	R3 (ROMPa)	45.59	82	68	172	4	1	4	2	4	5	3	1	1
49						3	2	3	Dlao-3	R3 (ROMPa)	45.59	79	87	169	4	1	4	2	1	4	3	1	1
50						3	2	3	Dlao-3	R3 (ROMPa)	45.59	46	71	136	4	1	4	2	1	4	3	1	1
51						3	2	3	Dlao-3	R3 (ROMPa)	45.59	75	68	165	4	1	4	3	4	5	3	1	1
52						3	2	3	Dlao-3	R3 (ROMPa)	45.59	88	63	178	4	1	4	3	4	5	3	1	1

Diseño Original: M.Sc. Víctor Tolentino

Diseño Modificado: Reinaldo Rodríguez - 2017

Diseño Real: Franklin Montoya Torovero - 2018

Tabla 5.21. Información de la estación geomecánica 3.

REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO				RELACION GEOTÉCNICA Y LITOMORFOESTRUCTURAL DEL TÚNEL DE LA MINA PAREDES NIVEL 5 SAN PABLO - CAJAMARCA												Subterráneo							
UBICACIÓN				NIVEL 5																			
CÓDIGO	E-3			TRAMO	3			DE	Pl. + 233,25 m.			A	Pl. + 209,70 m.										
RESPONSABLE	Montoya Torovero Franklin R.			HOGA N°	3			COORDENADAS	---			ESTE (m.)	---			NORTE (m.)	---			COTA (m(mn.))	---		
SISTEMA	WGS	84	ZONA 17S	EJECUTADO POR	Montoya Torovero Franklin R.												FECHA	24/07/2018					
DIS. No	DIMENSIONES DE EXCAVACIÓN			MACIZO ROCOSO					TIPOS		RESIST. COMP. UNIA.	ROD TRAMO	ORIENTACIÓN			PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS							
	FORMA DE EXCAVACIÓN	ANCHO DE CÁMARA	CUNETA	LITOLÓGICA FORMAC.	MITIGACIÓN	GRADO FRACT.	OSI	Subestratificada oseudo	RESIST. COMP. UNIA.	ROD TRAMO	DIRECCIÓN			ESPACIADO(m)	FREQST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO	ALTERAC. METEOR.	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN		
	1=Estil				1=Fuerte	2=Medio	3=Debil	1=Discontinua	σ_{ci}	ND	Z/R	DIP	DD	1= > 2	2= 1-3	3= < 0.1	1=Med. Rug.	1=Arcilloso	2=Ca	3=Med. Alt.	4=Seco	1=Ac. Real	
	2=Circular				4=Alto	5=Mediano	6=Bajo	2=Discontinua	Prof. Normal	3				2= 3-5	3= 1-3	4= 0.1-1	2=Fuerte	2=Arcilloso	3=Med. Alt.	4=Med. Alt.	5=Med. Alt.	6=Ac. Apar.	
	3=Triangular				7=Medio	8=Bajo	9=Superf. Debil	3=Discontinua	Prof. Inversa	4				3= 5-10	4= 0.1-1	3=Med. Rug.	3=Caliza	3=Durac. 5mm	4=Med. Alt.	5=Med. Alt.	6=Med. Alt.	7=Med. Alt.	
	4=Cuadrada				10=Medio	11=Bajo	12=Superf. Debil	4=Discontinua	Prof. Directa	5				4= 10-20	5= 1-5	4=Med. Rug.	4=Caliza	4=Durac. 5mm	5=Med. Alt.	6=Med. Alt.	7=Med. Alt.	8=Med. Alt.	
	5=Rectangular				13=Medio	14=Bajo	15=Superf. Debil	5=Discontinua	Prof. Microfract.	6				5= < 0.05	6= > 20	5=Superf.	5=Caliza	5=Durac. 5mm	6=Med. Alt.	7=Med. Alt.	8=Med. Alt.	9=Med. Alt.	
					16=Medio	17=Bajo	18=Superf. Debil	6=Discontinua	Prof. Sobres.	7				6= > 0.05	7= > 20	6=Superf.	6=Caliza	6=Durac. 5mm	7=Med. Alt.	8=Med. Alt.	9=Med. Alt.	10=Med. Alt.	
					19=Medio	20=Bajo	21=Superf. Debil	7=Discontinua	CuContacto	8						7=Superf.	7=Caliza	7=Durac. 5mm	8=Med. Alt.	9=Med. Alt.	10=Med. Alt.	11=Med. Alt.	
					22=Medio	23=Bajo	24=Superf. Debil	8=Discontinua		9						8=Superf.	8=Caliza	8=Durac. 5mm	9=Med. Alt.	10=Med. Alt.	11=Med. Alt.	12=Med. Alt.	
					25=Medio	26=Bajo	27=Superf. Debil	9=Discontinua		10						9=Superf.	9=Caliza	9=Durac. 5mm	10=Med. Alt.	11=Med. Alt.	12=Med. Alt.	13=Med. Alt.	
					28=Medio	29=Bajo	30=Superf. Debil	10=Discontinua		11						10=Superf.	10=Caliza	10=Durac. 5mm	11=Med. Alt.	12=Med. Alt.	13=Med. Alt.	14=Med. Alt.	
					31=Medio	32=Bajo	33=Superf. Debil	11=Discontinua		12						11=Superf.	11=Caliza	11=Durac. 5mm	12=Med. Alt.	13=Med. Alt.	14=Med. Alt.	15=Med. Alt.	
					34=Medio	35=Bajo	36=Superf. Debil	12=Discontinua		13						12=Superf.	12=Caliza	12=Durac. 5mm	13=Med. Alt.	14=Med. Alt.	15=Med. Alt.	16=Med. Alt.	
					37=Medio	38=Bajo	39=Superf. Debil	13=Discontinua		14						13=Superf.	13=Caliza	13=Durac. 5mm	14=Med. Alt.	15=Med. Alt.	16=Med. Alt.	17=Med. Alt.	
					40=Medio	41=Bajo	42=Superf. Debil	14=Discontinua		15						14=Superf.	14=Caliza	14=Durac. 5mm	15=Med. Alt.	16=Med. Alt.	17=Med. Alt.	18=Med. Alt.	
					43=Medio	44=Bajo	45=Superf. Debil	15=Discontinua		16						15=Superf.	15=Caliza	15=Durac. 5mm	16=Med. Alt.	17=Med. Alt.	18=Med. Alt.	19=Med. Alt.	
					46=Medio	47=Bajo	48=Superf. Debil	16=Discontinua		17						16=Superf.	16=Caliza	16=Durac. 5mm	17=Med. Alt.	18=Med. Alt.	19=Med. Alt.	20=Med. Alt.	
					49=Medio	50=Bajo	51=Superf. Debil	17=Discontinua		18						17=Superf.	17=Caliza	17=Durac. 5mm	18=Med. Alt.	19=Med. Alt.	20=Med. Alt.	21=Med. Alt.	
					52=Medio	53=Bajo	54=Superf. Debil	18=Discontinua		19						18=Superf.	18=Caliza	18=Durac. 5mm	19=Med. Alt.	20=Med. Alt.	21=Med. Alt.	22=Med. Alt.	
					55=Medio	56=Bajo	57=Superf. Debil	19=Discontinua		20						19=Superf.	19=Caliza	19=Durac. 5mm	20=Med. Alt.	21=Med. Alt.	22=Med. Alt.	23=Med. Alt.	
					58=Medio	59=Bajo	60=Superf. Debil	20=Discontinua		21						20=Superf.	20=Caliza	20=Durac. 5mm	21=Med. Alt.	22=Med. Alt.	23=Med. Alt.	24=Med. Alt.	
					61=Medio	62=Bajo	63=Superf. Debil	21=Discontinua		22						21=Superf.	21=Caliza	21=Durac. 5mm	22=Med. Alt.	23=Med. Alt.	24=Med. Alt.	25=Med. Alt.	
					64=Medio	65=Bajo	66=Superf. Debil	22=Discontinua		23						22=Superf.	22=Caliza	22=Durac. 5mm	23=Med. Alt.	24=Med. Alt.	25=Med. Alt.	26=Med. Alt.	
					67=Medio	68=Bajo	69=Superf. Debil	23=Discontinua		24						23=Superf.	23=Caliza	23=Durac. 5mm	24=Med. Alt.	25=Med. Alt.	26=Med. Alt.	27=Med. Alt.	
