

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



TESIS PROFESIONAL

**EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TÚNEL DE LA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA POTRERO - SAN MARCOS - CAJAMARCA**

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO GEÓLOGO

Presentado Por:

Bach. PAUL BELIZARIO CRUZADO PERALTA

Asesor:

Ing. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO

Cajamarca - Perú
2017

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mis Padres con todo mi cariño y mi amor, las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento, Mauro y Ela.

A mi hermana y hermanos que me han dado el amor y la calidez de la familia a la cual amo, Maricarmen, Jhon y Pako.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi alma mater, Universidad Nacional de Cajamarca, en especial a la Facultad de Ingeniería Geológica; a mis docentes, por darme las armas necesarias para abrirme paso hacia el desarrollo profesional.

A mí amada abuelita que ha sido el impulso para la culminación de mi tesis, gracias a su apoyo constante y amor incondicional, ahora puedo decir que esta tesis lleva mucho de ella, gracias por estar siempre conmigo, Mamá Sara.

Agradezco a mi asesor el Ing. Reinaldo Rodríguez Cruzado quien con sus conocimientos, su manera de trabajar, su amistad, orientación y ayuda que me brindo hicieron posible la culminación de esta tesis.

CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO I.	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II.	3
MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Antecedentes Teóricos de la Investigación.....	3
2.2. Bases Teóricas	4
2.3. Definición de términos básicos.	22
CAPÍTULO III.	24
MATERIALES Y METODOS	24
3.1. Ubicación	24
3.2. Accesibilidad.....	25
3.3. Clima.....	25
3.4. Flora y Fauna.....	26
3.5. Tipo de Estudio.....	27
3.6. Población y Muestra	27
3.7. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	28
3.7.1. Materiales y Equipos.....	28

	Pág.
3.7.2. Descripción y tipo de instrumentos de investigación	28
3.8. Metodología	29
3.8.1. Etapa Preliminar de Gabinete	29
3.8.2. Etapa de Campo	29
3.9. Elaboración de Instrumentos de Recolección de Datos	29
3.10. Geología	30
CAPÍTULO IV	32
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	32
4.1. Cartografiado Geológico, toma de datos en estaciones Geomecánicas y Análisis de Gráficos en el Software Dips V6	32
4.1.1. Cartografiado Geológico	32
4.1.2. Matriz de Estaciones Geomecánicas	33
4.1.3. Análisis datos en el Software Dips V6	33
Estación Geomecánica 01	34
Estación Geomecánica 02	37
Estación Geomecánica 03	40
Estación Geomecánica 04	43
Estación Geomecánica 05	46
Estación Geomecánica 06	49
Estación Geomecánica 07	52
Estación Geomecánica 08	55
Estación Geomecánica 09	58
Estación Geomecánica 10	61
Estación Geomecánica 11	64
Estación Geomecánica 12	67
Estación Geomecánica 13	70

	Pág.
Estación Geomecánica 14	73
Estación Geomecánica 15	76
Estación Geomecánica 16	79
Estación Geomecánica 17	82
Estación Geomecánica 18	85
4.2. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	88
CAPÍTULO V.....	89
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	89
5.1. CONCLUSIONES	89
5.2. RECOMENDACIONES.....	90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
ANEXOS	92

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Calidad del macizo rocoso en relación al índice GSI. Truzman, 1999	8
Tabla 2. Índice de calidad de la roca. ISRM, 1981	10
Tabla 3. Calidad del macizo rocoso. González et al. 2004.....	10
Tabla 4. Clasificación Geomecánica según Bieniawski, 1989. RMR.....	11
Tabla 5. Accesibilidad al área de estudio	25
Tabla 6. Metodología de la investigación	27
Tabla 7. Valoración RMR del túnel Central Hidroeléctrica Potrero.....	33
Tabla 8. Valoración del macizo rocoso en estación 01	34
Tabla 9. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).	34

