

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



TESIS PROFESIONAL

**COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO MEDIANTE LA VALORACIÓN RMR89
PARA DETERMINAR LOS SOSTENIMIENTOS EN MINA CAJAMARCA DE
PACCHA, BAMBAMARCA – CAJAMARCA 2020**

**Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO DE MINAS**

Presentado por:

Bach. Jonatan David Goicochea Cuzco

Asesor:

Dr. Reinaldo Rodríguez Cruzado

Cajamarca – Perú

2021

DEDICATORIA

Quiero dedicar la presente tesis a mis padres, María y Emilio por el apoyo incondicional brindado en cada momento de mi vida, así como a mis hermanas: Cesia, Daniela y Adriana por ser mi motivo de alegría y felicidad.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecer a Dios por la vida y salud, así como por estar conmigo en cada paso que he dado.

A mi casa superior de estudios, la Universidad Nacional de Cajamarca por acogerme en sus aulas, prepararme para ser un buen profesional y permitirme recibir ahí la enseñanza de grandes docentes que contribuyeron en mi formación profesional, y en especial a mi asesor Dr. Reinaldo Rodríguez Cruzado.

ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	v
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE PLANOS	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES	3
2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES.....	4
2.1.3 ANTECEDENTES LOCALES	5
2.2 BASES TEÓRICAS.....	6
2.2.1 ESTADO TENSIONAL NATURAL	6
2.2.2 FORMULACIÓN DE SHEOREY.....	6
2.2.3 CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS	7
2.2.4 CRITERIO DE ROTURA HOEK-BROWN GENERALIZADO 2002	14
2.2.5 SOSTENIMIENTO.....	17
2.2.6 TABLA DE SOPORTE PRÁCTICO MINERO (SPM)	18
2.2.7 FACTOR DE SEGURIDAD.....	19
2.2.8 SISMICIDAD	20
2.2.9 SEGURIDAD EN EXPLOTACIONES DE CARBÓN	22
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	22

**CAPÍTULO III
MATERIALES Y MÉTODOS**

	Pág.
3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA	24
3.2 ACCESIBILIDAD	25
3.3. CLIMA.....	25
3.4 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	25
3.4.1 TIPO, NIVEL, DISEÑO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	25
3.4.2 POBLACIÓN	26
3.4.3 MUESTRA.....	26
3.4.4 UNIDAD DE ANÁLISIS.....	26
3.4.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	26
3.5 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	28
3.5.1 VARIABLES INDEPENDIENTES	28
3.5.2 VARIABLE DEPENDIENTE.....	29

**CAPÍTULO IV
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

4.1 GEOLOGÍA REGIONAL	30
4.1.1 GRUPO GOYLLARISQUIZGA.....	30
4.2 GEOLOGÍA LOCAL DE LA GALERÍA JUANA	31
4.3 ESTUDIO GEOMECÁNICO	37
4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS	103
4.5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	105
4.6 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	108

**CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1 CONCLUSIONES.....	110
5.2 RECOMENDACIONES	111

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112
---	------------

LISTA DE ABREVIATURAS

UTM	:	Universal Transversal de Mercator
INGEMMET	:	Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú
OSINERGMIN	:	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería
SENAMHI	:	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
MINEM	:	Ministerio de Energía y Minas del Perú
FS	:	Factor de Seguridad
RQD	:	Índice de Calidad de la Roca
RMR	:	Calidad del Macizo Rocoso
GSI	:	Índice de Resistencia Geológica
BM	:	Bench Mark
SPM	:	Soporte Práctico Minero
ESR	:	Relación de sostenimiento de la excavación
Erm	:	Módulo de deformación del macizo rocoso
LPRC	:	Línea de Precipitación Referencial Conservadora
k	:	Relación de tensiones
Eh	:	Módulo elástico de Young
MPa	:	Mega Pascales
De	:	Dimensión equivalente
σ'_1	:	Esfuerzo principal mayor
σ'_3	:	Esfuerzo principal menor
σ_{ci}	:	Resistencia a compresión uniaxial del material intacto
s	:	Constante de Hoek-Brown
a:	:	Constante de Hoek-Brown
D	:	Factor de alteración
λ	:	Número de discontinuidades / longitud
m_b	:	Valor reducido de la constante del material
m_i	:	Constante del bloque de roca intacta

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1. Índice de Calidad de la Roca (RQD)	7
Tabla 2.2. Principales clasificaciones geomecánicas en la Ingeniería.....	8
Tabla 2.3. Parámetros de clasificación RMR	11
Tabla 2.4. Corrección por la orientación de las discontinuidades	11
Tabla 2.5. Clasificación RMR89	12
Tabla 2.6. Características geotécnicas	12
Tabla 2.7. Orientación de las discontinuidades	12
Tabla 2.8. Calidad del macizo rocoso en relación al índice RMR89.....	12
Tabla 2.9. Valores de ESR (Barton y Grimstad, 1994)	18
Tabla 2.10. FS recomendados según el plazo de estabilidad	20
Tabla 2.11. Zona sísmica. Hualgayoc – Cajamarca	21
Tabla 3.1. Accesibilidad al área de estudio	25
Tabla 3.2. Clasificación de la investigación.....	26
Tabla 4.1. Coordenadas UTM, WGS-84 del BM	32
Tabla 4.2. Datos topográficos y litológicos de la labor principal	32
Tabla 4.3. Estaciones de control geomecánico	37
Tabla 4.4. Parámetros geomecánicos de la Estación N°1	38
Tabla 4.5. Valoración del Macizo Rcoso (RMR89). Estación N°1	39
Tabla 4.6. Parámetros geomecánicos de la Estación N°2.....	40
Tabla 4.7. Valoración del Macizo Rcoso (RMR89). Estación N°2	41
Tabla 4.8. Parámetros geomecánicos de la Estación N°3.....	42
Tabla 4.9. Valoración del Macizo Rcoso (RMR89). Estación N°3	43
Tabla 4.10. Parámetros geomecánicos de la Estación N°4.....	44
Tabla 4.11. Valoración del Macizo Rcoso (RMR89). Estación N°4	45
Tabla 4.12. Parámetros geomecánicos de la Estación N°5.....	46
Tabla 4.13. Valoración del Macizo Rcoso (RMR89). Estación N°5	47
Tabla 4.14. Parámetros geomecánicos de la Estación N°6.....	48
Tabla 4.15. Valoración del Macizo Rcoso (RMR89). Estación N°6	49
Tabla 4.16. Parámetros geomecánicos de la Estación N°7.....	50
Tabla 4.17. Valoración del Macizo Rcoso (RMR89). Estación N°7	51
Tabla 4.18. Calidad de macizos rocosos, RMR89. E1 - E7	52
Tabla 4.19. RMR89 y GSI.....	52

	Pág.
Tabla 4.20. Coordenadas Geográficas, WGS-84.....	52
Tabla 4.21. Resultados RocData 4.0 por Estación Geomecánica	60
Tabla 4.22. Distribución de tensiones en la galería Juana	60
Tabla 4.23. Datos de las Estaciones Geomecánicas	83
Tabla 4.24. Datos de la madera. Estación N°1.	91
Tabla 4.25. Esfuerzos sobre la madera. Estación N°1	91
Tabla 4.26. Dimensiones del sombrero. Estación N°1	91
Tabla 4.27. Dimensiones del poste. Estación N°1	92
Tabla 4.28. Datos de la madera. Estación N°2	92
Tabla 4.29. Esfuerzo sobre la madera. Estación N°2.....	92
Tabla 4.30. Dimensiones del sombrero. Estación N°2	92
Tabla 4.31. Dimensiones del poste. Estación N°2	93
Tabla 4.32. Datos de la madera. Estación N°3	93
Tabla 4.33. Esfuerzo sobre la madera. Estación N°3.....	93
Tabla 4.34. Dimensiones del sombrero. Estación N°3	93
Tabla 4.35. Dimensiones del poste. Estación N°3	94
Tabla 4.36. Datos de la madera. Estación N°4	94
Tabla 4.37. Esfuerzos sobre la madera. Estación N°4	94
Tabla 4.38. Dimensiones del sombrero. Estación N°4	94
Tabla 4.39. Dimensiones del poste. Estación N°4	95
Tabla 4.40. Datos de la madera. Estación N°5	95
Tabla 4.41. Esfuerzos sobre la madera. Estación N°5	95
Tabla 4.42. Dimensiones del sombrero. Estación N°5	95
Tabla 4.43. Dimensiones del poste. Estación N°5	96
Tabla 4.44. Datos de la madera. Estación N°6	96
Tabla 4.45. Esfuerzos sobre la madera. Estación N°6	96
Tabla 4.46. Dimensiones del sombrero. Estación N°6	96
Tabla 4.47. Dimensiones del poste. Estación N°6	97
Tabla 4.48. Datos de la madera. Estación N°7	97
Tabla 4.49. Esfuerzos sobre la madera. Estación N°7	97
Tabla 4.50. Dimensiones del sombrero. Estación N°7	97
Tabla 4.51. Dimensiones del poste. Estación N°7	98
Tabla 4.52. Sostenimiento según tabla SPM	98

	Pág.
Tabla 4.53. Dimensiones de los cuadros de madera	99
Tabla 4.54. Sostenimiento por cuadros de madera	99
Tabla 4.55. Ubicación de la Estación Meteorológica Bambamarca	100
Tabla 4.56. Datos de la precipitación 2017-2021	100
Tabla 4.57. Cálculo del factor de transposición de precipitaciones	100
Tabla 4.58. Data de precipitaciones en la zona de estudio	101
Tabla 4.59. Cohesión y ángulo de rozamiento, valores de RocData	105
Tabla 4.60. Sostenimiento por cuadros para E3, E4, E5 y E6.....	107

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. Procedimiento para medir y calcular el RQD.....	9
Figura 2.2. GSI mediante condiciones de las discontinuidades y RQD.	13
Figura 2.3. Guía para estimar el Factor de Alteración (D).	16
Figura 2.4. Diseño de sostenimiento en labores mineras SPM	19
Figura 2.5. Zonas sísmicas en el Perú	21
Figura 3.1. Ubicación de la Mina Cajamarca de Paccha.	24
Figura 4.1. Geología. Estación N°1.....	35
Figura 4.2. Geología. Estación N°2.....	35
Figura 4.3. Geología. Estación N°3.....	35
Figura 4.4. Geología. Estación N°4.....	36
Figura 4.5. Geología. Estación N°5.....	36
Figura 4.6. Geología. Estación N°6.....	36
Figura 4.7. Geología. Estación N°7.....	37
Figura 4.8. Estación N°1.	38
Figura 4.9. Estación N°2.	40
Figura 4.10. Estación N°3.	42
Figura 4.11. Estación N°4.	44
Figura 4.12. Estación N°5.	46
Figura 4.13. Estación N°6.	48
Figura 4.14. Estación N°7.	50
Figura 4.15. Envolvente de rotura no lineal de Hoek-Brown y lineal de Mohr-Coulomb, Estación N°1.	53
Figura 4.16. Envolvente de rotura no lineal de Hoek-Brown y lineal de Mohr-Coulomb, Estación N°2.	54
Figura 4.17. Envolvente de rotura no lineal de Hoek-Brown y lineal de Mohr-Coulomb, Estación N°3.	55
Figura 4.18. Envolvente de rotura no lineal de Hoek-Brown y lineal de Mohr-Coulomb, Estación N°4.	56
Figura 4.19. Envolvente de rotura no lineal de Hoek-Brown y lineal de Mohr-Coulomb, Estación N°5.	57
Figura 4.20. Envolvente de rotura no lineal de Hoek-Brown y lineal de Mohr-Coulomb, Estación N°6.	58

	Pág.
Figura 4.21. Envolvente de rotura no lineal de Hoek-Brown y lineal de Mohr-Coulomb, Estación N°7.	59
Figura 4.22. Coeficientes sísmicos Kh y Kv, calculados en Loadcap.	61
Figura 4.23. Tensiones en la sección transversal. Estación N°1.	62
Figura 4.24. FS en la sección transversal de la labor. Estación N°1.	63
Figura 4.25. Desplazamientos totales sin sismicidad. Estación N°1.	64
Figura 4.26. Desplazamientos totales con sismicidad. Estación N°1.	64
Figura 4.27. Tensiones en la sección transversal. Estación N°2.	65
Figura 4.28. FS en la sección transversal de la labor. Estación N°2.	66
Figura 4.29. Desplazamientos totales sin sismicidad. Estación N°2.	67
Figura 4.30. Desplazamientos totales con sismicidad. Estación N°2.	67
Figura 4.31. Tensiones en la sección transversal. Estación N°3.	68
Figura 4.32. FS en la sección transversal de la labor. Estación N°3.	69
Figura 4.33. Desplazamientos totales sin sismicidad. Estación N°3.	70
Figura 4.34. Desplazamientos totales con sismicidad. Estación N°3.	70
Figura 4.35. Tensiones en la sección transversal. Estación N°4.	71
Figura 4.36. FS en la sección transversal de la labor. Estación N°4.	72
Figura 4.37. Desplazamientos totales sin sismicidad. Estación N°4.	73
Figura 4.38. Desplazamientos totales con sismicidad. Estación N°4.	73
Figura 4.39. Tensiones en la sección transversal. Estación N°5.	74
Figura 4.40. FS en la sección transversal de la labor. Estación N°5.	75
Figura 4.41. Desplazamientos totales sin sismicidad. Estación N°5.	76
Figura 4.42. Desplazamientos totales con sismicidad. Estación N°5.	76
Figura 4.43. Tensiones en la sección transversal. Estación N°6.	77
Figura 4.44. FS en la sección transversal de la labor. Estación N°6.	78
Figura 4.45. Desplazamientos totales sin sismicidad. Estación N°6.	79
Figura 4.46. Desplazamientos totales con sismicidad. Estación N°6.	79
Figura 4.47. Tensiones en la sección transversal. Estación N°7.	80
Figura 4.48. FS en la sección transversal de la labor. Estación N°7.	81
Figura 4.49. Desplazamientos totales sin sismicidad. Estación N°7.	82
Figura 4.50. Desplazamientos totales con sismicidad. Estación N°7.	82
Figura 4.51. Sostenimiento según Tabla SPM. Estación N°1.	84
Figura 4.52. Sostenimiento según Tabla SPM. Estación N°2.	85

	Pág.
Figura 4.53. Sostenimiento según Tabla SPM. Estación N°3.....	86
Figura 4.54. Sostenimiento según Tabla SPM. Estación N°4.....	87
Figura 4.55. Sostenimiento según Tabla SPM. Estación N°5.....	88
Figura 4.56. Sostenimiento según Tabla SPM. Estación N°6.....	89
Figura 4.57. Sostenimiento según Tabla SPM. Estación N°7.....	90
Figura 4.58. Representación de las curvas de precipitación anual mensualizadas, 2017-2021.	102

LISTA DE PLANOS

- PLANO 01. ESTACIONES GEOMECÁNICAS.
- PLANO 02. SECCIONES TOPOGRÁFICAS.
- PLANO 03. LITOLOGÍA.
- PLANO 04. EVALUACIÓN GEOMECÁNICA.

RESUMEN

La investigación se desarrolla en la galería Juana de la Mina Cajamarca de Paccha, ubicada en el distrito de Bambamarca, perteneciente a la empresa Calera Bendición de Dios EIRL. El fracturamiento y las infiltraciones de agua genera zonas de inestabilidad geomecánica en el techo y hastiales de la labor, por ello es necesario analizar el comportamiento geomecánico del macizo rocoso circundante a las excavaciones y determinar los sostenimientos. Se definió siete estaciones de control geomecánico, evaluadas según el RMR89 de Bieniawski; así, las estaciones E1, E2 y E3, se clasificaron como clase IV mala y las estaciones E4, E5, E6 y E7, como III media. Se analizó la precipitación – infiltración, variable que no es constante en el tiempo; puesto que, entre los meses de octubre – abril la precipitación tiene valores más altos; lo que genera mayor infiltración, disminuyendo la resistencia en las discontinuidades y provocando caída de bloques de roca. La sismicidad con los coeficientes sísmicos calculados para la zona, $K_v = 0.125$ y $K_h = 0.063$; provocan variaciones de los desplazamientos totales en la excavación. Finalmente, el sostenimiento según la Tabla de Soporte Práctico Minero indica que se debe usar pernos sistemáticos, espaciados 1.0 m x 1.0 m más malla electrosoldada para las estaciones E1, E2 y E3; pernos sistemáticos, espaciados 1.2 m x 1.2 m para las estaciones E4, E5 y E6; y ocasionales para la estación E7. Asimismo, según los cálculos numéricos se debe utilizar cuadros de madera con diámetros mínimos para el poste y sombrero entre 5” – 8”, cónico en las estaciones E1, E2 y E7; y recto en las estaciones E3, E4, E5 y E6.

Palabras clave: comportamiento geomecánico, sostenimiento, sismicidad precipitación, infiltración, macizo rocoso.

ABSTRACT

The investigation is carried out in the Juana gallery of the Cajamarca de Paccha Mine, located in the district of Bambamarca, belonging to the company Calera Bendición de Dios EIRL. Fracturing and water infiltrations generate areas of geomechanical instability in the roof and gables of the work, therefore it is necessary to analyze the geomechanical behavior of the rock mass surrounding the excavations and determine the support. Seven geomechanical control stations were defined, evaluated according to Bieniawski's RMR89; thus, stations E1, E2 and E3 were classified as class IV poor and stations E4, E5, E6 and E7, as III fair. Precipitation - infiltration was analyzed, a variable that is not constant over time; inasmuch as between the months of October - April precipitation has higher values; which generates greater infiltration, reducing resistance in discontinuities and causing rock blocks to fall. The seismicity with the seismic coefficients calculated for the area, $K_v = 0.125$ and $K_h = 0.063$; they cause variations in the total displacements in the excavation. Finally, the support according to the Mining Practical Support Table indicates that systematic bolts should be used spaced 1.0 m x 1.0 m plus electro -welded mesh for stations E1, E2 and E3; systematic bolts, spaced 1.2 m x 1.2 m for stations E4, E5 and E6; and occasional for station E7. In addition, according to the numerical calculations, timber frames should be used with minimum diameters for post and cap between 5"- 8", conical in stations E1, E2 and E7; and straight in stations E3, E4, E5 and E6.

Keywords: geomechanical behavior, support, seismicity, precipitation, infiltration, rock mass.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La Mina Cajamarca de Paccha ubicada en el distrito de Bambamarca pertenece a la empresa Calera Bendición de Dios EIRL, donde encontramos la galería Juana, nivel 2128, sobre rocas sedimentarias del grupo Goyllarisquizga, con intenso fracturamiento e infiltraciones de agua, cuyo resultado es la disminución de la resistencia en las discontinuidades, caída de bloques de roca y por consiguiente, áreas geomecánicamente inestables.

La presencia del manto de carbón entre los estratos crea zonas de debilidad geomecánica; así mismo, la galería presenta bastante humedad y algo de escurrimiento, parámetros que provocan la disminución de la resistencia en las discontinuidades, generando caída de rocas hacia el entorno de la galería y creando zonas de inestabilidad geomecánica que deben ser valoradas mediante el RMR89.

El problema se plantea en: ¿Cuál es el comportamiento geomecánico del macizo rocoso en la galería Juana de la Mina Cajamarca de Paccha al explotar carbón y originar inestabilidad geomecánica?, teniendo como hipótesis: La inestabilidad geomecánica en la galería Juana es originada por la precipitación, infiltración y sismicidad.

La justificación de la tesis es que la Mina Cajamarca de Paccha viene realizando la explotación de carbón antracítico mediante tajeos, galerías, rampas, cruceros, entre otras labores; sin embargo, no se logró encontrar estudios geomecánicos para definir el sostenimiento; por consiguiente, no se tiene un control del comportamiento geomecánico de la mina.

Además, se verifica que no hay un sostenimiento adecuado; por lo tanto, es importante realizar el estudio geomecánico para lograr la estabilidad de las

labores y evitar zonas de peligro y riesgo; así como incertidumbre, por parte de los trabajadores y visitantes.

Los alcances de la investigación son: cuantitativo y nivel correlacional-explicativo. El objetivo general es, definir el comportamiento geomecánico del macizo rocoso en la galería Juana mediante la valoración RMR89 para determinar los sostenimientos de zonas críticas en la Mina Cajamarca de Paccha. Teniendo como objetivos específicos: cartografiar la litología y las geoestructuras en las labores mineras, definir las zonas críticas en la galería Juana, valorar el macizo rocoso según los parámetros geomecánicos del RMR89 y determinar sostenimientos para las zonas críticas.

El orden de la investigación se presenta en capítulos organizados de la siguiente manera: Capítulo I, introducción; Capítulo II, antecedentes teóricos, bases teóricas y definición de términos; Capítulo III, ubicación geográfica de la zona donde se realizó la investigación, materiales y metodología utilizada; Capítulo IV, resultados obtenidos, análisis y discusión de los mismos; y Capítulo V, conclusiones y recomendaciones de la investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Rincón (2016), realizó la “Caracterización geomecánica del macizo rocoso del área del contrato 01-068-96, Cooperativa Cooprocabón Sugamuxi, Municipio de Gámeza Boyacá”. El trabajo tuvo por finalidad estudiar las propiedades físicas y mecánicas de la formación Guaduas, en la concesión de la Cooperativa Cooprocabón Sugamuxi, Municipio de Gámeza Boyacá, para evaluar las condiciones de estabilidad del macizo rocoso a través del empleo de la clasificación geomecánica RMR (1989). Realizó la descripción de las familias de discontinuidades, evaluó parámetros como orientación, espaciado, persistencia, rugosidad, abertura, relleno y filtraciones, a través de visitas de campo; llegando a la conclusión que, el macizo rocoso se clasifica como clase III, RMR entre 41-60, cohesión de 2-3 kg/cm², y ángulo de rozamiento de 25° - 35°.

Guamán y Mendieta (2013), realizaron la “Evaluación geomecánica del macizo rocoso en la cantera de materiales de construcción, Las Victorias”. Su estudio consiste en la evaluación de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso de la cantera Las Victorias, sector El Descanso, provincia de Azuay, con la finalidad de determinar el comportamiento geomecánico y realizar la valoración del macizo rocoso según los sistemas de clasificación geomecánica: RQD, RMR, sistema Q, SMR y GSI. Para obtener las propiedades físico-mecánicas realizaron ensayos de laboratorio y análisis in situ de los parámetros geomecánicos. Concluyendo que las clasificaciones geomecánicas con mejores resultados son: el RMR, el cual clasificó al macizo como bueno; el SMR, que dio como resultado un macizo malo y bueno; y el GSI, que indica que el macizo es

de calidad mala. Otro aspecto que señalan es que el comportamiento y calidad global del macizo rocoso se ve influenciado por las familias de discontinuidades, la litología, esfuerzos in situ, meteorización y resistencia a la compresión uniaxial.

2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES

Chura (2016), en la tesis, “Caracterización geomecánica del macizo rocoso y su aplicación en el diseño de sostenimiento en labores de desarrollo de la Unidad Económica Administrativa Ana María - La Rinconada”. Determina la calidad y clasificación geomecánica del macizo rocoso, conformado por roca pizarra y cuarcita, con lo que consigue evaluar su comportamiento físico y mecánico. Según la valoración RMR89, clasifica el macizo rocoso como regular (III) para la pizarra y bueno (II) para la cuarcita; determina que el dominio estructural para ambos tipos de roca es, por falla tipo cuña; por lo que, el sostenimiento a usar será por refuerzo activo, pernos de anclaje de longitud 1.8 metros adheridos con encapsulantes de resina y cemento, espaciados entre 1.5 - 3 metros, empernados en forma puntual o sistemática.

Arana (2019), en la tesis, “Análisis geomecánico para seleccionar el tipo de sostenimiento en la mina Apmnac Pulpera Caylloma - Arequipa”. Con la finalidad de determinar el sostenimiento, evaluó las condiciones geológicas y el comportamiento geomecánico de la zona Celia de la empresa minera Apmnac La Pulpera. Concluyendo valores de RMR entre 38 y 63 en zonas sin mineralización, y en zonas mineralizadas RMR menor a 23, por lo es necesario un sostenimiento inmediato, el mismo que será con puntales y cuadros de madera; donde el esfuerzo vertical es mayor se utilizará cuadros rectos, por el contrario, si esfuerzo horizontal es mayor se empleará cuadros cónicos con inclinación de 82°. Las pruebas físico mecánicas dieron como resultados resistencias entre 40 y 60 MPa, y los de esfuerzos de la roca circundante son menores a 5 MPa; con lo que se evidencia que, no existe la posibilidad de deformación ni rotura.

2.1.3 ANTECEDENTES LOCALES

Aceijas (2019), en la tesis, “Geomecánica aplicada al control de las labores mineras para la minimización de la caída de rocas en la mina Paredones Nivel 5”. Realizó su investigación con la finalidad de determinar las características geomecánicas del macizo rocoso en aproximadamente 1km del túnel del nivel 5 de la mina Paredones. Logró clasificar y valorar al macizo rocoso según el RMR89 de la siguiente manera: para la lava andesítica, valoración de media (RMR promedio de 53); para el pórfido andesítico, como bueno (RMR promedio de 69) y para la veta, como buena (RMR promedio de 62.5). Concluyendo que, se tiene una inestabilidad Geológica-Geomecánica en el tramo analizado y el sostenimiento en base al índice Q sugiere colocar pernos dispersos y empernado sistemático c/c 2m y c/c 1.75 m con shotcrete de 80 mm de espesor.

Cruzado (2017), en la tesis, “Evaluación geomecánica del túnel de la central hidroeléctrica Potrero - San Marcos - Cajamarca”. Tuvo como objetivo determinar la inestabilidad geomecánica en el túnel; en una longitud de 170.2 m, para ello estableció 18 estaciones geomecánicas en las que tomó datos del macizo rocoso y discontinuidades, valorando la roca en cada estación según el criterio RMR de Bieniawski; los resultados obtenidos fueron: roca tipo II y III, siendo necesario reforzar con pernos cementados de 2.10 m puntualmente y sistemáticamente, espaciados 1.80 x 1.80 m. Concluyendo que el túnel presenta inestabilidad geomecánica por tener cuñas y filtraciones de agua, lo que conlleva a una posible caída de rocas.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 ESTADO TENSIONAL NATURAL

Antes de realizar una excavación, se debe considerar que el macizo rocoso ya posee un estado tensional, denominado como: tensiones naturales, las cuales cumplen un rol importante cuando se evalúan las condiciones de estabilidad (Ramírez y Alejano, 2004).

2.2.2 FORMULACIÓN DE SHEOREY

En 1994 Sheorey planteó una ecuación para determinar la relación entre la tensión horizontal y vertical, en función al módulo de elasticidad de Young y profundidad, el mismo que se define de la siguiente manera (Ramírez y Alejano, 2004):

$$k = \frac{\sigma_h}{\sigma_v}$$
$$k = 0.25 + 7E_h \left(0.001 + \frac{1}{h} \right)$$

Donde:

- ✓ k = relación de tensiones
- ✓ σ_h = tensión horizontal
- ✓ σ_v = tensión vertical
- ✓ E_h = módulo elástico de Young (GPa)
- ✓ h = profundidad (m)

Además, la tensión vertical se define como:

$$\sigma_v = \rho gh = \gamma h$$

Donde:

- ✓ ρ = densidad media de los materiales
- ✓ g = aceleración de la gravedad
- ✓ γ = peso específico medio de los materiales

2.2.3 CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS

Las clasificaciones geomecánicas nos permiten evaluar el comportamiento de un macizo rocoso y poder establecer categorías de roca a las cuales se les puede asociar ciertas propiedades y estimar parámetros de diseño y sostenimiento. Se desarrollaron a partir de la década de los 70 y se basan en relaciones empíricas, observaciones y experiencias. Inician con la clasificación Terzaghi (1946), seguidas por las de Deere et al (1979), Bieniawski (1973) y Barton et al (1974); siendo las dos últimas, sistemas aplicables en la actualidad para sostenimiento y construcción de túneles (Instituto Tecnológico GeoMinero de España, s. f.), como se muestra en la Tabla 2.2.

➤ **ÍNDICE DE CALIDAD DE LA ROCA (RQD)**

El Índice de Calidad de la Roca, Rock Quality Designation (RQD), se define como el porcentaje de aquellas piezas de testigos sanos que tienen una longitud igual o mayor a 100 mm; es un indicador cuantitativo que permite identificar zonas de mala calidad de la roca. Para obtener el RQD, la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISMR), menciona que se debe usar perforadoras diamantinas de doble barril cuyo diámetro sea al menos de 54.7 mm (diámetro NX) (Gavilanes y Haro, 2004). Los índices del RQD se muestra en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Índice de Calidad de la Roca (RQD).

RQD (%)	Calidad de la roca
< 25	Muy pobre
25 a 50	Pobre
50 a 75	Regular
75 a 90	Buena
90 a 100	Excelente

Fuente: Gavilanes y Haro, 2004.

Tabla 2.2. Principales clasificaciones geomecánicas en la Ingeniería.

Nombre	Creador y fecha	País de origen	Aplicaciones
1. Carga en rocas	Terzaghi, 1946	Estados Unidos	Túneles con sostenimiento de acero
2. Tiempo de autoestabilidad	Lauffer, 1958	Austria	Túneles
3. Nuevo método austriaco de construcción de túneles (NATM)	Pacher, Rabcewicz, 1964	Austria	Túneles
4. Rock Quality Designation (RQD)	Deere et al., 1972	Estados Unidos	Testigos de sondeos, túneles
5. Rock Structure Rating (RSR) concepto	Wickham et al., 1972	Estados Unidos	Túneles
6. Rock Mass Rating (RMR) sistema	Bieniawski, 1973 Modificado en 1989	Sudáfrica y Estados Unidos	Túneles, minas, taludes y cimentaciones
Extensiones al sistema RMR	Weaver, 1975	Sudáfrica	Ripabilidad
	Laubscher, 1976	Sudáfrica	Minería en rocas duras
	Olivier, 1979	Sudáfrica	Resistencia a la meteorización
	Ghose y Raju, 1981	India	Minería del carbón
	Moreno Tallon, 1982	España	Túneles
	Kendorski y Cummings, 1983	Estados Unidos	Minería en rocas duras
	Nakao et al., 1993	Japón	Túneles
	Serafim y Pereira, 1983	Brasil	Cimentaciones
	Gonzales de Vallejo, 1983	España	Túneles
	Unal, 1983	Estados Unidos	Minería del carbón con claves bulonadas
	Romana, 1985	España	Estabilidad de taludes
	Newman, 1985	Estados Unidos	Minas de carbón
	Sandbak, 1985	Estados Unidos	Perforabilidad
	Smith, 1986	Estados Unidos	Facilidad para el dragado
	Venkateswarlu, 1986	India	Minería del Carbón (CMRS)
	Robertson, 1988	Canadá	Estabilidad de taludes
	Thiel, 1985	Polonia	Flysch de los Cárpatos
Unal, 1996	Turquía	Rocas blandas, carbón	
Pakalnis et al., 2007	Canadá	Minería en rocas blandas	
7. Sistema Q	Barton et al., 1974	Noruega	Túneles, cavernas
Extensiones al sistema Q	Kirsten, 1982	Sudáfrica	Excavabilidad
	Kirsten, 1983	Sudáfrica	Túneles
	Barton, 2000	Noruega, Brasil	Túneles con TBM
8. Resistencia-tamaño	Franklin, 1975	Canadá	Túneles
9. Clasificación unificada	Williamson, 1984	Estados Unidos	General, comunicaciones
10. Coal Mine Roof Rating (CMRR)	Molinda y Mark, 1994	Estados Unidos	Minas de Carbón
11. Geological Strength Index (GSI)	Hoek et al., 1995	Canadá	Caracterización de macizos rocosos
12. Rock Mass Index (RMI)	Palmstrom, 1995	Noruega	Ingeniería de rocas
13. Deutsche Steinkohle	Witthaus, 2006	Alemania	Minas de carbón
14. Rock Mass Excavability (RME)	Bieniawski et al., 2007	España	Túneles con TBM

Fuente: Tolentino, 2021.

La figura 2.1 muestra la forma de calcular el RQD en testigos de perforación.

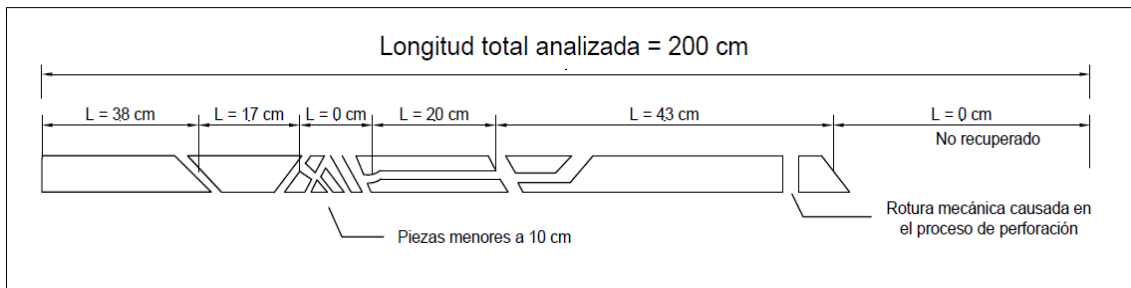


Figura 2.1. Procedimiento para medir y calcular el RQD.
Fuente: Gavilanes y Haro, 2004.

$$RQD (\%) = \frac{\sum \text{Longitud de los testigos mayores o iguales a } 100 \text{ mm}}{\text{Longitud total del tramo analizado}} \times 100$$

$$RQD = \frac{38 + 17 + 20 + 43}{200} \times 100$$

$$RQD = 59 \% \text{ (Regular)}$$

Es importante tener en cuenta que el RQD es un índice que depende de la dirección de la perforación y puede variar considerablemente si se cambia la orientación del sondaje.

Cuando no se tiene testigos de perforación se puede estimar el RQD a partir de una línea de detalle o de un área de mapeo, para el primer caso se tiene la siguiente expresión:

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

Donde:

✓ λ : número de discontinuidades / longitud.

➤ CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO (RMR89)

Es un sistema de clasificación de macizos rocosos, por sus siglas en inglés Rock Mass Rating (RMR), fue desarrollado por Bieniawski en 1973 con

modificaciones en 1979 y 1989; permite relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo, de excavación y sostenimiento. La evaluación se realiza según los siguientes parámetros (González de Vallejo, 2002):

1. Resistencia de la matriz rocosa.
2. Grado de fracturación (RQD).
3. Espaciado de las discontinuidades.
4. Condiciones de las discontinuidades.
5. Condiciones hidrogeológicas.
6. Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.

De la puntuación individual de cada uno de los parámetros, se logra dar una valoración para el macizo rocoso, la cual varía de 0 a 100.

Mediante la observación directa realizada en campo se divide al macizo rocoso en zonas o tramos, en donde se tiene características geológicas similares, para luego realizar la toma de datos de las propiedades y características tanto de la matriz rocosa como de las discontinuidades. En la Tabla 2.3 se tiene los parámetros geomecánicos, la ponderación de cada uno y el procedimiento a seguir, para realizar la evaluación.

Una vez realizado la puntuación total del macizo rocoso según los primeros cinco parámetros, se realiza la corrección por orientación de discontinuidades (ver Tabla 2.4) con ello obtenemos la valoración final y por ende la clasificación del macizo rocoso, dicha clasificación de la calidad se divide en cinco tipos o clases de roca (ver Tabla 2.5) que puede ir, desde muy mala (Clase V) hasta muy buena (Clase I). A cada tipo de roca se le designa un valor estimado del ángulo de rozamiento y cohesión (ver Tabla 2.8). Si una zona tiene una matriz rocosa dura, con pocas fracturas, sin presencia de agua o humedad, poco meteorizada; podría darnos valoraciones de roca entre buena y muy buena, lo cual nos indica que es una zona estable y resistente que no requerirá de estabilización o refuerzo durante la ejecución de la excavación.

Las Tablas 2.6 y 2.7, incluyen características como el tiempo de mantenimiento y longitud de la excavación sin sostenimiento; y la influencia de la orientación de las discontinuidades en el túnel.

Tabla 2.3. Parámetros de clasificación RMR.

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

Fuente: González de Vallejo, 2002.

Tabla 2.4. Corrección por la orientación de las discontinuidades.

Dirección y buzamiento		Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables
Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Fuente: González de Vallejo, 2002.

Tabla 2.5. Clasificación RMR89.

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

Fuente: González de Vallejo, 2002.

Tabla 2.6. Características geotécnicas.

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

Fuente: González de Vallejo, 2002.

Tabla 2.7. Orientación de las discontinuidades.

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

Fuente: González de Vallejo, 2002.

Tabla 2.8. Calidad del macizo rocoso 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: González de Vallejo, 2002.

➤ ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA (GSI)

El Índice de Resistencia Geológica, Geological Strength Index (GSI), es un sistema que nos permite caracterizar al macizo rocoso en función de la estructura geológica y condición de la superficie de las juntas (OSINERGMIN, 2017).

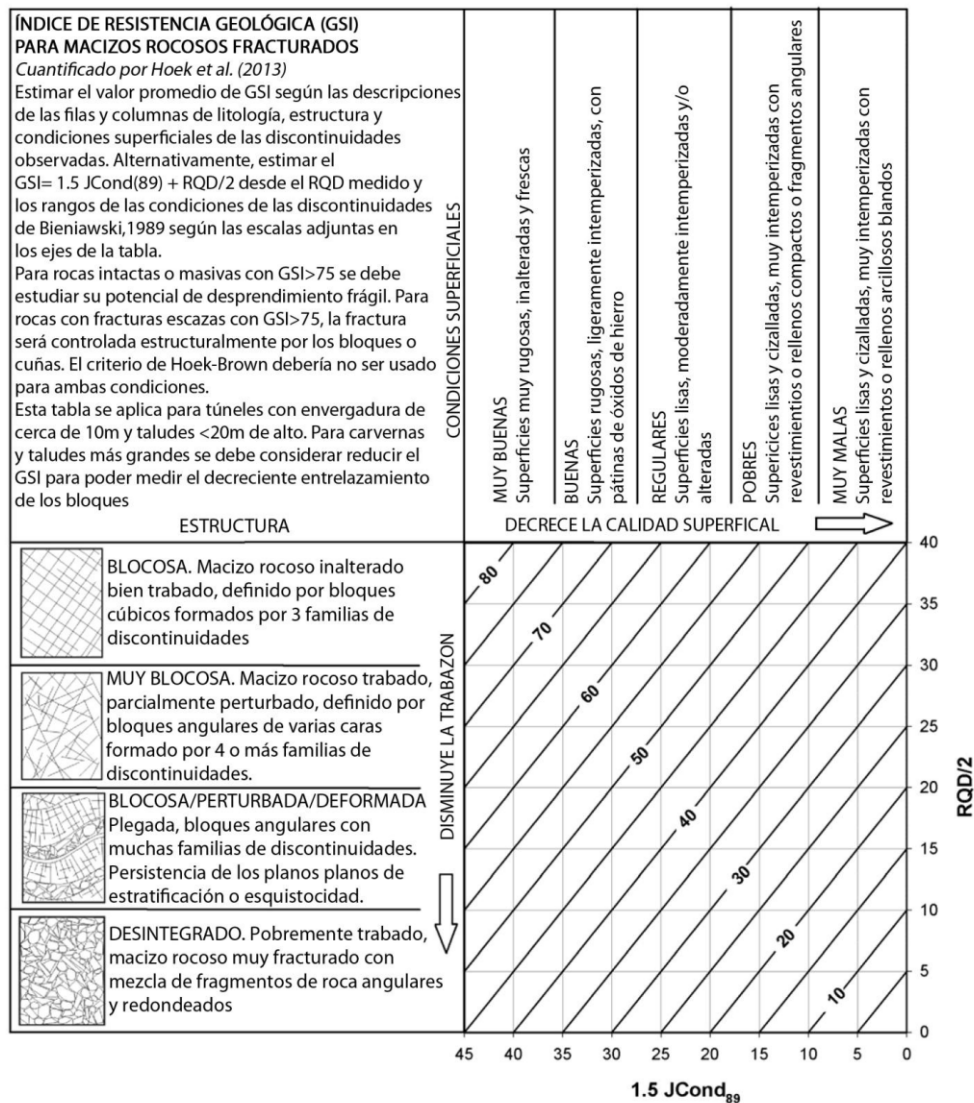


Figura 2.2. GSI mediante condiciones de las discontinuidades y RQD.
Fuente: Hoek et al. 2013.