					68=Medio	69=Bajo	70=Superf. Debil	24=Discontinua		25						24=Superf.	24=Caliza	24=Durac. 5mm	25=Med. Alt.	26=Med. Alt.	27=Med. Alt.	28=Med. Alt.	
					69=Medio	70=Bajo	71=Superf. Debil	25=Discontinua		26						25=Superf.	25=Caliza	25=Durac. 5mm	26=Med. Alt.	27=Med. Alt.	28=Med. Alt.	29=Med. Alt.	
					70=Medio	71=Bajo	72=Superf. Debil	26=Discontinua		27						26=Superf.	26=Caliza	26=Durac. 5mm	27=Med. Alt.	28=Med. Alt.	29=Med. Alt.	30=Med. Alt.	
					71=Medio	72=Bajo	73=Superf. Debil	27=Discontinua		28						27=Superf.	27=Caliza	27=Durac. 5mm	28=Med. Alt.	29=Med. Alt.	30=Med. Alt.	31=Med. Alt.	
					72=Medio	73=Bajo	74=Superf. Debil	28=Discontinua		29						28=Superf.	28=Caliza	28=Durac. 5mm	29=Med. Alt.	30=Med. Alt.	31=Med. Alt.	32=Med. Alt.	
					73=Medio	74=Bajo	75=Superf. Debil	29=Discontinua		30						29=Superf.	29=Caliza	29=Durac. 5mm	30=Med. Alt.	31=Med. Alt.	32=Med. Alt.	33=Med. Alt.	
					74=Medio	75=Bajo	76=Superf. Debil	30=Discontinua		31						30=Superf.	30=Caliza	30=Durac. 5mm	31=Med. Alt.	32=Med. Alt.	33=Med. Alt.	34=Med. Alt.	
					75=Medio	76=Bajo	77=Superf. Debil	31=Discontinua		32						31=Superf.	31=Caliza	31=Durac. 5mm	32=Med. Alt.	33=Med. Alt.	34=Med. Alt.	35=Med. Alt.	
					76=Medio	77=Bajo	78=Superf. Debil	32=Discontinua		33						32=Superf.	32=Caliza	32=Durac. 5mm	33=Med. Alt.	34=Med. Alt.	35=Med. Alt.	36=Med. Alt.	
					77=Medio	78=Bajo	79=Superf. Debil	33=Discontinua		34						33=Superf.	33=Caliza	33=Durac. 5mm	34=Med. Alt.	35=Med. Alt.	36=Med. Alt.	37=Med. Alt.	
					78=Medio	79=Bajo	80=Superf. Debil	34=Discontinua		35						34=Superf.	34=Caliza	34=Durac. 5mm	35=Med. Alt.	36=Med. Alt.	37=Med. Alt.	38=Med. Alt.	
					79=Medio	80=Bajo	81=Superf. Debil	35=Discontinua		36						35=Superf.	35=Caliza	35=Durac. 5mm	36=Med. Alt.	37=Med. Alt.	38=Med. Alt.	39=Med. Alt.	
					80=Medio	81=Bajo	82=Superf. Debil	36=Discontinua		37						36=Superf.	36=Caliza	36=Durac. 5mm	37=Med. Alt.	38=Med. Alt.	39=Med. Alt.	40=Med. Alt.	
					81=Medio	82=Bajo	83=Superf. Debil	37=Discontinua		38						37=Superf.	37=Caliza	37=Durac. 5mm	38=Med. Alt.	39=Med. Alt.	40=Med. Alt.	41=Med. Alt.	
					82=Medio	83=Bajo	84=Superf. Debil	38=Discontinua		39						38=Superf.	38=Caliza	38=Durac. 5mm	39=Med. Alt.	40=Med. Alt.	41=Med. Alt.	42=Med. Alt.	
					83=Medio	84=Bajo	85=Superf. Debil	39=Discontinua		40						39=Superf.	39=Caliza	39=Durac. 5mm	40=Med. Alt.	41=Med. Alt.	42=Med. Alt.	43=Med. Alt.	
					84=Medio	85=Bajo	86=Superf. Debil	40=Discontinua		41						40=Superf.	40=Caliza	40=Durac. 5mm	41=Med. Alt.	42=Med. Alt.	43=Med. Alt.	44=Med. Alt.	
					85=Medio	86=Bajo	87=Superf. Debil	41=Discontinua		42						41=Superf.	41=Caliza	41=Durac. 5mm	42=Med. Alt.	43=Med. Alt.	44=Med. Alt.	45=Med. Alt.	
					86=Medio	87=Bajo	88=Superf. Debil	42=Discontinua		43						42=Superf.	42=Caliza	42=Durac. 5mm	43=Med. Alt.	44=Med. Alt.	45=Med. Alt.	46=Med. Alt.	
					87=Medio	88=Bajo	89=Superf. Debil	43=Discontinua		44						43=Superf.	43=Caliza	43=Durac. 5mm	44=Med. Alt.	45=Med. Alt.	46=Med. Alt.	47=Med. Alt.	
					88=Medio	89=Bajo	90=Superf. Debil	44=Discontinua		45						44=Superf.	44=Caliza	44=Durac. 5mm	45=Med. Alt.	46=Med. Alt.	47=Med. Alt.	48=Med. Alt.	
					89=Medio	90=Bajo	91=Superf. Debil	45=Discontinua		46						45=Superf.	45=Caliza	45=Durac. 5mm	46=Med. Alt.	47=Med. Alt.	48=Med. Alt.	49=Med. Alt.	
					90=Medio	91=Bajo	92=Superf. Debil	46=Discontinua		47						46=Superf.	46=Caliza	46=Durac. 5mm	47=Med. Alt.	48=Med. Alt.	49=Med. Alt.	50=Med. Alt.	
					91=Medio	92=Bajo	93=Superf. Debil	47=Discontinua		48						47=Superf.	47=Caliza	47=Durac. 5mm	48=Med. Alt.	49=Med. Alt.	50=Med. Alt.	51=Med. Alt.	
					92=Medio	93=Bajo	94=Superf. Debil	48=Discontinua		49						48=Superf.	48=Caliza	48=Durac. 5mm	49=Med. Alt.	50=Med. Alt.	51=Med. Alt.	52=Med. Alt.	
					93=Medio	94=Bajo	95=Superf. Debil	49=Discontinua		50						49=Superf.	49=Caliza	49=Durac. 5mm	50=Med. Alt.	51=Med. Alt.	52=Med. Alt.	53=Med. Alt.	
					94=Medio	95=Bajo	96=Superf. Debil	50=Discontinua		51						50=Superf.	50=Caliza	50=Durac. 5mm	51=Med. Alt.	52=Med. Alt.	53=Med. Alt.	54=Med. Alt.	
					95=Medio	96=Bajo	97=Superf. Debil	51=Discontinua		52						51=Superf.	51=Caliza	51=Durac. 5mm	52=Med. Alt.	53=Med. Alt.	54=Med. Alt.	55=Med. Alt.	
					96=Medio	97=Bajo	98=Superf. Debil	52=Discontinua		53						52=Superf.	52=Caliza	52=Durac. 5mm	53=Med. Alt.	54=Med. Alt.	55=Med. Alt.	56=Med. Alt.	
					97=Medio	98=Bajo	99=Superf. Debil	53=Discontinua		54						53=Superf.	53=Caliza	53=Durac. 5mm	54=Med. Alt.	55=Med. Alt.	56=Med. Alt.	57=Med. Alt.	
					98=Medio	99=Bajo	100=Superf. Debil	54=Discontinua		55						54=Superf.	54=Caliza	54=Durac. 5mm	55=Med. Alt.	56=Med. Alt.	57=Med. Alt.	58=Med. Alt.	
					99=Medio	100=Bajo	101=Superf. Debil	55=Discontinua		56						55=Superf.	55=Caliza	55=Durac. 5mm	56=Med. Alt.	57=Med. Alt.	58=Med. Alt.	59=Med. Alt.	
					100=Medio	101=Bajo	102=Superf. Debil	56=Discontinua		57						56=Superf.	56=Caliza	56=Durac. 5mm	57=Med. Alt.	58=Med. Alt.	59=Med. Alt.	60=Med. Alt.	
					101=Medio	102=Bajo	103=Superf. Debil	57=Discontinua		58													