	Pág.
Tabla 10. Valoración del macizo rocoso en estación 02	37
Tabla 11. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).	37
Tabla 12. Valoración del macizo rocoso en estación 03	40
Tabla 13. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).	40
Tabla 14. Valoración del macizo rocoso en estación 04	43
Tabla 15. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).	43
Tabla 16. Valoración del macizo rocoso en estación 05	46
Tabla 17. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).	46
Tabla 18. Valoración del macizo rocoso en estación 06	49
Tabla 19. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).	49
Tabla 20. Valoración del macizo rocoso en estación 07	52
Tabla 21. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).	52
Tabla 22. Valoración del macizo rocoso en estación 08	55
Tabla 23. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).	55
Tabla 24. Valoración del macizo rocoso en estación 09	58
Tabla 25. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).	58
Tabla 26. Valoración del macizo rocoso en estación 10	61
Tabla 27. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).	61
Tabla 28. Valoración del macizo rocoso en estación 11	64
Tabla 29. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).	64
Tabla 30. Valoración del macizo rocoso en estación 12	67
Tabla 31. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).	67
Tabla 32. Valoración del macizo rocoso en estación 13	70
Tabla 33. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).	70
Tabla 34. Valoración del macizo rocoso en estación 14	73
Tabla 35. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).	73

	Pág.
Tabla 36. Valoración del macizo rocoso en estación 15	76
Tabla 37. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).	76
Tabla 38. Valoración del macizo rocoso en estación 16	79
Tabla 39. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).	79
Tabla 40. Valoración del macizo rocoso en estación 17	82
Tabla 41. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).	82
Tabla 42. Valoración del macizo rocoso en estación 18	85
Tabla 43. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).	85

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ejemplos de modelización en ingeniería geológica.....	7
Figura 2. Clasificación según el índice de resistencia geológica, GSI. Truzman, 1999.....	8
Figura 3. Condiciones naturales de inestabilidad en excavación de túneles.....	12
Figura 4. 1) Proyección estereográfica de cuña crítica, 2) Representación en sección transversal, 3) Representación en bloques.	15
Figura 5. Instalación de perno helicoidal.	16
Figura 6. Rango de aplicabilidad del criterio de rotura de Hoek – Brown.....	16
Figura 7. Rango de aplicación de modelos numéricos a partir de Barton.	17
Figura 8. Mecanismos de inestabilidad en túneles. A partir de Kaiser.	18
Figura 9. Mecanismos de inestabilidad Martin et al.....	19
Figura 10. Propiedades geométricas de las discontinuidades. (González De Vallejo, 2002).....	19

Figura 11. Dirección y buzamiento en un plano de discontinuidad. (González De Vallejo, 2002).	20
Figura 12. Ubicación del Proyecto Central Hidroeléctrica Potrero. SAS Planet 2015.....	24
Figura 13. Accesibilidad al Proyecto Central Hidroeléctrica Potrero. Google Earth 2015.....	25
Figura 14. Clima en el Proyecto Central Hidroeléctrica Potrero.	26
Figura 15. Flora en el Proyecto Central Hidroeléctrica Potrero.	26
Figura 17. Análisis de diaclasas en rosetas	32
Figura 18. Estereograma de la estación geomecánica 01	35
Figura 19. Representación de la cantidad de planos de la estación 01	36
Figura 20. Estereograma de la estación geomecánica 02	38
Figura 21. Representación de la cantidad de planos de la estación 022	39
Figura 22. Estereograma de la estación geomecánica 03	41
Figura 23. Representación de la cantidad de planos de la estación 03	42
Figura 24. Estereograma de la estación geomecánica 04	44
Figura 25. Representación de la cantidad de planos de la estación 04	45
Figura 26. Estereograma de la estación geomecánica 05	47
Figura 27. Representación de la cantidad de planos de la estación 05	48
Figura 28. Estereograma de la estación geomecánica 06	50
Figura 29. Representación de la cantidad de planos de la estación 06	51
Figura 30. Estereograma de la estación geomecánica 07	53
Figura 31. Representación de la cantidad de planos de la estación 07	54
Figura 32. Estereograma de la estación geomecánica 08	56
Figura 33. Representación de la cantidad de planos de la estación 08	57
Figura 34. Estereograma de la estación geomecánica 09	59