La tabla original del GSI fue modificada en el año 2013 a fin de facilitar el uso por personas sin mucho conocimiento geológico de la variabilidad del macizo rocoso; en ella se realizó una propuesta para su cuantificación en base a las condiciones de las discontinuidades y el RQD. En la figura 2.2 la escala

horizontal representa las condiciones de las discontinuidades ($1.5 JCond_{89}$), definidas por Bieniawski (1989); mientras que la escala vertical, refiere a la blocosidad del macizo rocoso (RQD), definido por Deere (1963); por lo tanto, el valor del GSI viene dado por la siguiente relación (Hoek et al. 2013).

$$GSI = 1.5JCond_{89} + RQD/2$$

2.2.4 CRITERIO DE ROTURA HOEK-BROWN GENERALIZADO 2002

Introducido por Hoek y Brown para el análisis en el diseño de excavaciones subterráneas en roca competente, usado inicialmente para macizos rocosos duros, consistía en introducir factores reductores de las propiedades de la roca intacta sobre la base de las características de un macizo rocoso diaclasado. Tratando de relacionar lo empírico con las observaciones geológicas, se escogió el sistema de clasificación RMR de Bieniawski; pero a medida que se aplicaba dicho criterio en problemas prácticos, se llegó a la necesidad de realizar una reexaminación del mismo, es así que se introdujo el criterio de Hoek-Brown Generalizado y se cambió a la clasificación geomecánica de Bieniawski, por el Índice de Resistencia Geológica (GSI), el cual era más adecuado al momento de tratar con macizos rocosos muy débiles (Hoek et al. 2002). Se expresa como:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \quad (1)$$

Donde:

- ✓ σ'_1 y σ'_3 : esfuerzos principales mayor y menor.
- ✓ σ_{ci} : resistencia a compresión uniaxial del material intacto.
- ✓ m_b : valor reducido de la constante del material m_i (constante del bloque de roca intacta), está dado por:

$$m_b = m_i \exp \left(\frac{GSI - 100}{28 - 3D} \right) \quad (2)$$

- ✓ s y a: constantes del macizo rocoso, dadas por las siguientes relaciones:

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right) \quad (3)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} (e^{-GSI/15} - e^{-20/3}) \quad (4)$$

- ✓ D: factor alteración.

Esta última variable (D), es un factor reductor de la resistencia que varía entre 0 y 1; siendo 0, para macizos rocosos in situ inalterados y 1 para muy alterados.

Para obtener la resistencia a la compresión uniaxial se reemplaza $\sigma'_3 = 0$ en la ecuación 1, resultando:

$$\sigma_c = \sigma_{ci} s^a \quad (5)$$

La resistencia a tracción se obtiene haciendo $\sigma'_1 = \sigma'_3 = \sigma'_t$ en la ecuación 1:

$$\sigma_t = -\frac{s\sigma_{ci}}{m_b} \quad (6)$$

➤ ESTIMACIÓN DEL FACTOR DE ALTERACIÓN D

El Factor de Alteración (D), depende del grado de alteración al cual ha sido sometido el macizo rocoso, ya sea por el efecto de las voladuras o del relajamiento del estado tensional al realizar la excavación. Para el diseño de taludes en minas a cielo abierto el factor de alteración en macizos rocos in situ no alterados toma el valor de 0, caso contrario si se tiene daños producto de las voladuras o relajación de esfuerzos producidos al retirar el recubrimiento, el valor de D, será 1 (Hoek et al. 2002).

Apariencia del macizo rocoso	Descripción del macizo rocoso	Valor D sugerido
	<p>Excelente calidad de voladura controlada o excavación con tuneladora, TBM, con resultados de alteración mínima del macizo rocoso confinado circundante.</p>	<p>D=0</p>
	<p>Excavación mecánica o manual en macizos rocos de mala calidad (sin voladuras) con una alteración mínima en el macizo rocoso circundante.</p> <p>Cuando aparezcan problemas de deformación en el piso durante en avance, la alteración puede ser severa a menos que se coloque una contrabóveda temporal, tal como se muestra en la figura.</p>	<p>D=0</p> <p>D=0.5 No invert</p>
	<p>Voladura de muy mala calidad en el túnel en roca competente con daños locales severos, extendiéndose 2 o 3 m en el macizo rocoso circundante.</p>	<p>D=0.8</p>
	<p>Pequeñas voladuras en taludes de ingeniería civil dan lugar a pequeños daños al macizo rocoso, particularmente si se usan voladuras de contorno como se muestra en el lado izquierdo de la fotografía. Sin embargo, la liberación de tensiones resulta en alguna alteración.</p>	<p>D=0.7 Good blasting</p> <p>D=1.0 Poor blasting</p>
	<p>Los taludes en las grandes minas a cielo abierto sufren alteraciones significativas debido a las grandes voladuras de producción y también debido a la relajación de tensiones al retirar el estéril de recubrimiento.</p> <p>En algunas rocas blandas la excavación puede llevarse a cabo mediante el ripado y empuje con tractores de orugas y el grado de afección a los taludes será menor.</p>	<p>D=1.0 Production blasting</p> <p>D=0.7 Mechanical excavation</p>

Figura 2.3. Guía para estimar el Factor de Alteración (D).
Fuente: Hoek-Brown, 2002.

2.2.5 SOSTENIMIENTO

Cuando se realiza una excavación subterránea se genera inestabilidad en el macizo rocoso; por ello, el sostenimiento es considerada una labor muy importante, ya que asegura, controla y mantiene la estabilidad; logrando que las condiciones sean seguras para el trabajo y garantizando el acceso a las excavaciones. Las condiciones en las que se encuentre el macizo rocoso durante la ejecución de una excavación, influyen en el tiempo en el cual se colocará el sostenimiento, ya que si la roca es competente y se presentan además condiciones favorables en el macizo rocoso, se podrá considerar un tiempo mayor entre la ejecución e instalación del sostenimiento; por el contrario, si se tiene una roca de mala calidad, presencia de agua y macizos diaclasados se deberá ejecutar lo antes posible dicho sostenimiento, ya que un mayor tiempo trascurrido, favorece la relajación y descompresión del macizo rocoso circundante, produciendo inestabilidad. Para el diseño del sostenimiento se debe considerar las siguientes condiciones, indicadas por OSINERGMIN (2017):

- ✓ Características del macizo rocoso.
- ✓ Influencia de esfuerzos naturales e inducidos.
- ✓ Dirección de la excavación con relación a las discontinuidades.
- ✓ Forma y dimensiones de la excavación.
- ✓ Deformabilidad del macizo rocoso y del sostenimiento.

Dependiendo de la función que cumple el sostenimiento en el macizo rocoso podrá ser activo o pasivo.

También denominado soporte de roca, el sostenimiento pasivo se caracteriza por actuar directamente en la superficie de la excavación, como, por ejemplo: las cimbras metálicas, cuadros de madera y concreto lanzado (shotcrete). Otra característica de este tipo de sostenimiento es que necesita que la roca se desplace o deforme para que empiece a funcionar como elemento de soporte.

Por el contrario, el sostenimiento activo, también conocido como refuerzo de roca, actúa inmediatamente después de su instalación en el interior del macizo rocoso, proporcionando refuerzo a la roca, así tenemos: los pernos y cables de anclaje tensados.

El uso que se le dé a la excavación, las características del macizo rocoso y el presupuesto del que se disponga, influyen en la elección del tipo de sostenimiento que se usará.

2.2.6 TABLA DE SOPORTE PRÁCTICO MINERO (SPM)

Para determinar el sostenimiento se tiene la tabla de soporte práctico minero (SPM), el cual se elaboró a partir del método noruego (NTM), en ella se considera el concepto de dimensión equivalente (Vallejo, 2008).

Barton, Lien y Lunde introdujeron el concepto de dimensión equivalente (D_e) de una excavación, la que se define (Gavilanes y Haro 2004):

$$D_e = \frac{\text{Ancho, diámetro o altura (m) de la excavación}}{\text{Relación de sostenimiento de la excavación (ESR)}}$$

Tabla 2.9. Valores de ESR (Barton y Grimstad, 1994).

Tipo de Excavación	ESR
A. Excavaciones mineras provisionales.	2,0 – 5,0
B. Excavaciones mineras permanentes, túneles de conducción de agua para obras hidroeléctricas (con excepción de las cámaras de alta presión para compuertas), túneles piloto (exploración), excavaciones parciales para cámaras subterráneas grandes.	1,6 – 2,0
C. Cámaras de almacenamiento, plantas subterráneas para el tratamiento de aguas, túneles carreteros y ferrocarriles pequeños, cámaras de alta presión, túneles auxiliares.	1,2 – 1,3
D. Casas de máquinas, túneles carreteros y ferrocarriles mayores, refugios de defensa civil, portales y cruces de túnel.	0,9 – 1,1
E. Estaciones nucleares eléctricas subterráneas, estaciones de ferrocarril, instalaciones para deportes y reuniones, fábricas.	0.5 – 0.8

Fuente: Gavilanes y Haro, 2004.

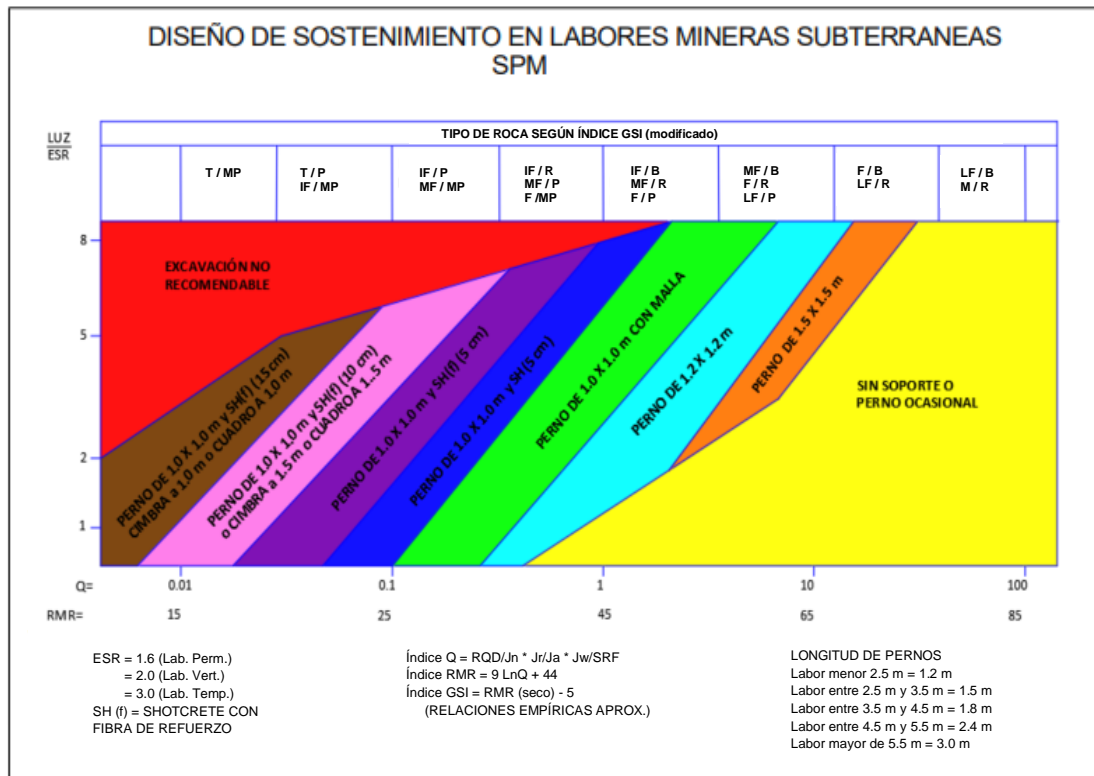


Figura 2.4. Diseño de sostenimiento en labores mineras SPM.
Fuente: Vallejo, 2008.

2.2.7 FACTOR DE SEGURIDAD

Se denomina Factor de Seguridad (FS) a la relación entre la resistencia (fuerzas resistentes) y la carga (fuerzas actuantes) de un sistema, se define como (OSINERGEMIN, 2017):

$$FS = \frac{C}{D}$$

Donde:

- ✓ C: Capacidad de resistencia del sistema.
- ✓ D: Fuerzas actuantes sobre el sistema.

Para el diseño de estructuras, existen tres categorías que pueden incluir al Factor de Seguridad:

- ✓ Si: C>D, entonces FS>1; sistema estable.

- ✓ Si: $C < D$, entonces $FS < 1$; sistema inestable.
- ✓ Si: $C = D$, entonces $FS = 1$; sistema en equilibrio límite.

En base a la experiencia, para la estabilidad de una estructura se establece valores mínimos del Factor de Seguridad.

Tabla 2.10. FS recomendados según el plazo de estabilidad.

Plazo	Rango de FS
Estabilidad a largo plazo (LP)	> 1.5
Estabilidad a mediano plazo (MP)	1.3 - 1.5
Estabilidad a corto plazo (CP)	1.1 - 1.3
Nota: Se considera: CP < 3 meses; 3 meses < MP < 1 año y LP > año	

Fuente: OSINERGMIN, 2017.

2.2.8 SISMICIDAD

Se define como el estudio de la distribución espacial de los sismos y está relacionada con el movimiento de las placas tectónicas (Instituto Geográfico Nacional, España s. f.).

➤ ZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL PERÚ

De acuerdo al Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2019): “El Perú ha sido dividido en cuatro zonas según la distribución espacial de la sismicidad, las características de los movimientos sísmicos, la atenuación por la distancia epicentral y la información neotectónica”; como se muestra en la Figura 2.5.



Figura 2.5. Zonas sísmicas en el Perú.
Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019.

Tabla 2.11. Zona sísmica. Hualgayoc – Cajamarca.

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO
Cajamarca	Hualgayoc	Bambamarca	2	Todos los distritos
		Chugur		
		Hualgayoc		

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019.

2.2.9 SEGURIDAD EN EXPLOTACIONES DE CARBÓN

Acorde al Decreto Supremo N°024-2016-EM y su Modificatoria (DS N°023-2017-EM), establece que para la explotación de minas de carbón se debe considerar principalmente las siguientes disposiciones (MINEM, 2017):

- ✓ Para el control de la adherencia del polvo de carbón a las labores debe aplicarse polvo inerte y de ser el caso extraer el polvo de carbón.
- ✓ No se debe permitir la acumulación de polvo en las labores en cantidad mayor a 30 gr/m³.
- ✓ Se debe contar con aparatos detectores-evaluadores a fin de garantizar que las concentraciones de polvos y gases estén por debajo de los límites de exposición.
- ✓ Es obligatorio el uso de lámparas eléctricas.
- ✓ Está prohibido ingresar fósforos u otras sustancias que puedan ser fuente de ignición, así como el uso de motores de explosión.
- ✓ Es obligación del titular minero proveer al personal de respiradores auto rescatadores con un tiempo mínimo de protección de treinta minutos.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Roca: Conjunto de sustancias minerales que, formando masas, constituye gran parte de la corteza terrestre. Ésta tiene discontinuidades (fracturas) de diferentes tipos, que hacen que su estructura sea discontinua. Además, debido a los procesos geológicos que la han afectado entre el tiempo de su formación y la condición en la cual la encontramos en la actualidad, presenta heterogeneidades y propiedades variables (Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía, 2004).

Macizo rocoso: Conjunto de los bloques de matriz rocosa y de las discontinuidades de diverso tipo que afectan al medio rocoso. Mecánicamente los macizos rocosos son medios discontinuos, anisótropos y heterogéneos. Prácticamente puede considerarse que presentan una resistencia a la tracción nula (González de Vallejo, 2002).

Matriz rocosa: 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 (González de Vallejo, 2002).

Discontinuidad: 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 baja o nula. Su comportamiento mecánico queda caracterizado por su resistencia al corte o, en su caso, por la del material de relleno (González de Vallejo, 2002).

Sostenimiento: El sostenimiento en excavaciones subterráneas tiene la finalidad de asegurar, controlar y mantener la estabilidad de éstas, a fin de proporcionar condiciones seguras de trabajo y brindar acceso a las labores subterráneas (OSINERGMIN, 2017).

Sostenimiento pasivo: Actúan en la superficie de la excavación o en su interior (ej. cimbras metálicas, cuadros de madera, concreto lanzado (shotcrete) y pernos cementados). Estos elementos pasivos requieren que la roca se desplace o deforme para recién empezar a actuar como soporte (OSINERGMIN, 2017).

Sostenimiento activo: Actúan en el interior del macizo rocoso (ej. pernos de anclaje tensados y cables de anclaje tensados). Son capaces de proporcionar refuerzo a la roca desde el instante mismo de su instalación, logrando que la roca forme una zona de compresión y participe en la estabilidad de la excavación (refuerzo de roca) (OSINERGMIN, 2017).

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La zona donde se realizó el estudio, Mina Cajamarca de Paccha, galería Juana, se encuentra ubicada en el distrito de Bambamarca, provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca; al norte de la ciudad de Cajamarca. Corresponde al cuadrángulo de Celendín (14 – g), con coordenadas: Sistema UTM – DATUM – WGS-84 – ZONA 17S. Las coordenadas de la bocamina son: 781636 E y 9270971 N.

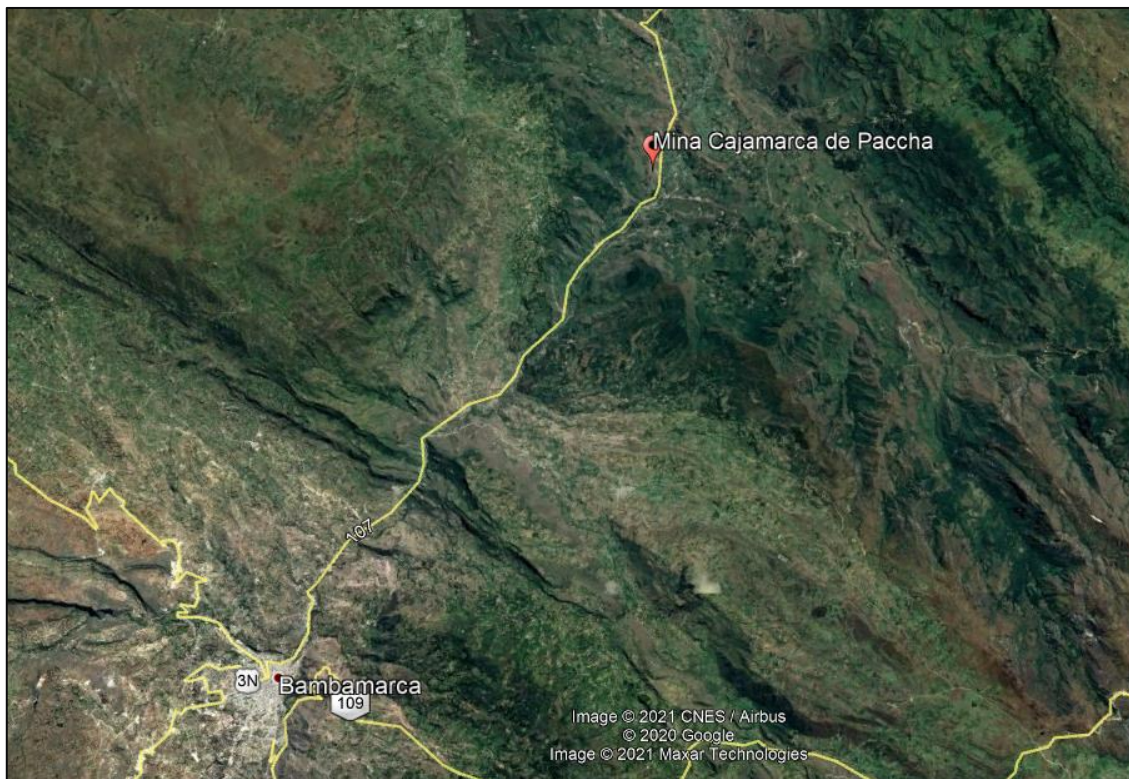


Figura 3.1. Ubicación de la Mina Cajamarca de Paccha.
Fuente: Google Earth Pro, 2021.

3.2 ACCESIBILIDAD

Para llegar al área de estudio se parte desde la ciudad de Cajamarca con dirección NE hacía Bambamarca, siguiendo una carretera pavimentada en algunos tramos y afirmada en otros. Luego, desde Bambamarca se toma la ruta hacía la Paccha, con destino hacia Piñipata, siguiendo una trocha carrozable en dirección NE; una vez ahí, se camina en dirección NW siguiendo un camino vecinal que nos lleva hacia la mina denominada Cajamarca de Paccha.

Tabla 3.1. Accesibilidad al área de estudio.

Tramo		Acceso	Estado de la vía	Transporte	Distancia (km)	Tiempo aprox. (h)
Partida	Destino					
Cajamarca	Bambamarca	Carretera pavimentada /afirmada	Buena	Camioneta	112.0	3:00
Bambamarca	Piñipata	Trocha carrozable	Regular	Camioneta	14.6	00:45
Piñipata	Mina Cajamarca de Paccha	Camino vecinal	Regular	A pie	0.8	00:25

3.3. CLIMA

El clima promedio de la zona de estudio durante el año presenta temperaturas que generalmente varían de 5° C a 20 ° C y en raras ocasiones bajan a menos de 2° C o suben a más de 23° C; esto hace que el verano sea nublado y el invierno frío, seco y parcialmente nublado.

3.4 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1 TIPO, NIVEL, DISEÑO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

La metodología desarrollada tiene como base la toma de datos en campo a través de la observación directa. Se tomaron datos de los parámetros geomecánicos del macizo rocoso y se reconoció las unidades estructurales y litológicas. Posteriormente en gabinete se definió las zonas críticas, para ser consideradas como estaciones de control geomecánico durante el estudio.

Tabla 3.2. Clasificación de la investigación.

Clasificación	Categoría
Tipo	Cuantitativa
Nivel	Correlacional-explicativa
Diseño	No experimental
Método de investigación	Deductivo-inductivo

Fuente: Hernández et al. 2010.

3.4.2 POBLACIÓN

Galería Juana de la Mina Cajamarca de Paccha.

3.4.3 MUESTRA

Estaciones de control geomecánico en zonas críticas definidas para la investigación.

3.4.4 UNIDAD DE ANÁLISIS

Litología, geoestructuras, geomecánica, hidrología, hidrogeología y sismicidad.

3.4.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

➤ TÉCNICAS

Como primer paso se realizó la recopilación de estudios existentes afines a geomecánica; luego se emplearon técnicas directas, como la observación y descripción de las variables de estudio dentro de la galería Juana, mediante el cartografiado geomecánico.

- **Trabajo de Gabinete Inicial**

Consistió en la búsqueda y recopilación de artículos científicos, tesis, libros y publicaciones que tengan relación directa con el tema a desarrollar o con la zona de investigación.

- **Trabajo de Campo**

En esta etapa se realizó el reconocimiento de la zona de investigación, cartografiado geológico, litológico, geoestructural y geomecánico del macizo rocoso, mediante el registro en tablas; así como el levantamiento topográfico de las labores mineras.

- **Trabajo de Gabinete Final**

Con los datos obtenidos en campo se procedió a realizar el procesamiento y análisis de la información; esto se consiguió usando programas computacionales como Excel, el cual nos sirvió para organizar la información; AutoCAD, para la realización de los planos en planta y sección de las labores mineras; RocData, para obtener los parámetros de resistencia del macizo rocoso; Loadcap, para determinar los coeficientes sísmicos y Phase², para el cálculo de esfuerzos y deformaciones alrededor de las excavaciones.

- **INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

- ✓ Registro geológico-geotécnico.
- ✓ Libreta de campo.
- ✓ Plano topográfico.

- **EQUIPOS Y MATERIALES DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

- ✓ Brújula geotécnica, para medir la orientación de la labor y geoestructuras.
- ✓ GPS Garmin, para la toma de las coordenadas.
- ✓ Cámara fotográfica, para el registro fotográfico.

- ✓ Martillo de geólogo, para obtención de muestras y estimar la resistencia de la roca.
- ✓ Lupa, para observar la textura y composición mineralógica de la roca.
- ✓ Protactor, para medir la abertura de las discontinuidades y escalar la información de campo.
- ✓ Rayador, para determinar la dureza de los minerales.
- ✓ Wincha, para la toma de medidas de espaciamiento de las discontinuidades y en el levantamiento topográfico.
- ✓ Cinta métrica 50 m, para el levantamiento topográfico.
- ✓ Linterna, para iluminar las labores mineras.
- ✓ Equipos de protección personal, para proteger la salud y seguridad del tesista.

➤ **EQUIPOS DE PROCESAMIENTO DE DATOS**

- ✓ Laptop.
- ✓ Calculadora.
- ✓ Software: Excel, RocData, Phase², ArcGIS, Google Earth Pro, Global Mapper y AutoCAD.

3.5 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

3.5.1 VARIABLES INDEPENDIENTES

- Precipitación: cantidad de agua que cae a la superficie terrestre y proviene de la humedad atmosférica, ya sea en estado líquido o sólido.
- Infiltración: proceso a través del cual el agua ingresa al suelo y rocas.
- Sismicidad: conjunto de parámetros que definen totalmente el fenómeno sísmico en el foco y se representa generalmente mediante distribuciones temporales, espaciales, de tamaño, de energía, etc.

3.5.2 VARIABLE DEPENDIENTE

- Inestabilidad geomecánica: fenómenos de fracturamiento y desprendimiento de roca, debido a la acumulación y liberación de energía al interior de una labor minera subterránea.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 GEOLOGÍA REGIONAL

4.1.1 GRUPO GOYLLARISQUIZGA

El depósito de carbón se encuentra dentro del Gpo. Goyllarisquizga del Cretácico Inferior, el cual contiene mantos de carbón antracítico que se extienden varios cientos de metros con una potencia entre 1.5 – 2.0 m, como el cerro Yanacancha en Hualgayoc, Las Vueltas y Piñipata en Celendín. Aflora en el extremo noroeste de Jaén y de encuentra conformado por las formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat; constituida por estratos de 20 a 80 cm. de areniscas cuarzosas, calizas y lutitas (Cruzado, 2011).

➤ **FORMACIÓN CHIMÚ**

Litológicamente en la parte inferior está conformada por lutitas y estratos de areniscas cuarzosas generalmente de grano medio a grueso. Tiene un grosor aproximado de 600m.

- **Edad y correlación**

Se ubica en el Valanginiano inferior a medio, pues yace sobre la Formación Chicama del Titoniano e infrayace a la Formación Santa del Valanginiano superior.

➤ **FORMACIÓN SANTA**

Litológicamente consiste en la intercalación de lutitas, calizas margosas y areniscas gris oscuras. Tiene un grosor aproximado entre los 100 a 150 m.

- **Edad y correlación**

Se le puede asignar una edad del Valanginiano superior.

- **FORMACIÓN CARHUAZ**

Litológicamente consiste en la intercalación de areniscas con lutitas grises y en la parte superior areniscas cuarzosas blancas intercaladas con lutitas y areniscas.

- **Edad y correlación**

Probablemente se le puede asignar las edades del Valanginiano superior y Barremiano.

- **FORMACIÓN FARRAT**

Litológicamente consiste en arenisca blancas de grano medio a grueso. Tiene un grosor aproximado de 500 m.

- **Edad y correlación**

Se le asigna una edad Aptiana ya que infrayace a sedimentos de los niveles más altos del Aptiano.

4.2 GEOLOGÍA LOCAL DE LA GALERÍA JUANA

La Galería Juana nivel 2128 se encuentra emplazada en rocas sedimentarias del grupo Goyllarisquizga, conformado por areniscas de grano grueso y arcillolitas carbonosas de grano fino bien estratificadas. El manto de carbón antracítico tiene dip de 24° y dip direction de 294° en promedio y potencia entre 0.8 – 1.4 m.

Para el estudio se llevó a cabo el levantamiento topográfico y el mapeo geológico de las galerías, principal y secundarias; se definió siete estaciones de control geomecánico (ver Plano 01, 02 y 03).

En el ingreso de la galería Juana se tomó un BM, a partir del cual se realizaron los trabajos en campo.

Tabla 4.1. Coordenadas UTM, WGS-84 del BM.

BM	Coordenadas
Este (m)	781636
Norte (m)	9270971
Elevación (msnm)	2128

Se registró en una libreta de campo el tipo de roca en los hastiales y las distancias izquierda, derecha, superior e inferior; a partir de un eje central de referencia en las labores (el cual fue asumido por el tesista). Se anotó el rumbo, buzamiento y la distancia inclinada entre puntos de medición; ver Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Datos topográficos y litológicos de la labor principal.

Punto	Longitud	Rumbo	Buz	Izquierda (m)	Litología	Derecha (m)	Litología	Superior (m)	Inferior (m)
0	0.00	N265	35°	0.53	Depósito cuaternario	0.55	Depósito cuaternario	0.72	0.80
	2.00			0.46	Depósito cuaternario	0.60	Depósito cuaternario	0.85	0.80
1	3.10	N272	24°	0.80	Depósito cuaternario	0.94	Depósito cuaternario	1.20	0.80
	5.10			0.73	Depósito cuaternario	0.69	Depósito cuaternario	0.98	0.73
2	7.10	N268	20°	0.55	Arenisca	0.66	Arenisca	0.52	0.77
	9.10			0.80	Arenisca	0.62	Arenisca	0.68	0.80
	11.10			0.60	Arenisca	0.64	Arenisca	1.10	0.66
	13.10			100	Arenisca	0.78	Arenisca	0.77	0.56
3	15.10	N275	27°	0.87	Arenisca	0.56	Arenisca	0.99	0.59
	17.10			0.61	Arcillolita carbonosa	0.41	Arcillolita carbonosa	1.06	0.80
	19.10			1.30	Arcillolita carbonosa	0.70	Arcillolita carbonosa	1.05	0.72
	21.10			0.90	Carbón	0.70	Carbón	1.28	0.50
4	23.10	N271	27°	0.67	Carbón	0.96	Carbón	1.27	0.50
	25.10			0.91	Carbón	0.75	Carbón	0.85	0.80
	27.10			1.36	Carbón	0.67	Carbón	0.45	0.60
	29.10			1.06	Carbón	0.86	Carbón	0.62	0.55
5	31.10	N275	27°	1.10	Carbón	0.86	Carbón	0.88	0.62
	33.10			0.94	Carbón	0.94	Carbón	0.56	0.80
	35.10			0.65	Carbón	1.60	Carbón	0.51	0.92
	37.10			0.60	Carbón	1.10	Carbón	0.28	1.05
6	39.10	N275	25°	0.87	Carbón	1.04	Carbón	1.14	0.72
	41.10			0.95	Carbón	1.20	Carbón	0.93	0.80
	43.10			1.13	Carbón	1.25	Carbón	0.94	0.66
	45.10			1.30	Carbón	1.06	Carbón	0.94	0.56
7	47.10	N280	24°	1.28	Carbón	0.77	Carbón	0.99	0.51
	49.10			1.22	Carbón	1.02	Carbón	0.95	0.80
	51.10			1.10	Carbón	1.30	Carbón	0.88	0.65
	53.10			0.52	Carbón	0.62	Carbón	0.82	0.50
8	55.10	N280	27°	0.60	Arcillolita carbonosa	0.56	Arcillolita carbonosa	0.57	0.59
	57.10			1.20	Arcillolita carbonosa	1.33	Arcillolita carbonosa	0.95	0.80
	59.10			0.86	Arcillolita carbonosa	0.93	Arcillolita carbonosa	0.57	0.75
	61.10			0.70	Arcillolita carbonosa	0.60	Arcillolita carbonosa	0.83	0.75
9	63.10	N277	25°	0.92	Arcillolita carbonosa	0.86	Arcillolita carbonosa	0.93	1.00
	65.10			0.99	Carbón	1.20	Carbón	1.12	0.80
	67.10			0.40	Carbón	1.10	Carbón	0.58	0.55
	69.10			0.36	Carbón	0.73	Carbón	0.84	0.47
10	71.10	N275	26°	0.33	Carbón	0.75	Carbón	0.90	0.48
	73.10			0.40	Carbón	1.18	Carbón	0.88	0.80
	75.10			0.50	Carbón	0.56	Carbón	0.96	0.88
	77.10			1.33	Carbón	0.58	Carbón	1.09	0.77
11	79.10	N274	27°	0.79	Carbón	0.68	Carbón	1.55	0.59
	81.10			1.02	Carbón	0.65	Carbón	1.57	0.80
	83.10			1.24	Carbón	0.59	Carbón	1.05	0.80
	85.10			1.70	Carbón	0.70	Carbón	1.19	0.78
12	87.10	N268	26°	0.98	Carbón	0.72	Carbón	1.01	0.62
	89.10			0.56	Carbón	1.21	Carbón	0.93	0.80
	91.10			0.40	Carbón	0.90	Carbón	1.09	0.68
	93.10			0.67	Carbón	0.66	Carbón	1.43	0.48
13	95.10			1.28	Carbón	1.10	Carbón	1.34	0.40
	97.10			0.99	Carbón	0.82	Carbón	1.10	0.80

➤ **DEPÓSITO CUATERNARIO**

Los depósitos cuaternarios coluvio – aluvial están compuestos por: gravas, bloques (mayores a 6 cm), arenas, limos y arcillas.

➤ **ARENISCA**

La arenisca se encuentra en estratos de aproximadamente 40 cm al ingreso de la labor, es de grano grueso y tiene presencia de feldespatos.

➤ **ARCILLOLITA CARBONOSA**

El macizo rocoso se encuentra conformado por discontinuidades y roca estéril arcillolita carbonosa (denominada anteriormente como lutita carbonosa), de color negro y grano fino con alto contenido de venillas de yeso, las cuales se presentan en estratos de 4 - 15 cm que en conjunto forman bloques de 40 - 50 cm a lo largo de la sección longitudinal de la galería principal.

➤ **ESTRUCTURAS DE CARBÓN**

Conformado por carbón de tipo antracítico, característico por su alto contenido de carbono y elevado poder calorífico; se presenta en mantos con dip de 24° y dip direction de 294° en promedio y potencia entre 0.8 - 1.4m aproximadamente, de coloración negro oscuro y textura vítrea.

➤ **DISCONTINUIDADES**

Las discontinuidades en el macizo rocoso conformado por arcillolita carbonosa, se presentan muy restringidas, por lo que no se puede realizar la toma de datos de los mismos; sin embargo, en el manto de carbón se puede observar una familia principal con dip 53° y dip direction 94°.

➤ **GEOLOGÍA EN LOS PUNTOS DE CONTROL**

• **Estación N°1**

El macizo rocoso conformado por arenisca se encuentra entre moderada y altamente meteorizada, debido a las infiltraciones de agua por escorrentía de lluvia; las discontinuidades contienen material de relleno blando y ligera presencia de óxidos.



Figura 4.1. Geología. Estación N°1.

• **Estación N°2**

Se evidencia la arcillolita carbonosa y el manto de carbón antracítico con ligera a moderada meteorización, y discontinuidades con presencia de rellenos tipo óxidos en los hastiales y techo de la labor.



Figura 4.2. Geología. Estación N°2.

• **Estación N°3**

La arcillolita carbonosa y el manto de carbón antracítico presentan ligera a moderada meteorización, debido al agua presente (goteo); y discontinuidades con rellenos tipo óxidos en los hastiales y techo de la labor.



Figura 4.3. Geología. Estación N°3.

- **Estación N°4**

En los hastiales y techo de la labor se observa ligera meteorización, discontinuidades con rellenos tipo óxidos y el manto de carbón antracítico se encuentra en mayor proporción a la arcillolita carbonosa.



Figura 4.4. Geología. Estación N°4.

- **Estación N°5**

El manto de carbón antracítico presenta ligera meteorización y se evidencia discontinuidades con rellenos tipo óxidos en los hastiales de la labor; los estratos de arcillolita carbonosa se encuentran formando un paquete de 50 a 60 cm de ancho aproximadamente.



Figura 4.5. Geología. Estación N°5.

- **Estación N°6**

Se observa el manto de carbón antracítico y la arcillolita carbonosa con ligera meteorización y oxidación debido a la presencia de agua por infiltración.



Figura 4.6. Geología. Estación N°6.

- **Estación N°7**

En el techo de la labor se evidencia el manto de carbón antracítico con ligera meteorización; en los hastiales (parte superior), se presenta la arcillolita carbonosa en contacto litológico con la continuidad del manto de carbón antracítico y presencia de óxidos.



Figura 4.7. Geología. Estación N°7.

4.3 ESTUDIO GEOMECÁNICO

En la evaluación geomecánica de la galería Juana, se emplearon técnicas de campo para identificar las zonas críticas; luego a través de la observación directa de los hastiales, se realizó el registro de los parámetros geomecánicos del RMR89; lográndose definir para nuestro estudio siete estaciones de control geomecánico (ver Plano 03).

Tabla 4.3. Estaciones de control geomecánico

Estaciones Geomecánicas	Distancia
Estación N°1	BM + 12 m
Estación N°2	BM + 19 m
Estación N°3	BM + 42 m
Estación N°4	BM + 54 m
Estación N°5	BM + 65 m
Estación N°6	BM + 76 m
Estación N°7	BM + 91 m

- Estación N°1**

El macizo rocoso, presenta meteorización entre moderada a alta y discontinuidades con relleno tipo óxido; caracterizándose como clase IV Mala y RMR 35.



Figura 4.8. Estación N°1.

Tabla 4.4. Parámetros geomecánicos de la Estación N°1.

DIS. Nro.	DATA	MACIZO ROCOSO				PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS																		
						TIPOS	RESIST. COMP. UNIAX	RQD Tramo		ORIENTACIÓN			ESPACIADO (m)	PERSIST. (m)	ABERT. (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC - METEOR	AGUA	CALIDAD DE INFORM.			
																	TIPO	DUREZA						
1	E.1	Arenisca	3-4	2	2-3, M	E=Estratif.	σ_{ci}	ND: 26	L: 1.35	λ= 19.3	1	γ _p = 2.8	Z / R	DIP	DD	1 = > 2	1 = < 1	1=Nada	1=Muy Rug	1 = Arcilloso	1 = Ninguna	1=Inalterada	1 = Seco	1 = Lec. Real
						D=Diaclasa										2 = 2-0,6	2 = 1-3	2=< 0.1	2=Rugosa	2 = Qz / Silic	2=Duro<5mm	2=Lig. Alt	2 = Humedo	2=Lect Apar
						Fn=F. Norm										3 = 0,6-0,2	3 = 3-10	3=0,1-1,0	3=Lig. Rug	3 = Calcita	3=Duro>5mm.	3=Mod. Alt	3 = Mojado	3=Lec Proy
						Fi=F. Inversa										4=0,2-0,06	4=10-20	4 = 1,0-5,0	4=Ondulad-lisa	4 = Oxidos	4=Suave<5mm.	4=Muy Alt	4 = Goteo	
						Fd=F. Direcc										5 = < 0,06	5 = >20	9= > 5	5=Suave	5 = Roca Tritur	5=Suave>5mm.	5=Descomp	5 = Flujo	
						mf=Microfalla													6 = Bx					
						SE=Sobrees.													7 = Panizo					
C=Contacto				8 = Veta																				
1	E.1	Arenisca	3-4	2	2-3, M	E	R3	43		N215	20	305	4-5	1-2	3	3-4	4	4	3-4	3	1			

Tabla 4.5. Valoración del Macizo Rocoso (RMR89). Estación N°1.