Tabla 5.22. Información de la estación geomecánica 4.

REGISTRO GEOLOGICO GEOTECNICO				TESIS	RELACION GEOTECNICA Y LITOMORFOESTRUCTURAL DEL TUNEL DE LA MINA PAREDONES NIVEL 5 SAN PABLO - CAJAMARCA																							
UBICACION				NIVEL 5																								
CÓDIGO				E-4	DE	PL. = 338,50 m.	A	PL. = 370,30 m.																				
RESPONSABLE				Montoya Torovero Franklin R.	NOIA N°	4	COORDENADAS	ESTE (m.)	NORTE (m.)	COTA (mm.)																		
SISTEMA				WGS	84	ZONA 17S	EJECUTADO POR	Montoya Torovero Franklin R.	FECHA	24/07/2018																		
DIMENSIONES DE EXCAVACION				MACIZO ROCOSO			TIPOS		RESIST. COMP. UNIAJ.		ROD TRAMO		ORIENTACION			ESPACIADO(m)		PERSIST. (m)		ABERTURA (mm)		RUGOS.		RELLENO DUREZA		ALTERAC. METEOR.	AGUA	CALIDAD DE INFORMACION
FORMA DE EXCAVACION				1	LITOLOGIA FORMAC.	METEORIZACION	GRADO FRACT.	GSI	E=Estratificada o Seudo	D=Oclasa	F=F.Normal	I=Inversa	DIRECCION	1=>2	1=<1	1=Nada	1=Muy Rug.	1=Arcilloso	1=Ninguna	1=Inalterada	1=Seco	1=Loc. Real						
DIS. Nro				1																								
HASTIAL				ANCHO DE CAMARA	CUNETAS																							
1	6.00	3.00	0.45	Ti-ych	2	3	1	E	R5 (130 MPa)	77.65	293	59	23	4	2	4	3	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
2				Andesita	2	3	1	E	R5 (130 MPa)	77.65	275	84	5	4	2	4	3	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
3					2	3	1	E	R5 (130 MPa)	77.65	279	79	9	4	2	4	3	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
4					2	3	1	E	R5 (130 MPa)	77.65	304	52	34	4	2	4	3	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
5					2	3	1	E	R5 (130 MPa)	77.65	284	81	14	4	2	4	3	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
6					2	3	1	E	R5 (130 MPa)	77.65	283	68	13	4	2	4	3	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
7					2	3	1	E	R5 (130 MPa)	77.65	296	67	26	4	2	4	3	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
8					2	3	1	E	R5 (130 MPa)	77.65	290	75	20	4	2	4	3	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
9					2	3	1	E	R5 (130 MPa)	77.65	294	75	24	4	2	2	3	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
10					2	3	1	E	R5 (130 MPa)	77.65	325	72	55	4	2	2	3	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
11					2	3	1	E	R5 (130 MPa)	77.65	302	79	32	4	2	2	3	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
12					2	3	1	E	R5 (130 MPa)	77.65	300	79	30	4	2	2	3	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
13					2	3	1	E	R5 (130 MPa)	77.65	285	86	15	4	2	1	3	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
14					2	3	1	E	R5 (130 MPa)	77.65	274	71	4	4	2	1	3	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
15					2	3	1	E	R5 (130 MPa)	77.65	286	85	16	4	2	1	3	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
16					2	3	1	E	R5 (130 MPa)	77.65	293	81	23	4	2	1	3	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
17					2	3	1	E	R5 (130 MPa)	77.65	235	65	325	4	2	4	3	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
18					2	3	1	E	R5 (130 MPa)	77.65	258	62	348	4	2	4	3	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
19					2	3	1	E	R5 (130 MPa)	77.65	252	70	342	4	2	4	3	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
20					2	3	1	E	R5 (130 MPa)	77.65	265	71	355	4	2	4	3	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
21				Ti-ych	2	3	1	Disc-1	R5 (130 MPa)	77.65	178	36	268	3	1	3	5	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
22				Andesita	2	3	1	Disc-1	R5 (130 MPa)	77.65	146	40	236	3	1	3	5	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
23					2	3	1	Disc-1	R5 (130 MPa)	77.65	116	37	206	3	1	3	5	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
24					2	3	1	Disc-1	R5 (130 MPa)	77.65	191	42	281	3	1	2	5	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
25					2	3	1	Disc-1	R5 (130 MPa)	77.65	181	66	271	3	1	2	5	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
26					2	3	1	Disc-1	R5 (130 MPa)	77.65	184	32	274	3	1	2	5	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
27					2	3	1	Disc-1	R5 (130 MPa)	77.65	170	69	260	3	1	2	5	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
28					2	3	1	Disc-1	R5 (130 MPa)	77.65	158	48	248	3	1	2	5	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
29					2	3	1	Disc-1	R5 (130 MPa)	77.65	164	36	254	3	1	3	5	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
30					2	3	1	Disc-1	R5 (130 MPa)	77.65	179	70	269	3	1	3	5	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
31					2	3	1	Disc-1	R5 (130 MPa)	77.65	175	54	265	3	1	3	5	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
32				Ti-ych	2	3	1	Disc-2	R5 (130 MPa)	77.65	20	22	110	3	1	2	5	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
33				Andesita	2	3	1	Disc-2	R5 (130 MPa)	77.65	8	32	98	3	1	1	5	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
34					2	3	1	Disc-2	R5 (130 MPa)	77.65	11	36	101	3	1	1	5	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
35					2	3	1	Disc-2	R5 (130 MPa)	77.65	25	21	115	3	1	2	5	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
36					2	3	1	Disc-2	R5 (130 MPa)	77.65	11	34	101	3	1	1	5	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
37					2	3	1	Disc-2	R5 (130 MPa)	77.65	22	32	112	3	1	1	5	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
38					2	3	1	Disc-2	R5 (130 MPa)	77.65	34	7	124	3	1	2	5	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
39					2	3	1	Disc-2	R5 (130 MPa)	77.65	42	9	132	3	1	2	4	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
40					2	3	1	Disc-2	R5 (130 MPa)	77.65	7	24	97	3	1	2	4	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
41					2	3	1	Disc-2	R5 (130 MPa)	77.65	34	55	124	3	1	2	5	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
42					2	3	1	Disc-2	R5 (130 MPa)	77.65	13	51	103	3	1	2	4	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
								Túnel			124	80																

Diseño Original: M.Sc. Victor Tolentino

Diseño Modificado: Rinaldo Rodríguez - 2017

Diseño Final: Franklin Montoya Torovero - 2018

Tabla 5.23. Información de la estación geomecánica 5.

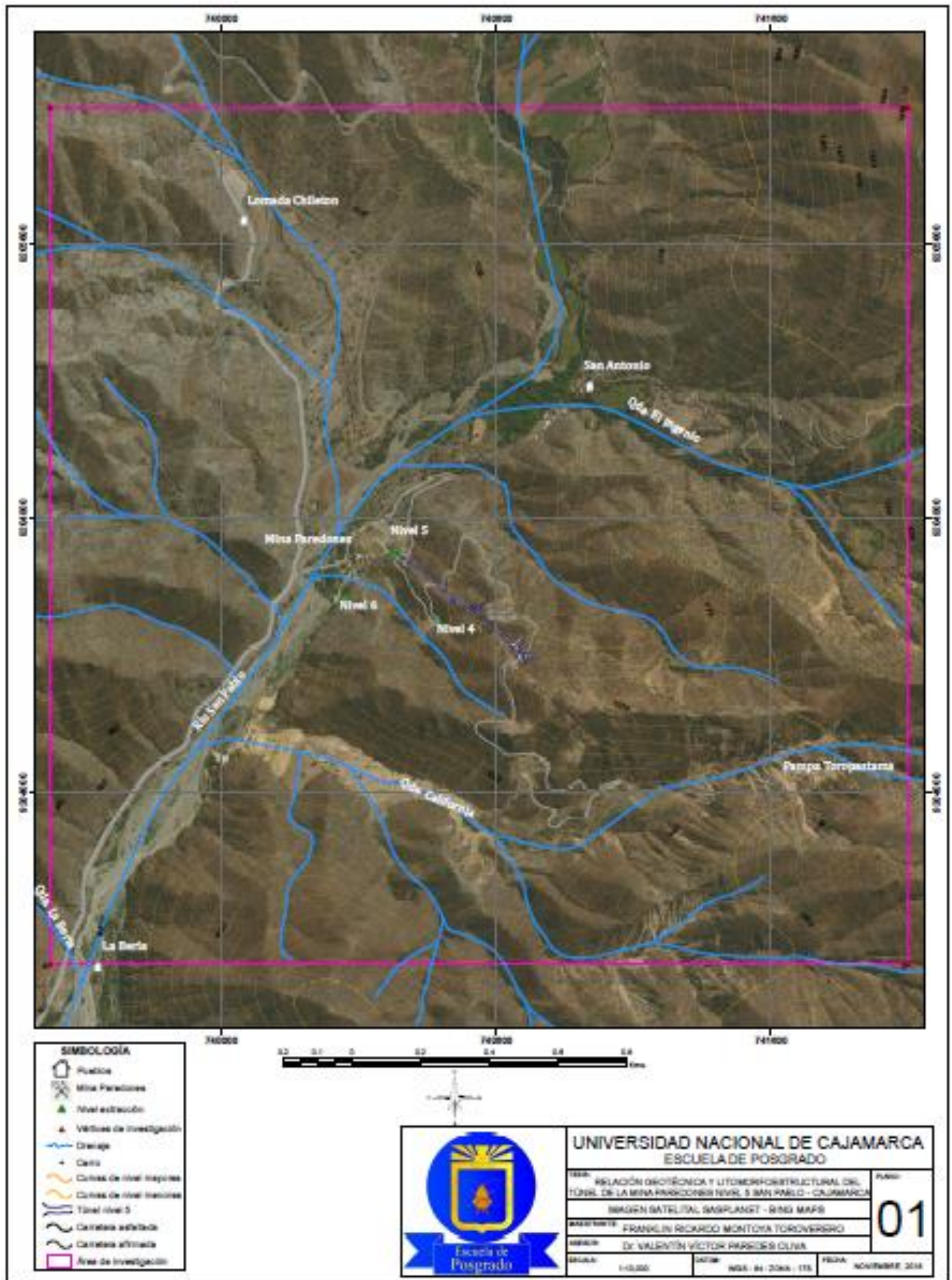
REGISTRO GEOLOGICO GEOTECNICO				TESIS UBICACION		RELACION GEOTECNICA Y LITOMORFOSTRUCTURAL DEL TUNEL DE LA MINA PAREDES NIVEL 5 SAN PABLO - CAJAMARCA										Subterráneo																				
CÓDIGO E-5				TRAMO S		DE PL. + 450.00 m.					A PL. + 467.20 m.																									
RESPONSABLE Montoya Torovero Franklin R.				HIDIA N° S		COORDENADAS ESTE (m.)					NORTE (m.)					COTA (mm.)																				
SISTEMA WGS 84 ZONA 17S				EJECUTADO POR		Montoya Torovero Franklin R.										FECHA 24/07/2018																				
DIS. No	DIMENSIONES DE EXCAVACIÓN			MACIZO ROCOSO					TIPOS		RESIST. COMP. UNIAJ.		RQD TRAMO		ORIENTACIÓN			PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFADAS					RELLENO		ALTERAC. METEOR.		AGUA		CALIDAD DE INFORMACIÓN							
	FORMA DE EXCAVACIÓN			LITOLOGÍA FORMAC.	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	E=Estreñido o Sueldo	RESIST. COMP. UNIAJ.	RQD	TRAMO	DIRECCIÓN			ESPACIADO(m)		PERIST. (m)		ABERTURA (mm)		RUGOS.		TIPO		DUREZA		ALTERAC. METEOR.		AGUA		CALIDAD DE INFORMACIÓN					
	1=Basal	2=Circular	3=Irregular									1=Discontinua	2=Discontinua	3=Discontinua	1=Normal	2=Inversa	1=1	2=2	1=1	2=2	1=1	2=2	1=1	2=2	1=1	2=2	1=1	2=2	1=1	2=2	1=1	2=2	1=1	2=2	1=1	2=2
	4=Cuadrada	5=Rectangular	1=Frío									2=Mediano	3=Caliente	1=Frío	2=Mediano	3=Caliente	1=Frío	2=Mediano	3=Caliente	1=Frío	2=Mediano	3=Caliente	1=Frío	2=Mediano	3=Caliente	1=Frío	2=Mediano	3=Caliente	1=Frío	2=Mediano	3=Caliente	1=Frío	2=Mediano	3=Caliente	1=Frío	2=Mediano
HASTIAL	ANCHO DE CÁMARA	CUNETAS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
1	4.30	3.20	0.20	Ti-veh	3	2	3	E	RS (110 MPa)	68.08	155	56	245	4	2	4	3	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
2				Andesita	3	2	3	E	RS (110 MPa)	68.08	154	71	244	4	2	3	3	9	5	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
3					3	2	3	E	RS (110 MPa)	68.08	151	76	241	4	2	3	3	9	5	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
4					3	2	3	E	RS (110 MPa)	68.08	156	63	246	4	2	3	3	9	5	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
5					3	2	3	E	RS (110 MPa)	68.08	151	66	241	4	2	3	3	9	5	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
6					3	2	3	E	RS (110 MPa)	68.08	144	76	234	4	2	3	3	9	5	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
7					3	2	3	E	RS (110 MPa)	68.08	145	70	235	4	2	3	3	9	5	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
8					3	2	3	E	RS (110 MPa)	68.08	155	73	245	4	2	4	3	9	5	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
9					3	2	3	E	RS (110 MPa)	68.08	161	68	251	4	2	4	3	9	5	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
10					3	2	3	E	RS (110 MPa)	68.08	144	78	234	4	2	4	3	9	5	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
11					3	2	3	E	RS (110 MPa)	68.08	148	79	238	4	2	4	3	9	5	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
12					3	2	3	E	RS (110 MPa)	68.08	158	70	248	4	2	4	3	9	5	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
13					3	2	3	E	RS (110 MPa)	68.08	147	82	237	4	2	3	3	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
14					3	2	3	E	RS (110 MPa)	68.08	151	69	241	4	2	3	3	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
15					3	2	3	E	RS (110 MPa)	68.08	149	80	239	4	2	3	3	9	5	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
16					3	2	3	E	RS (110 MPa)	68.08	153	76	243	4	2	3	3	9	5	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
17					3	2	3	E	RS (110 MPa)	68.08	146	72	236	4	2	4	3	9	5	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
18				Ti-veh	3	2	3	Dico-1	RS (110 MPa)	68.08	78	65	168	3	1	3	3	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
19				Andesita	3	2	3	Dico-2	RS (110 MPa)	68.08	69	73	159	3	1	3	3	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
20					3	2	3	Dico-1	RS (110 MPa)	68.08	85	58	175	3	1	3	3	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
21					3	2	3	Dico-1	RS (110 MPa)	68.08	80	65	170	3	1	3	3	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
22					3	2	3	Dico-1	RS (110 MPa)	68.08	80	72	170	3	1	3	3	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
23					3	2	3	Dico-1	RS (110 MPa)	68.08	65	66	155	3	1	3	3	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
24					3	2	3	Dico-1	RS (110 MPa)	68.08	68	73	158	3	1	3	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
25					3	2	3	Dico-1	RS (110 MPa)	68.08	61	70	151	3	1	3	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
26					3	2	3	Dico-1	RS (110 MPa)	68.08	58	74	148	3	1	3	3	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
27					3	2	3	Dico-1	RS (110 MPa)	68.08	69	73	159	3	1	3	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
28					3	2	3	Dico-1	RS (110 MPa)	68.08	73	69	163	3	1	3	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
29					3	2	3	Dico-1	RS (110 MPa)	68.08	67	74	157	3	1	3	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
30				Ti-veh	3	2	3	Dico-2	RS (110 MPa)	68.08	284	50	14	4	1	4	3	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
31				Andesita	3	2	3	Dico-2	RS (110 MPa)	68.08	293	56	23	4	1	4	3	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
32					3	2	3	Dico-2	RS (110 MPa)	68.08	285	53	15	4	1	4	3	9	5	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
33					3	2	3	Dico-2	RS (110 MPa)	68.08	280	49	10	4	1	4	3	9	5	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
34					3	2	3	Dico-2	RS (110 MPa)	68.08	286	53	14	4	1	4	3	9	5	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
35					3	2	3	Dico-2	RS (110 MPa)	68.08	295	61	25	4	1	4	3	9	5	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
36					3	2	3	Dico-2	RS (110 MPa)	68.08	294	70	24	4	1	4	3	9	5	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
37					3	2	3	Dico-2	RS (110 MPa)	68.08	275	45	5	4	1	4	3	9	5	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
38					3	2	3	Dico-2	RS (110 MPa)	68.08	320	69	50	4	1	4	3	9	5	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
39					3	2	3	Dico-2	RS (110 MPa)	68.08	290	59	20	4	1	4	3	9	5	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
40					3	2	3	Dico-2	RS (110 MPa)	68.08	309	76	39	4	1	4	3	9	5	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
41					3	2	3	Dico-2	RS (110 MPa)	68.08	321	79	51	4	1	4	3	9	5	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
42					3	2	3	Dico-2	RS (110 MPa)	68.08	321	79	51	4	1	4	3	9	5	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
43				Ti-veh	3	2	3	Dico-3	RS (110 MPa)	68.08	230	84	320	3	1	3	3	1	4	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
44				Andesita	3	2	3	Dico-3	RS (110 MPa)	68.08	226	81	316	3	1	3	3	1	4	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
45					3	2	3	Dico-3	RS (110 MPa)	68.08	227	79	317	3	1	3	3	1	4	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
46					3	2	3	Dico-3	RS (110 MPa)	68.08	232	86	322	3	1	3	3	1	4	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
47					3	2	3	Dico-3	RS (110 MPa)	68.08	225	78	315	3	1	3	3	1	4	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
48					3	2	3	Dico-3	RS (110 MPa)	68.08	224	80	314	3	1	3	3	1	4	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
49					3	2	3	Dico-3	RS (110 MPa)	68.08	228	82	318	3	1	3	3	1	4	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
50					3	2	3	Dico-3	RS (110 MPa)	68.08	233	77	323	3	1	3	3	1	4	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
51					3	2	3	Dico-3	RS (110 MPa)	68.08	231	80	321	3	1	3	3	1	4	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
52					3	2	3	Dico-3	RS (110 MPa)	68.08	234	83	324	3	1	3	3	1	4	2	2	2	2	2	2	2	2	1								
								Túnel			115	80																								