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)							
CLASIFICACIÓN DE BIENIAWSKI (1989)							
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES						VALORACIÓN
	VALOR ESTIMADO						
R. COMPRES. UNIAXIAL (MPa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)		4
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)		8
ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0,6-2 (15)	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	< 0.06 (5)		7
CONDICIÓN DE DISCONT.	PERSISTENCIA	<1m (6)	1-3 m (4)	3-10 m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	5
	ABERTURA	Nada (6)	<0.1 mm (5)	0.1-1.0 mm (3)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	3
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig. Rugosa (3)	Ondulada (1)	Suave (0)	2
	RELLENO	Ninguno (6)	Duro < 5mm (4)	Duro > 5mm (2)	Blando < 5 mm (2)	Blando > 5 mm (0)	2
	METEORIZ.	Inalterada (6)	Lig. Alterada (5)	Mod. Alterada (3)	Altam. Alterada (1)	Descompuesta (0)	2
AGUA SUBTERRÁNEA	Seco (15)	Lig. Húmedo (10)	Húmedo (7)	Goteando (4)	Agua Fluyendo (0)		7
AJUSTE POR ORIENTACION	Muy Favorable (0)	Favorable (-2)	Medias (-5)	Desfavorable (-10)	Muy Desfavorable (-12)		-5
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 6)							35
CALIDAD DE MACIZO ROCOSO							IV
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0		
DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III MEDIA	IV MALA	V MUY MALA		

- **Estación N°2**

El macizo rocoso presenta discontinuidades tipo estratos, con relleno de óxidos y factor influyente agua en goteo, bajando la resistencia de la roca y caracterizándose como clase IV Mala y RMR 37.



Figura 4.9. Estación N°2.

Tabla 4.6. Parámetros geomecánicos de la Estación N°2.

DIS. Nro.	DATA	MACIZO ROCOSO				PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS														
						TIPOS	RESIST. COMP. UNIAX	RQD Tramo		ORIENTACIÓN			ESPACIADO (m)	PERSIST. (m)	ABERT. (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC - METEOR	AGUA
		E=Estratif. D=Diaclasa	σ_{ci}	ND:	23			DIRECCION.			TIPO	DUREZA								
						1=Fresco 2=Lev Met 3=Mod 4=Alt Met 5=Compl	GRADO FRACT. 1 = Alto 2 = Med 3 = Bajo						GSI 1=Bloq-Regul 2=Bloq-Irregul 3=Bloq y Capas 4=Fract-Intenso Agregar MB, B, M, P, MP	Fn=F. Norm Fi=F. Inversa Fd=F. Direcc mf=Microfalla SE=Sobrees. C=Contacto	Prom golpes	$\lambda =$	18.4	$\gamma_p =$	2.8	Z / R
1	E.2	Arcillolita carbonosa	3	2	2, M			E	R3	45	N190	26								

Tabla 4.7. Valoración del Macizo Rocoso (RMR89). Estación N°2.

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)							
CLASIFICACIÓN DE BIENIAWSKI (1989)							
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES						VALORACIÓN
	VALOR ESTIMADO						
R. COMPRES. UNIAXIAL (MPa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)		4
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)		8
ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0,6-2 (15)	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	< 0.06 (5)		5
CONDICIÓN DE DISCONT.	PERSISTENCIA	<1m (6)	1-3 m (4)	3-10 m (2)	10-20 m (1)	>20 m (0)	5
	ABERTURA	Nada (6)	<0.1 mm (5)	0.1-1.0 mm (3)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	4
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig. Rugosa (3)	Ondulada (1)	Suave (0)	2
	RELLENO	Ninguno (6)	Duro < 5mm (4)	Duro > 5mm (2)	Blando < 5 mm (2)	Blando > 5 mm (0)	4
	INTEMPERIZA.	Inalterada (6)	Lig. Alterada (5)	Mod. Alterada (3)	Altam. Alterada (1)	Descompuesta (0)	4
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	Lig. Húmedo (10)	Húmedo (7)	Goteando (4)	Agua Fluyendo (0)		6
AJUSTE POR ORIENTACION	Muy Favorable (0)	Favorable (-2)	Medias (-5)	Desfavorable (-10)	Muy Desfavorable (-12)		-5
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 6)							37
CALIDAD DE MACIZO ROCOSO							IV
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0		
DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III MEDIA	IV MALA	V MUY MALA		

- Estación N°3**

El macizo rocoso presenta discontinuidades tipo estratos con relleno de óxidos y factor influyente agua en goteo, bajando la resistencia de la roca y caracterizándose como clase III Mala y RMR 37.



Figura 4.10. Estación N°3.

Tabla 4.8. Parámetros geomecánicos de la Estación N°3.

DIS. Nro.	DATA	MACIZO ROCOSO				PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS															
						TIPOS	RESIST. COMP. UNIAX	RQD Tramo		ORIENTACIÓN			ESPACIADO (m)	PERSIST. (m)	ABERT. (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC - METEOR	AGUA	CALIDAD DE INFORM.
								σ_{Ci}	ND:	L:	DIRECCION.	Z / R					DIP	DD			
					E=Estratif.	σ_{Ci}	ND:	27	DIRECCION.	1 = > 2	1 = < 1	1=Nada	1=Muy Rug	1 = Arcilloso	1 = Ninguna	1=Inalterada	1 = Seco	1 = Lec. Real			
				D=Diaclasa	L:		1.50	2 = 2-0,6		2 = 1-3	2=< 0.1	2=Rugosa	2 = Qz / Silic	2=Duro<5mm	2=Lig. Alt	2 = Humedo	2=Lect Apar				
				1=Fresco	1 = Alto	1=Bloq-Regul	F _n =F. Norm	λ	DIRECCION.	3 = 0,6-0,2	3 = 3-10	3=0,1-1,0	3=Lig. Rug	3 = Calcita	3=Duro>5mm.	3=Mod. Alt	3 = Mojado	3=Lec Proy			
				2=Lev Met	2 = Med	2=Bloq-Irregul	Fi=F. Inversa			Prom golpes	4=0,2-0,06	4=10-20	4 =1,0-5,0	4=Ondulad-lisa	4 = Oxidos	4=Suave<5mm.	4=Muy Alt	4 = Goteo			
				3=Mod	3 = Bajo	3=Bloq y Capas	Fd=F. Direcc	λ	5 = < 0,06		5 = >20	9= > 5	5=Suave	5 = Roca Tritur	5=Suave>5mm.	5=Descomp	5 = Flujo				
				4=Alt Met		4=Fract-Intenso	mf=Microfalla	γ_p	Z / R	DIP	DD		6 = Bx								
				5=Compl		Agregar MB, B, M, P, MP	SE=Sobrees. C=Contacto		1					7 = Panizo							
													8 = Veta								
1	E.3	Arcillolita carbonosa	3-4	2	2, M	E	R3	46	N206	26	296	5	1-2	2-3	3-4	4	2	2-3	3-4	1	

Tabla 4.9. Valoración del Macizo Rocoso (RMR89). Estación N°3.

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)							
CLASIFICACIÓN DE BIENIAWSKI (1989)							
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES						VALORACIÓN
	VALOR ESTIMADO						
R. COMPRE. UNIAXIAL (MPa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)		4
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)		8
ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0,6-2 (15)	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	< 0.06 (5)		5
CONDICIÓN DE DISCONT.	PERSISTENCIA	<1m (6)	1-3 m (4)	3-10 m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	5
	ABERTURA	Nada (6)	<0.1 mm (5)	0.1-1.0 mm (3)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	4
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig. Rugosa (3)	Ondulada (1)	Suave (0)	2
	RELLENO	Ninguno (6)	Duro < 5mm (4)	Duro > 5mm (2)	Blando < 5 mm (2)	Blando > 5 mm (0)	4
	INTEMPERIZA.	Inalterada (6)	Lig. Alterada (5)	Mod. Alterada (3)	Altam. Alterada (1)	Descompuesta (0)	4
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	Lig. Húmedo (10)	Húmedo (7)	Goteando (4)	Agua Fluyendo (0)		6
AJUSTE POR ORIENTACION	Muy Favorable (0)	Favorable (-2)	Medias (-5)	Desfavorable (-10)	Muy Desfavorable (-12)		-5
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 6)							37
CALIDAD DE MACIZO ROCOSO							IV
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0		
DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III MEDIA	IV MALA	V MUY MALA		

- Estación N°4

El macizo rocoso presenta discontinuidades tipo estratos con relleno de óxidos y factor influyente agua (mojado), bajando la resistencia de la roca y caracterizándose como clase III Media y RMR 41.



Figura 4.11. Estación N°4.

Tabla 4.10. Parámetros geomecánicos de la Estación N°4.

DIS. Nro.	DATA	MACIZO ROCOSO				PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS																				
						TIPOS	RESIST. COMP. UNIAX	RQD Tramo		ORIENTACIÓN			ESPACIADO (m)	PERSIST. (m)	ABERT. (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC - METEOR	AGUA	CALIDAD DE INFORM.					
		E=Estratif. D=Diaclasa	σ_{ci}	ND:	L:			DIRECCION.	1 = > 2	2 = 2-0,6	3 = 0,6-0,2	4=0,2-0,06					5= < 0,06	1 = < 1				2 = < 0.1	3=0,1-1,0	4 = =1,0-5,0	9= > 5	1=Muy Rug
						TIPO	DUREZA																			
PUNTO	LITOLOG / FORMAC.	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	σ_{ci}	Prom golpes	$\lambda =$	18.4	Z / R	DIP	DD	5	1-2	2-3	3-4	4	2	2	2-3	1						
		1=Fresco	1 = Alto	1=Bloq-Regul																	Fn=F. Norm	ND:	23			
		2=Lev Met	2 = Med	2=Bloq-Irregul																	Fi=F. Inversa	L:	1.24			
		3 =Mod	3 = Bajo	3=Bloq y Capas																	Fd=F. Direcc					
		4=Alt Met		4=Fract-Intenso																	mf=Microfalla					
		5=Compl		Agregar MB, B, M, P, MP																	SE=Sobrees.	1	$\gamma_p =$	2.8		
																					C=Contacto					
1	E.4	Arcillolita carbonosa	2-3	2	2, M	E	R3	45	N193	24	283	5	1-2	2-3	3-4	4	2	2	2-3	1						

Tabla 4.11. Valoración del Macizo Rocoso (RMR89). Estación N°4.

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)							
CLASIFICACIÓN DE BIENIAWSKI (1989)							
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES						VALORACIÓN
	VALOR ESTIMADO						
R. COMPRE. UNIAXIAL (MPa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)		4
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)		8
ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0,6-2 (15)	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	< 0.06 (5)		5
CONDICIÓN DE DISCONT.	PERSISTENCIA	<1m (6)	1-3 m (4)	3-10 m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	5
	ABERTURA	Nada (6)	<0.1 mm (5)	0.1-1.0 mm (3)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	4
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig. Rugosa (3)	Ondulada (1)	Suave (0)	2
	RELLENO	Ninguno (6)	Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	Blando < 5 mm (2)	Blando > 5 mm (0)	4
	INTEMPERIZA.	Inalterada (6)	Lig. Alterada (5)	Mod. Alterada (3)	Altam. Alterada (1)	Descompuesta (0)	5
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	Lig. Húmedo (10)	Húmedo (7)	Goteando (4)	Agua Fluyendo (0)		9
AJUSTE POR ORIENTACION	Muy Favorable (0)	Favorable (-2)	Medias (-5)	Desfavorable (-10)	Muy Desfavorable (-12)		-5
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 6)							41
CALIDAD DE MACIZO ROCOSO							
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0		III
DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III MEDIA	IV MALA	V MUY MALA		

- **Estación N°5**

El macizo rocoso presenta discontinuidades tipo estratos, con relleno de óxidos y factor influyente agua (húmedo), afectando la resistencia y caracterizándose como clase III Media y RMR 42.



Figura 4.12. Estación N°5.

Tabla 4.12. Parámetros geomecánicos de la Estación N°5.

DIS. Nro.	DATA	MACIZO ROCOSO				PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS																											
						TIPOS	RESIST. COMP. UNIAX	RQD Tramo		ORIENTACIÓN			ESPACIADO (m)	PERSIST. (m)	ABERT. (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC - METEOR	AGUA	CALIDAD DE INFORM.												
																	TIPO	DUREZA															
1	E.5	Arcillolita carbonosa	2-3	2	2, M	E	R3	47	N193	24	283	5	1-2	2-3	3-4	4	2	2	2	1													
																					E=Estratif. D=Diaclasa Fn=F. Norm Fi=F. Inversa Fd=F. Direcc mf=Microfalla SE=Sobrees. C=Contacto	σ_{ci} Prom golpes 1	ND: 22 L: 1.25 $\lambda = 17.6$ $\gamma_p = 2.8$	DIRECCION.	1 = > 2	1 = < 1	1=Nada	1=Muy Rug	1 = Arcilloso	1 = Ninguna	1=Inalterada	1 = Seco	1 = Lec. Real
																									2 = 2-0,6	2 = 1-3	2=< 0.1	2=Rugosa	2 = Qz / Silic	2=Duro<5mm	2=Lig. Alt	2 = Humedo	2=Lect Apar
																									3 = 0,6-0,2	3 = 3-10	3=0,1-1,0	3=Lig. Rug	3 = Calcita	3=Duro>5mm.	3=Mod. Alt	3 = Mojado	3=Lec Proy
																									4=0,2-0,06	4=10-20	4 = 1,0-5,0	4=Ondulad-lisa	4 = Oxidos	4=Suave<5mm.	4=Muy Alt	4 = Goteo	
																									5= < 0,06	5 = >20	9= > 5	5=Suave	5 = Roca Tritur	5=Suave>5mm.	5=Descomp	5 = Flujo	
																													6 = Bx				
				7 = Panizo																													
				8 = Veta																													

Tabla 4.13. Valoración del Macizo Rocoso (RMR89). Estación N°5.

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)							
CLASIFICACIÓN DE BIENIAWSKI (1989)							
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES						VALORACIÓN
	VALOR ESTIMADO						
R. COMPRE. UNIAXIAL (MPa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)		4
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)		8
ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0,6-2 (15)	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	< 0.06 (5)		5
CONDICIÓN DE DISCONT.	PERSISTENCIA	<1m (6)	1-3 m (4)	3-10 m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	5
	ABERTURA	Nada (6)	<0.1 mm (5)	0.1-1.0 mm (3)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	4
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig. Rugosa (3)	Ondulada (1)	Suave (0)	2
	RELLENO	Ninguno (6)	Duro < 5mm (4)	Duro > 5mm (2)	Blando < 5 mm (2)	Blando > 5 mm (0)	4
	INTEMPERIZA.	Inalterada (6)	Lig. Alterada (5)	Mod. Alterada (3)	Altam. Alterada (1)	Descompuesta (0)	5
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	Lig. Húmedo (10)	Húmedo (7)	Goteando (4)	Agua Fluyendo (0)		10
AJUSTE POR ORIENTACION	Muy Favorable (0)	Favorable (-2)	Medias (-5)	Desfavorable (-10)	Muy Desfavorable (-12)		-5
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 6)							42
CALIDAD DE MACIZO ROCOSO							
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0		III
DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III MEDIA	IV MALA	V MUY MALA		

- Estación N°6

El macizo rocoso presenta discontinuidades tipo estrato, con relleno de óxidos y factor influyente agua (húmedo), afectando la resistencia de la roca y caracterizándose como clase III Media y RMR 43.



Figura 4.13. Estación N°6.

Tabla 4.14. Parámetros geomecánicos de la Estación N°6.

DIS. Nro.	DATA	MACIZO ROCOSO				PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS															
						TIPOS	RESIST. COMP. UNIAX	RQD Tramo		ORIENTACIÓN			ESPACIADO (m)	PERSIST. (m)	ABERT. (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC - METEOR	AGUA	CALIDAD DE INFORM.
								σ_{ci}	ND:	L:	$\lambda=$	$\gamma_p=$					1	2			
			METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	E=Estratif. D=Diaclasa															
			1=Fresco	1 = Alto	1=Bloq-Regul	Fn=F. Norm															
			2=Lev Met	2 = Med	2=Bloq-Irregul	Fi=F. Inversa															
			3 =Mod	3 = Bajo	3=Bloq y Capas	Fd=F. Direcc	Prom golpes														
			4=Alt Met		4=Fract-Intenso	mf=Microfalla															
			5=Compl		Agregar MB, B, M, P, MP	SE=Sobrees.	1														
						C=Contacto															
1	E.6	Arcillolita carbonosa	2-3	2	2, B	E	R3	48	N215	26	305	5	1-2	2	3-4	4	2	2	2	1	

Tabla 4.15. Valoración del Macizo Rocoso (RMR89). Estación N°6.

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)								
CLASIFICACIÓN DE BIENIAWSKI (1989)								
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES							VALORACION
	VALOR ESTIMADO							
R. COMPRE. UNIAXIAL (MPa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2)	<5(1)	<1(0)	4
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25	(3)		8
ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0,6-2 (15)	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	< 0.06	(5)		5
CONDICIÓN DE DISCONT.	PERSISTENCIA	<1m (6)	1-3 m (4)	3-10 m (2)	10-20 m (1)	> 20 m	(0)	5
	ABERTURA	Nada (6)	<0.1 mm (5)	0.1-1.0 mm (3)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm	(0)	5
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig. rugosa (3)	Ondulada (1)	Suave	(0)	2
	RELLENO	Ninguno (6)	Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	Blando < 5 mm (2)	Blando > 5 mm	(0)	4
	INTEMPERIZA.	Inalterada (6)	Lig. Alterada (5)	Mod. Alterada (3)	Altam. Alterada (1)	Descompuesta	(0)	5
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	Lig. Húmedo (10)	Húmedo (7)	Goteando (4)	Agua Fluyendo	(0)		10
AJUSTE POR ORIENTACION	Muy Favorable (0)	Favorable (-2)	Medias (-5)	Desfavorable (-10)	Muy Desfavorable.	(-12)		-5
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 6)								43
CALIDAD DE MACIZO ROCOSO								III
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0			
DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III MEDIA	IV MALA	V MUY MALA			

- Estación N°7

El macizo rocoso presenta discontinuidades tipo estratos con relleno de óxidos y factor influyente agua (húmedo), afectando la resistencia de la roca y caracterizándose como clase III Media y RMR 46.



Figura 4.14. Estación N°7.

Tabla 4.16. Parámetros geomecánicos de la Estación N°7.

DIS. Nro.	DATA	MACIZO ROCOSO				PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS															
						TIPOS	RESIST. COMP. UNIAX	RQD Tramo		ORIENTACIÓN			ESPACIADO (m)	PERSIST. (m)	ABERT. (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC - METEOR	AGUA	CALIDAD DE INFORM.
								σ_{ci}	ND:	L:	DIRECCION.	Z / R					DIP	DD			
			METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GS	E=Estratif. D=Diaclasa															
			1=Fresco	1 = Alto	1=Bloq-Regul	Fn=F. Norm	σ_{ci}	ND: 25													
			2=Lev Met	2 = Med	2=Bloq-Irregul	Fi=F. Inversa		L: 1.50													
			3 =Mod	3 = Bajo	3=Bloq y Capas	Fd=F. Direcc	Prom golpes	$\lambda =$ 16.7													
			4=Alt Met		4=Fract-Intenso	mf=Microfalla															
			5=Compl		Agregar MB, B, M, P, MP	SE=Sobrees. C=Contacto	1	$\gamma_p =$ 2.8													
1	E.7	Arcillolita carbonosa	2-3	2	2, B	E	R3	50	N185	24	275	5	1-2	2	3-4	4	2	2	1-2	1	

Tabla 4.17. Valoración del Macizo Rocoso (RMR89). Estación N°7.

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)							
CLASIFICACIÓN DE BIENIAWSKI (1989)							
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES						VALORACIÓN
	VALOR ESTIMADO						
R. COMPRE. UNIAXIAL (MPa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)		4
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)		8
ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0,6-2 (15)	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	< 0.06 (5)		5
CONDICIÓN DE DISCONT.	PERSISTENCIA	<1m (6)	1-3 m (4)	3-10 m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	5
	ABERTURA	Nada (6)	<0.1 mm (5)	0.1-1.0 mm (3)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	5
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig. Rugosa (3)	Ondulada (1)	Suave (0)	2
	RELLENO	Ninguno (6)	Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	Blando < 5 mm (2)	Blando > 5 mm (0)	4
	INTEMPERIZA.	Inalterada (6)	Lig. Alterada (5)	Mod. Alterada (3)	Altam. Alterada (1)	Descompuesta (0)	5
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	Lig. Húmedo (10)	Húmedo (7)	Goteando (4)	Agua Fluyendo (0)		13
AJUSTE POR ORIENTACION	Muy Favorable (0)	Favorable (-2)	Medias (-5)	Desfavorable (-10)	Muy Desfavorable (-12)		-5
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 6)							46
CALIDAD DE MACIZO ROCOSO							
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0		III
DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III MEDIA	IV MALA	V MUY MALA		

Tabla 4.18. Calidad de macizos rocosos, RMR89. E1 - E7.

Estación	Clase	Calidad	RMR89	Cohesión kg /cm ²	Ángulo de rozamiento
E1	IV	Mala	35	1 – 2	15° - 25°
E2	IV	Mala	37	1 – 2	15° - 25°
E3	IV	Mala	37	1 – 2	15° - 25°
E4	III	Regular	41	2 – 3	25° - 35°
E5	III	Regular	42	2 – 3	25° - 35°
E6	III	Regular	43	2 – 3	25° - 35°
E7	III	Regular	46	2 – 3	25° - 35°

➤ ANÁLISIS MEDIANTE EL SOFTWARE ROCDATA 4.0

Los datos de campo fueron procesados en el software RocData 4.0 a fin de obtener los parámetros de resistencia del macizo rocoso, que nos servirán como datos de entrada para el software Phase². El análisis hace necesario cuantificar el GSI, para ello, se usa la fórmula del GSI modificado, $GSI=1.5JCond_{89}+RQD/2$ (Hoek et al. 2013).

Tabla 4.19. RMR89 y GSI.

Estación	JCond ₈₉	RQD	GSI	RMR89
E1	14	43	43	35
E2	19	45	51	37
E3	19	46	52	37
E4	20	45	53	41
E5	20	47	54	42
E6	21	48	56	43
E7	21	50	57	46

Tabla 4.20. Coordenadas Geográficas, WGS-84.

Estación	E (m)	N (m)	Cota interior (msnm)	Profundidad (m)	Terreno Natural (msnm)
E1	781625	9270971	2123.79	13.81	2137.60
E2	781619	9270971	2121.17	19.53	2140.70
E3	781597	9270972	2110.29	42.37	2152.66
E4	781587	9270974	2105.43	52.42	2157.85
E5	781578	9270975	2100.89	61.93	2162.82
E6	781568	9270976	2096.24	73.45	2169.69
E7	781555	9270977	2089.49	88.96	2178.45

- Estación N°1

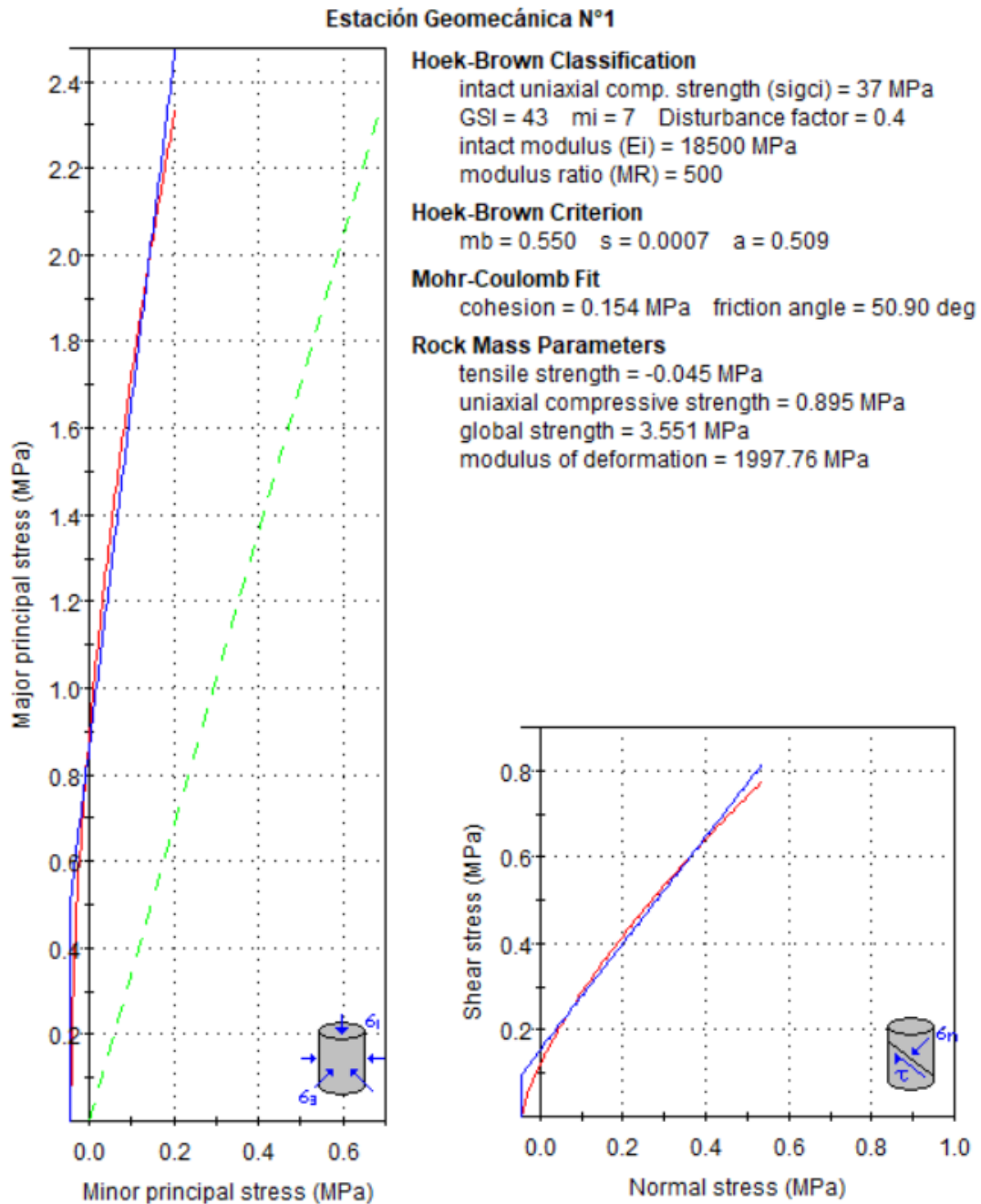


Figura 4.15. Envolvente de rotura no lineal de Hoek-Brown y lineal de Mohr-Coulomb, Estación N°1.

En la Figura 4.15, las curvas de color rojo y azul, representan las envolventes de rotura de Hoek-Brown y Mohr-Coulomb respectivamente, graficadas en términos de tensiones principales, y tensiones normales y de corte; y la línea de color verde, representa la Línea de Mogi.

- Estación N°2

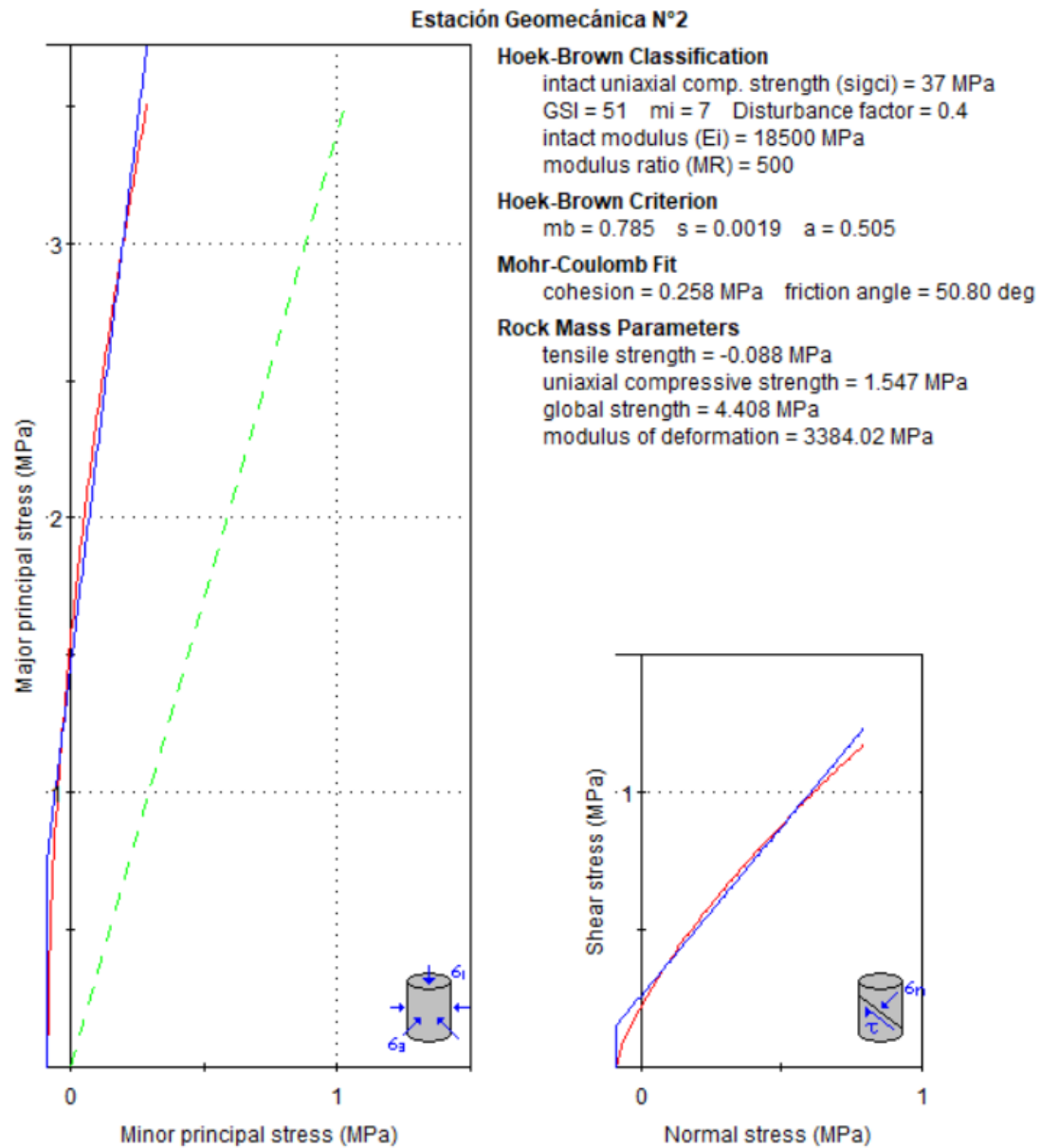


Figura 4.16. Envoltente de rotura no lineal de Hoek-Brown y lineal de Mohr-Coulomb, Estación N°2.

En la Figura 4.16, las curvas de color rojo y azul, representan las envoltentes de rotura de Hoek-Brown y Mohr-Coulomb respectivamente, graficadas en términos de tensiones principales, y tensiones normales y de corte; y la línea de color verde, representa la Línea de Mogi.

- Estación N°3

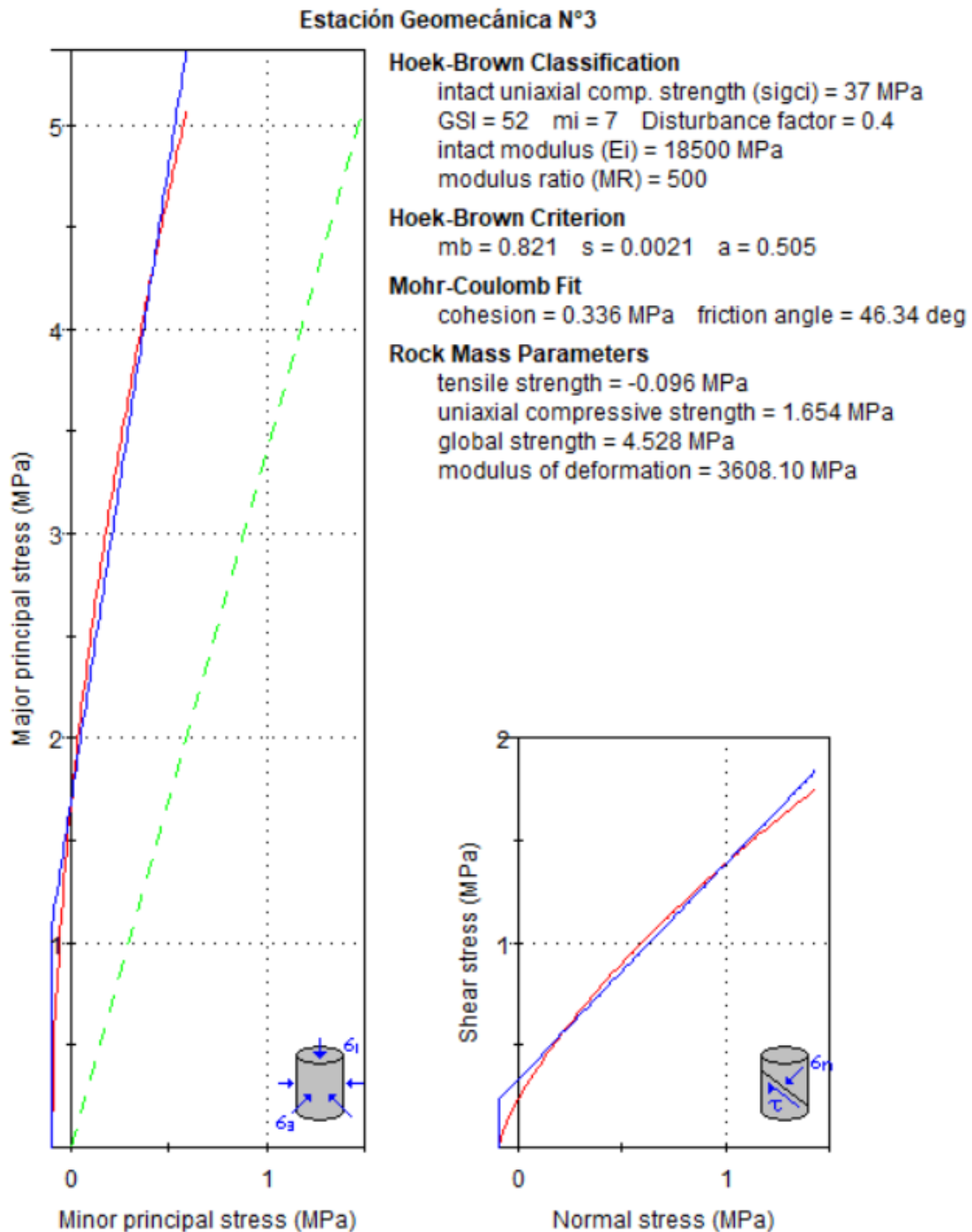


Figura 4.17. Envolvente de rotura no lineal de Hoek-Brown y lineal de Mohr-Coulomb, Estación N°3.

En la Figura 4.17, las curvas de color rojo y azul, representan las envolventes de rotura de Hoek-Brown y Mohr-Coulomb respectivamente, graficadas en términos de tensiones principales, y tensiones normales y de corte; y la línea de color verde, representa la Línea de Mogi.

- Estación N°4

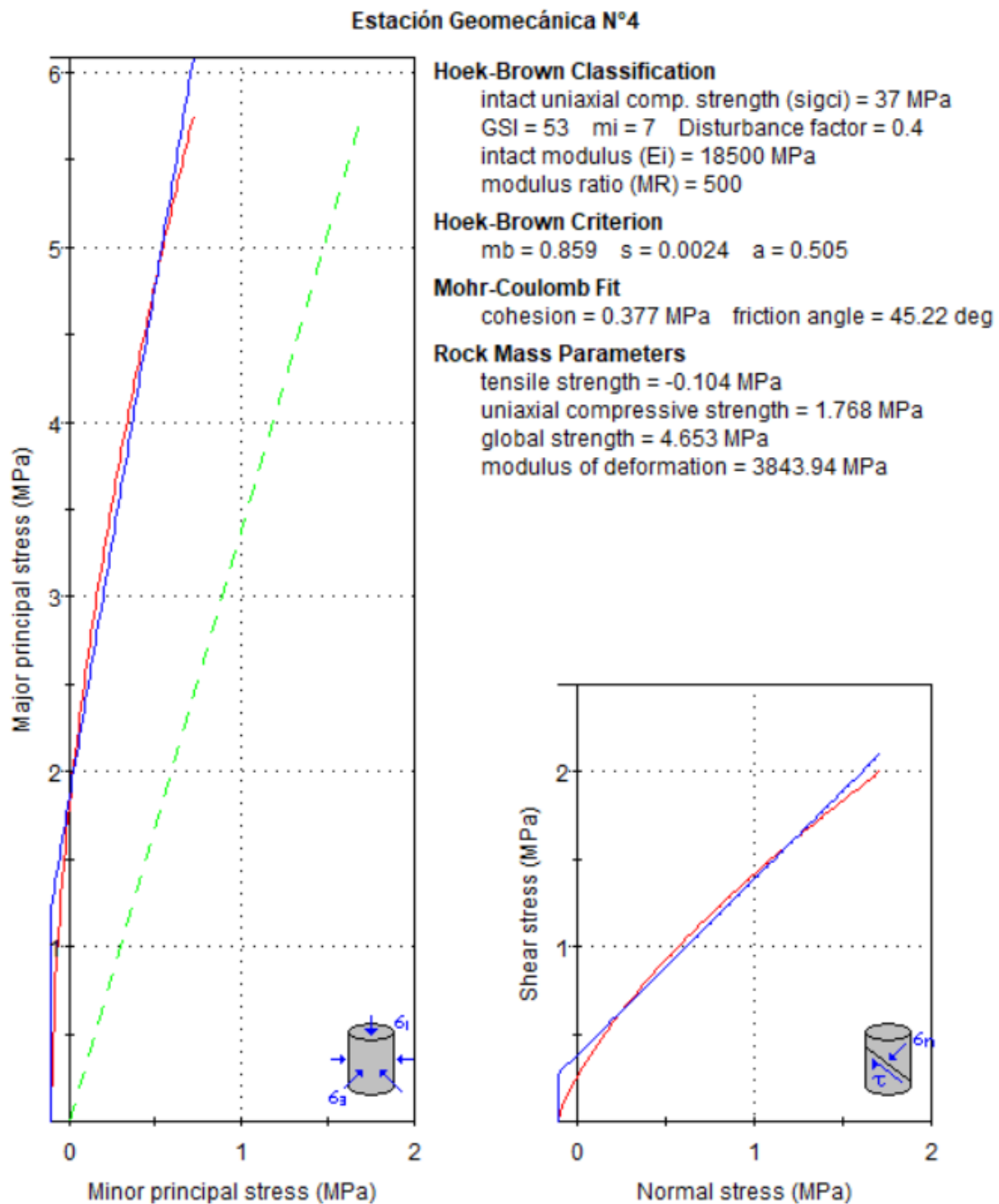


Figura 4.18. Envolvente de rotura no lineal de Hoek-Brown y lineal de Mohr-Coulomb, Estación N°4.

En la Figura 4.18, las curvas de color rojo y azul, representan las envolventes de rotura de Hoek-Brown y Mohr-Coulomb respectivamente, graficadas en términos de tensiones principales, y tensiones normales y de corte; y la línea de color verde, representa la Línea de Mogi.