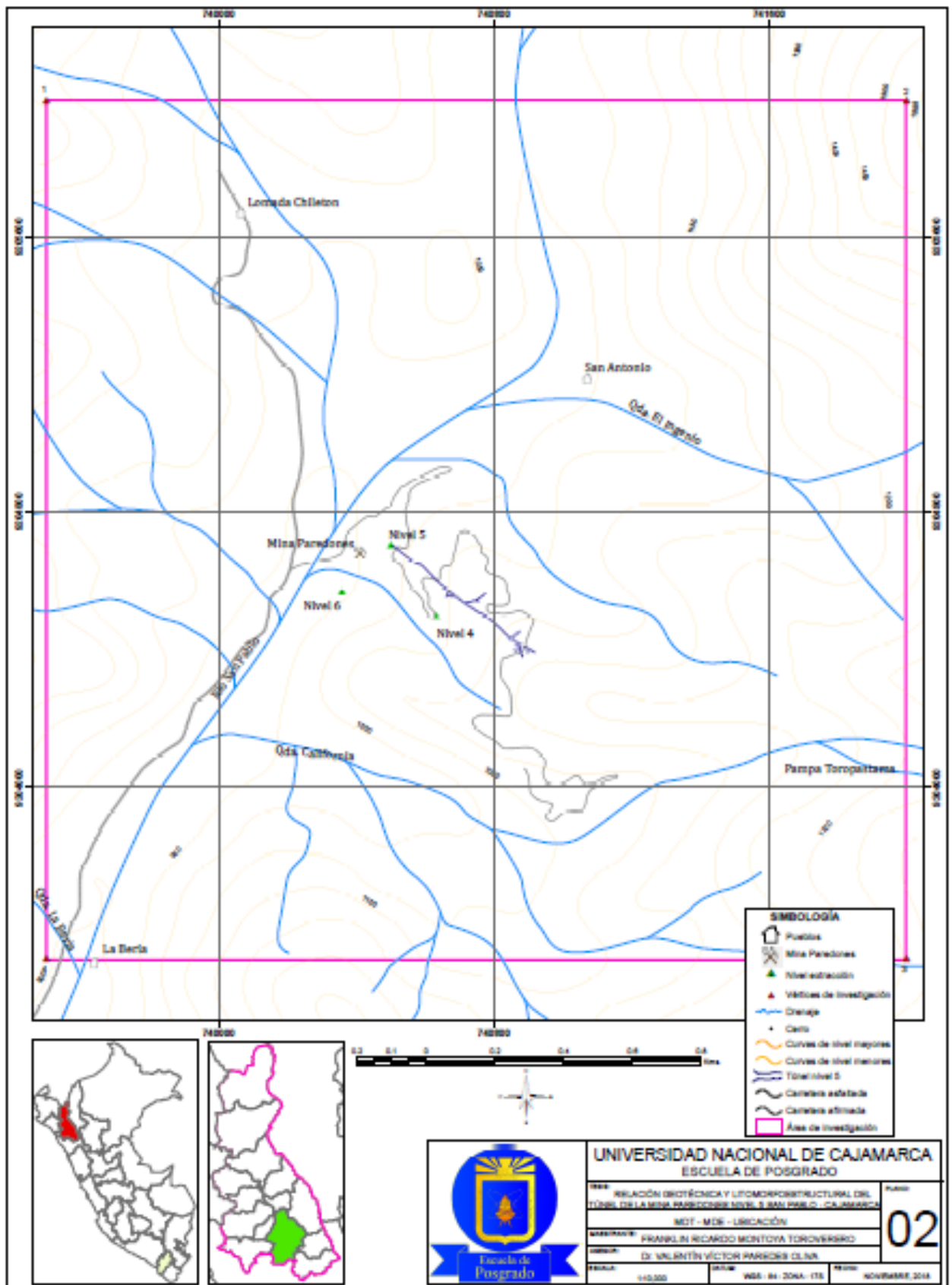
Diseño Original: M.Sc. Víctor Tolentino

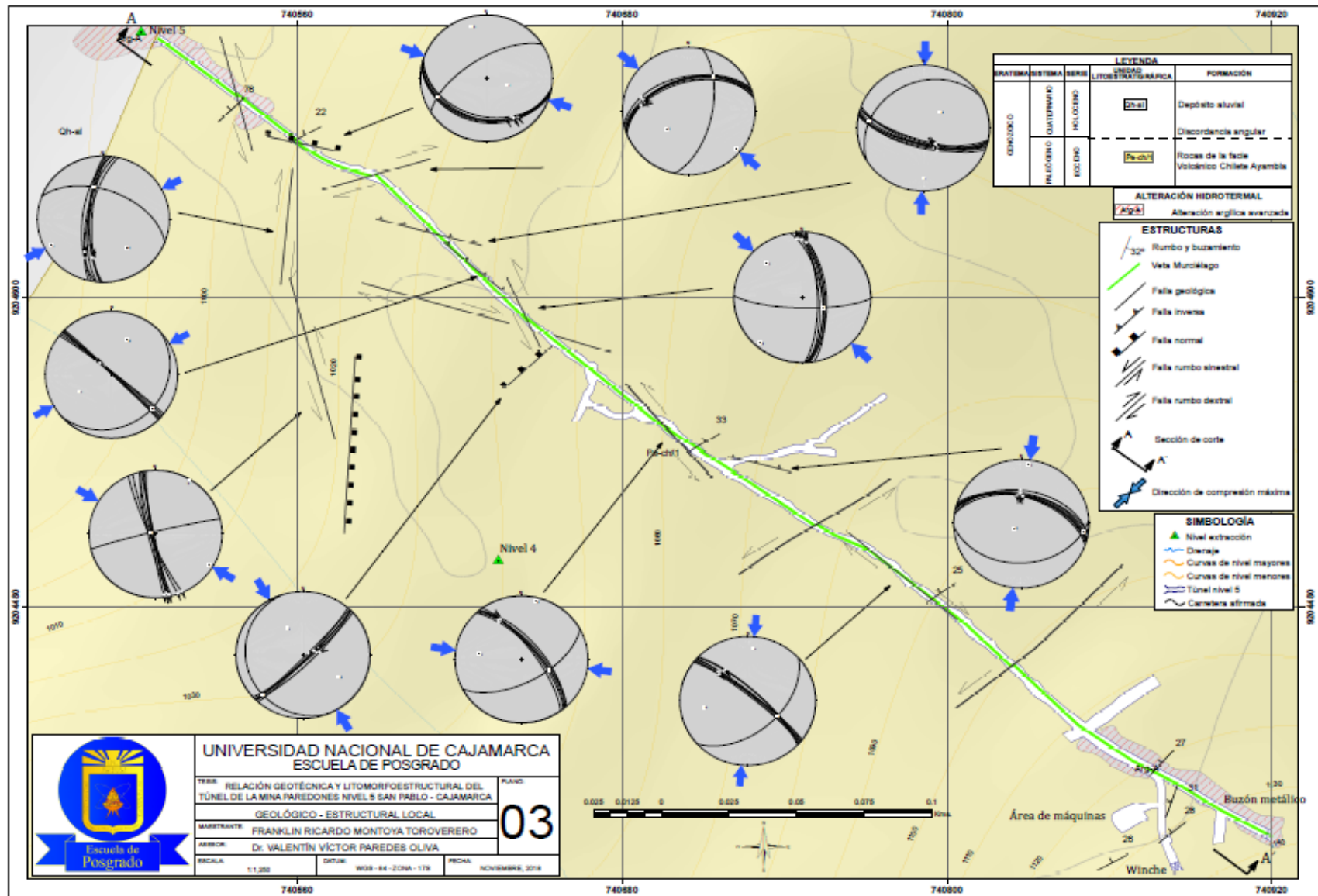
Diseño Modificado: Raúl Rodríguez - 2017

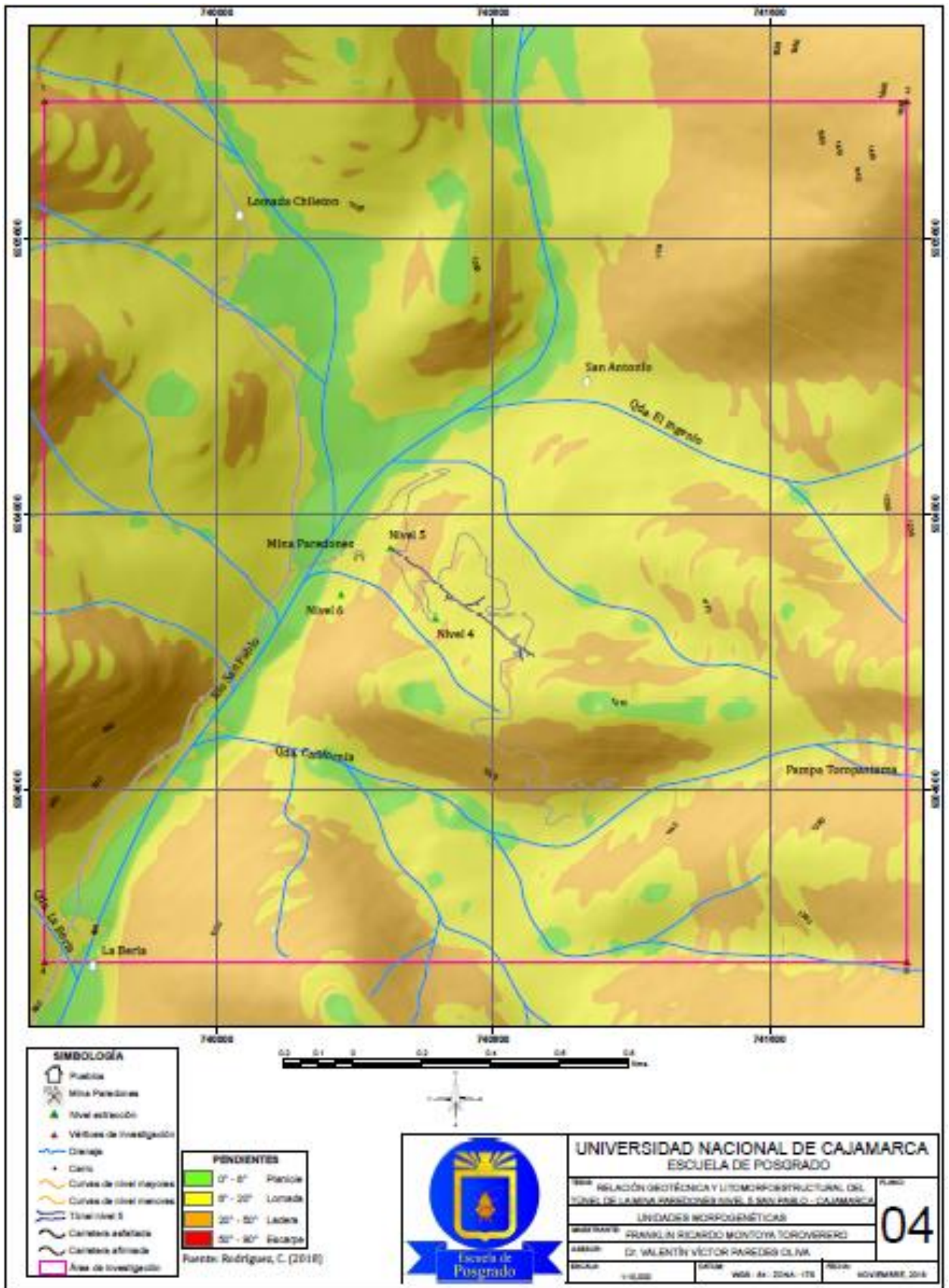
Diseño Final: Franklin Montoya Torovero - 2018