- Estación N°5

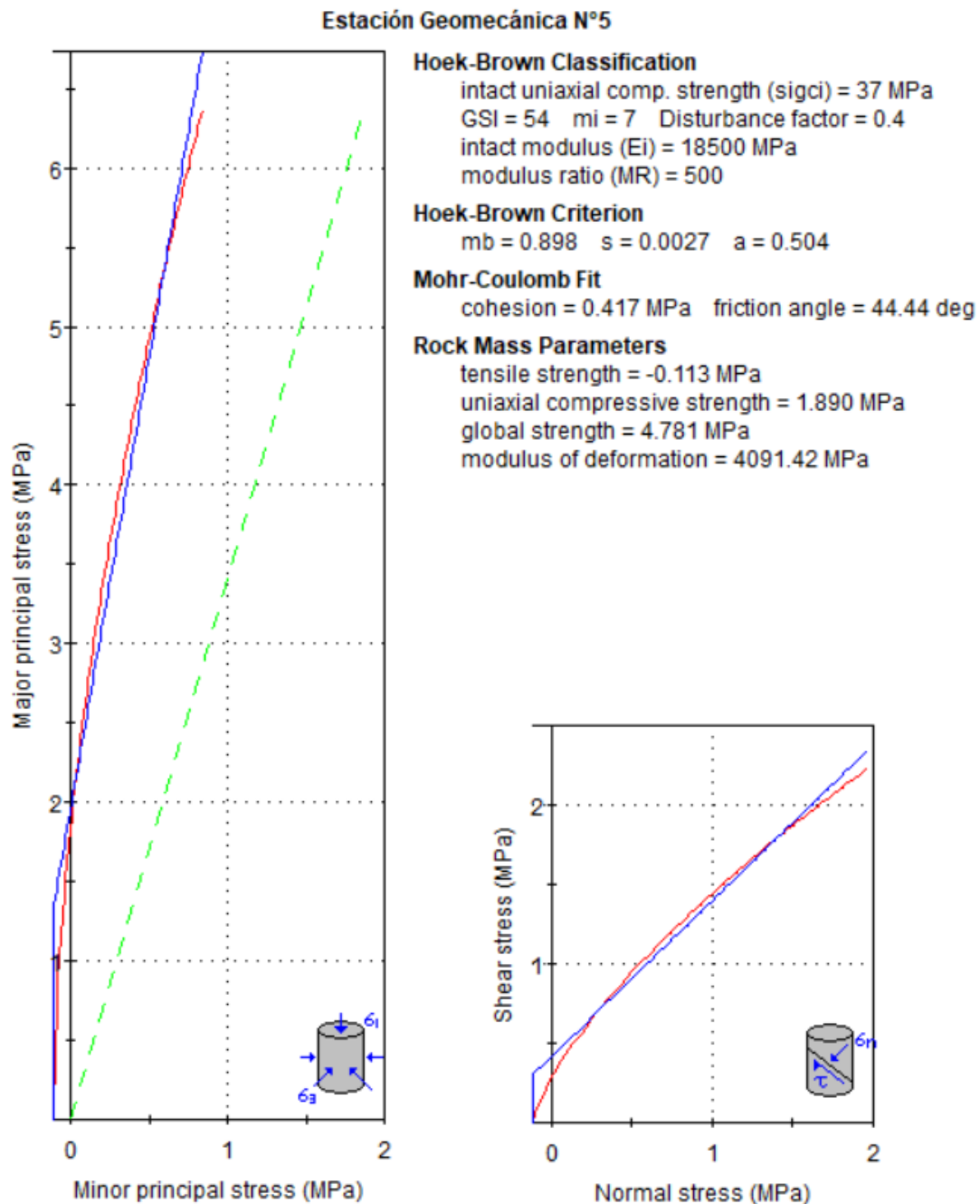


Figura 4.19. Envolvente de rotura no lineal de Hoek-Brown y lineal de Mohr-Coulomb, Estación N°5.

En la Figura 4.19, las curvas de color rojo y azul, representan las envolventes de rotura de Hoek-Brown y Mohr-Coulomb respectivamente, graficadas en términos de tensiones principales, y tensiones normales y de corte; y la línea de color verde, representa la Línea de Mogi.

- Estación N°6

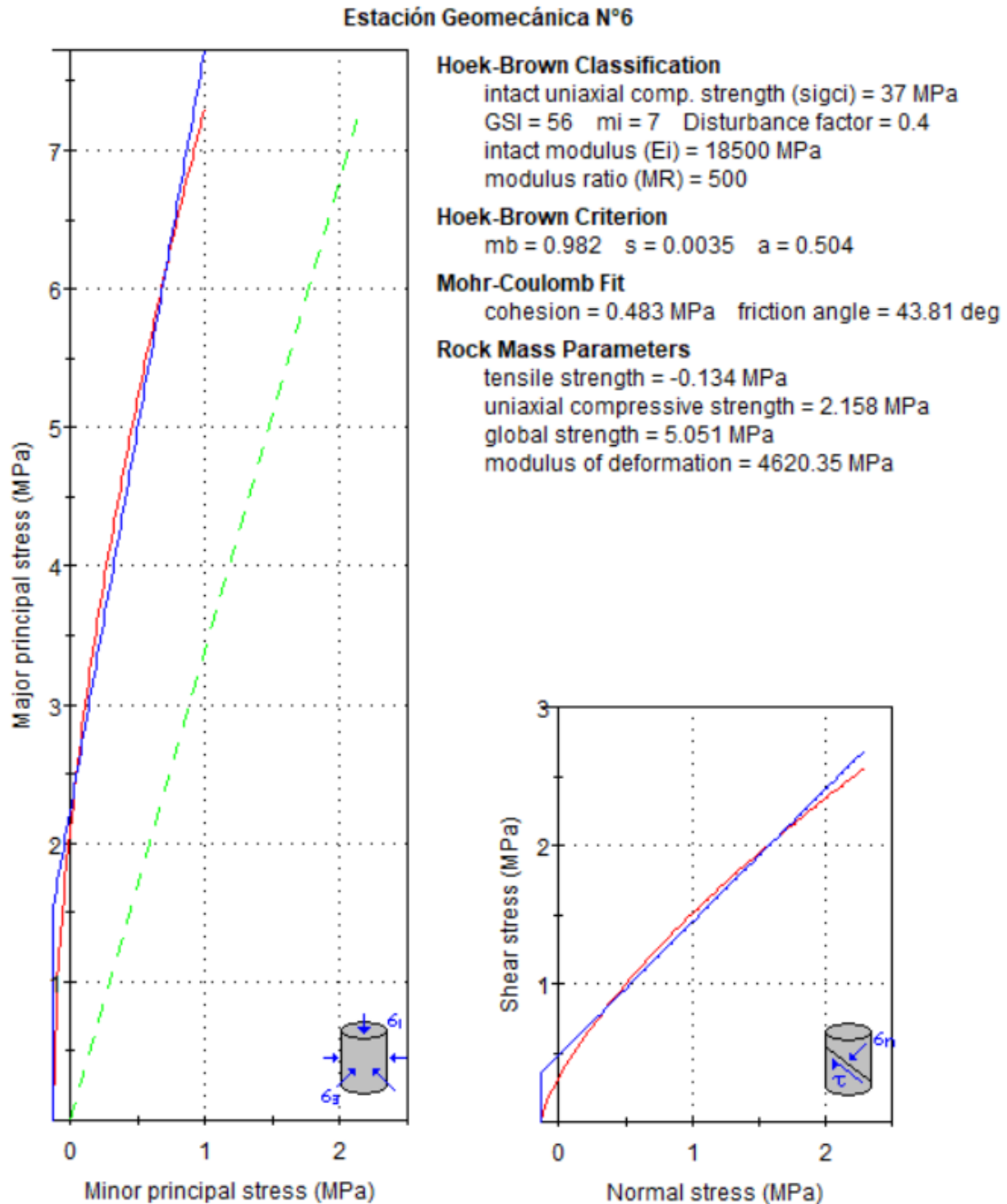


Figura 4.20. Envoltente de rotura no lineal de Hoek-Brown y lineal de Mohr-Coulomb, Estación N°6.

En la Figura 4.20, las curvas de color rojo y azul, representan las envoltentes de rotura de Hoek-Brown y Mohr-Coulomb respectivamente, graficadas en términos de tensiones principales, y tensiones normales y de corte; y la línea de color verde, representa la Línea de Mogi.

- Estación N°7

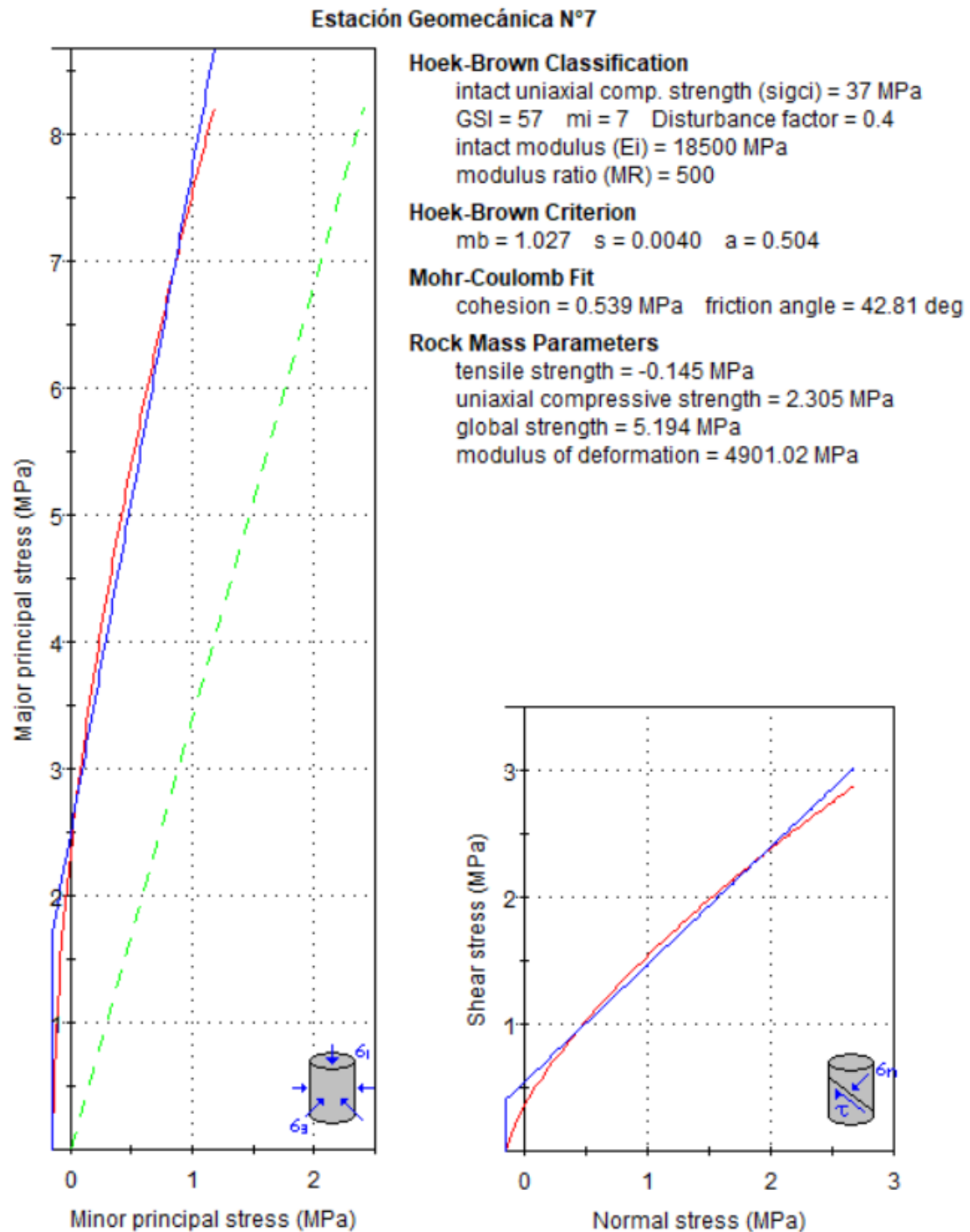


Figura 4.21. Envoltente de rotura no lineal de Hoek-Brown y lineal de Mohr-Coulomb, Estación N°7.

En la Figura 4.21, las curvas de color rojo y azul, representan las envoltentes de rotura de Hoek-Brown y Mohr-Coulomb respectivamente, graficadas en términos de tensiones principales, y tensiones normales y de corte; y la línea de color verde, representa la Línea de Mogi.

Tabla 4.21. Resultados RocData 4.0 por Estación Geomecánica.

Estaciones		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
Parámetros de entrada	sigci (MPa)	37	37	37	37	37	37	37
	GSI	43	51	52	53	54	56	57
	mi	7	7	7	7	7	7	7
	D	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
	Ei	18500	18500	18500	18500	18500	18500	18500
	MR	500	500	500	500	500	500	500
Criterio Hoek-Brown	mb	0.550	0.785	0.821	0.859	0.898	0.982	1.027
	s	0.001	0.002	0.002	0.002	0.003	0.004	0.004
	a	0.509	0.505	0.505	0.505	0.504	0.504	0.504
Rango de Envoltante de Falla	sig ₃ max (MPa)	0.203	0.288	0.592	0.722	0.838	0.993	1.183
	Peso específico (MN/m ³)	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027
	Profundidad (m)	14	20	43	53	62	74	89
Valores equivalentes	c (MPa)	0.15	0.26	0.34	0.38	0.42	0.48	0.54
	phi (grados)	50.90	50.80	46.34	45.22	44.44	43.81	42.81
Parámetros del Macizo Rocoso	sig _t (MPa)	-0.05	-0.09	-0.10	-0.10	-0.11	-0.13	-0.15
	sig _c (MPa)	0.90	1.55	1.65	1.77	1.89	2.16	2.31
	sig _{cm} (MPa)	3.55	4.41	4.53	4.65	4.78	5.05	5.19
	Erm (MPa)	1998	3384	3608	3844	4091	4620	4901

➤ MÉTODO DE SHEOREY

Según el Método de Sheorey ($K=0.25+7Eh(0.001+1/h)$), explicado en el capítulo II, determinamos las tensiones en cada estación.

Tabla 4.22. Distribución de tensiones en la galería Juana.

Estación	h (m)	Eh (Gpa)	k	σ_v (Mpa)	σ_H (Mpa)
E1	14	2.00	1.26	0.38	0.48
E2	20	3.38	1.46	0.54	0.79
E3	43	3.61	0.86	1.16	1.00
E4	53	3.84	0.78	1.43	1.12
E5	62	4.09	0.74	1.67	1.24
E6	74	4.62	0.72	2.00	1.44
E7	89	4.90	0.67	2.40	1.61

➤ CÁLULO DE COEFICIENTES SÍSMICOS EN LOADCAP

Los coeficientes sísmicos (K_h y K_v), se calcularon en el software Loadcap; para ello se usó los siguientes datos: de acuerdo a la ubicación de la zona investigación, zona 2 (aceleración máxima 0.25); coeficiente de amplificación topográfica igual a 1 y categoría de perfil estratigráfico tipo A, valor igual a 1; dando como resultado $K_h = 0.125$ y $K_v = 0.063$; los que serán usados para el análisis en Phase².

The image shows two overlapping windows from the Loadcap software. The left window is titled 'Acción sísmica' and contains the following fields and options:

- Tipo terreno: Roca
- Corrección parámetros Terzaghi:
 - Corrección cohesión (2/3c)
 - Corrección Ángulo de rozamiento interno (arctg(0.67*tan(Fi)))
 - $N_g = 2 * (N_q - 1) * \tan(F_i / 2)$
 - Factor profundidad=1
- Acción sísmica:
 - Cálculo coeficientes sísmicos:
 - Aceleración máxima (ag/g): 0.25
 - Magnitud M: 0
 - Coeficientes sísmicos:
 - Coefficiente intensidad sísmica terreno K_{hk} : 0.125
 - Coefficiente intensidad sísmica estructura K_{hi} : 0.063
 - Efecto sísmico según: Ningún efecto sísmico

The right window is titled 'Parametri sismici OPCM' and contains the following fields and options:

- Zona Sismica: 2
- Accelerazione massima / g: 0.25
- Coefficiente amplificazione topografica: 1
- Categoria profilo stratigrafico: A
- Coefficiente di intensità sismico orizz.: K_h 0.125
- Coefficiente di intensità sismico vert.: K_v 0.063

Both windows have 'OK', 'Anular', and '?' buttons at the bottom.

Figura 4.22. Coeficientes sísmicos K_h y K_v , calculados en Loadcap.

➤ ANÁLISIS MEDIANTE EL SOFTWARE PHASE² 8.0

El análisis de concentración de esfuerzos o tensiones, Factor de Seguridad y desplazamientos totales de la labor, se realizó mediante el software Phase².

- **Estación N°1**

En la Figura 4.23, se observa la concentración de tensiones alrededor de la excavación, las cuales son mayores en el techo (valor máximo de 1.14 MPa) y en la parte inferior de los hastiales.

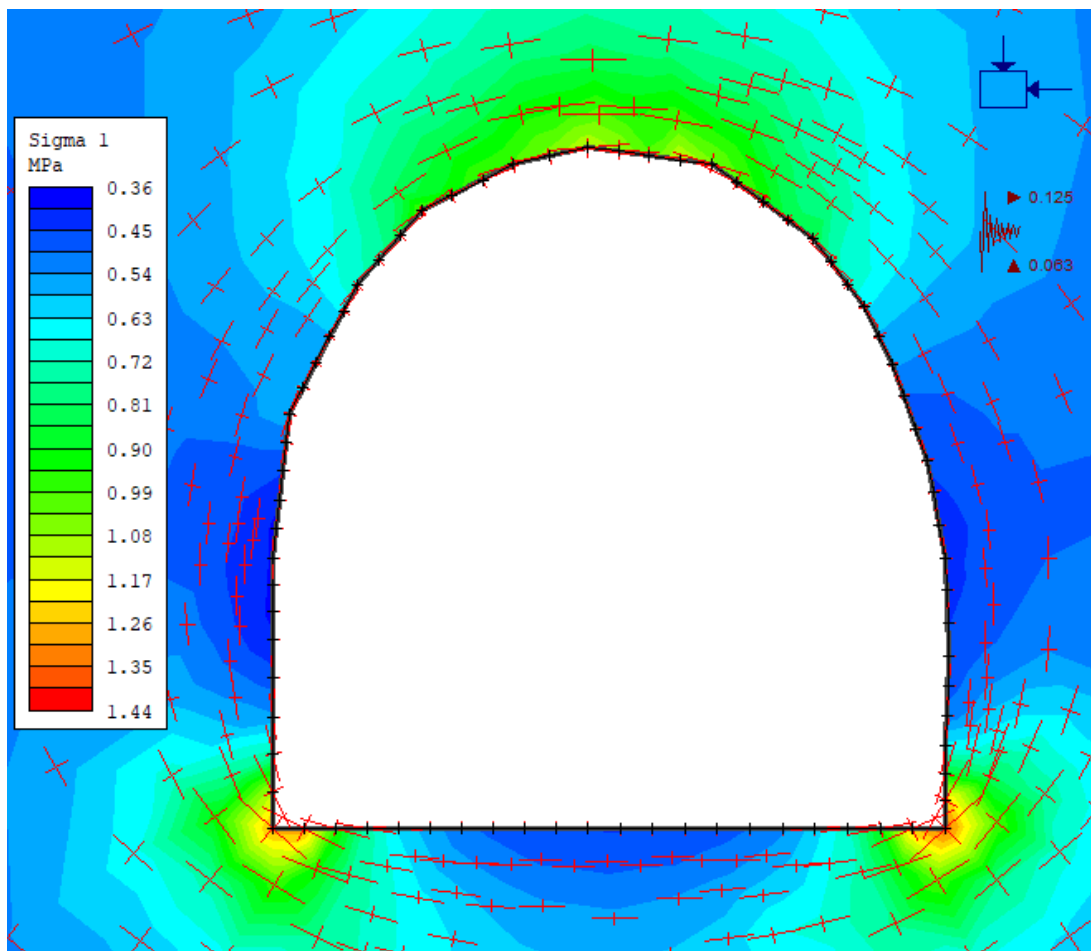


Figura 4.23. Tensiones en la sección transversal. Estación N°1.

En la Figura 4.24, se observa por colores los FS en la sección transversal y su distribución en el contorno de la labor, con valor máximo de 2.04 y mínimo de 1.06. La línea de color rojo, es la iso-línea con FS igual a 1.5; así, en el techo y hastiales se observa una zona plástica, que va a continuar deformándose a menos que se aplique sostenimiento.

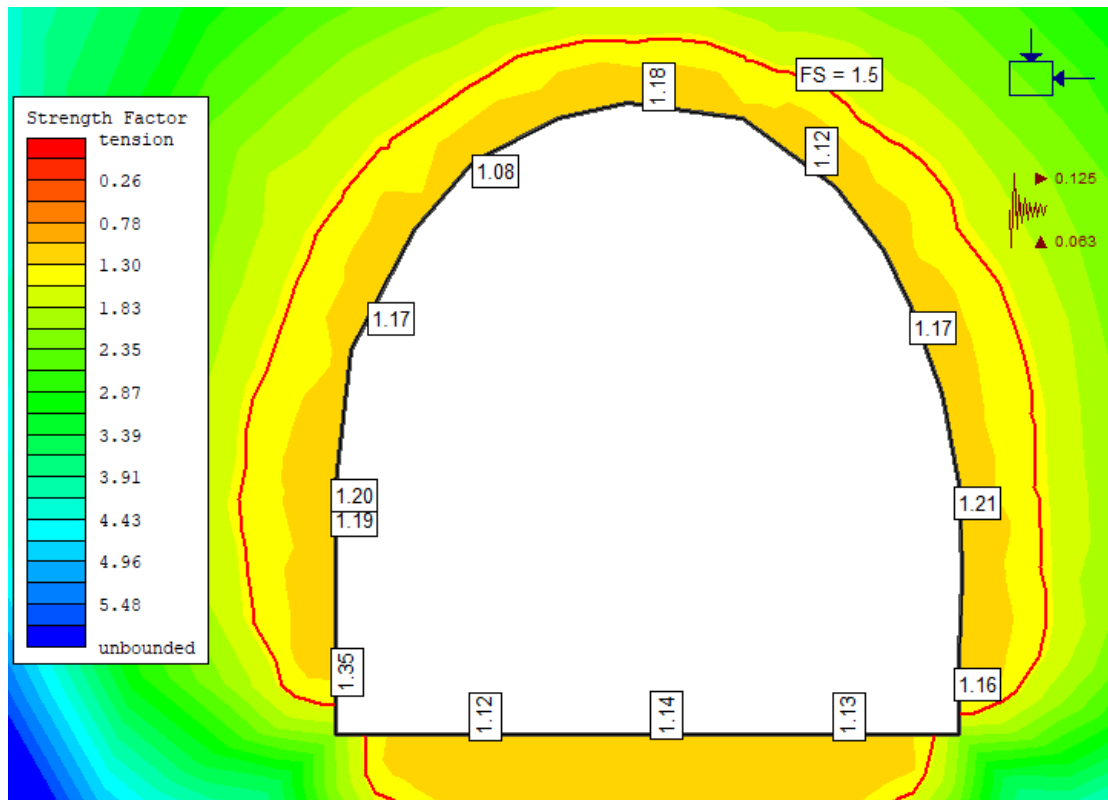


Figura 4.24. FS en la sección transversal de la labor. Estación N°1.

Si bien en los FS en el contorno de la excavación no es significativo los efectos de los coeficientes sísmicos; éstos sí son relevantes al momento de graficar los desplazamientos totales.

En la Figura 4.25 (escenario sin sismicidad) y Figura 4.26 (escenario con sismicidad), se muestran los desplazamientos totales en el contorno de la excavación; en ellos se observa como éstos varían al agregar los coeficientes sísmicos, pasando de un estado inicial donde son mayores en el hastial derecho (valor máximo de 0.342 mm), a un estado final en el que son mayores en el hastial izquierdo (valor máximo de 0.352 mm).

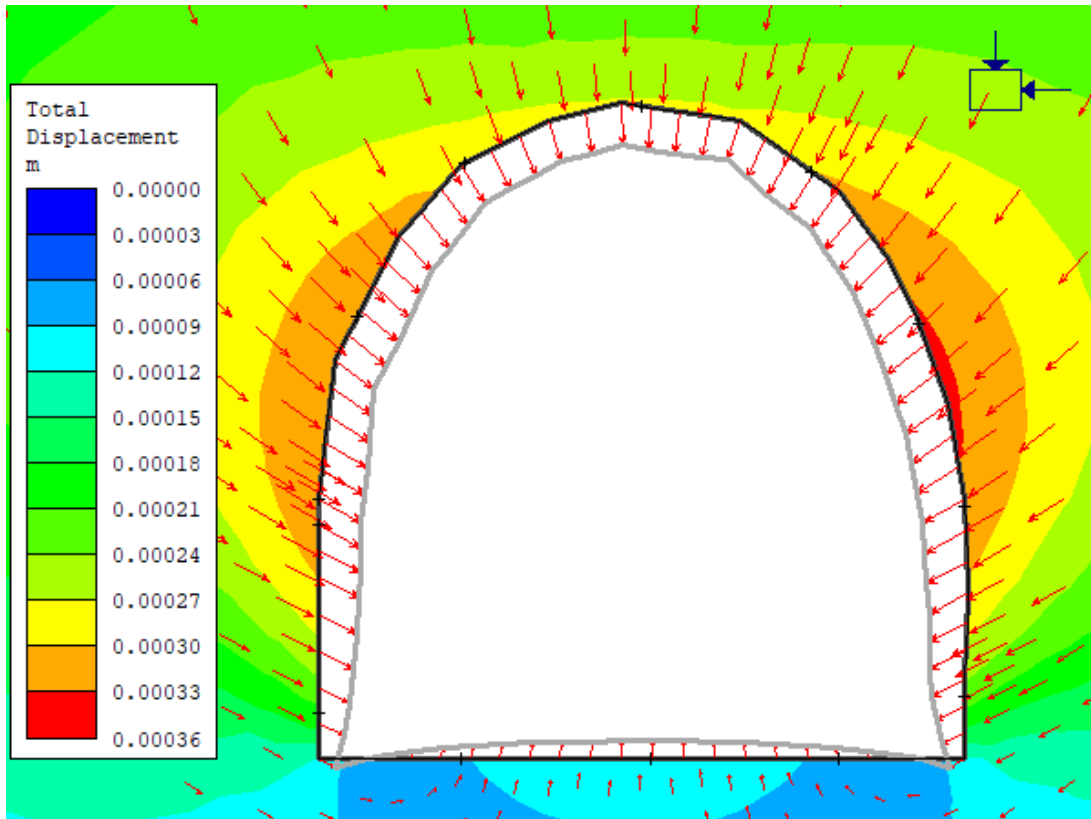


Figura 4.25. Desplazamientos totales sin sismicidad. Estación N°1.

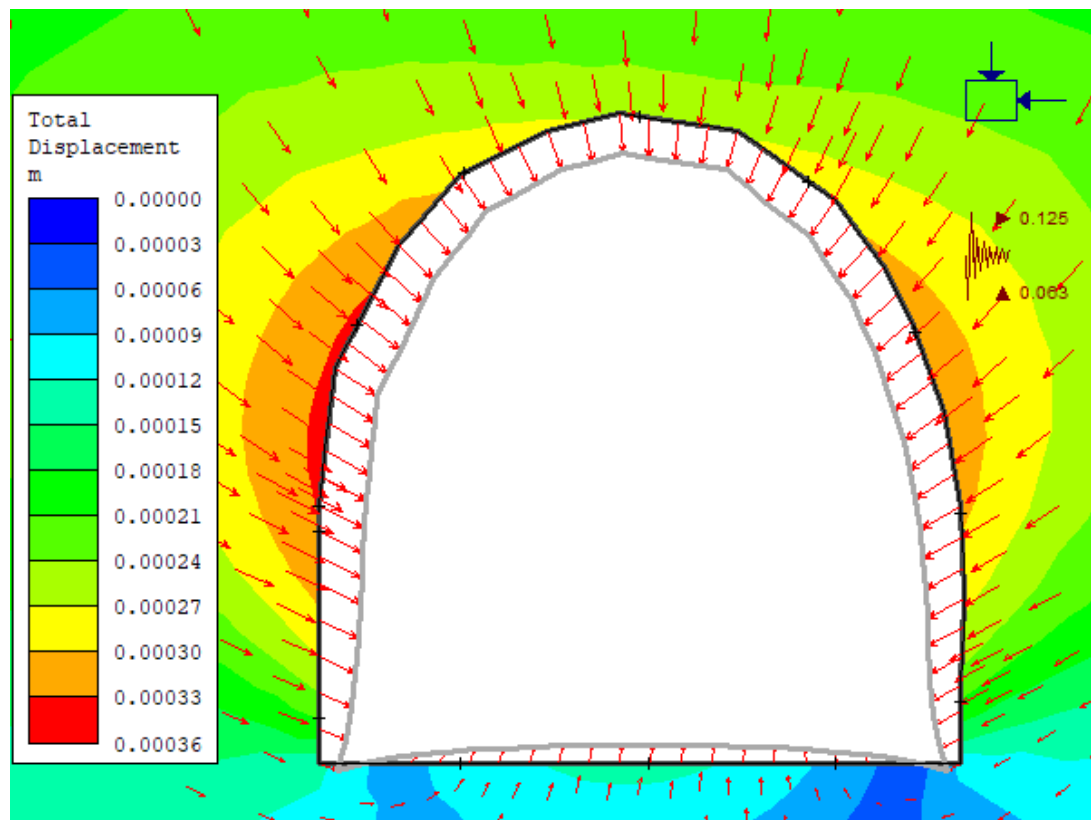


Figura 4.26. Desplazamientos totales con sismicidad. Estación N°1.

- **Estación N°2**

En la Figura 4.27, se observa la concentración de las tensiones alrededor de la excavación, las cuales son mayores en el techo (valor máximo de 2.01 MPa) y en la parte inferior de los hastiales.

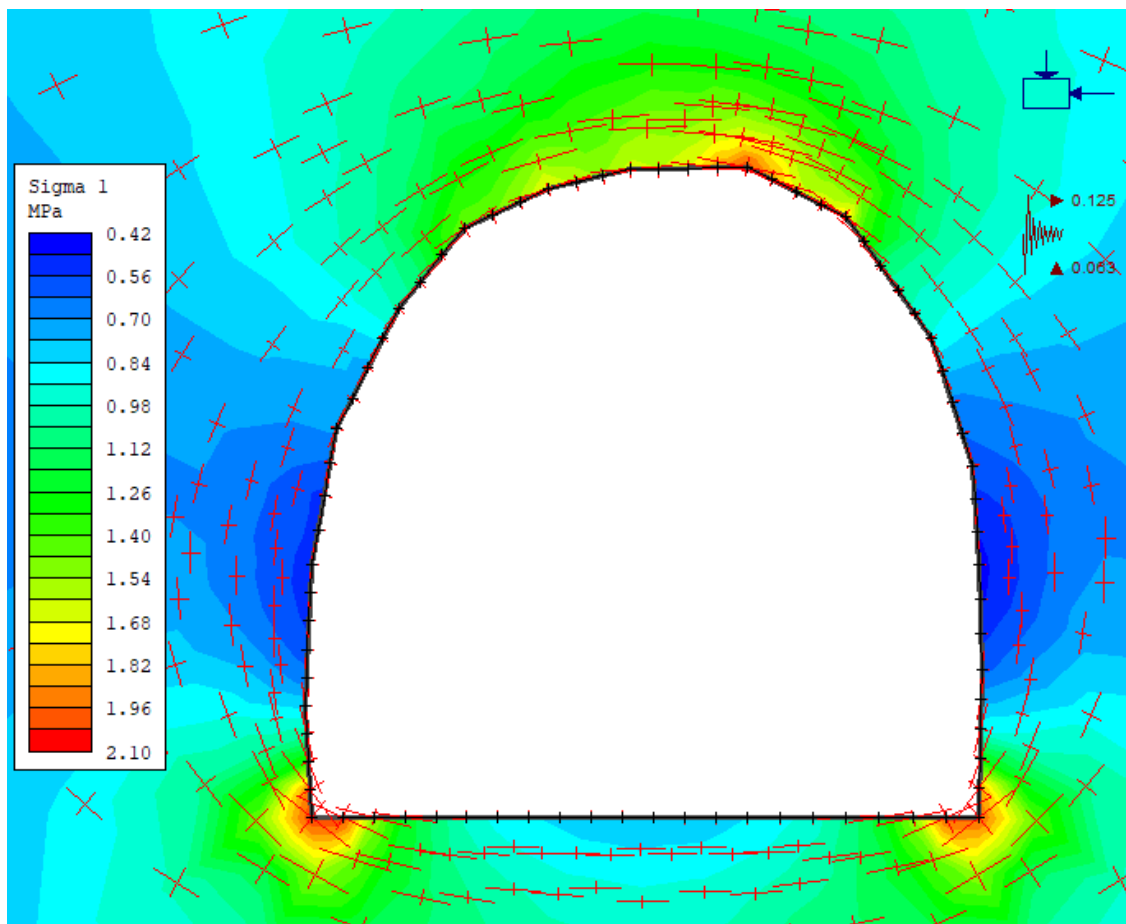


Figura 4.27. Tensiones en la sección transversal. Estación N°2.

En la Figura 4.28, se observa por colores los FS en la sección transversal y su distribución en el contorno de la labor, con valor máximo de 2.12 y mínimo de 1.08. La línea de color rojo, representa la iso-línea con FS igual a 1.5; así, en el techo y hastiales se nota una zona plástica, que debido a las tensiones va a continuar deformándose si siguen las mismas condiciones y no se aplica sostenimiento.

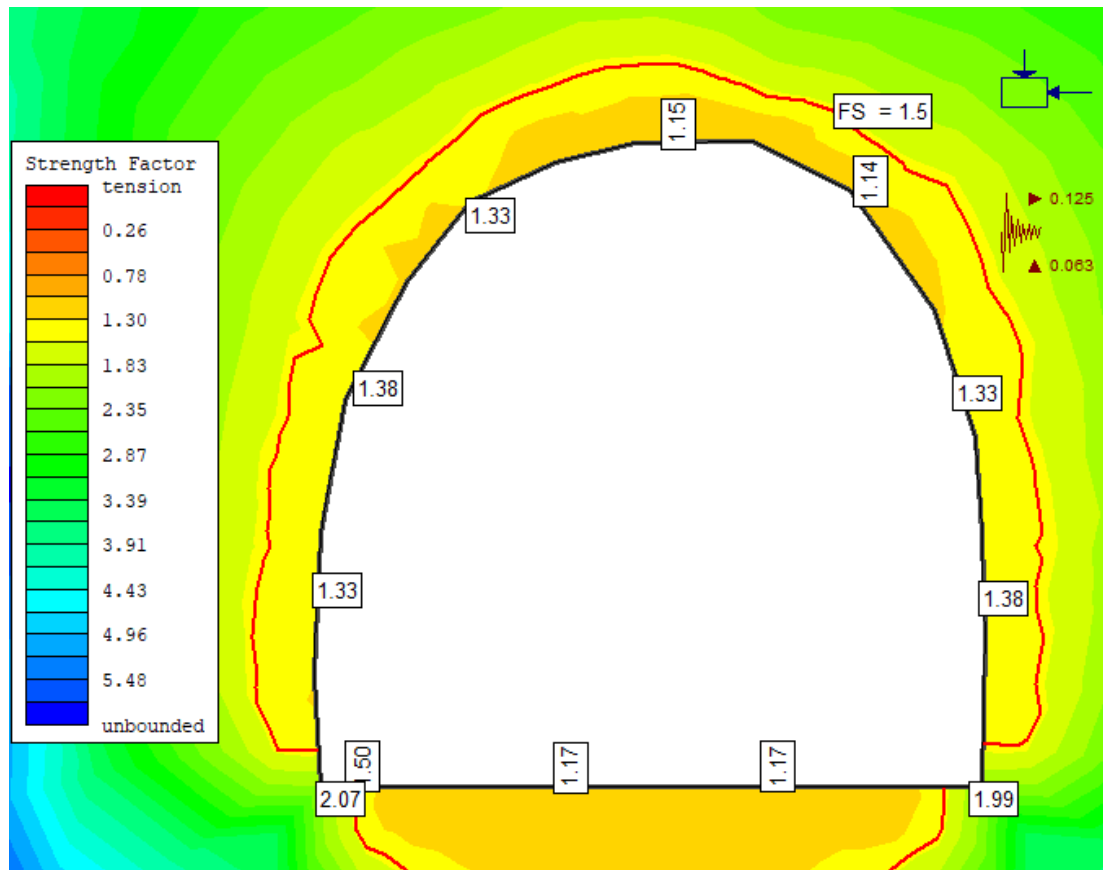


Figura 4.28. FS en la sección transversal de la labor. Estación N°2

Si bien en los FS en el contorno de la excavación no es significativo los efectos de los coeficientes sísmicos; éstos sí son relevantes al momento de graficar los desplazamientos totales.

En la Figura 4.29 (escenario sin sismicidad) y Figura 4.30 (escenario con sismicidad), se muestran los desplazamientos totales en el contorno de la excavación; en ellos se observa como los desplazamientos totales varían al agregar los coeficientes sísmicos, pasando de un estado inicial donde son mayores en ambos hastiales (valor máximo 0.312 mm), a un estado final donde solo son mayores en el hastial izquierdo (valor máximo 0.320 mm).

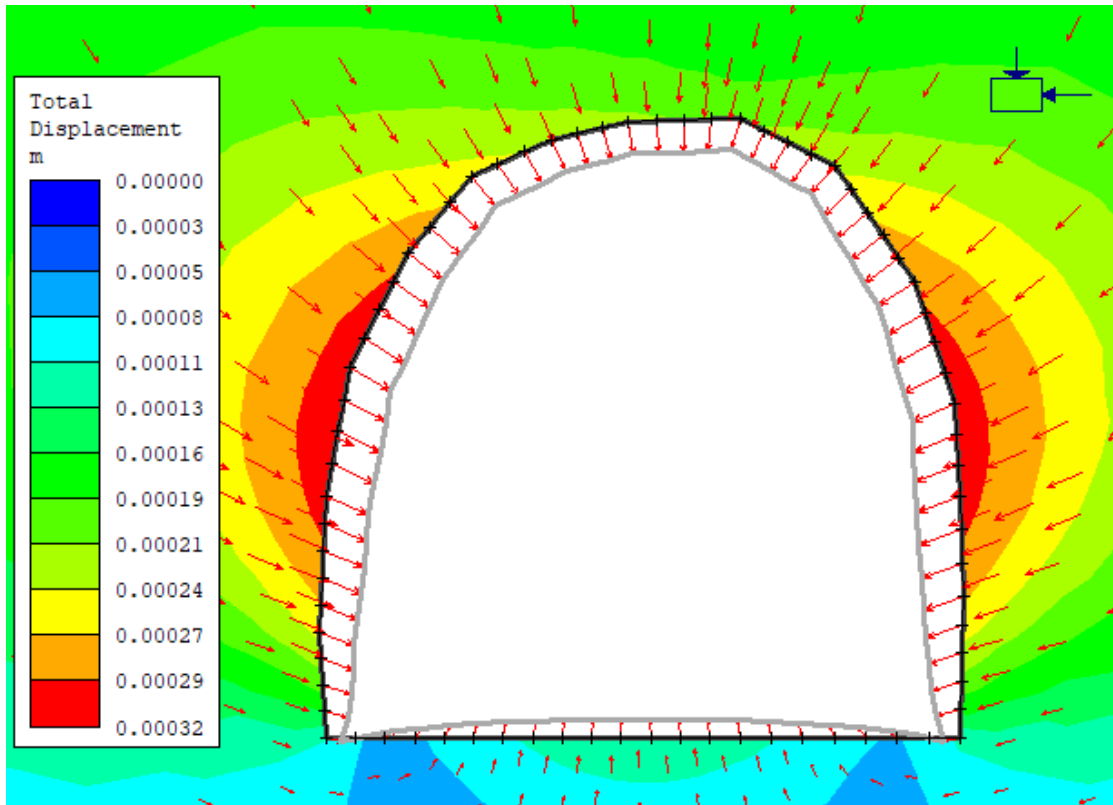


Figura 4.29. Desplazamientos totales sin sismicidad. Estación N°2.