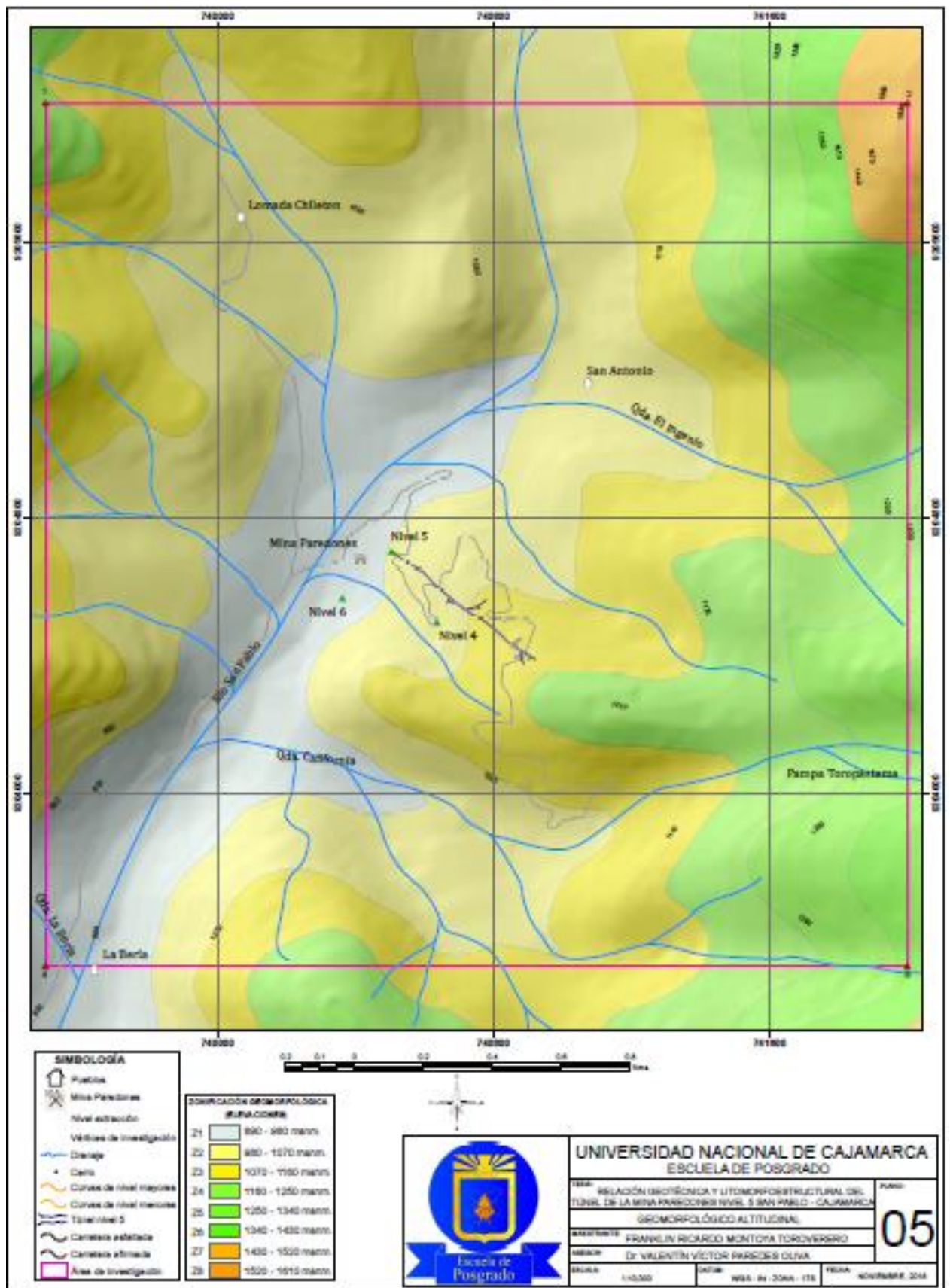
APÉNDICE C
PLANOS

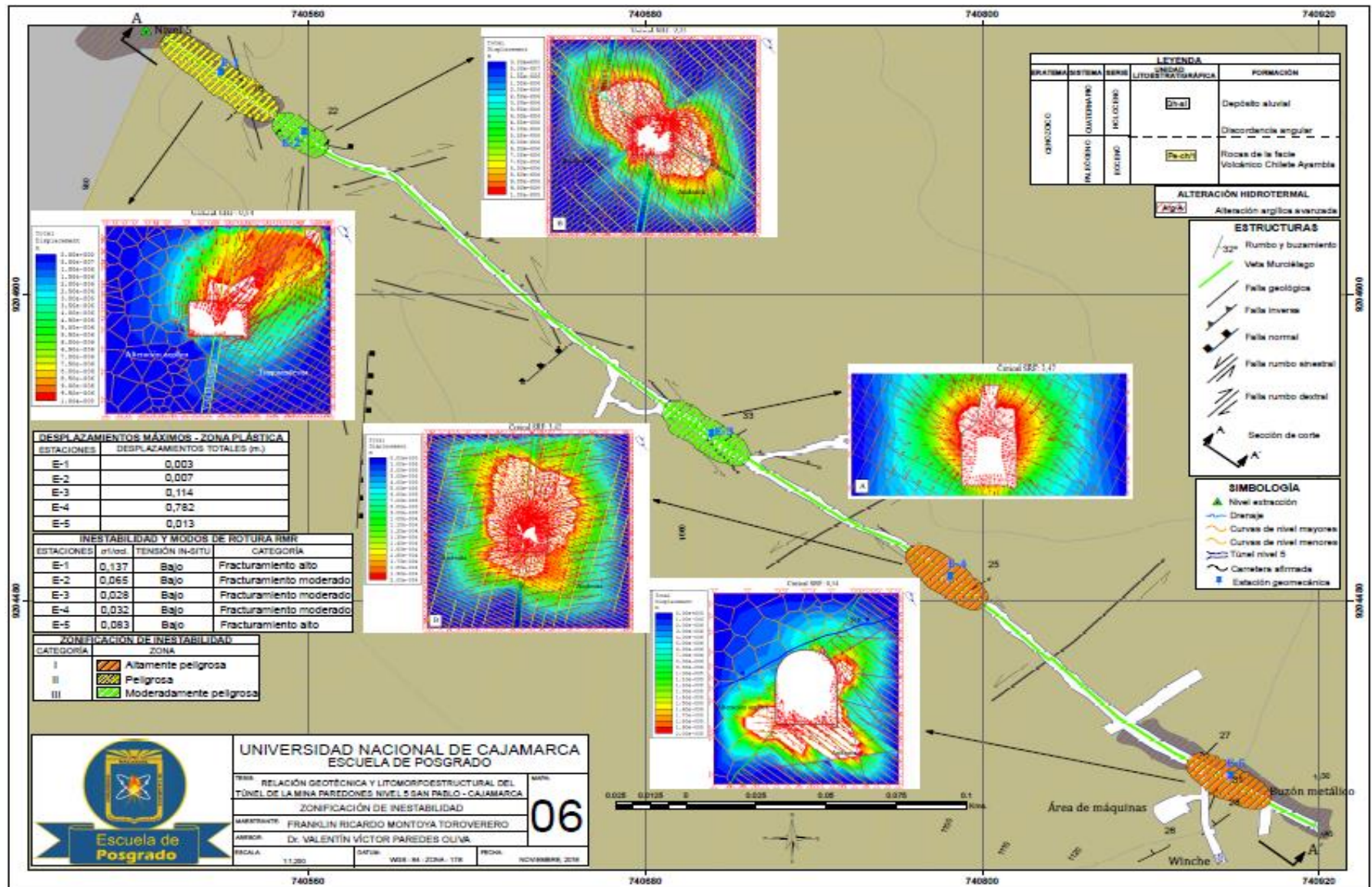


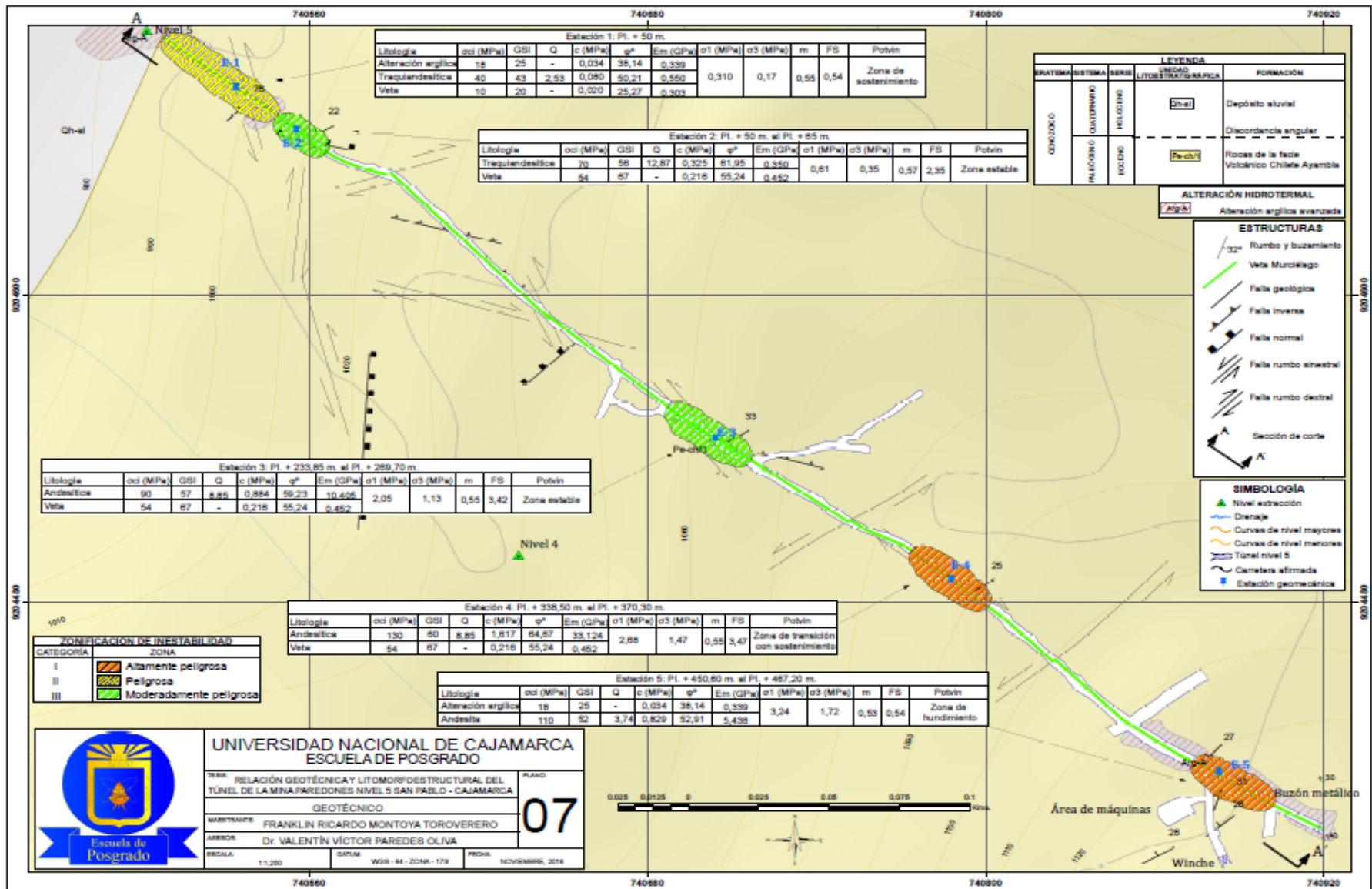


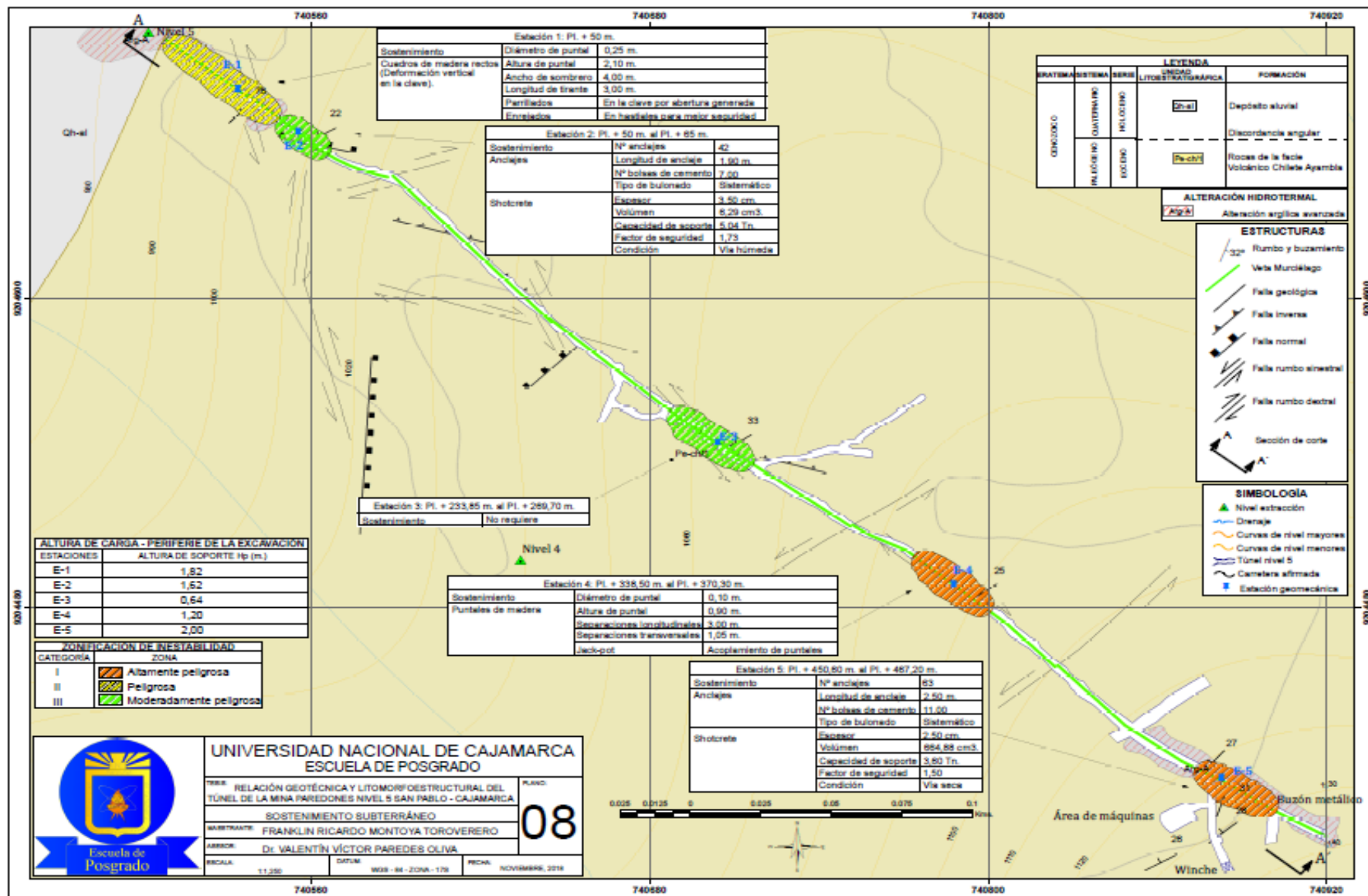




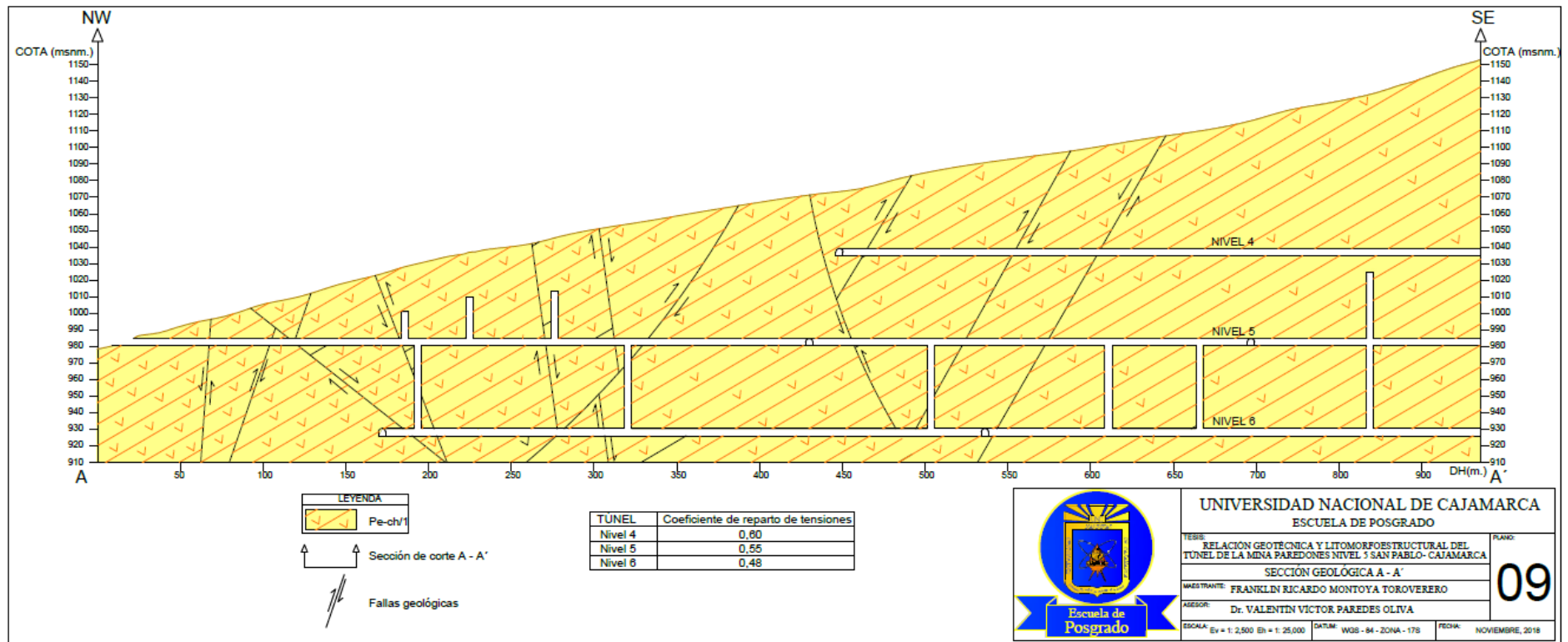








APÉNDICE D
SECCIÓN



APÉNDICE E
MATRIZ DE IMPACTOS AMBIENTALES

Tabla 5.24. Matriz de impactos ambientales cuantitativos.