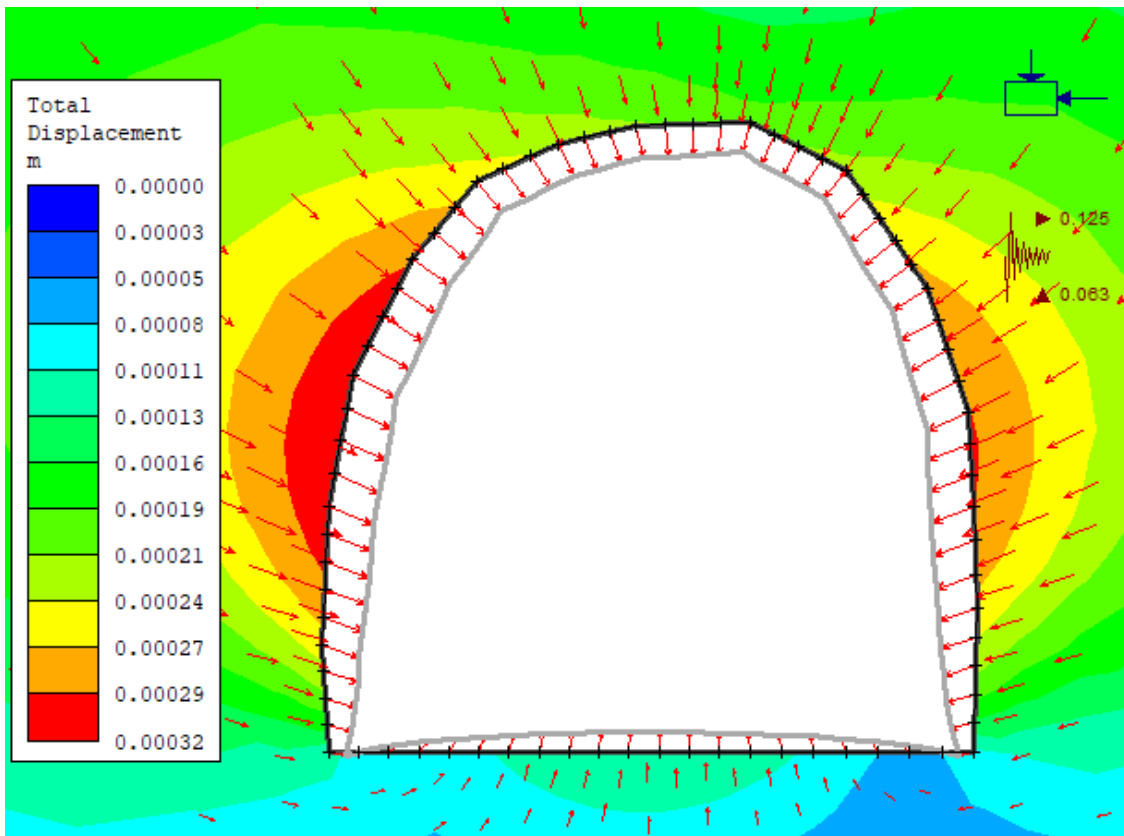


Figura 4.30. Desplazamientos totales con sismicidad. Estación N°2.

- **Estación N°3**

En la Figura 4.31, se observa que la concentración de tensiones alrededor de la excavación es mayor en los hastiales, con valores máximos de 2.42 y 2.29 MPa, hastial izquierdo y derecho, respectivamente.

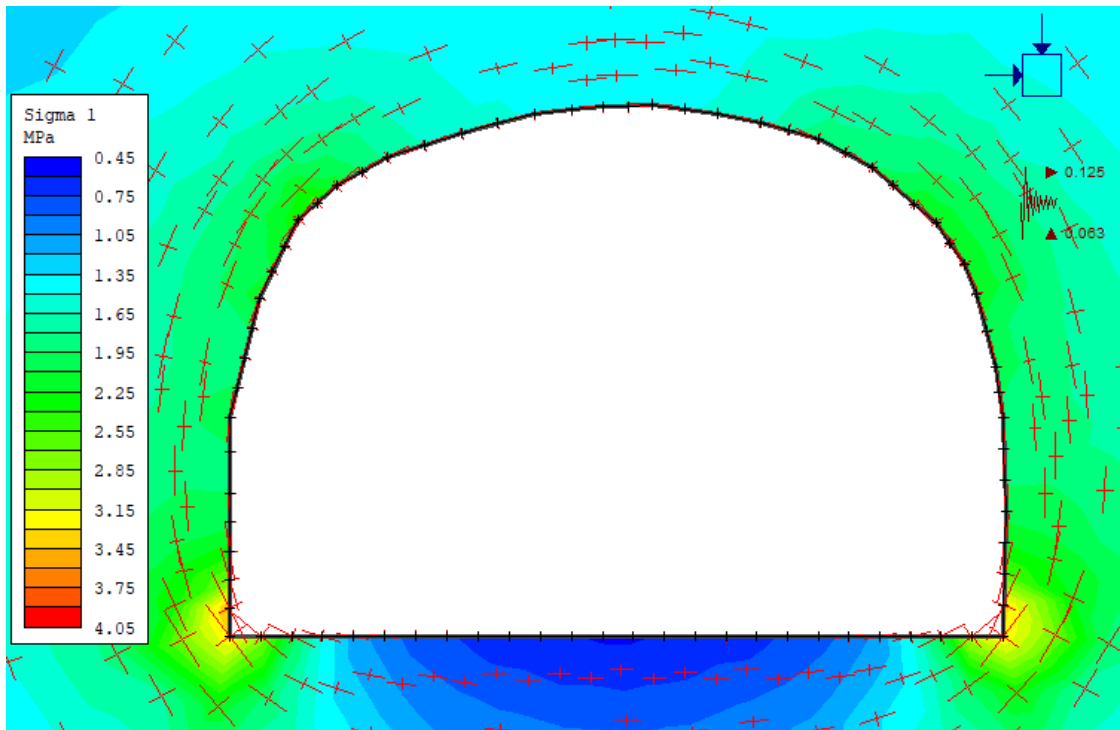


Figura 4.31. Tensiones en la sección transversal. Estación N°3.

En la Figura 3.32 se observa por colores los FS en la sección transversal y su distribución en el contorno de la labor, con valor máximo de 1.98 y mínimo de 1.00. La línea de color rojo, representa la iso-línea con FS igual a 1.5; así, en el techo y hastiales se nota una zona plástica, que debido a las tensiones va a continuar deformándose si siguen las mismas condiciones y no se aplica sostenimiento.

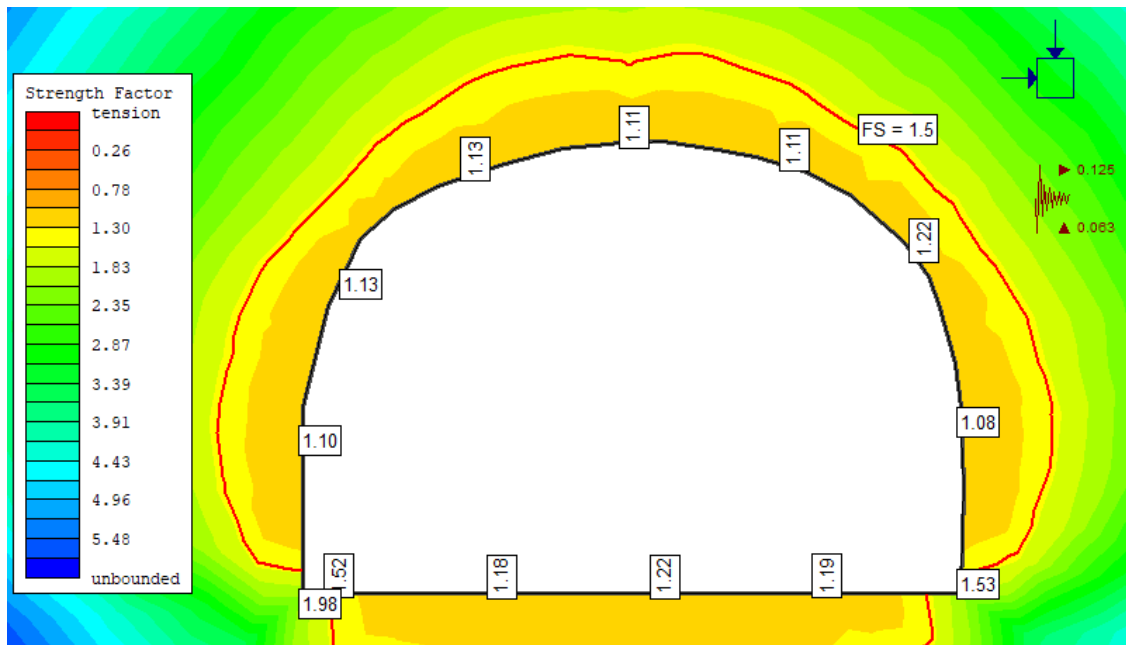


Figura 4.32. FS en la sección transversal de la labor. Estación N°3.

Si bien en los FS en el contorno de la excavación no es significativo los efectos de los coeficientes sísmicos; éstos sí son relevantes al momento de graficar los desplazamientos totales.

En la Figura 4.33 (escenario sin sismicidad) y Figura 4.34 (escenario con sismicidad), se muestran los desplazamientos totales en el contorno de la excavación; en ellos se observa que los desplazamientos totales son similares en ambos escenarios y mayores en el techo de la labor (0.490 mm).

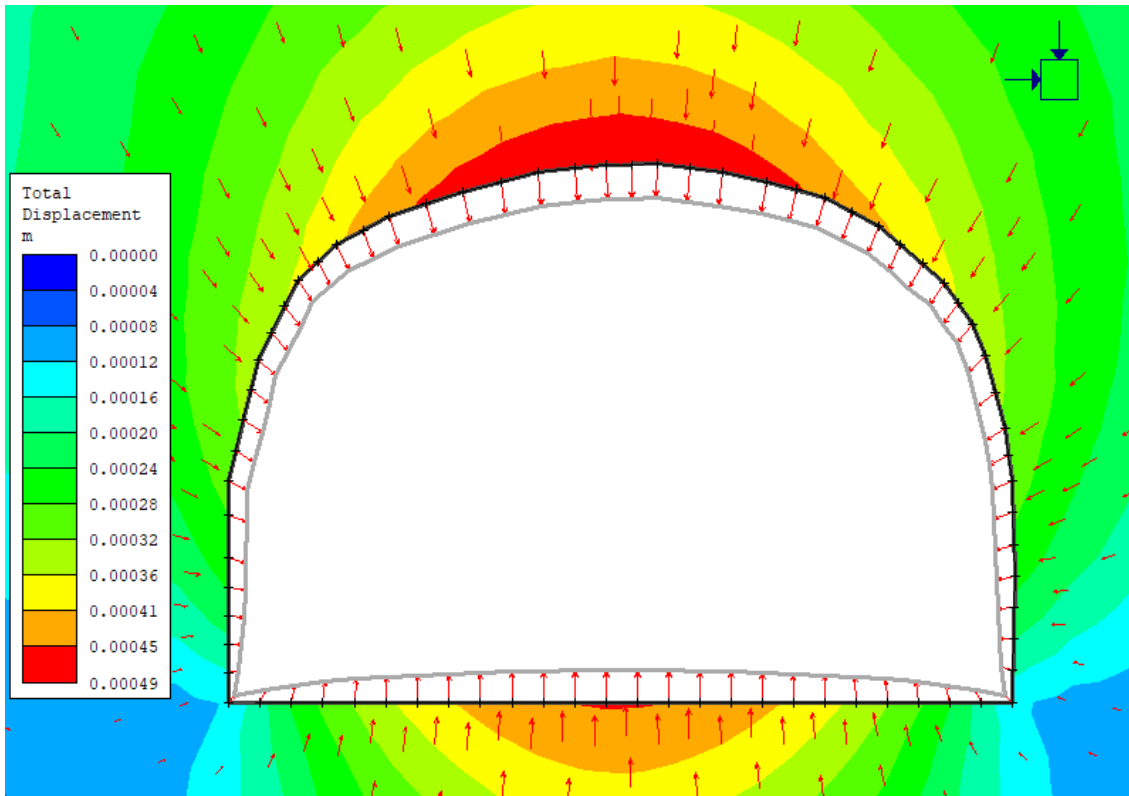


Figura 4.33. Desplazamientos totales sin sismicidad. Estación N°3.

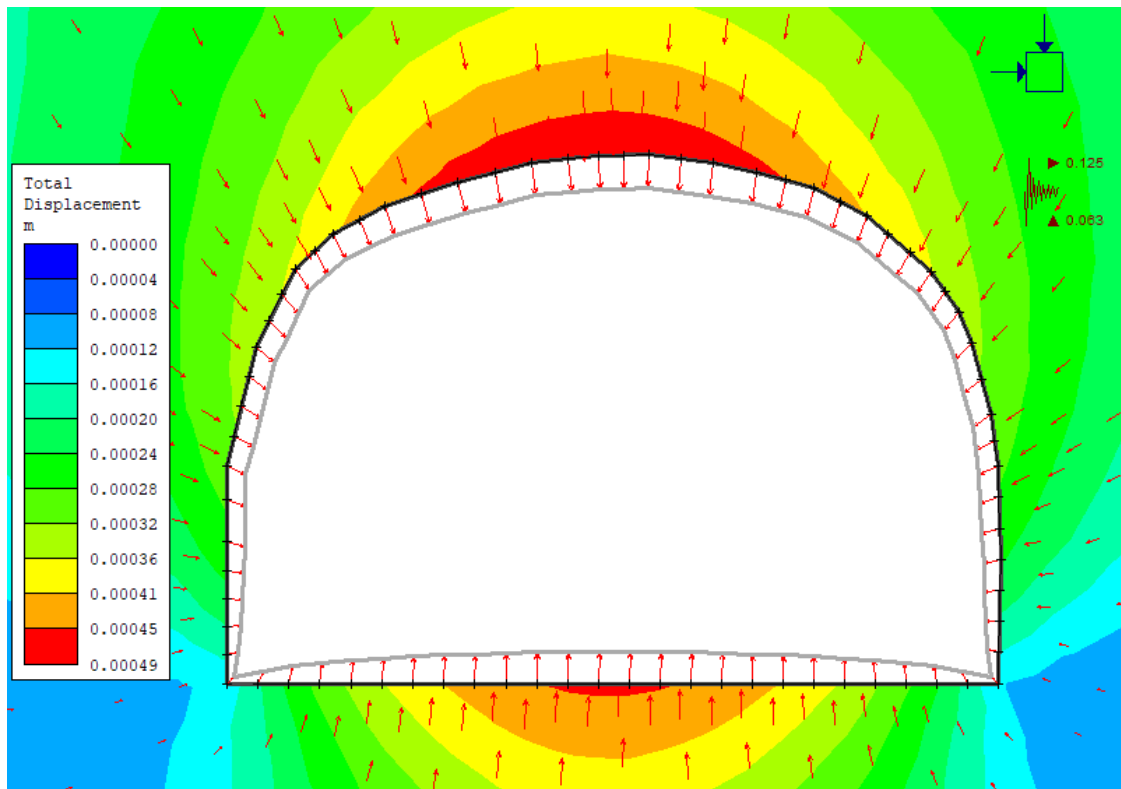


Figura 4.34. Desplazamientos totales con sismicidad. Estación N°3.

- **Estación N°4**

En la Figura 4.35, se observa que la concentración de tensiones es similar alrededor de la excavación, con valores máximos de 2.45, 2.59 y 2.43 MPa, para los hastiales izquierdo y derecho, y techo respectivamente.

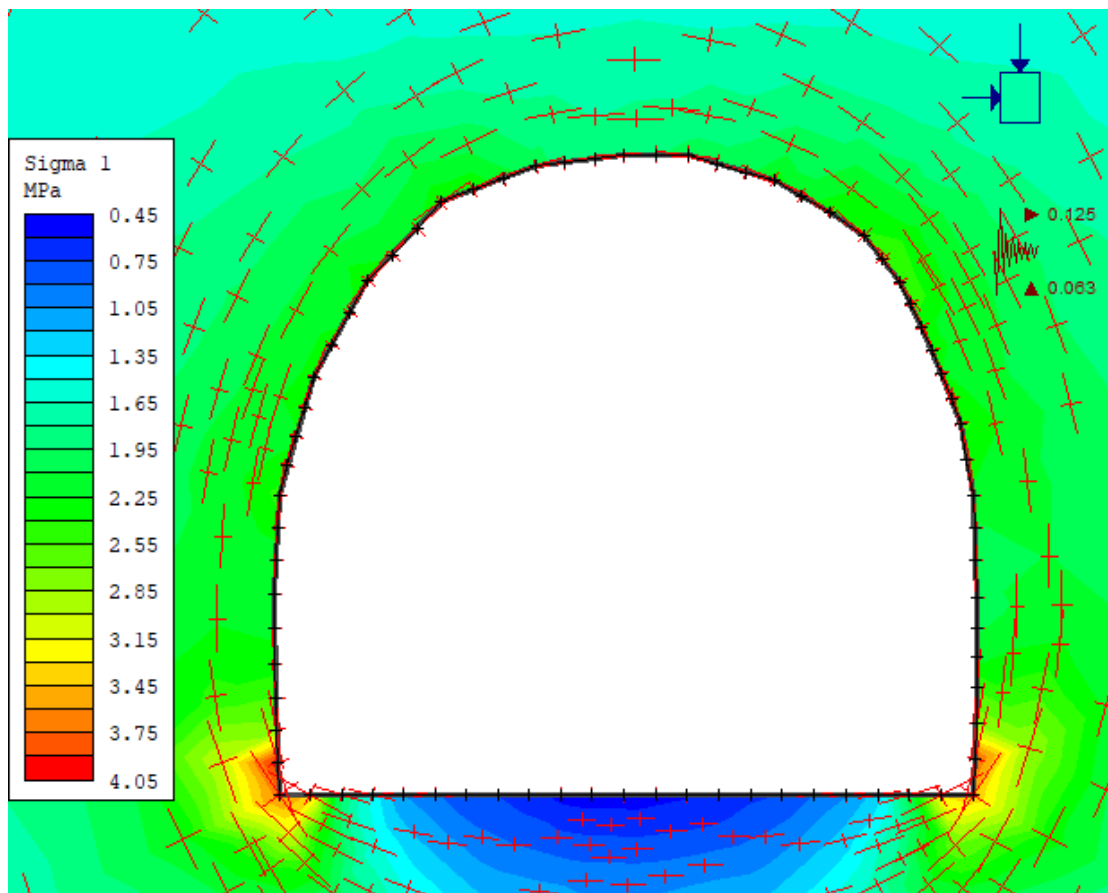


Figura 4.35. Tensiones en la sección transversal. Estación N°4.

En la Figura 4.36 se observa por colores los FS en la sección transversal y su distribución en el contorno de la labor, con valor máximo de 1.81 y mínimo de 1.00. La línea de color rojo, representa la iso-línea con FS igual a 1.5; así, en el techo y hastiales existe una zona plástica en continua deformación, propenso a fallar si no se aplica sostenimiento a la labor.

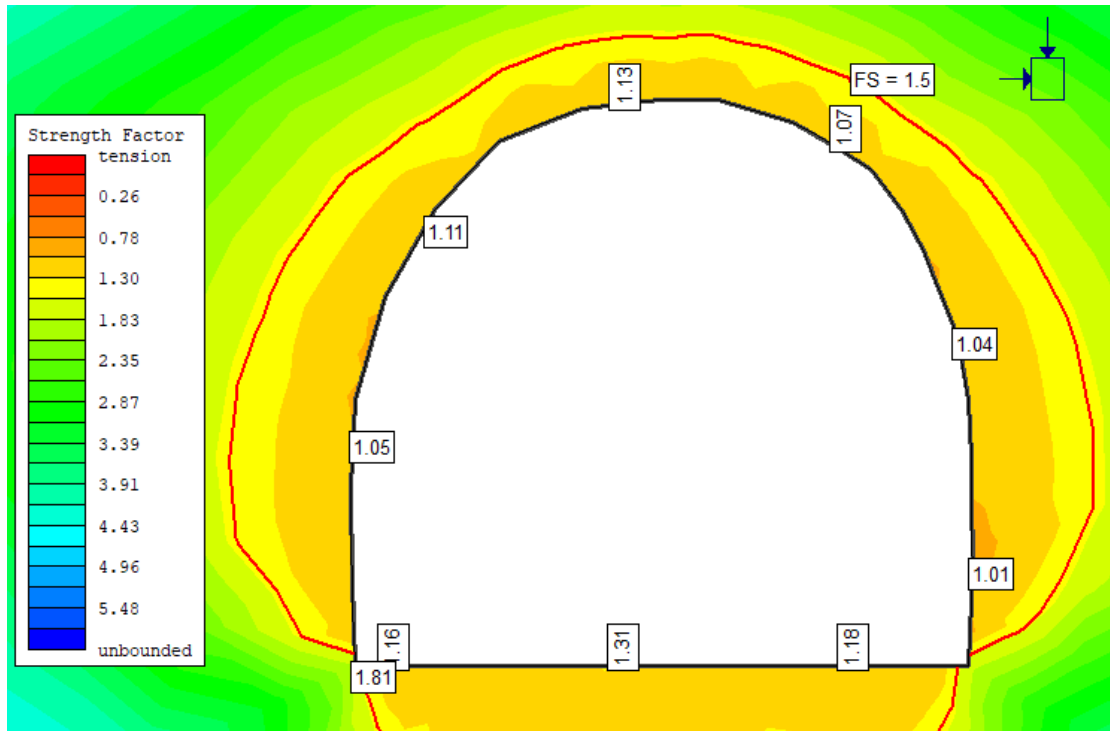


Figura 4.36. FS en la sección transversal de la labor. Estación N°4.

Si bien en los FS en el contorno de la excavación no es significativo los efectos de los coeficientes sísmicos; éstos sí son relevantes al momento de graficar los desplazamientos totales.

En la Figura 4.37 (escenario sin sismicidad) y Figura 4.38 (escenario con sismicidad), se muestran que los desplazamientos totales son similares en ambos escenarios y mayores en el techo y piso de la sección, con una ligera variación en los valores máximos; siendo 0.349 mm y 0.352, para el escenario sin y con sismicidad respectivamente.

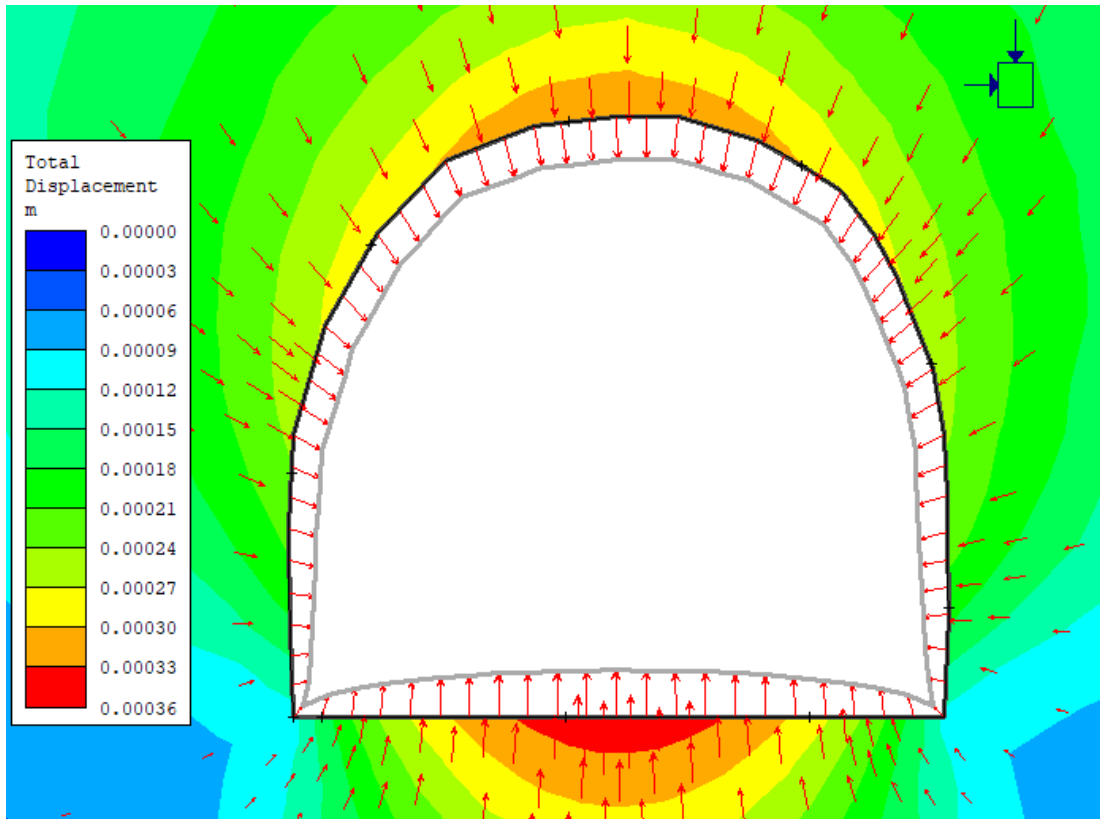


Figura 4.37. Desplazamientos totales sin sismicidad. Estación N°4.

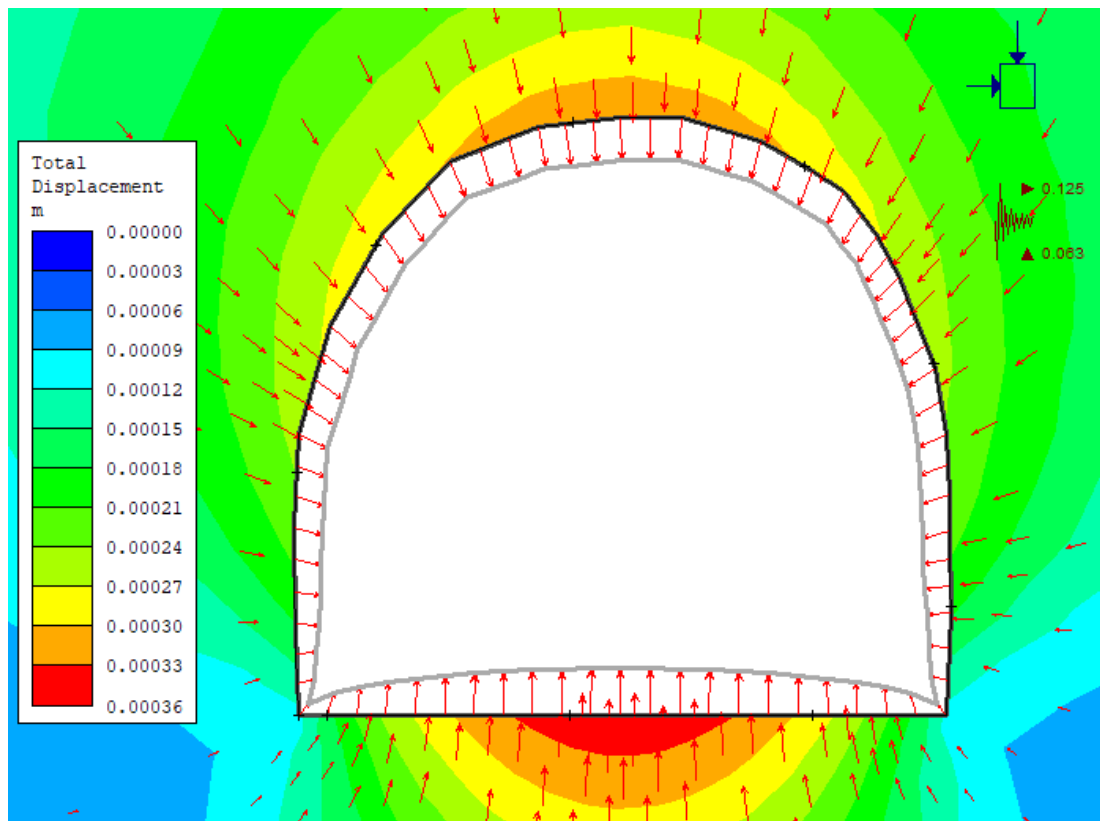


Figura 4.38. Desplazamientos totales con sismicidad. Estación N°4.

- **Estación N°5**

En la Figura 4.39, se observa que la concentración de tensiones alrededor de la excavación es mayor en los hastiales, con valores máximos de 3.16 y 3.01 MPa, hastial izquierdo y derecho respectivamente.

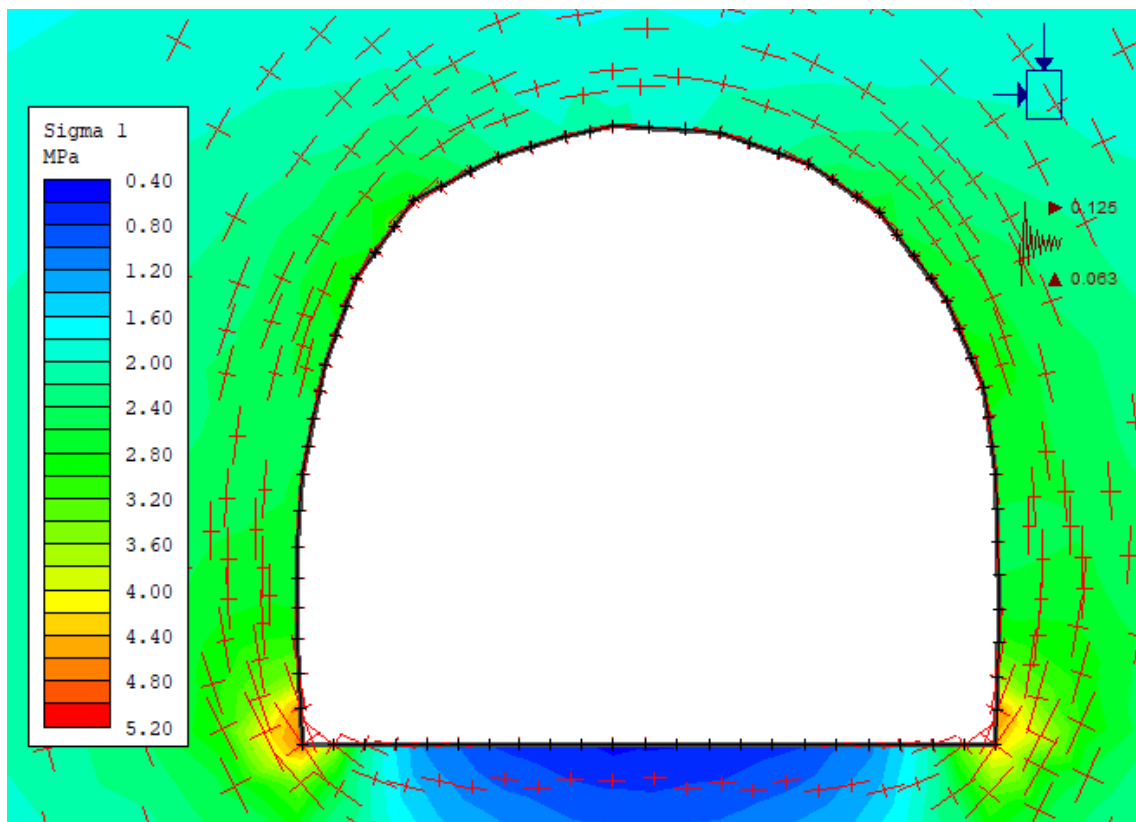


Figura 4.39. Tensiones en la sección transversal. Estación N°5.

En la Figura 4.40 se observa por colores los FS en la sección transversal y su distribución en el contorno de la labor, con valor máximo de 1.92 y mínimo de 1.00. La línea de color rojo, representa la iso-línea con FS igual a 1.5; así, en el techo y hastiales existe una zona plástica en continua deformación. En el hastial izquierdo existe una zona con FS crítico (valor igual a 1.00), en el que, si disminuye la resistencia o aumenta las tensiones, se generaría caída de bloques de roca; por lo mismo es necesario reforzar o sostener la labor.

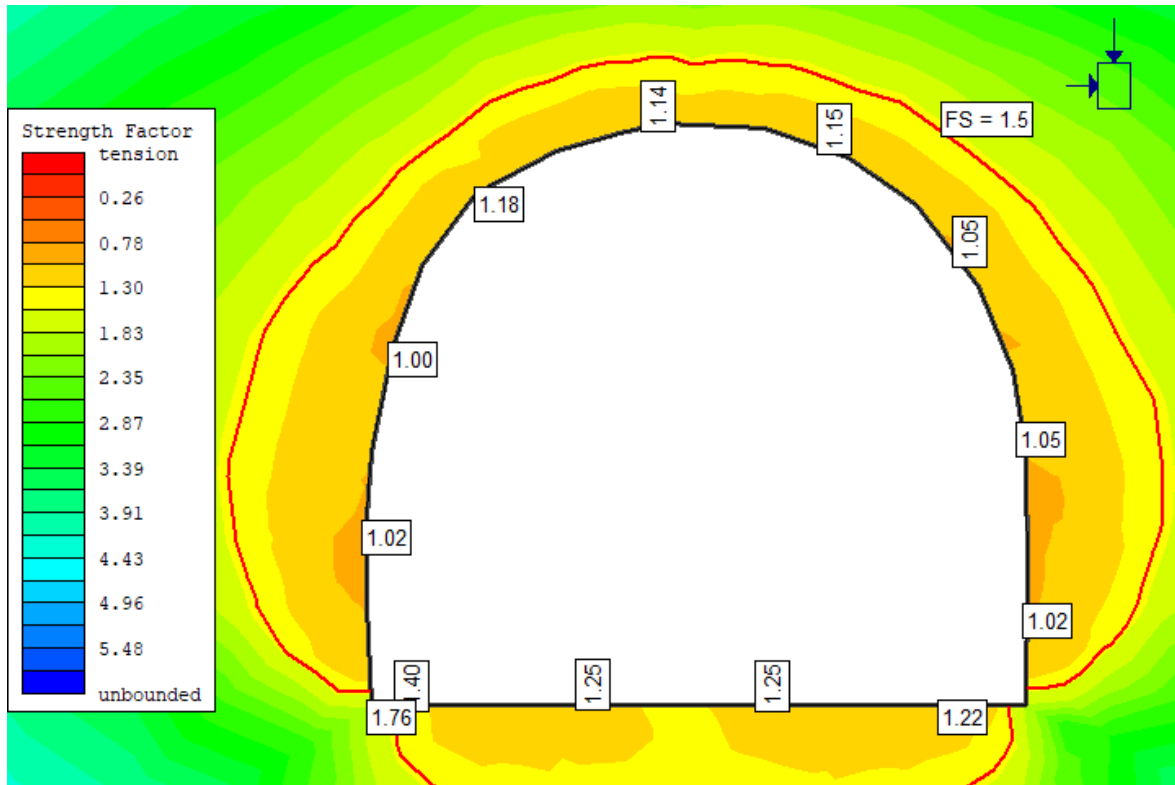


Figura 4.40. FS en la sección transversal de la labor. Estación N°5.

Si bien en los FS en el contorno de la excavación no es significativo los efectos de los coeficientes sísmicos; éstos sí son relevantes al momento de graficar los desplazamientos totales.

En la Figura 4.41 (escenario sin sismicidad) y Figura 4.42 (escenario con sismicidad), se muestran los desplazamientos totales de la labor, con mayor valor en el techo (0.520 mm) y piso de la sección (0.510 mm).

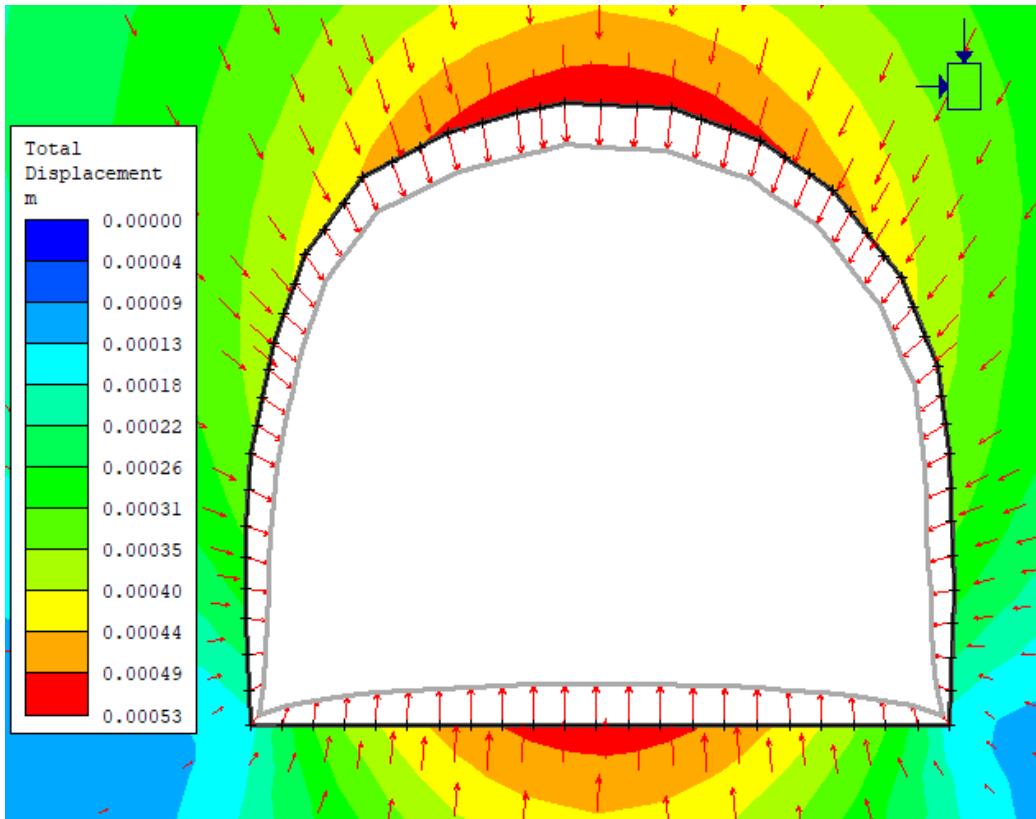


Figura 4.41. Desplazamientos totales sin sismicidad. Estación N°5.

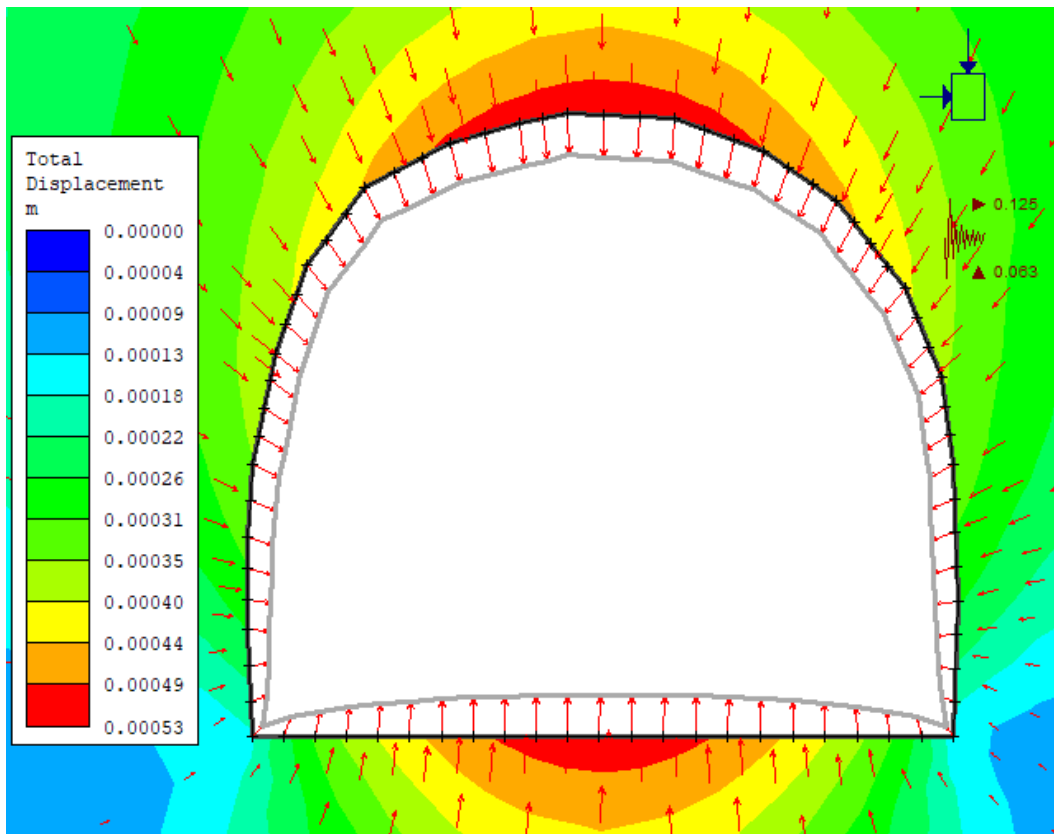


Figura 4.42. Desplazamientos totales con sismicidad. Estación N°5.

- **Estación N°6**

En la Figura 4.43, se observa que la concentración de tensiones alrededor de la excavación, es mayor en el techo de la sección, con valor máximo de 3.93 MPa.