Ambiente		TESES: RELACIÓN GEOTÉCNICA Y LITOMORFOESTRUCTURAL DEL TÚNEL DE LA MINA PAREDONES NIVEL 5 SAN PABLO - CAJAMARCA																				Puntaje		
		Variables																				Cuantificación		
		Transporte de equipos, materiales e insumos	Preparación de equipos, materiales e insumos	Operación de maquinaria	Abertura de excavaciones proyectadas	Perforación y voladura	Extracción de mineral	Selección de roca triturada	Disposición de material a tolvas	Transporte y acarreo	Nivelación y rellenos	Limpieza de cunetas	Mangas de ventilación	Monitoreo del aire	Desquinche	Sostenimiento subterráneo	Requerimiento de energía	Requerimiento de agua	Desmontes	Total de impactos por aspecto	(+)	(0)	(-)	
Ambiente físico	Geología	Caída de bloques	no	no	0	0	0	-	no	no	no	no	no	no	0	+	0	no	no	1	5	1		
		Resistencia de la roca	-	0	0	0	-	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	0	3	2		
		Permeabilidad	no	no	-	0	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	0	1	1		
		Tipo de roca	no	no	0	-	no	no	0	no	no	no	no	no	-	no	no	no	no	0	2	2		
		Estratificación	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	0	1	0		
		Fallas	no	no	no	-	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	0	0	1		
		Alteración de roca circundante	no	no	no	0	-	0	no	no	no	no	no	no	no	0	no	no	no	0	3	2		
	Tensiones litostáticas	no	no	-	0	0	0	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	0	3	1			
	Clima	Precipitación	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	0	0	0		
		Vientos	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	0	0	0		
		Humedad relativa	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	0	0	0		
	Hidrología	Brillo solar	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	0	0	0		
		Alteración de escorrentía	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	0	0	0		
	Hidrogeología	Alteración de remoción de sedimentos	-	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	0	0	1		
		Cambio de caudal de las corrientes de agua	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	0	0	0		
		Calidad de agua	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	0	0	0		
	Ruido y vibraciones	Cambio de nivel freático	no	no	0	0	-	-	no	0	no	no	no	no	no	no	no	no	no	0	3	2		
		Cambio de calidad de agua	no	no	no	no	no	+	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	1	0	1		
	Aire	Líneas de flujo	no	no	no	0	0	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	0	2	0		
		Aumento de nivel sonoro	0	0	0	no	-	no	no	-	0	-	no	no	no	-	-	no	no	0	4	5		
		Aumento de aceleraciones máximas	-	-	0	-	-	no	no	no	0	no	no	no	no	no	no	no	no	0	2	4		
		Emisiones de gases	0	0	0	-	+	-	no	+	-	no	no	+	+	no	no	no	no	4	3	3		
Olores		0	-	-	no	no	-	no	+	no	no	no	+	+	no	no	no	no	3	1	3			
Requerimiento de oxígeno		no	no	-	+	0	0	no	no	-	no	no	+	+	-	no	+	no	no	4	2	3		
Material particulado		-	-	-	0	+	0	0	+	-	0	-	+	+	0	no	no	0	4	6	5			
Ambiente biológico	Flora	Perdida de flora y vegetación	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	0	0	0			
		Alteración de la composición florística	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	0	0	0			
		Alteración del hábitat para flora	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	0	0	0			
		Alteración de la capacidad regenerativa	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	0	0	0			
	Utilización de madera	no	no	no	-	no	no	no	+	no	no	no	0	-	+	0	0	no	2	3	2			
Fauna	Perturbación de fauna	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	0	0	0			
	Perdida de hábitat de la fauna	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	0	0	0			
Ambiente socio-económico	Económico	Migración de especies	0	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	0	1	0			
		Generación de empleo	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	17	0	0			
		Incremento de impuestos	-	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	0	0	1		
	Social	Cambio de valor de terrenos	0	no	no	-	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	0	1	1		
		Dinamismo económico local	+	-	-	no	-	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	1	0	3		
		Incremento del índice poblacional	no	no	-	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	0	0	1			
		Efectos en la salud y seguridad	0	+	-	-	+	no	no	-	no	-	no	no	no	no	no	no	no	2	2	4		
		Niveles de capacitación	+	+	+	+	+	no	no	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	15	0	0		
		Educación	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	0	0	0		
		Salud	no	+	-	no	-	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	1	0	2		
Modo de vida	0	no	-	-	no	0	0	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	0	3	2				
Ambiente cultural	Paisaje	Calidad visual	-	no	0	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	0	1	1			
	Arqueología	Alteración del paisaje	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	0	0	0			
Total de impactos ambiental	Alteración del sitio arqueológico	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	0	0	0			
	Positivo (+)	3	4	2	3	5	2	1	6	2	3	2	6	6	2	4	3	2	2					
	Mínimo (0)	7	3	8	9	4	5	3	1	2	1	0	0	1	3	0	2	1	1					
	Negativo (-)	6	4	10	10	6	4	0	2	3	2	1	0	4	1	1	0	0						

Tabla 5.25. Matriz de impactos ambientales cualitativos.

		TESIS: RELACIÓN GEOTÉCNICA Y LITOMORFOESTRUCTURAL DEL TÚNEL DE LA MINA PAREDONES NIVEL 5 SAN PABLO - CAJAMARCA																			Puntaje		
Ambiente	Variables	Transporte de equipos, materiales e insumos	Preparación de equipos, materiales e insumos	Operación de maquinaria	Abertura de excavaciones proyectadas	Perforación y voladura	Extracción de mineral	Seleccionamiento de roca triturada	Disposición de material a tolvas	Transporte y acarreo	Nivelación y rellenos	Limpieza de cunetas	Mangas de ventilación	Monitoreo del aire	Desquinche	Sostenimiento subterráneo	Requerimiento de energía	Requerimiento de agua	Desmontes	Promedio ponderado cualitativo			
Ambiente físico	Geología	Caida de bloques	Muy leve	Muy leve	Moderado	Moderado	Moderado	Leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Moderado	Alto	Moderado	Muy leve	Muy leve	Moderado		
		Resistencia de la roca	Leve	Moderado	Moderado	Moderado	Leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Moderado-leve	
		Permeabilidad	Muy leve	Muy leve	Leve	Moderado	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Moderado-leve	
		Tipo de roca	Muy leve	Muy leve	Moderado	Leve	Muy leve	Muy leve	Moderado	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Moderado-leve	
		Estratificación	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Moderado	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Moderado	
		Fallas	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Leve	
		Alteración de roca circundante	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Moderado	Leve	Moderado	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Moderado	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Moderado-leve	
		Tensiones litostáticas	Muy leve	Muy leve	Leve	Moderado	Moderado	Moderado	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Moderado	
	Clima	Precipitación	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	
		Vientos	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	
		Humedad relativa	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	
		Brillo solar	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	
	Hidrología	Alteración de escorrentía	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	
		Alteración de remoción de sedimentos	Leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Leve	
		Cambio de caudal de las corrientes de agua	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	
		Calidad de agua	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	
	Hidrogeología	Cambio de nivel freático	Muy leve	Muy leve	Moderado	Moderado	Leve	Leve	Muy leve	Moderado	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Moderado-leve	
		Cambio de calidad de agua	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Leve	Muy leve	Alto	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Alto	
		Líneas de flujo	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Moderado	Moderado	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Moderado	
		Ruido y vibraciones	Aumento de nivel sonoro	Moderado	Moderado	Moderado	Muy leve	Leve	Moderado	Muy leve	Leve	Moderado	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Leve	Leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Leve	
	Aire	Aumento de aceleraciones máximas	Leve	Leve	Moderado	Leve	Leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Moderado	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Leve	
		Emisiones de gases	Moderado	Moderado	Moderado	Leve	Alto	Leve	Muy leve	Alto	Leve	Muy leve	Muy leve	Alto	Alto	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Alto	
		Olores	Moderado	Leve	Leve	no	no	Leve	Muy leve	+	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Alto	Alto	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Alto	
		Requerimiento de oxígeno	no	no	Leve	Alto	Moderado	Moderado	Muy leve	Muy leve	Leve	Muy leve	Muy leve	Alto	Alto	Leve	Muy leve	Alto	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Alto	
	Ambiente biológico	Flora	Material particulado	Leve	Leve	Leve	Moderado	Alto	Moderado	Moderado	Alto	Leve	Moderado	Leve	Alto	Alto	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Moderado	
			Pérdida de flora y vegetación	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve
			Alteración de la composición florística	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve
			Alteración del hábitat para flora	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve
Fauna		Alteración de la capacidad regenerativa	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	
		Utilización de madera	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Alto	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Moderado	Leve	Alto	Moderado	Muy leve	Muy leve	Moderado	
		Perturbación de fauna	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	
		Pérdida de hábitat de la fauna	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	
Ambiente socio-económico	Económico	Migración de especies	Moderado	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Moderado		
		Generación de empleo	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	
		Incremento de impuestos	Leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Leve	
		Cambio de valor de terrenos	Moderado	Muy leve	Muy leve	Leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Moderado-leve	
	Social	Dinamismo económico local	Alto	Leve	Leve	Muy leve	Leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Leve	
		Incremento del índice poblacional	Muy leve	Muy leve	Leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Leve	
		Efectos en la salud y seguridad	Moderado	Alto	Leve	Leve	Alto	Muy leve	Muy leve	Leve	Muy leve	Leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Leve	
		Niveles de capacitación	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Muy leve	Muy leve	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	
Ambiente cultural	Paisaje	Educación	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Ninguno		
		Salud	Muy leve	Alto	Leve	Leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Leve	
	Arqueología	Modo de vida	Moderado	Alto	Leve	Leve	Muy leve	Moderado	Moderado	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Moderado-leve	
		Calidad visual	Leve	Muy leve	Moderado	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Moderado-leve	
		Alteración del paisaje	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve		
		Alteración del sitio arqueológico	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve	Muy leve		