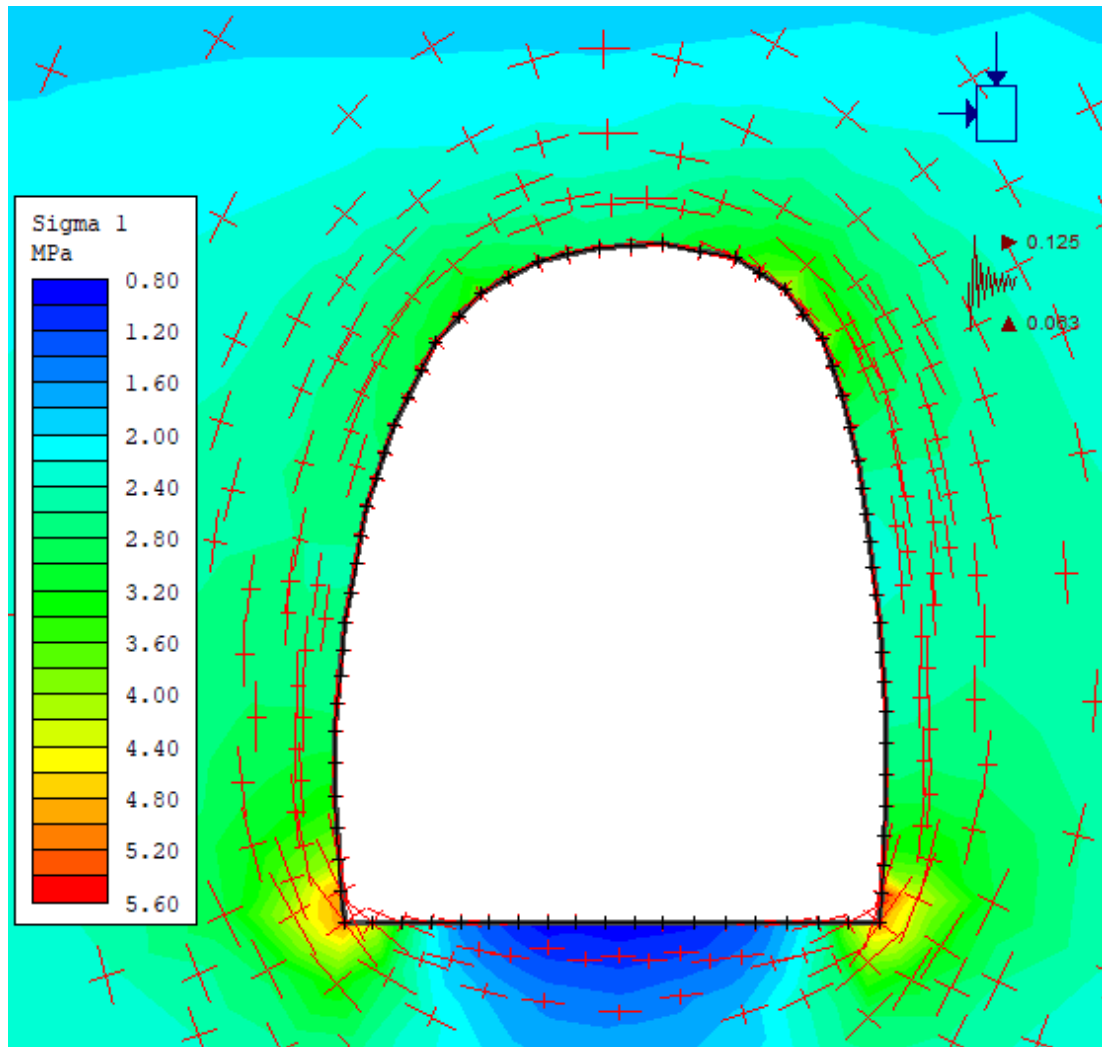


Figura 4.43. Tensiones en la sección transversal. Estación N°6.

En la Figura 4.44, se observa por colores los FS en la sección transversal y su distribución en el contorno de la labor, con valor máximo de 1.79 y mínimo de 1.00. La línea de color rojo, representa la iso-línea con FS igual a 1.5; así, en el techo y hastiales existe una zona plástica, que va a continuar deformándose a menos que se aplique sostenimiento.

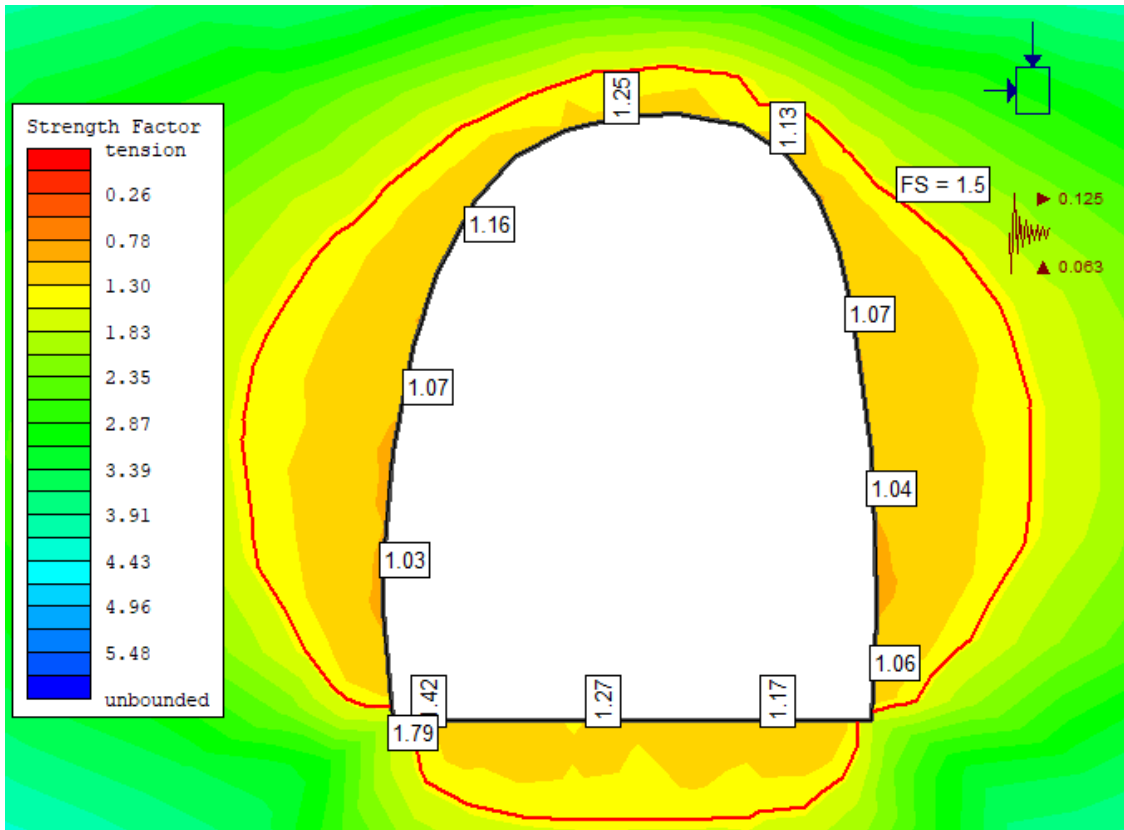


Figura 4.44. FS en la sección transversal de la labor. Estación N°6.

Si bien en los FS en el contorno de la excavación no es significativo los efectos de los coeficientes sísmicos; éstos sí son relevantes al momento de graficar los desplazamientos totales.

En la Figura 4.45 (escenario sin sismicidad) y Figura 4.46 (escenario con sismicidad), se observa que los desplazamientos totales son similares en ambos escenarios, con una ligera variación en el valor máximo total del desplazamiento, siendo 0.405 mm y 0.408, para el escenario sin y con sismicidad respectivamente; los mismos son mayores en el techo y piso de la sección.

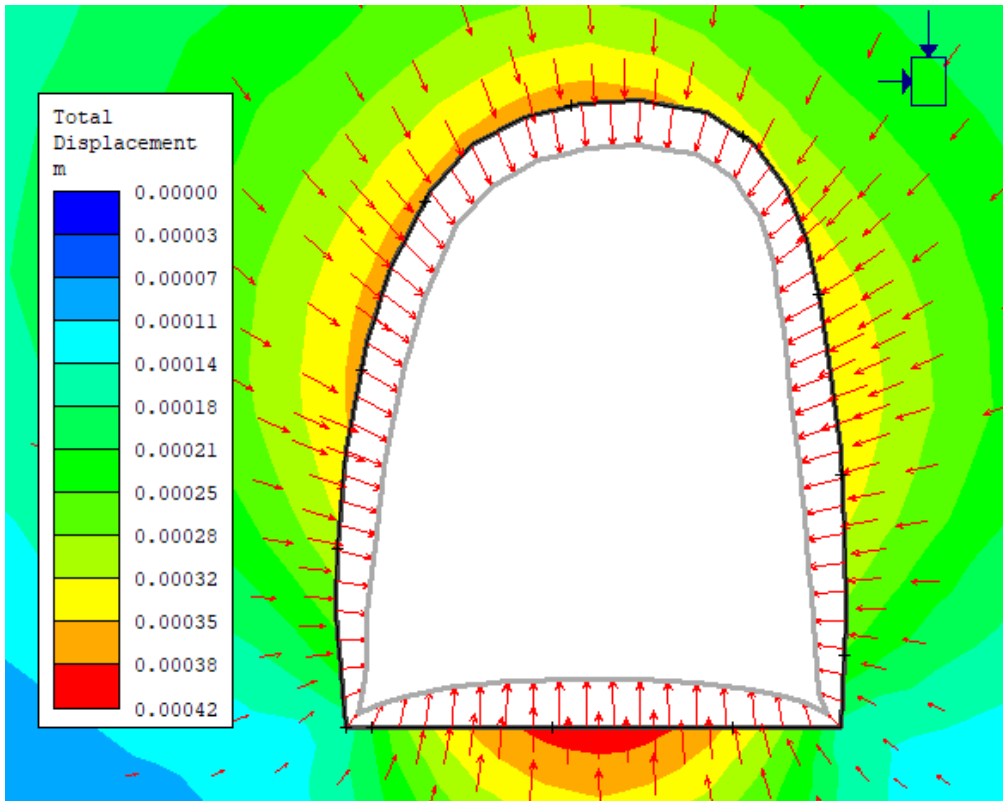


Figura 4.45. Desplazamientos totales sin sismicidad. Estación N°6.

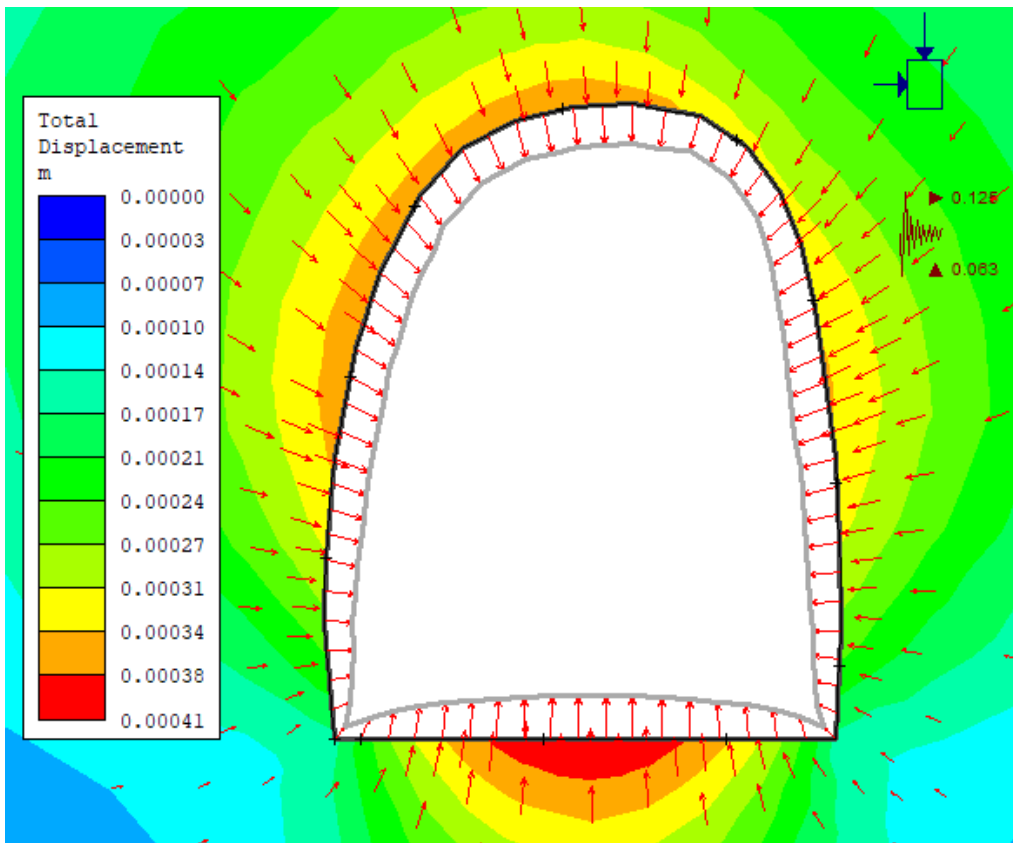


Figura 4.46. Desplazamientos totales con sismicidad. Estación N°6.

- **Estación N°7**

En la Figura 4.47, se observa que la concentración de tensiones alrededor de la excavación, es mayor en el techo de la labor, con valor máximo de 4.43 MPa.

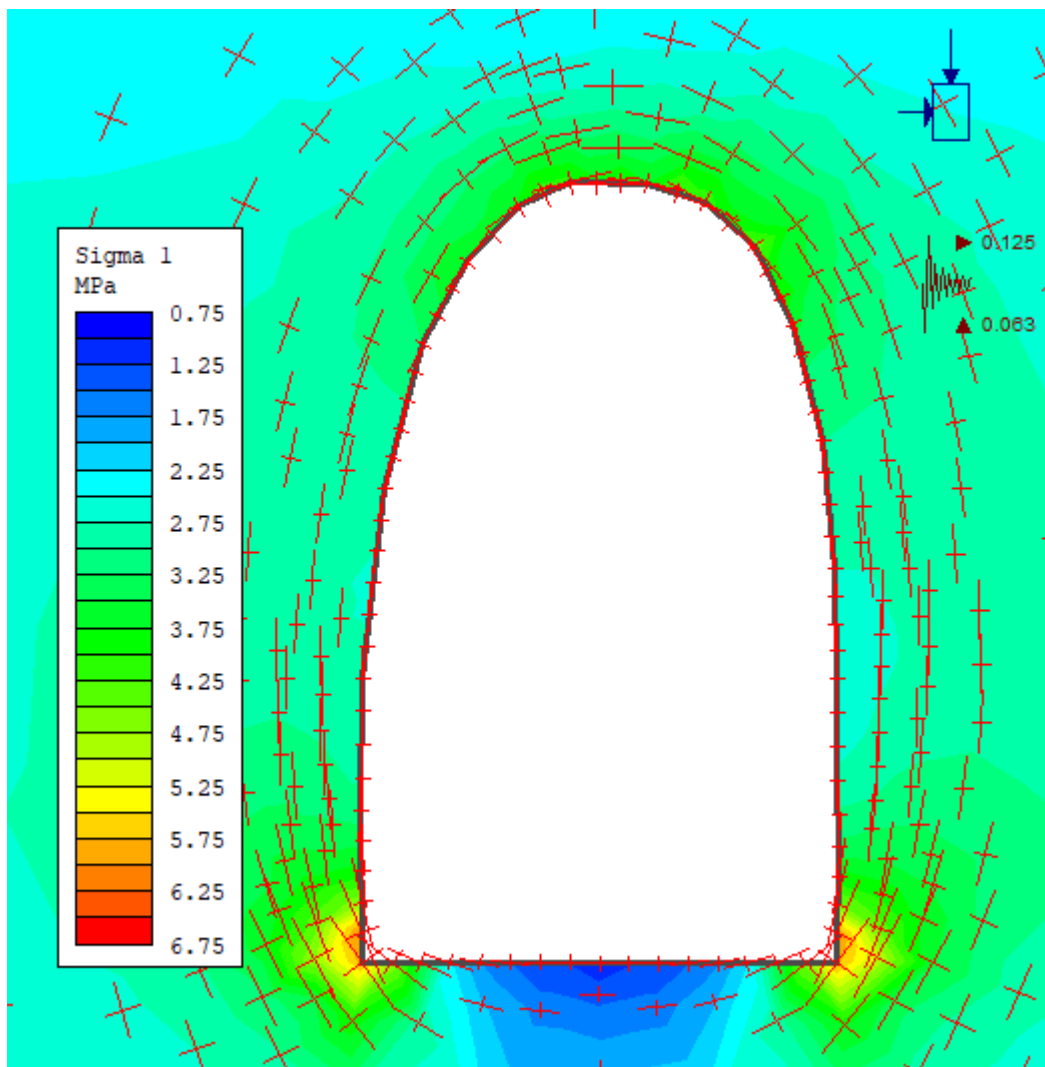


Figura 4.47. Tensiones en la sección transversal. Estación N°7.

En la Figura 4.48 se observa por colores los FS en la sección transversal y su distribución en el contorno de la labor, con valor máximo de 1.84 y mínimo de 1.00. La línea de color rojo, representa la iso-línea con FS igual a 1.5; así, en el techo y hastiales existe una zona plástica, que estará en continua deformación a menos que se aplique algún tipo de sostenimiento.

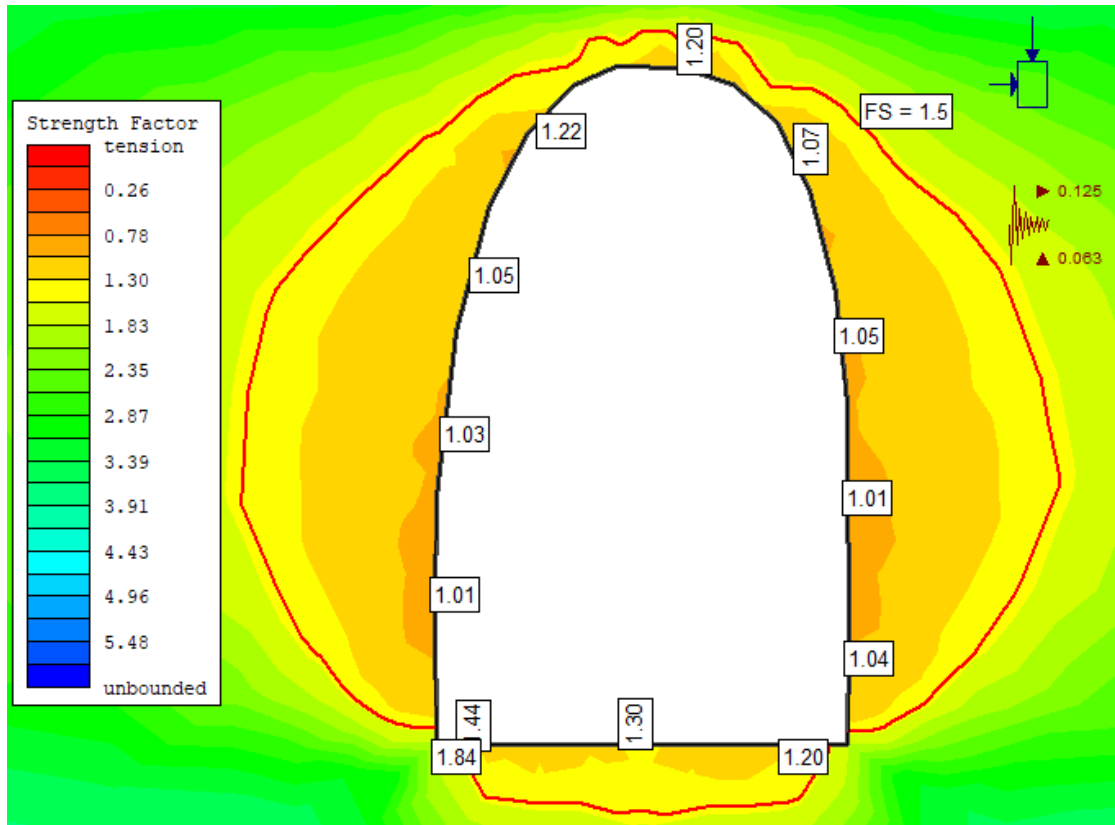


Figura 4.48. FS en la sección transversal de la labor. Estación N°7.

Si bien en los FS en el contorno de la excavación no es significativo los efectos de los coeficientes sísmicos; éstos sí son relevantes al momento de graficar los desplazamientos totales.

En la Figura 4.49 (escenario sin sismicidad) y Figura 4.50 (escenario con sismicidad), se observa que los desplazamientos totales son similares en ambos escenarios, con una ligera variación en el valor máximo total del desplazamiento, siendo 0.344 mm y 0.345, para el escenario sin y con sismicidad respectivamente; los mismos son mayores en los hastiales y piso de la sección.

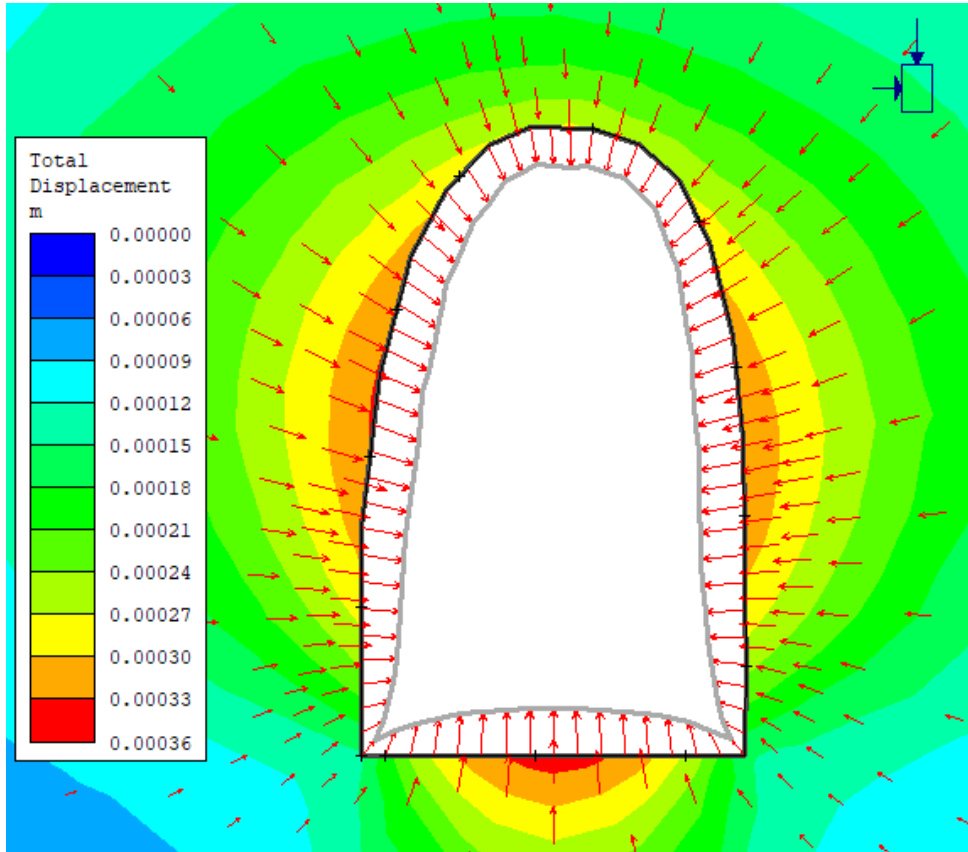


Figura 4.49. Desplazamientos totales sin sismicidad. Estación N°7.

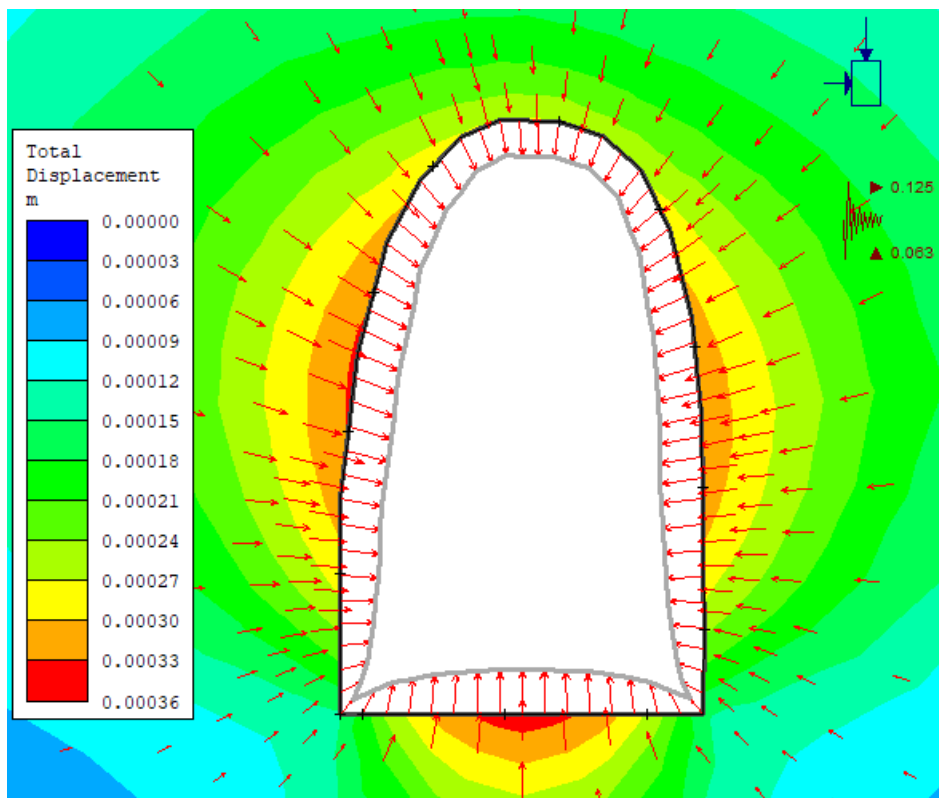


Figura 4.50. Desplazamientos totales con sismicidad. Estación N°7.

➤ **SOSTENIMIENTO**

Para determinar el sostenimiento se usó dos métodos, gráfico y numérico; en el método gráfico se usó la Tabla de Soporte Práctico Minero (SPM), que consiste en la intersección del valor RMR89 y la dimensión equivalente, para dar como resultado el sostenimiento de la labor; y para el método numérico, se realizó cálculos del dimensionamiento del poste y sobrero de los cuadros de madera, teniendo como base los esfuerzos flexionantes y cortantes permisibles de la madera, y los esfuerzo actuantes en techo y hastiales de la labor, con ello se logró calcular los diámetros de la madera, con un FS mínimo de 1.80.

- **Según la Tabla de Soporte Práctico Minero (SPM)**

Los valores de De y RMR89 para cada una las estaciones geomecánicas servirán como datos de entrada para definir el sostenimiento en cada una de las estaciones según la Tabla SPM.

Tabla 4.23. Datos de las Estaciones Geomecánicas

Estación	Ancho (m)	Alto (m)	De = $\frac{\text{Ancho o altura (m)}}{ESR}$	RMR89
E1	1.54	1.56	0.98	35
E2	1.79	1.84	1.15	37
E3	2.34	1.61	1.46	37
E4	1.40	1.28	0.88	41
E5	2.01	1.79	1.26	42
E6	1.46	1.85	1.16	43
E7	1.07	1.76	1.10	46

En la tabla 4.23 la dimensión equivalente (De) se calculó usando un valor igual a 1.6 para la Relación de Sostenimiento de la Excavación (ESR), por ser labores mineras permanentes y se tomó como valor para el numerador en la división de De, la mayor dimensión entre el ancho y alto de la sección.

Estación N°1

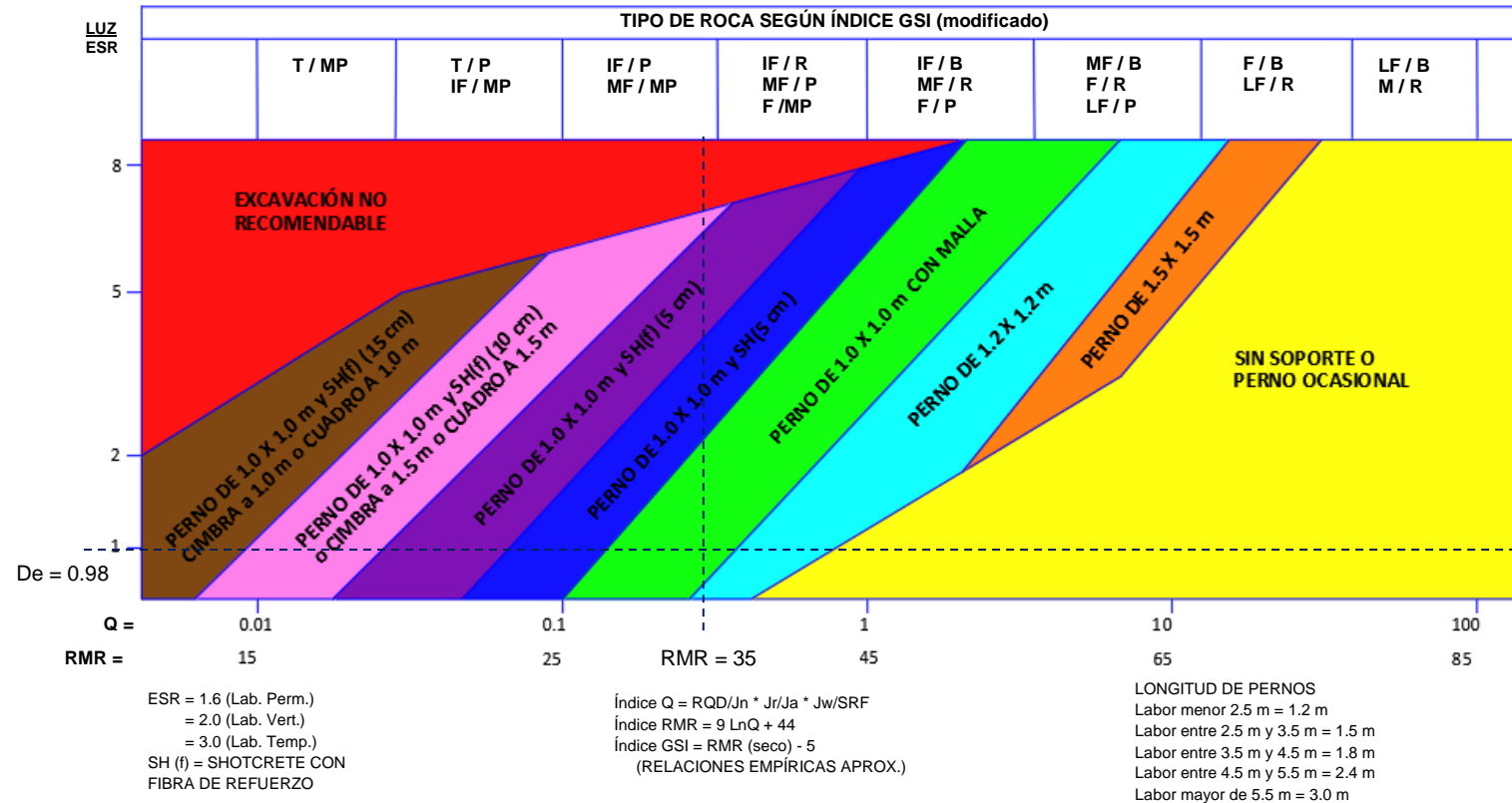


Figura 4.51. Sostenimiento según Tabla SPM. Estación N°1.

El sostenimiento para la estación geomecánica N°1, sería la colocación de pernos sistemáticos, espaciados 1.0 m x 1.0 m de una longitud igual a 1.2 m, anclados con resina, más malla electrosoldada.

Estación N°2

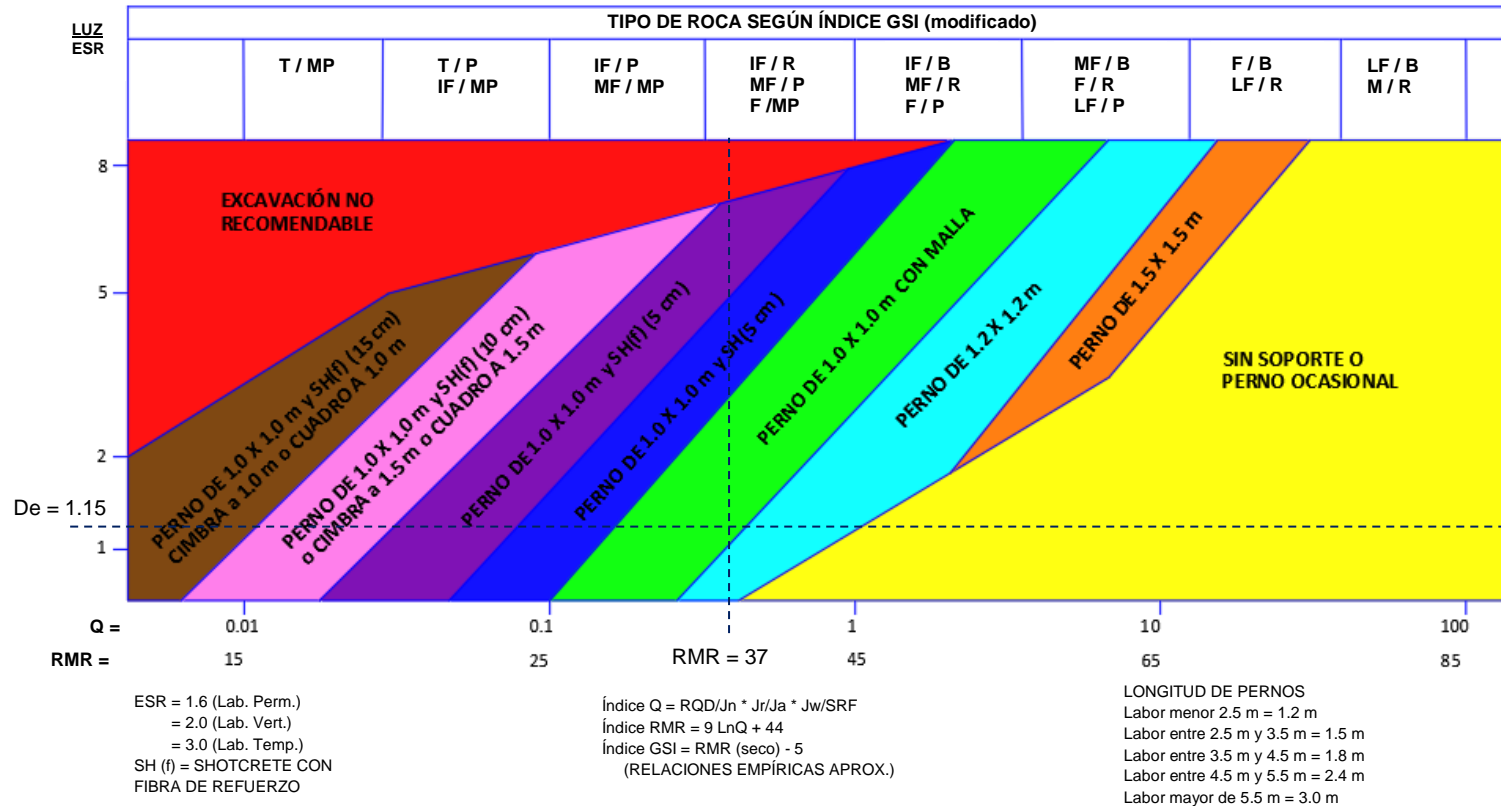


Figura 4.52. Sostenimiento según Tabla SPM. Estación N°2.

El sostenimiento para la estación geomecánica N°2 sería la colocación de pernos sistemáticos, espaciados 1.0 m x 1.0 m de una longitud igual a 1.2 m, anclados con resina, más malla electrosoldada.

Estación N°3

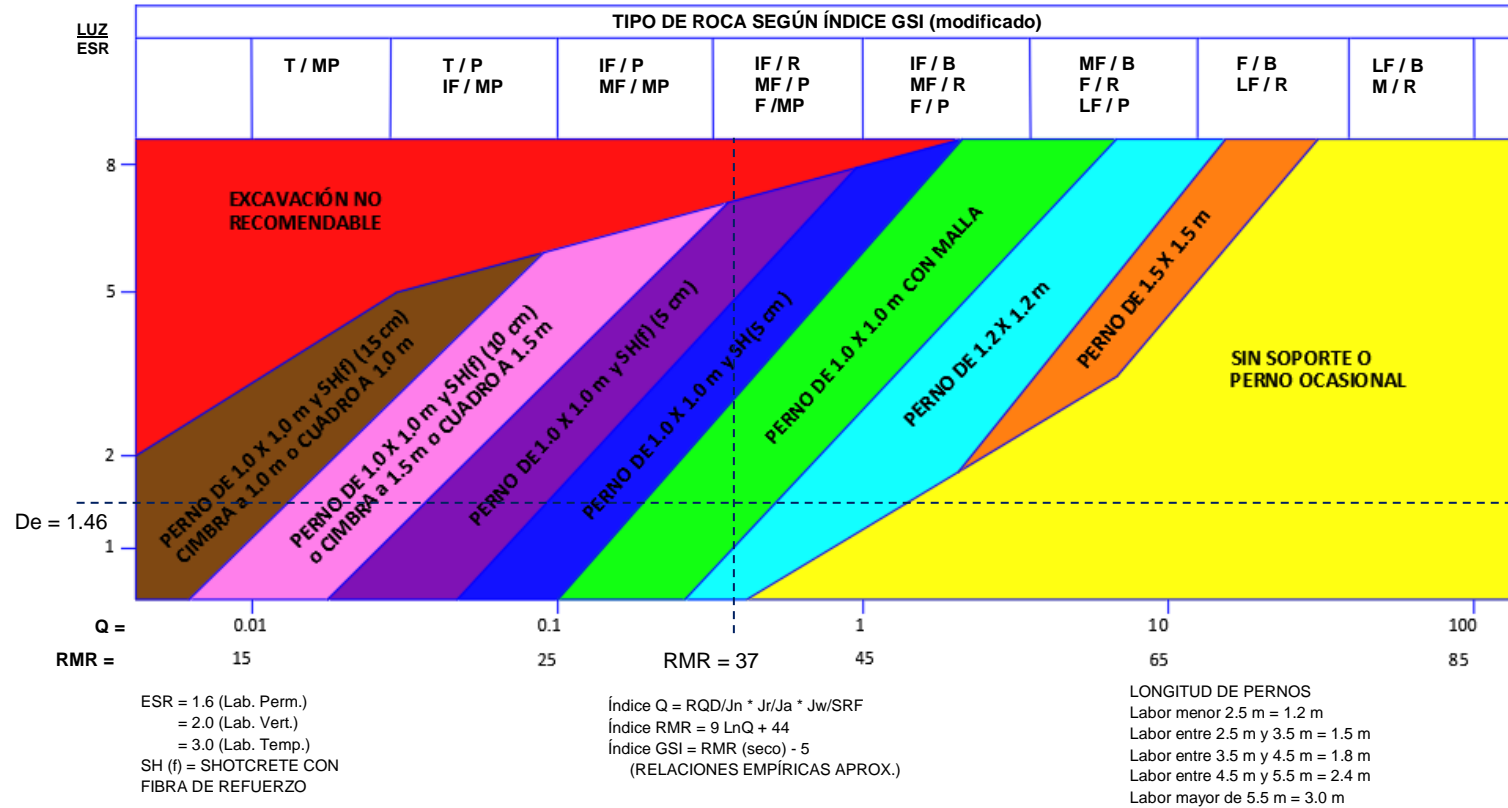


Figura 4.53. Sostenimiento según Tabla SPM. Estación N°3.

El sostenimiento para la estación geomecánica N°3 sería la colocación de pernos sistemáticos, espaciados 1.0 m x 1.0 m de una longitud igual a 1.2 m, anclados con resina, más malla electrosoldada.

Estación N°4

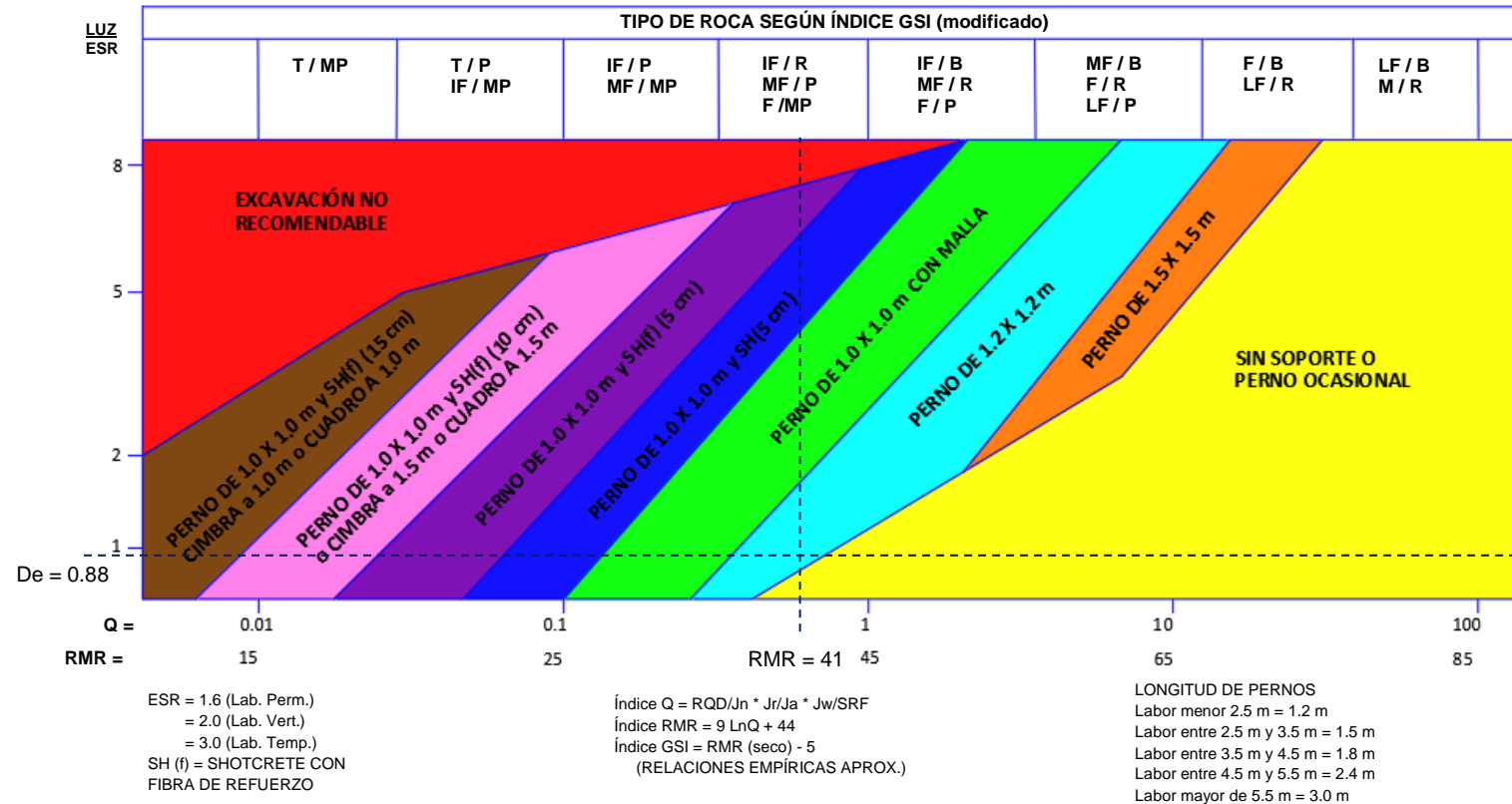


Figura 4.54. Sostenimiento según Tabla SPM. Estación N°4.

El sostenimiento para la estación geomecánica N°4 sería la colocación de pernos sistemáticos, espaciados 1.2 m x 1.2 m de una longitud igual a 1.2 m, anclados con resina.

Estación N°5

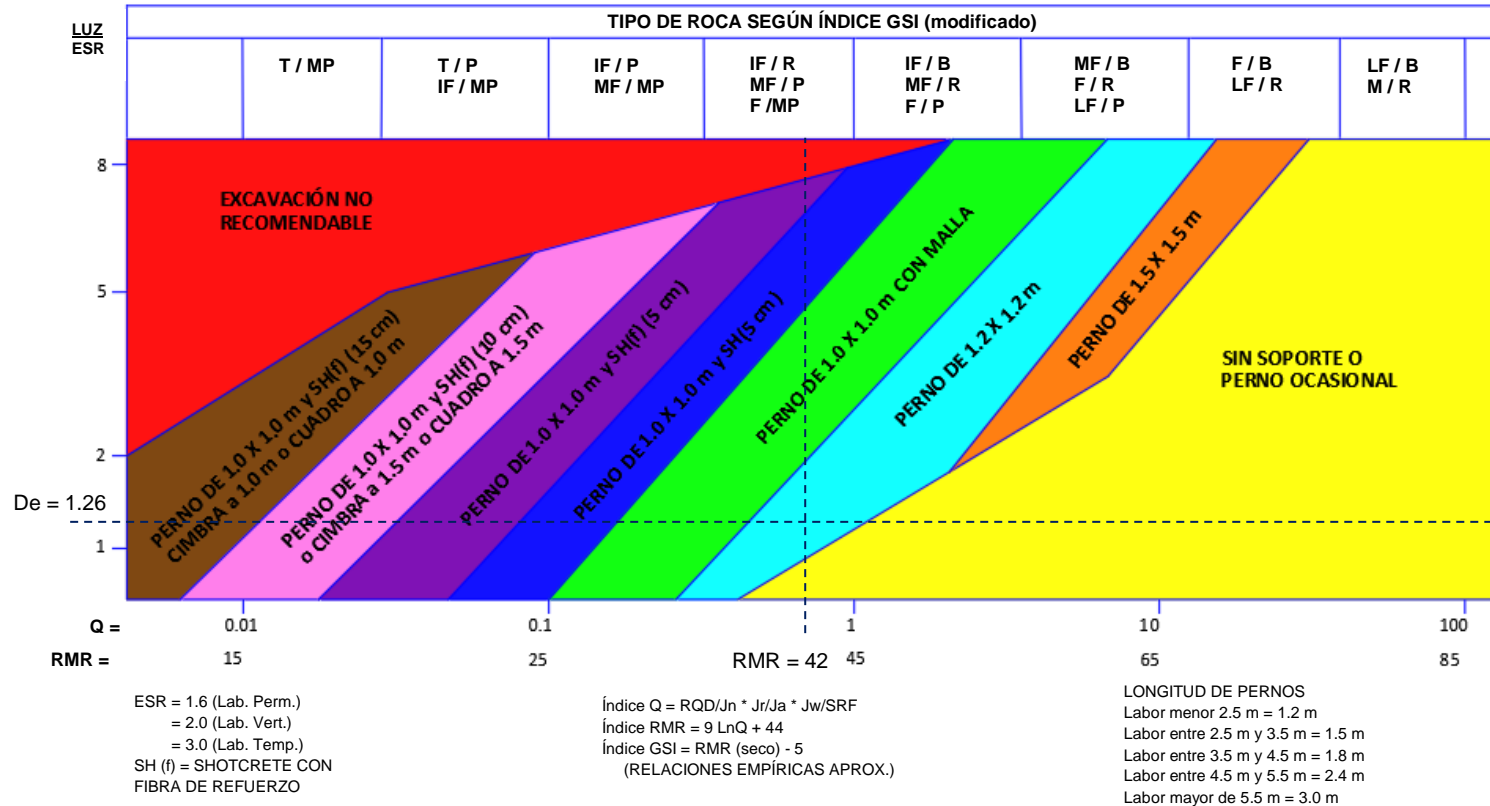


Figura 4.55. Sostenimiento según Tabla SPM. Estación N°5.

El sostenimiento para la estación geomecánica N°5 sería la colocación de pernos sistemáticos, espaciados 1.2 m x 1.2 m de una longitud igual a 1.2 m, anclados con resina.

Estación N°6

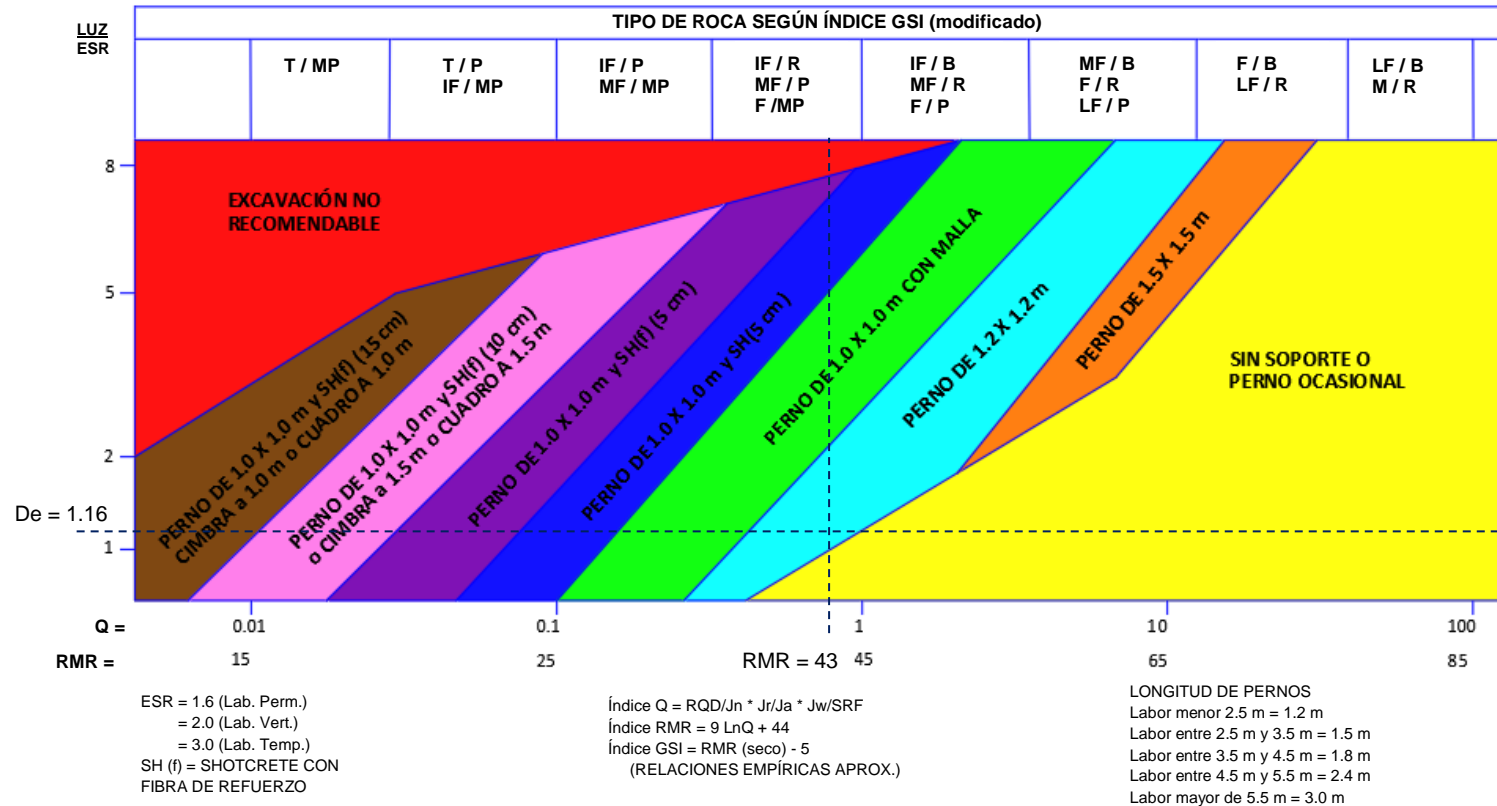


Figura 4.56. Sostenimiento según Tabla SPM. Estación N°6.

El sostenimiento para la estación geomecánica N°6 sería la colocación de pernos sistemáticos, espaciados 1.2 m x 1.2 m de una longitud igual a 1.2 m, anclados con resina.

Estación N°7

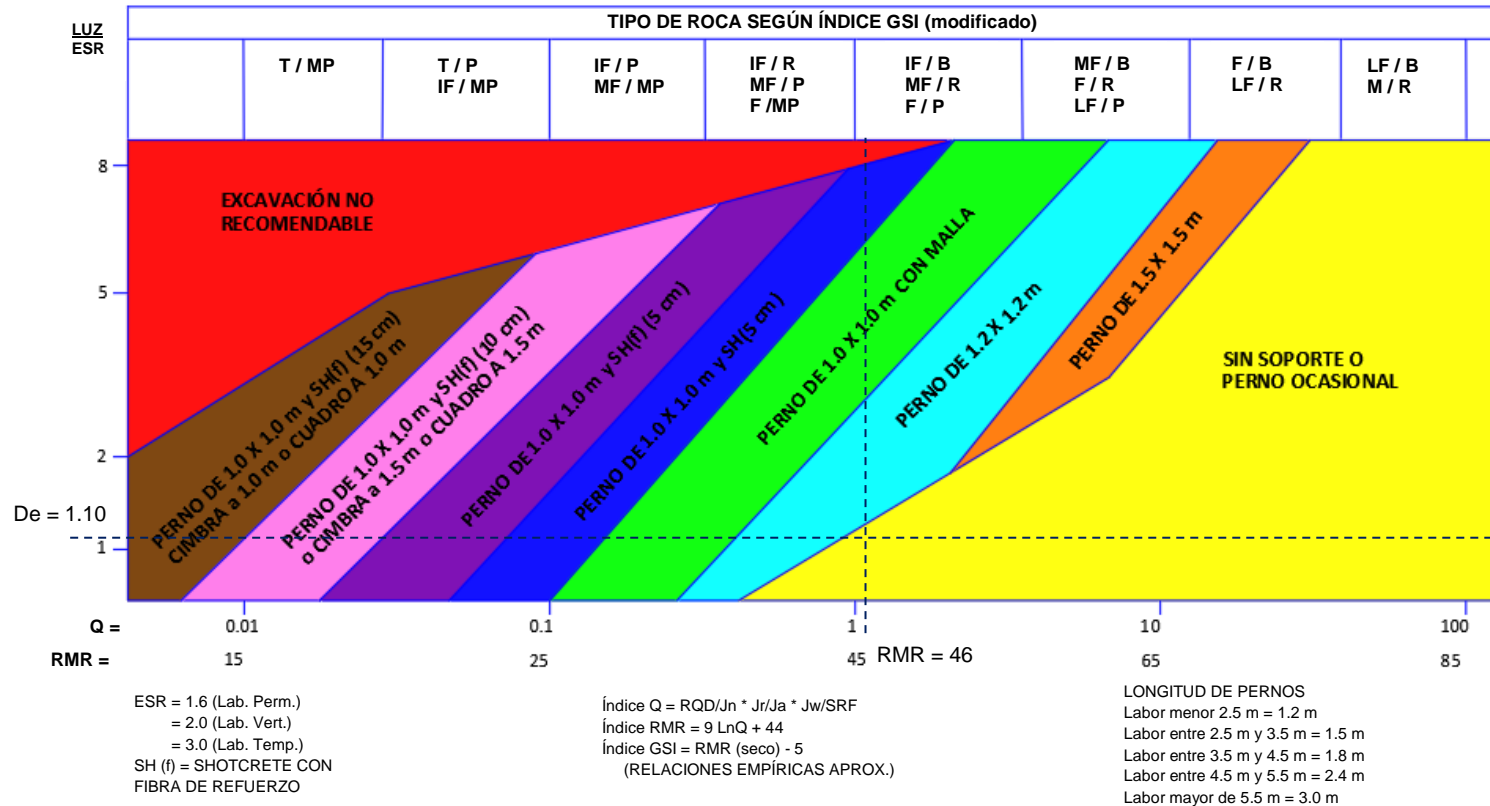


Figura 4.57. Sostenimiento según Tabla SPM. Estación N°7.

El sostenimiento para la estación geomecánica N°7 sería la colocación de pernos ocasionales de 1.2 m, anclados con resina.

- **Usando cuadros de madera**

Para determinar los diámetros mínimos de los elementos del cuadro de madera, como el poste y sombrero, se realizó el cálculo en base al factor de seguridad (mayor a 1.8), de los esfuerzos flexionantes y cortantes permisibles para la madera entre los actuantes transmitidos por el macizo rocoso circundante a las excavaciones.

Estación N°1

Tabla 4.24. Datos de la madera. Estación N°1.

Datos de labor	
Espaciamiento entre cuadros (a)	1.80 m
Relación de tensiones (k)	1.26
Esfuerzo flexionante permisible de la madera	69.24 MPa
Esfuerzo cortante permisible de la madera	6.50 MPa

Tabla 4.25. Esfuerzos sobre la madera. Estación N°1.

Cálculo de esfuerzos sobre la madera	
Altura de carga (Hc)	1.001 m
Esfuerzo vertical (σ_v)	0.027 MPa
Carga lineal vertical (q_t)	0.049 MN/m
Esfuerzo horizontal (σ_h)	0.034 MPa
Carga lineal horizontal (q_y)	0.061 MN/m
Carga total	0.049 MN

Tabla 4.26. Dimensiones del sombrero. Estación N°1.

Dimensionamiento del sombrero	
Longitud de la viga	1.5 m
Diámetro de la viga	6 pulg
Momento máximo	0.014 MN-m
Módulo de sección o resistencia (S)	0.0003 m ³
Esfuerzo normal máx. sobre la viga	39.374 MPa
Cortante máxima	0.036 MN
Esfuerzo cortante máx. sobre la viga	2.667 MPa
FS (flexión)	1.8
FS (cortante)	2.4

Tabla 4.27. Dimensiones del poste. Estación N°1.

Dimensionamiento del poste	
Altura del poste	1.5 m
Diámetro del poste	7 pulg
Carga transmitida por el sombrero	0.024 MN
Módulo de esbeltez	33.7
Factor de flambéo (λ)	1.29
Esfuerzo normal	1.265 MPa
Momento máx. horizontal	0.017 MN-m
Módulo de sección o resistencia	0.0006 m ³
Esfuerzo flexionante	31.313 MPa
Esfuerzo normal máx. sobre el poste	32.578 MPa
Cortante máxima	0.046 MN
Esfuerzo cortante máx. sobre la viga	2.474 MPa
FS (flexión)	2.1
FS (cortante)	2.6

Estación N°2

Tabla 4.28. Datos de la madera. Estación N°2.

Datos de labor	
Espaciamiento entre cuadros (a)	1.70 m
Relación de tensiones (k)	1.46
Esfuerzo flexionante permisible de la madera	69.24 MPa
Esfuerzo cortante permisible de la madera	6.50 MPa

Tabla 4.29. Esfuerzo sobre la madera. Estación N°2.

Cálculo de esfuerzos sobre la madera	
Altura de carga (Hc)	1.128 m
Esfuerzo vertical (σ_v)	0.030 MPa
Carga lineal vertical (q_i)	0.052 MN/m
Esfuerzo horizontal (σ_h)	0.044 MPa
Carga lineal horizontal (q_v)	0.075 MN/m
Carga total	0.058 MN

Tabla 4.30. Dimensiones del sombrero. Estación N°2.

Dimensionamiento del sombrero	
Longitud de la viga	1.7 m
Diámetro de la viga	7 pulg
Momento máximo	0.019 MN-m
Módulo de sección o resistencia (S)	0.0006 m ³
Esfuerzo normal máx. sobre la viga	33.886 MPa
Cortante máxima	0.044 MN
Esfuerzo cortante máx. sobre la viga	2.363 MPa
FS (flexión)	2.0
FS (cortante)	2.7

Tabla 4.31. Dimensiones del poste. Estación N°2.

Dimensionamiento del poste	
Altura del poste	1.8 m
Diámetro del poste	8 pulg
Carga transmitida por el sombrero	0.029 MN
Módulo de esbeltez	35.4
Factor de flambéo (λ)	1.30
Esfuerzo normal	1.170 MPa
Momento máx. horizontal	0.031 MN-m
Módulo de sección o resistencia	0.0008 m ³
Esfuerzo flexionante	37.109 MPa
Esfuerzo normal máx. sobre el poste	38.279 MPa
Cortante máxima	0.068 MN
Esfuerzo cortante máx. sobre la viga	2.793 MPa
FS (flexión)	1.8
FS (cortante)	2.3

Estación N°3

Tabla 4.32. Datos de la madera. Estación N°3.

Datos de labor	
Espaciamiento entre cuadros (a)	1.20 m
Relación de tensiones (k)	0.86
Esfuerzo flexionante permisible de la madera	69.24 MPa
Esfuerzo cortante permisible de la madera	6.50 MPa

Tabla 4.33. Esfuerzo sobre la madera. Estación N°3.

Cálculo de esfuerzos sobre la madera	
Altura de carga (Hc)	1.474 m
Esfuerzo vertical (σ_v)	0.040 MPa
Carga lineal vertical (q_t)	0.048 MN/m
Esfuerzo horizontal (σ_h)	0.034 MPa
Carga lineal horizontal (q_y)	0.041 MN/m
Carga total	0.070 MN

Tabla 4.34. Dimensiones del sombrero. Estación N°3.

Dimensionamiento del sombrero	
Longitud de la viga	2.3 m
Diámetro de la viga	8 pulg
Momento máximo	0.032 MN-m
Módulo de sección o resistencia (S)	0.0008 m ³
Esfuerzo normal máx. sobre la viga	38.344 MPa
Cortante máxima	0.055 MN
Esfuerzo cortante máx. sobre la viga	2.258 MPa
FS (flexión)	1.8
FS (cortante)	2.9

Tabla 4.35. Dimensiones del poste. Estación N°3.

Dimensionamiento del poste	
Altura del poste	1.6 m
Diámetro del poste	7 pulg
Carga transmitida por el sombrero	0.035 MN
Módulo de esbeltez	36.0
Factor de flambéo (λ)	1.32
Esfuerzo normal	1.872 MPa
Momento máx. horizontal	0.013 MN-m
Módulo de sección o resistencia	0.0006 m ³
Esfuerzo flexionante	23.821 MPa
Esfuerzo normal máx. sobre el poste	25.692 MPa
Cortante máxima	0.033 MN
Esfuerzo cortante máx. sobre la viga	1.765 MPa
FS (flexión)	2.7
FS (cortante)	3.7

Estación N°4

Tabla 4.36. Datos de la madera. Estación N°4.

Datos de labor	
Espaciamiento entre cuadros (a)	2.00 m
Relación de tensiones (k)	0.78
Esfuerzo flexionante permisible de la madera	69.24 MPa
Esfuerzo cortante permisible de la madera	6.50 MPa

Tabla 4.37. Esfuerzos sobre la madera. Estación N°4.

Cálculo de esfuerzos sobre la madera	
Altura de carga (Hc)	0.826 m
Esfuerzo vertical (σ_v)	0.022 MPa
Carga lineal vertical (q_t)	0.045 MN/m
Esfuerzo horizontal (σ_h)	0.017 MPa
Carga lineal horizontal (q_y)	0.035 MN/m
Carga total	0.037 MN

Tabla 4.38. Dimensiones del sombrero. Estación N°4.

Dimensionamiento del sombrero	
Longitud de la viga	1.4 m
Diámetro de la viga	6 pulg
Momento máximo	0.011 MN-m
Módulo de sección o resistencia (S)	0.0003 m ³
Esfuerzo normal máx. sobre la viga	31.447 MPa
Cortante máxima	0.031 MN
Esfuerzo cortante máx. sobre la viga	2.282 MPa
FS (flexión)	2.2
FS (cortante)	2.8

Tabla 4.39. Dimensiones del poste. Estación N°4.

Dimensionamiento del poste	
Altura del poste	1.2 m
Diámetro del poste	5 pulg
Carga transmitida por el sombrero	0.018 MN
Módulo de esbeltez	37.8
Factor de flambéo (λ)	1.34
Esfuerzo normal	1.949 MPa
Momento máx. horizontal	0.006 MN-m
Módulo de sección o resistencia	0.0002 m ³
Esfuerzo flexionante	31.324 MPa
Esfuerzo normal máx. sobre el poste	33.273 MPa
Cortante máxima	0.021 MN
Esfuerzo cortante máx. sobre la viga	2.210 MPa
FS (flexión)	2.1
FS (cortante)	2.9

Estación N°5

Tabla 4.40. Datos de la madera. Estación N°5.

Datos de labor	
Espaciamiento entre cuadros (a)	1.30 m
Relación de tensiones (k)	0.74
Esfuerzo flexionante permisible de la madera	69.24 MPa
Esfuerzo cortante permisible de la madera	6.50 MPa

Tabla 4.41. Esfuerzos sobre la madera. Estación N°5.

Cálculo de esfuerzos sobre la madera	
Altura de carga (Hc)	1.166 m
Esfuerzo vertical (σ_v)	0.031 MPa
Carga lineal vertical (q_t)	0.041 MN/m
Esfuerzo horizontal (σ_h)	0.023 MPa
Carga lineal horizontal (q_y)	0.030 MN/m
Carga total	0.048 MN

Tabla 4.42. Dimensiones del sombrero. Estación N°5.

Dimensionamiento del sombrero	
Longitud de la viga	2.0 m
Diámetro de la viga	7 pulg
Momento máximo	0.020 MN-m
Módulo de sección o resistencia (S)	0.0006 m ³
Esfuerzo normal máx. sobre la viga	37.077 MPa
Cortante máxima	0.041 MN
Esfuerzo cortante máx. sobre la viga	2.197 MPa
FS (flexión)	1.9
FS (cortante)	3.0

Tabla 4.43. Dimensiones del poste. Estación N°5.

Dimensionamiento del poste	
Altura del poste	1.7 m
Diámetro del poste	6 pulg
Carga transmitida por el sombrero	0.024 MN
Módulo de esbeltez	44.6
Factor de flambéo (λ)	1.43
Esfuerzo normal	1.870 MPa
Momento máx. horizontal	0.011 MN-m
Módulo de sección o resistencia	0.0003 m ³
Esfuerzo flexionante	31.503 MPa
Esfuerzo normal máx. sobre el poste	33.373 MPa
Cortante máxima	0.026 MN
Esfuerzo cortante máx. sobre la viga	1.883 MPa
FS (flexión)	2.1
FS (cortante)	3.4

Estación N°6

Tabla 4.44. Datos de la madera. Estación N°6.

Datos de labor	
Espaciamiento entre cuadros (a)	1.80 m
Relación de tensiones (k)	0.72
Esfuerzo flexionante permisible de la madera	69.24 MPa
Esfuerzo cortante permisible de la madera	6.50 MPa

Tabla 4.45. Esfuerzos sobre la madera. Estación N°6.

Cálculo de esfuerzos sobre la madera	
Altura de carga (Hc)	0.832 m
Esfuerzo vertical (σ_v)	0.022 MPa
Carga lineal vertical (q_t)	0.040 MN/m
Esfuerzo horizontal (σ_h)	0.016 MPa
Carga lineal horizontal (q_y)	0.029 MN/m
Carga total	0.034 MN

Tabla 4.46. Dimensiones del sombrero. Estación N°6.

Dimensionamiento del sombrero	
Longitud de la viga	1.4 m
Diámetro de la viga	6 pulg
Momento máximo	0.010 MN-m
Módulo de sección o resistencia (S)	0.0003 m ³
Esfuerzo normal máx. sobre la viga	28.515 MPa
Cortante máxima	0.028 MN
Esfuerzo cortante máx. sobre la viga	2.069 MPa
FS (flexión)	2.4
FS (cortante)	3.1

Tabla 4.47. Dimensiones del poste. Estación N°6.

Dimensionamiento del poste	
Altura del poste	1.8 m
Diámetro del poste	6 pulg
Carga transmitida por el sombrero	0.017 MN
Módulo de esbeltez	47.2
Factor de flambéo (λ)	1.46
Esfuerzo normal	1.347 MPa
Momento máx. horizontal	0.012 MN-m
Módulo de sección o resistencia	0.0003 m ³
Esfuerzo flexionante	33.911 MPa
Esfuerzo normal máx. sobre el poste	35.258 MPa
Cortante máxima	0.026 MN
Esfuerzo cortante máx. sobre la viga	1.914 MPa
FS (flexión)	2.0
FS (cortante)	3.4

Estación N°7

Tabla 4.48. Datos de la madera. Estación N°7.

Datos de labor	
Espaciamiento entre cuadros (a)	2.00 m
Relación de tensiones (k)	0.67
Esfuerzo flexionante permisible de la madera	69.24 MPa
Esfuerzo cortante permisible de la madera	6.50 MPa

Tabla 4.49. Esfuerzos sobre la madera. Estación N°7.

Cálculo de esfuerzos sobre la madera	
Altura de carga (Hc)	0.578 m
Esfuerzo vertical (σ_v)	0.016 MPa
Carga lineal vertical (q_t)	0.031 MN/m
Esfuerzo horizontal (σ_h)	0.010 MPa
Carga lineal horizontal (q_y)	0.021 MN/m
Carga total	0.018 MN

Tabla 4.50. Dimensiones del sombrero. Estación N°7.

Dimensionamiento del sombrero	
Longitud de la viga	1.0 m
Diámetro de la viga	5 pulg
Momento máximo	0.004 MN-m
Módulo de sección o resistencia (S)	0.0002 m ³
Esfuerzo normal máx. sobre la viga	19.394 MPa
Cortante máxima	0.016 MN
Esfuerzo cortante máx. sobre la viga	1.642 MPa
FS (flexión)	3.6
FS (cortante)	4.0

Tabla 4.51. Dimensiones del poste. Estación N°7.

Dimensionamiento del poste	
Altura del poste	1.7 m
Diámetro del poste	6 pulg
Carga transmitida por el sombrero	0.009 MN
Módulo de esbeltez	44.6
Factor de flambéo (λ)	1.43
Esfuerzo normal	0.707 MPa
Momento máx. horizontal	0.008 MN-m
Módulo de sección o resistencia	0.0003 m ³
Esfuerzo flexionante	21.725 MPa
Esfuerzo normal máx. sobre el poste	22.431 MPa
Cortante máxima	0.018 MN
Esfuerzo cortante máx. sobre la viga	1.298 MPa
FS (flexión)	3.1
FS (cortante)	5.0

- **Sostenimiento en base a los resultados**

El sostenimiento, en base a la clasificación geomecánica RMR89 en las estaciones definidas para la investigación, queda determinado de dos maneras: según la tabla SPM y según cálculos numéricos de cuadros de madera.

Tabla 4.52. Sostenimiento según tabla SPM.

Estación Geomecánica	RMR89	Clase y calidad de roca	Sostenimiento
E1	35	IV Mala	Pernos de 1.2 m anclados con resina, sistemáticos, espaciados 1.0 m x 1.0 m, más malla electrosoldada.
E2	37	IV Mala	
E3	37	IV Mala	
E4	41	III Media	Pernos de 1.2 m anclados con resina, sistemáticos, espaciados 1.2 m x 1.2 m.
E5	42	III Media	
E6	43	III Media	
E7	46	III Media	Pernos de 1.2 m anclados con resina, ocasionales.

Tabla 4.53. Dimensiones de los cuadros de madera.

Estación	Espaciamento entre cuadros (m)	Sombrero			Poste		
		Diámetro (pulg)	FS (flexión)	FS (corte)	Diámetro (pulg)	FS (flexión)	FS (corte)
E1	1.8	6.0	1.8	2.4	7.0	2.1	2.6
E2	1.7	7.0	2.0	2.7	8.0	1.8	2.3
E3	1.2	8.0	1.8	2.9	7.0	2.7	3.7
E4	2.0	6.0	2.2	2.8	5.0	2.1	2.9
E5	1.3	7.0	1.9	3.0	6.0	2.1	3.4
E6	1.8	6.0	2.4	3.1	6.0	2.0	3.4
E7	2.0	5.0	3.6	4.0	6.0	3.1	5.0

La Tabla 4.53, muestra los diámetros mínimos a usar para tener FS mayores a 1.8. De acuerdo a los desplazamientos máximos y forma de la sección, se tiene los siguientes tipos de cuadros: E1, E2, E7; cuadros cónicos o trapezoidales (con ángulo de 78° a 82°, del poste respecto al piso); E3, E4, E5 y E6; cuadros rectos.

Tabla 4.54. Sostenimiento por cuadros de madera.

Estación	Tipo de cuadro	Espaciamento entre cuadros (m)	Sombrero Ø (plg)	Poste Ø (plg)
E1	Cónico	1.8	6.0	7.0
E2	Cónico	1.7	7.0	8.0
E3	Recto	1.2	8.0	7.0
E4	Recto	2.0	6.0	5.0
E5	Recto	1.3	7.0	6.0
E6	Recto	1.8	6.0	6.0
E7	Cónico	2.0	5.0	6.0

- **Análisis de precipitaciones**

En el análisis de las precipitaciones se utilizará la información de la estación meteorológica convencional Bambamarca.

Tabla 4.55. Ubicación de la Estación Meteorológica Bambamarca.

ESTACIÓN BAMBAMARCA	
Departamento	Cajamarca
Provincia	Hualgayoc
Distrito	Bambamarca
Coordenada Este	774371
Coordenada Norte	9261316
Altitud	2495 msnm.

Fuente: SENAMHI, 2021

Tabla 4.56. Datos de la precipitación 2017-2021.

ESTACIÓN BAMBAMARCA												
Precipitación (mm) / Periodo 2018-2021												
	AÑO ANTERIOR							AÑO POSTERIOR				
	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
2017-2018	0	0	19.1	44.3	132.7	60.4	54.6	73.1	92.4	44.5	83.8	104
2018-2019	15.5	8.4	1.4	4.5	103	144.3	41.2	31.6	80.4	163.9	75.9	55.2
2019-2020	9.6	12.8	0.6	8.6	101.4	111.5	102.2	34.4	19.5	56.6	90.5	29.4
2020-2021	8	7.1	10.2	19.1	28.5	93.8	168.2	61.2	73.2	15.1	31.2	49.5

Fuente: SENAMHI, 2021

Tabla 4.57. Cálculo del factor de transposición de precipitaciones.

Cálculo del factor de transposición de precipitaciones					
Estación Bambamarca - Mina Cajamarca de Paccha					
Ecuación de Oswald					

Estación Bambamarca	Altitud media de la estación meteorológica	H ₁	2495	msnm	PP enero 2019
	Precipitación a la altitud H ₁	PP ₁	31.6	mm	
Mina Cajamarca de Paccha	Altitud media de la zona	H	2160	msnm	
	Precipitación a la altitud H	PP	27.4	mm	

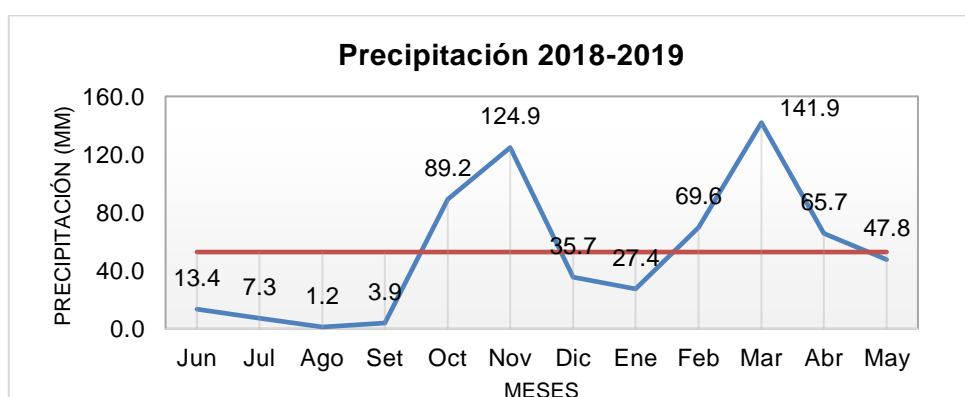
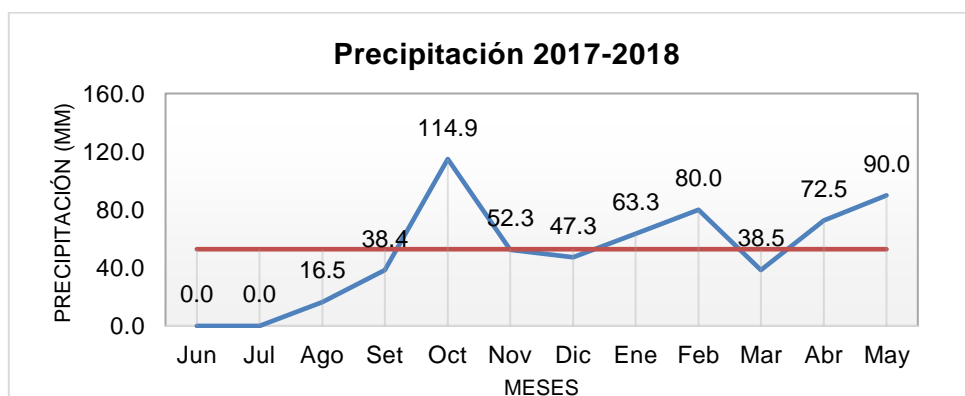
Factor de transposición	Ft	H/H ₁	0.866
-------------------------	----	------------------	-------

Tabla 4.58. Data de precipitaciones en la zona de estudio.

TRANSPOSICIÓN DE PRECIPITACIÓN: ESTACIÓN BAMBAMARCA - A LA MINA CAJAMARCA DE PACCHA																
De estación Bambamarca. Precipitación (mm) / Periodo 2017-2021																
Periodo	AÑO ANTERIOR							AÑO POSTERIOR					Total PP Anual	Promedio PP Anual	PP Total Oct-Abril	% de PP Total Oct-Abril
	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May				
Precipitación 2017-2018	0.0	0.0	16.5	38.4	114.9	52.3	47.3	63.3	80.0	38.5	72.5	90.0	613.7	51.1	468.8	76.39%
Precipitación 2018-2019	13.4	7.3	1.2	3.9	89.2	124.9	35.7	27.4	69.6	141.9	65.7	47.8	627.9	52.3	554.3	88.28%
Precipitación 2019-2020	8.3	11.1	0.5	7.4	87.8	96.5	88.5	29.8	16.9	49.0	78.3	25.5	499.6	41.6	446.8	89.43%
Precipitación 2020-2021	6.9	6.1	8.8	16.5	24.7	81.2	145.6	53.0	63.4	13.1	27.0	12.0	458.4	38.2	407.9	89.00%

Periodo (2017-2021)	AÑO ANTERIOR							AÑO POSTERIOR					Data (2017-2021)			
	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May				
Promedio	7.2	6.1	6.8	16.6	79.1	88.7	79.3	43.4	57.5	60.6	60.9	43.8	549.9	45.8	469.5	85.77%
Mediana	7.6	6.7	5.0	12.0	88.5	88.9	67.9	41.4	66.5	43.8	69.1	36.6	556.7	46.4	457.8	88.64%
Desviación estándar	5.5	4.6	7.5	15.5	38.4	30.3	49.7	17.6	27.9	56.2	23.2	34.2	83.8	7.0	61.9	6.28%
Máximo	13.4	11.1	16.5	38.4	114.9	124.9	145.6	63.3	80.0	141.9	78.3	90.0	627.9	52.3	554.3	89.43%
Mínimo	0.0	0.0	0.5	3.9	24.7	52.3	35.7	27.4	16.9	13.1	27.0	12.0	458.4	38.2	407.9	76.39%

Línea de precipitación referencial conservadora (LPRC) X=45.8, DS=7.0, X+DS=52.8 mm



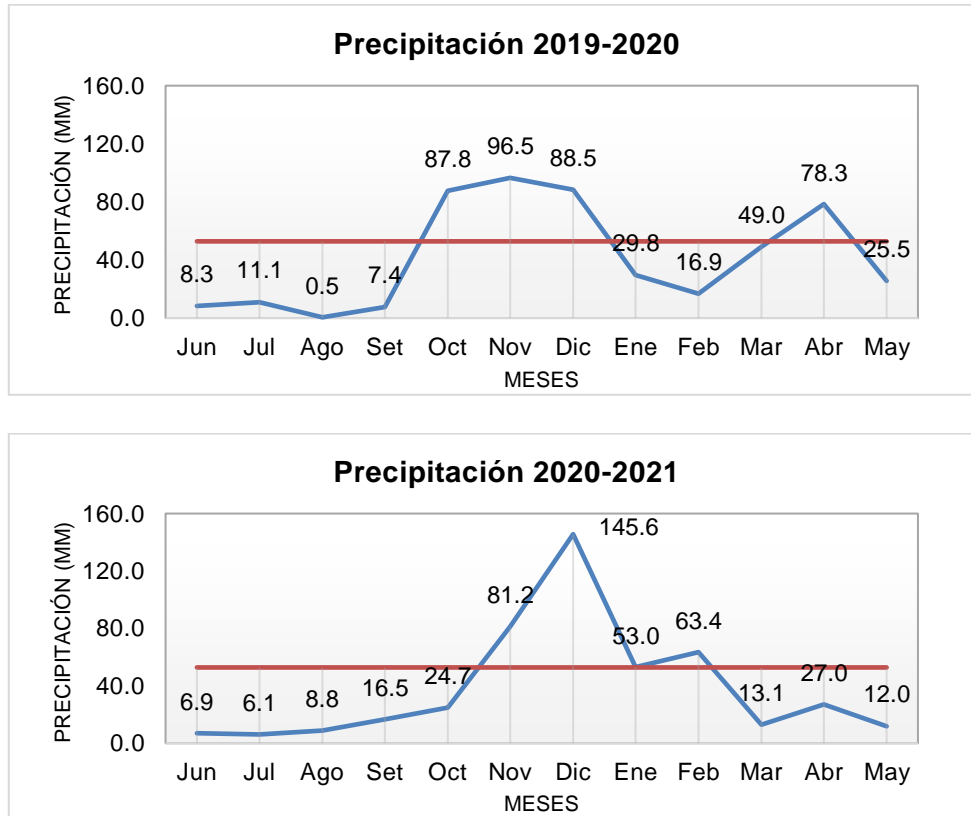


Figura 4.58. Representación de las curvas de precipitación anual mensualizadas, 2017-2021.

Los datos de las precipitaciones de la Estación Meteorológica de Bambamarca fueron transpuestos hacía la Mina Cajamarca de Paccha, galería Juana, usando el factor de transposición de Oswald (Ortiz, 2015); para determinar la Línea de Precipitación Referencial Conservadora (LPRC) se consideró la suma del promedio de precipitaciones anuales (45.8 mm), más la desviación estándar de dichos promedios (7.0 mm), dando como resultado 52.8 mm (línea de color rojo en cada gráfico), está línea proporciona un valor límite para analizar el comportamiento de las curvas de precipitación.

4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

➤ GEOMECÁNICA

La clasificación RMR89 usada permitió obtener los datos de entrada para los análisis en RocData y Phase²; además de lograr clasificar a los macizos rocosos, y estimar la cohesión y ángulo de fricción interna.

Para la investigación se ha deseado tener un valor del GSI que provenga de data cuantitativa, por ello se usó la fórmula del GSI modificado (Hoek et al. 2013), ya que se tiene valores numéricos para el RMR y RQD.

• ANÁLISIS MEDIANTE EL SOFTWARE ROCDATA 4.0

Para realizar el análisis mediante RocData se necesitó de parámetros de entrada, como son: la resistencia a la compresión no confinada de la roca intacta, GSI, parámetros de roca (m_i), factor de alteración (D), módulo de deformación de la roca intacta (calculado como la multiplicación de una constante de acuerdo al tipo de roca, por la resistencia a la compresión) y profundidad de la labor; los cuales fueron estimados a partir del mapeo geomecánico y evaluación RMR89, mediante tablas y ábacos; con ello se logró proyectar la envolvente de rotura de Hoek – Brown, en función de tensiones principales, de cizalla y normales; obtener los parámetros de resistencia, según el criterio de rotura generalizado (m_b , s y a) y parámetros de resistencia equivalentes Mohr-Coulomb (cohesión y ángulo de fricción) , calculados para túneles.

El RocData calculó también otros parámetros del macizo rocoso, como son: la resistencia a tracción (σ_{gt}), resistencia compresiva uniaxial (σ_{gc}), resistencia compresiva global (σ_{gcm}) y módulo de deformación (E_{rm}); éste último necesario para calcular las tensiones por la fórmula de Sheorey.

La línea proyectada de color verde en las gráficas de RocData, es la Línea de Mogi, que es la relación entre las tensiones principal mayor y menor, con un valor igual a 3.4 ($\sigma_1/\sigma_3 = 3.4$) y representa la transición entre rotura frágil y

dúctil (si la envolvente está por encima de la línea, el modo de rotura es frágil; por el contrario, si está por debajo, el modo de rotura es dúctil).

- **MÉTODO DE SHEOREY**

Para calcular la relación de tensiones (tensión horizontal y vertical) en el interior de la galería Juana, se usó la fórmula de Sheorey ($K=0.25+7Eh(0.001+1/h)$), la cual depende de la profundidad de la estación geomecánica y del módulo de elasticidad o deformación de Young.

- **COEFICIENTES SÍSMICOS CALCULADOS EN LOADCAP**

El software Loadcap calculó los coeficientes sísmicos, K_v y K_h , en la zona de estudio a partir de los siguientes datos entrada: aceleración máxima (valor que depende de la zonificación sísmica del Perú), coeficiente de amplificación topográfica y categoría de perfil estratigráfico.

- **ANÁLISIS MEDIANTE EL SOFTWARE PHASE² 8.0**

Los datos de entrada para el análisis fueron obtenidos mediante el método de Sheorey y los softwares RocData y Loadcap; a partir de ellos se obtuvo en Phase² la concentración de tensiones, Factores de Seguridad (FS) y desplazamientos totales en la sección. El método por el cual se asignó el campo de esfuerzos, fue de tipo constante y para el análisis se asumió como tensión principal mayor y menor, a las tensiones horizontales y verticales; por ello se trabajó con un límite externo, con factor de expansión igual a tres.

- **ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES**

Los datos de las precipitaciones desde junio del 2017 hasta mayo del 2021 de la Estación Meteorológica de Bambamarca fueron transpuestos hacia la Mina Cajamarca de Paccha, galería Juana, usando el factor de transposición de Oswald. La manera de ordenar los datos de menor a mayor precipitación permite una mejor visualización en las curvas de precipitación y la Línea de Precipitación

Referencial Conservadora (LPRC) con valor igual a 52.8 mm muestra un límite para diferenciar periodos de menor y mayor precipitación.

- **SOSTENIMIENTO**

El sostenimiento se determinó usando la Tabla de Soporte Práctico Minero (SPM) y por cuadros de madera. Para la Tabla SPM se usó la valoración RMR89 y la dimensión equivalente; la cual se define como la división del ancho, diámetro o altura de la excavación, entre la relación de sostenimiento de la excavación (para el análisis se consideró igual a 1.6 por ser excavaciones mineras permanentes). En cuanto a los cuadros de madera, el cálculo de las dimensiones del poste y sombrero se realizó en base al Factor de Seguridad (valor mínimo igual a 1.8), de los esfuerzos flexionantes y cortantes permisibles para la madera, entre los actuantes transmitidos por el macizo rocoso.

4.5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los macizos rocosos en estaciones geomecánicas de la galería Juana, muestran valoraciones según el RMR89 entre clase IV y III, mala a media. Así, para las estaciones E1, E2 y E3, la clase es, IV mala; y para las estaciones E4, E5, E6 y E7, III media.

Tabla 4.59. Cohesión y ángulo de rozamiento, valores de RocData.

Estación	RMR89	Clase y calidad	Cohesión MPa	Ángulo de rozamiento (grados)
E1	34	Mala, IV	0.15	50.90
E2	37	Mala, IV	0.26	50.80
E3	37	Mala, IV	0.34	46.34
E4	41	Media, III	0.38	45.22
E5	42	Media, III	0.42	44.44
E6	43	Media, III	0.48	43.81
E7	46	Media, III	0.54	42.81

La cohesión y ángulo rozamiento según Bieniawski para la clase IV está entre 0.10 MPa (1 kg/cm²) y 0.20 MPa (2 kg/cm²); y para la clase III, entre 0.20 MPa (2 kg/cm²) y 0.29 MPa (3 kg/cm²); sin embargo, en el software RocData estos valores son mucho mayores; como se muestra en la Tabla 4.59.

La cohesión para la estación E1 (0.15 MPa) está dentro del rango establecido por Bieniawski, 0.10 – 0.20 MPa (clase IV) ; sin embargo, este no es el caso de la estación E2 (0.26 MPa) y estación E3 (0.34 MPa), que tienen cohesiones fuera de la clase IV, pero dentro de la III (E2); lo que nos indica que, de acuerdo a la cohesión, para ésta zona de la galería Juana se tenga que colocar un código duplo, clase III y IV, que quiere decir que se tiene la impresión de roca clase III yendo a IV; lo mismo se corrobora con el RMR89, ya que la valoración de la E2 (RMR89 = 37) es muy cercana a la clase III (RMR = 41 – 60).

Las estaciones E4 (0.38 MPa), E5 (0.42 MPa), E6 (0.48 MPa) y E7(0.54 MPa) tienen cohesiones superiores al rango de clase III (0.20 – 0.29 MPa), por lo que acorde al criterio asumido por el tesista, indica que el RocData calcula valores muy altos; probablemente por la forma de interpretar los datos de campo (resistencia a compresión uniaxial, alteración del material y GSI) o debido quizás a la falta de experiencia en la toma de los mismos. Otra consideración, es que el software nos da valores más altos debido a que este se basa en pruebas realizadas en el extranjero y por lo tanto en rocas de facies similares a las de la investigación

Los resultados obtenidos en Phase² muestran que alrededor de las excavaciones existen zonas plásticas en continua deformación en el techo y hastiales, producidas por los cambios de tensiones. Los valores del Factor de Seguridad, en el contorno de la labor muestra factores críticos (FS = 1); es decir, zonas donde las tensiones y las fuerzas resistentes son iguales; por lo que, si aumentan las primeras o disminuyen las segundas, se produciría caída de rocas; por ello, es necesario realizar un sostenimiento adecuado en la labor.

En cuanto a los coeficientes sísmicos ($K_v = 0.125$ y $K_h = 0.063$), se puede decir que estos valores no influyen significativamente en el cálculo de los Factores de Seguridad, debido a que la aceleración máxima adopta un valor bajo (0.25), por la zonificación sísmica; y el coeficiente de amplificación topográfica y categoría de perfil estratigráfico, tienen valores iguales a 1, por llevarse a cabo el análisis en roca; sin embargo, en los desplazamientos totales se generan variaciones en los valores máximos y ubicaciones de los mismos en la sección.

El análisis en Phase² muestra que, en las estaciones E1 y E2 se produce mayores desplazamientos en los hastiales, debido a que la tensión horizontal es mayor; el sostenimiento según cálculos numéricos será, cuadros cónicos o trapezoidales (inclinación entre 78° a 82° del poste respecto al piso), de dimensiones: 6" y 7", E1 y 7" y 8", E2; diámetros para el sombrero y poste respectivamente. Para las estaciones E3, E4, E5 y E6, los mayores desplazamientos son en el techo de la labor, debido a que la tensión vertical es mayor; el sostenimiento será, cuadros rectos, con las dimensiones que se muestran en la Tabla 4.60.

Tabla 4.60. Sostenimiento por cuadros para E3, E4, E5 y E6.

Estación	Sombrero	Poste
E3	8.0"	7.0"
E4	6.0"	5.0"
E5	7.0"	6.0"
E6	6.0"	6.0"

En la estación E7, a pesar que la tensión vertical es mayor, los desplazamientos máximos se producen en los hastiales, debido a la forma alargada de la sección (1.76 m de alto x 1.07 m de ancho); con ello se define que los desplazamientos totales se ven influenciados por la forma de la excavación. El sostenimiento será, cuadros cónicos de 5" y 6" de diámetro para el sombrero y poste.

El sostenimiento según la tabla SPM, será mediante pernos de 1.2 m anclados con resina; para las estaciones E1, E2 y E3 se recomienda la colocación sistemática, espaciados: 1.0 m x 1.0 m, más malla electrosoldada; para las estaciones E4, E5 y E6; colocación sistemática, espaciados: 1.2 m x 1.2 m; y para la E7 pernos ocasionales o puntuales de 1.2 m (ver Plano 04).

Chura (2016), evaluando en macizo rocoso de la Unidad Económica Administrativa Ana María, según el RMR89, la clasificó como clase III y determinó que el sostenimiento a usar sería refuerzo activo, pernos de anclaje sistemáticos o puntualmente, adheridos con resina o cemento. Así mismo, según Cruzado (2017), cuando evaluó el túnel de la central hidroeléctrica Potrero – San Marcos, según el RMR89, obtuvo como resultado roca II y III, indicando que el sostenimiento a usar sería pernos cementados de forma sistemática o puntual, y que la inestabilidad geomecánica en la excavación se produce por las filtraciones de agua. Ambos estudios presentan similitud con la investigación para el sostenimiento.

Del análisis de precipitaciones se observa que la precipitación entre los meses de octubre - abril tiene un acumulado promedio de 85.77 % del total anual; considerando entonces que las temporadas de mayor precipitación son entre estos meses. Se debe tener en cuenta la época del año en la que se realiza la evaluación geomecánica, a fin de valorar correctamente los parámetros geomecánicos del RMR89 y evitar resultados conservadores; ya que, la infiltración disminuye la resistencia en las discontinuidades, afectando la cohesión y el ángulo de fricción, provocando caída de bloques de roca, y por consiguiente generando zonas de inestabilidad geomecánica. Para la investigación la toma de datos geomecánicos se realizó entre octubre y noviembre 2020, meses en los que se tienen mayores precipitaciones.

4.6 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La investigación contrastó la hipótesis, afirmando que la inestabilidad geomecánica en la galería Juana de la Mina Cajamarca de Paccha, está condicionada por la precipitación - infiltración, variable que no es contante en el

tiempo, debido a que en la zona de investigación los meses de alta precipitación están entre octubre y abril, generando mayor infiltración en el macizo rocoso, afectando las condiciones hidrogeológicas y geomecánicas, las cuales condicionan la disminución de la resistencia en las discontinuidades, provocando caída de bloques de roca. Además, la sismicidad con los coeficientes sísmicos calculados, $K_v = 0.125$ y $K_h = 0.063$, provocan variaciones de los desplazamientos totales en la galería y en cada estación geomecánica. Por lo tanto, se confirma la hipótesis planteada en la investigación.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

La litología de la galería Juana, está conformada por areniscas, arcillolitas carbonosas y carbón antracítico de potencia aproximada de 0.8-1.4 m con dip 24° y dip direction de 294° en promedio.

En base a la observación directa de las condiciones de las labores se definió siete estaciones de control geomecánico como zonas críticas en la galería Juana, las cuales fueron valoradas con el RMR89 de Bieniawski.

La valoración según los seis parámetros geomecánicos del RMR89 clasificó el macizo rocoso como clase IV mala (estaciones E1, E2 Y E3) y III media (estaciones E4, E5, E6 y E7).

El sostenimiento según la Tabla de Soporte Práctico Minero (SPM), indica que se debe usar pernos anclados con resina, sistemáticos, espaciados 1.0 m x 1.0 m más malla electrosoldada para las estaciones E1, E2 y E3; sistemáticos, espaciados, 1.2 m x 1.2 m para las estaciones E4, E5 y E6; y ocasionales para la E7. Además, según los cálculos numéricos se debe utilizar cuadros de madera con diámetros mínimos para el poste y sombrero entre 5" – 8", cónico en las estaciones E1, E2 y E7; y rectos en las estaciones E3, E4, E5 y E6.

5.2 RECOMENDACIONES

La empresa Calera Bendición de Dios EIRL debe realizar ensayos especiales como triaxiales y de corte directo, con la finalidad de determinar con precisión los parámetros geomecánicos y la resistencia al corte.

La empresa Calera Bendición de Dios EIRL debe realizar estudios de sostenimientos en otros puntos de la galería, con la finalidad de poder comparar los resultados obtenidos en la investigación.

Se recomienda a la empresa Calera Bendición de Dios EIRL mejorar la ventilación, de esa manera se consigue una mayor vida de la madera y se mejora las condiciones de trabajo para el personal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aceijas Perez, JP. 2019. Geomecánica aplicada al control de las labores mineras para la minimización de la caída de rocas en la Mina Paredones Nivel 5. Tesis Ing. Cajamarca, Perú, UNC.
- Arana Alvites, GD. 2019. Análisis geomecánico para seleccionar el tipo de sostenimiento en la Mina Apmnac Pulpera Caylloma - Arequipa. Tesis Ing. Cusco, Perú, UNSAAC.
- Chura Lope, W. 2016. Caracterización geomecánica del macizo rocoso y su aplicación en el diseño de sostenimiento en labores de desarrollo de la Unidad Económica Administrativa Ana María - La Rinconada. Tesis Ing. Puno, Perú. UNAP.
- Cruzado Peralta, PB. 2017. Evaluación geomecánica del túnel de la central hidroeléctrica Potrero - San Marcos - Cajamarca. Tesis Ing. Cajamarca, Perú, UNC.
- Gavilanes, H; Andrade Haro, B. 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).
- González de Vallejo, LI. 2002. Ingeniería Geológica. Madrid, España, Prentice Hall.
- Guamán García, VE; Mendieta Girón FA. 2013. Evaluación geomecánica del macizo rocoso en la cantera de materiales de construcción "Las Victorias". Tesis Ing. Azuay, Ecuador, UCUENCA.
- Hoek, E; Carranza-Torres C; Corkum B. 2002. El criterio de rotura de Hoek-Brown – Edición 2002. Toronto, Canadá.
- Hoek, E; Carter TG; Diederichs MS. 2013. Quantification of the Geological Strength Index Chart. San Francisco, USA.

Instituto Tecnológico GeoMinero de España. s.f. Manual de Ingeniería Geológica. España.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Perú. 2019. Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente. Lima, Perú.

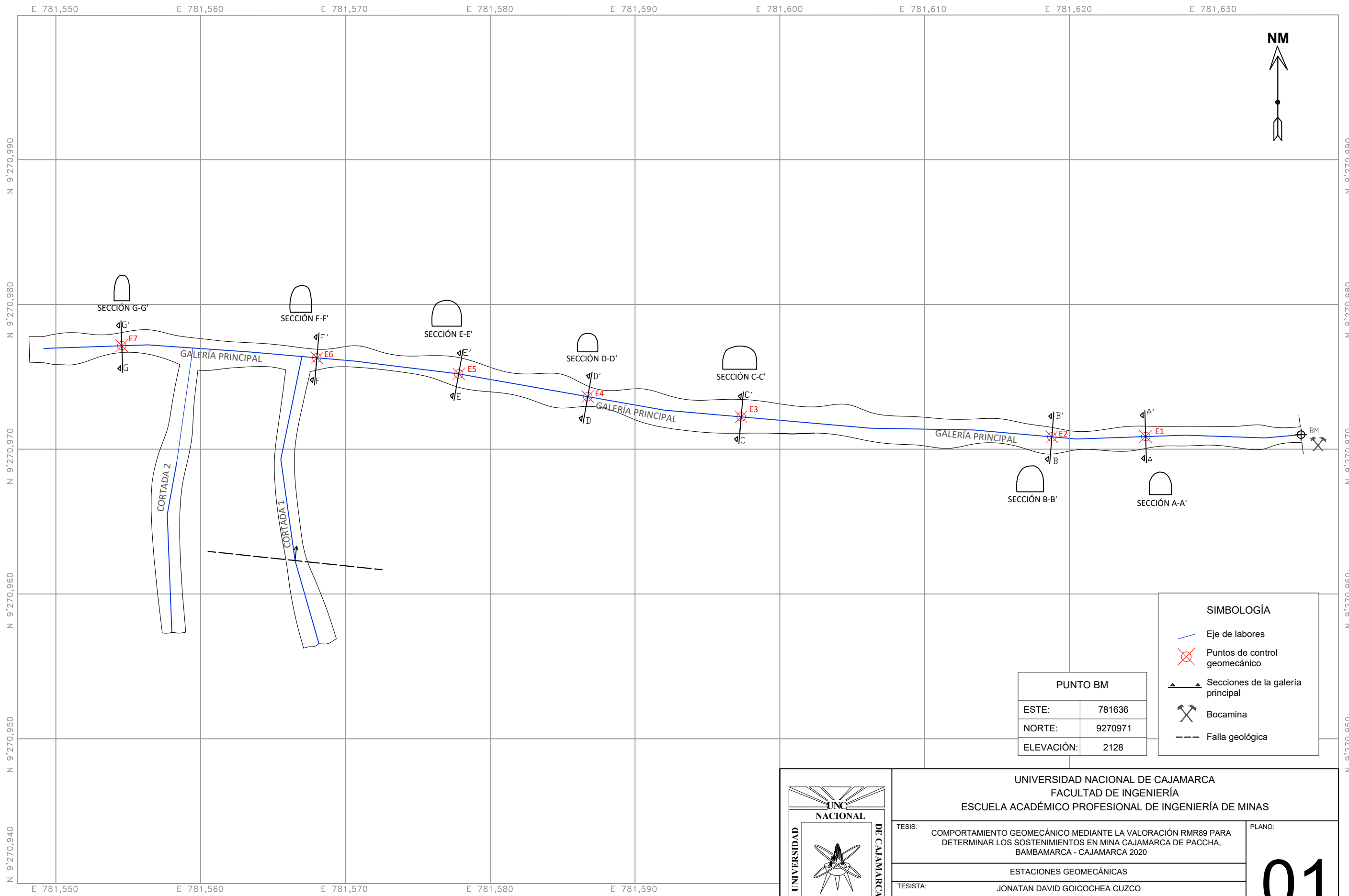
OSINERGMIN (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, Perú). 2017. Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas. Lima, Perú, INVERSIONES IAKOB .

Ramírez Oyanguren, P; Alejano Monge, L. 2004. Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes. Madrid, España.

Rincón Silva, BC. 2016. Caracterización geomecánica del macizo rocoso del área del contrato 01-068-96 "Cooperativa Cooprocabón Sugamuxi" Municipio de Gámeza Boyocá. Tesis Ing. Boyacá, Colombia, UPTC.

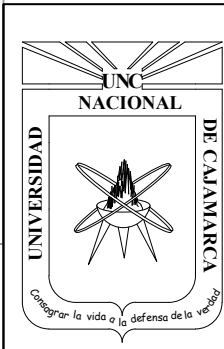
SNMPE (Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía, Perú). 2004. Manual de Geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea. Lima, Perú.

Vallejo Cortes, C. 2008. Aplicaciones del GSI modificado en el sostenimiento y mapeo geomecánico. Recuperado de: <https://pdfcookie.com/documents/aplic-del-gsi-en-sostenimiento-1ppt-x20gpw30q3l3>.

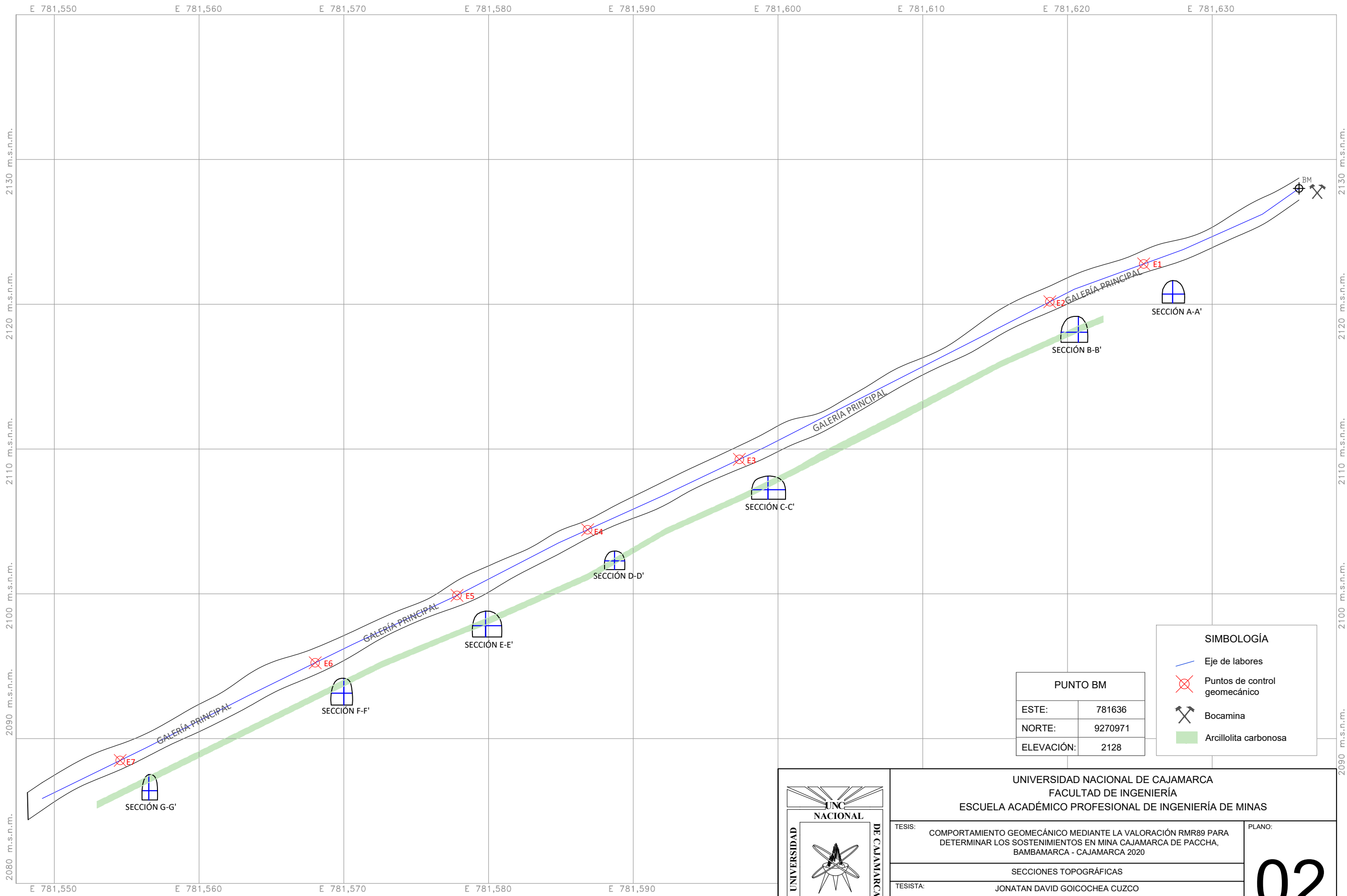


SIMBOLOGÍA	
	Eje de labores
	Puntos de control geomecánico
	Secciones de la galería principal
	Bocamina
	Falla geológica

PUNTO BM	
ESTE:	781636
NORTE:	9270971
ELEVACIÓN:	2128



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		
TESIS:	COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO MEDIANTE LA VALORACIÓN RMR89 PARA DETERMINAR LOS SOSTENIMIENTOS EN MINA CAJAMARCA DE PACCHA, BAMBAMARCA - CAJAMARCA 2020	PLANO:
ESTACIONES GEOMECÁNICAS		01
TESISTA:	JONATAN DAVID GOICOCHEA CUZCO	
ASESOR:	DR. REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO	
ESCALA:	1:250	
DATUM:	WGS - 84 - ZONA - 17S	FECHA:
		NOVIEMBRE DEL 2021



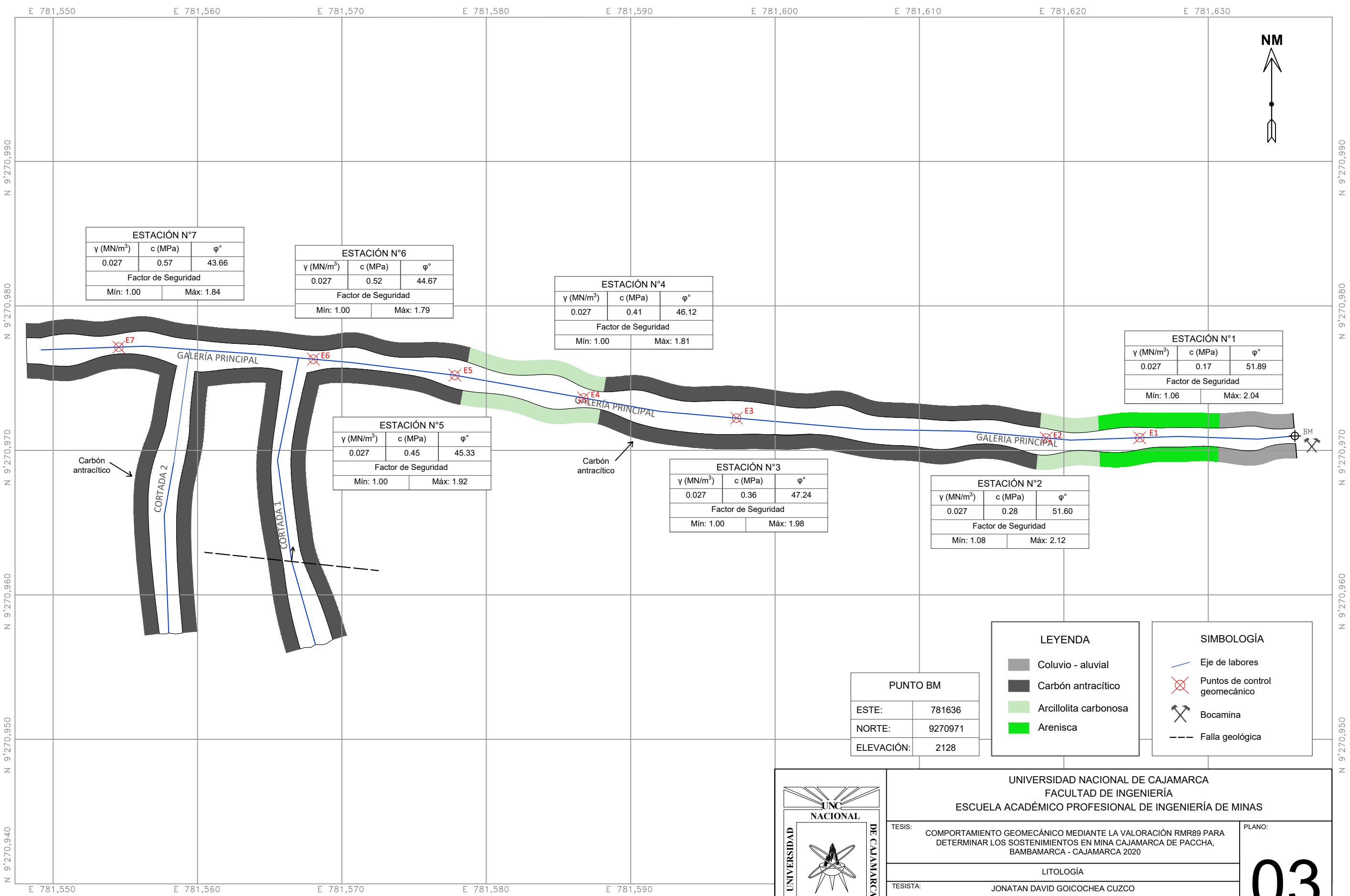
PUNTO BM	
ESTE:	781636
NORTE:	9270971
ELEVACIÓN:	2128

SIMBOLOGÍA	
	Eje de labores
	Puntos de control geomecánico
	Bocamina
	Arcillolita carbonosa



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

TESIS: COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO MEDIANTE LA VALORACIÓN RMR89 PARA DETERMINAR LOS SOSTENIMIENTOS EN MINA CAJAMARCA DE PACCHA, BAMBAMARCA - CAJAMARCA 2020	PLANO:
02	
SECCIONES TOPOGRÁFICAS	
TESISTA: JONATAN DAVID GOICOCHEA CUZCO	
ASESOR: DR. REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO	
ESCALA: 1:250	DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S
FECHA: NOVIEMBRE DEL 2021	



ESTACIÓN N°7		
γ (MN/m ³)	c (MPa)	ϕ °
0.027	0.57	43.66
Factor de Seguridad		
Min: 1.00	Máx: 1.84	

ESTACIÓN N°6		
γ (MN/m ³)	c (MPa)	ϕ °
0.027	0.52	44.67
Factor de Seguridad		
Min: 1.00	Máx: 1.79	

ESTACIÓN N°4		
γ (MN/m ³)	c (MPa)	ϕ °
0.027	0.41	46.12
Factor de Seguridad		
Min: 1.00	Máx: 1.81	

ESTACIÓN N°1		
γ (MN/m ³)	c (MPa)	ϕ °
0.027	0.17	51.89
Factor de Seguridad		
Min: 1.06	Máx: 2.04	

ESTACIÓN N°5		
γ (MN/m ³)	c (MPa)	ϕ °
0.027	0.45	45.33
Factor de Seguridad		
Min: 1.00	Máx: 1.92	

ESTACIÓN N°3		
γ (MN/m ³)	c (MPa)	ϕ °
0.027	0.36	47.24
Factor de Seguridad		
Min: 1.00	Máx: 1.98	

ESTACIÓN N°2		
γ (MN/m ³)	c (MPa)	ϕ °
0.027	0.28	51.60
Factor de Seguridad		
Min: 1.08	Máx: 2.12	

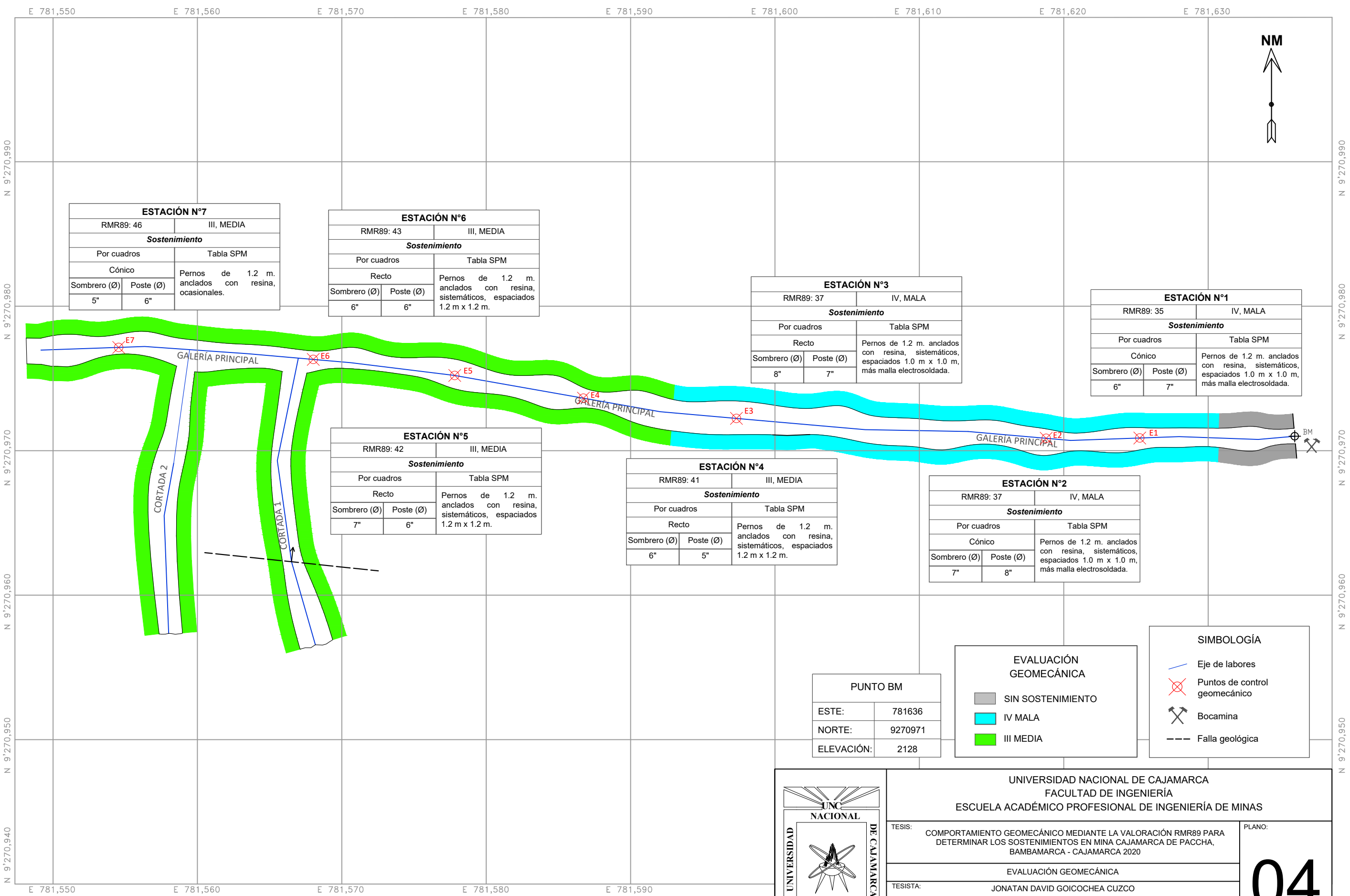
PUNTO BM	
ESTE:	781636
NORTE:	9270971
ELEVACIÓN:	2128

LEYENDA	
	Coluvio - aluvial
	Carbón antracítico
	Arcillolita carbonosa
	Arenisca

SIMBOLOGÍA	
	Eje de labores
	Puntos de control geomecánico
	Bocamina
	Falla geológica

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		<h1>03</h1>
	TESIS: COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO MEDIANTE LA VALORACIÓN RMR89 PARA DETERMINAR LOS SOSTENIMIENTOS EN MINA CAJAMARCA DE PACCHA, BAMBAMARCA - CAJAMARCA 2020		
	LITOLOGÍA		
	TESISTA: JONATAN DAVID GOICOCHEA CUZCO	ASESOR: DR. REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO	
ESCALA: 1:250	DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S	FECHA: NOVIEMBRE DEL 2021	





ESTACIÓN N°7		
RMR89: 46	III, MEDIA	
Sostenimiento		
Por cuadros	Tabla SPM	
Cónico	Pernos de 1.2 m. anclados con resina, ocasionales.	
Sombrero (Ø)		Poste (Ø)
5"		6"

ESTACIÓN N°6		
RMR89: 43	III, MEDIA	
Sostenimiento		
Por cuadros	Tabla SPM	
Recto	Pernos de 1.2 m. anclados con resina, sistemáticos, espaciados 1.2 m x 1.2 m.	
Sombrero (Ø)		Poste (Ø)
6"		6"

ESTACIÓN N°3		
RMR89: 37	IV, MALA	
Sostenimiento		
Por cuadros	Tabla SPM	
Recto	Pernos de 1.2 m. anclados con resina, sistemáticos, espaciados 1.0 m x 1.0 m, más malla electrosoldada.	
Sombrero (Ø)		Poste (Ø)
8"		7"

ESTACIÓN N°1		
RMR89: 35	IV, MALA	
Sostenimiento		
Por cuadros	Tabla SPM	
Cónico	Pernos de 1.2 m. anclados con resina, sistemáticos, espaciados 1.0 m x 1.0 m, más malla electrosoldada.	
Sombrero (Ø)		Poste (Ø)
6"		7"

ESTACIÓN N°5		
RMR89: 42	III, MEDIA	
Sostenimiento		
Por cuadros	Tabla SPM	
Recto	Pernos de 1.2 m. anclados con resina, sistemáticos, espaciados 1.2 m x 1.2 m.	
Sombrero (Ø)		Poste (Ø)
7"		6"

ESTACIÓN N°4		
RMR89: 41	III, MEDIA	
Sostenimiento		
Por cuadros	Tabla SPM	
Recto	Pernos de 1.2 m. anclados con resina, sistemáticos, espaciados 1.2 m x 1.2 m.	
Sombrero (Ø)		Poste (Ø)
6"		5"

ESTACIÓN N°2		
RMR89: 37	IV, MALA	
Sostenimiento		
Por cuadros	Tabla SPM	
Cónico	Pernos de 1.2 m. anclados con resina, sistemáticos, espaciados 1.0 m x 1.0 m, más malla electrosoldada.	
Sombrero (Ø)		Poste (Ø)
7"		8"

PUNTO BM	
ESTE:	781636
NORTE:	9270971
ELEVACIÓN:	2128

EVALUACIÓN GEOMECÁNICA	
	SIN SOSTENIMIENTO
	IV MALA
	III MEDIA

SIMBOLOGÍA	
	Eje de labores
	Puntos de control geomecánico
	Bocamina
	Falla geológica



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		<div style="font-size: 48px; font-weight: bold;">04</div>
	TESIS: COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO MEDIANTE LA VALORACIÓN RMR89 PARA DETERMINAR LOS SOSTENIMIENTOS EN MINA CAJAMARCA DE PACCHA, BAMBAMARCA - CAJAMARCA 2020		
	EVALUACIÓN GEOMECÁNICA		
	TESISTA: JONATAN DAVID GOICOCHEA CUZCO		
	ASESOR: DR. REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO		
ESCALA: 1:250	DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S	FECHA: NOVIEMBRE DEL 2021	