	Pág.
Figura 35. Representación de la cantidad de planos de la estación 09	60
Figura 36. Estereograma de la estación geomecánica 10	62
Figura 37. Representación de la cantidad de planos de la estación 10	63
Figura 38. Estereograma de la estación geomecánica 11	65
Figura 39. Representación de la cantidad de planos de la estación 11	66
Figura 40. Estereograma de la estación geomecánica 12	68
Figura 41. Representación de la cantidad de planos de la estación 12	69
Figura 42. Estereograma de la estación geomecánica 13	71
Figura 43. Representación de la cantidad de planos de la estación 13	72
Figura 44. Estereograma de la estación geomecánica 14	74
Figura 45. Representación de la cantidad de planos de la estación 14	75
Figura 46. Estereograma de la estación geomecánica 15	77
Figura 47. Representación de la cantidad de planos de la estación 15	78
Figura 48. Estereograma de la estación geomecánica 16	80
Figura 49. Representación de la cantidad de planos de la estación 16	81
Figura 50. Estereograma de la estación geomecánica 17	83
Figura 51. Representación de la cantidad de planos de la estación 17	84
Figura 52. Estereograma de la estación geomecánica 18	86
Figura 53. Representación de la cantidad de planos de la estación 18	87

RESUMEN

La investigación se desarrolló en el túnel de la Central Hidroeléctrica Potrero, en el Distrito de José Villanueva, Provincia de San Marcos, Departamento de Cajamarca - Perú, consta de una excavación de 170.2 m. Tiene como objetivos determinar la Inestabilidad Geomecánica que presenta el túnel, para lo cual se ha establecido 18 estaciones geomecánicas tomando datos después de cada voladura. Se evaluó la parte geológica a través del cartografiado geológico subterráneo, que permitió tomar datos como Rumbo y Buzamiento para saber el comportamiento de las familias de diaclasas y el tipo de litología en el túnel (Formación Chimu). Obteniendo siete sistemas de discontinuidades (D1 al D7), siendo las más representativas D2, D3 y D6 presentes en casi todo el eje del túnel. Se evaluó la parte geomecánica a través de la matriz geomecánica donde se pudo obtener datos del macizo rocoso y determinar su clasificación geomecánica en cada estación, clasificándola como una roca tipo II (buena calidad) y roca tipo III (regular calidad), para lo cual se debe reforzar con pernos cementados de 2.10m colocados puntualmente (roca tipo II) y pernos cementados de 2.10m con espaciado 1.80 x 1.80m (roca tipo III). Se comprobó la formación de cuñas y su comportamiento con respecto a la dirección del túnel en algunas de las estaciones geomecánicas mediante el software Dips V6. Realizado todos estos estudios se concluyó que el túnel de la Central Hidroeléctrica Potrero presenta inestabilidad Geomecánica.

Palabras claves: Geomecánica, geología, inestabilidad, diaclasas, cuñas.

ABSTRACT

The research was carried out in the tunnel of the Potrero Hydroelectric Power Plant, in the District of José Villanueva, Province of San Marcos, Department of Cajamarca - Peru, consists of an excavation of 170.2 m. It has as objectives to determine the Geomechanical Instability presented by the tunnel, for which 18 geomechanical stations have been established taking data after each blasting. The geological part was evaluated through the underground geological mapping, which allowed to take data such as Rumbo and Buzamiento to know the behavior of the families of diaclases and the type of lithology in the tunnel (Chimu Formation). Obtaining seven systems of discontinuities (D1 to D7), being the most representative D2, D3 and D6 present in almost the whole axis of the tunnel. The geomechanical part was evaluated through the geomechanical matrix where it was possible to obtain data of the rocky massif and to determine its geomechanical classification in each station, classifying it as a rock type II (good quality) and rock type III (regular quality), for which Should be reinforced with 2.10m (2-meter) cemented stud bolts (type II rock) and 2.10m-long stud bolts with 1.80 x 1.80m (rock type III) spacing. The formation of wedges and their behavior with respect to the direction of the tunnel in some of the geomechanical stations was verified by the software Dips V6. All of these studies concluded that the tunnel of the Hydroelectric Potrero presents Geomechanical instability.

Key words: Geomechanics, geology, instability, diaclases, wedges.

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

Geológicamente, el túnel de la Central Hidroeléctrica Potrero – San Marcos, está conformado por rocas de edad del jurásico superior y cretáceo inferior, mayormente areniscas. Geomecánicamente, presenta problemas de inestabilidad de cuñas, debido a que la litología está afectada por discontinuidades, lo cual condiciona la inestabilidad por las infiltraciones que producen flujos de aguas turbulentas ligadas a las condiciones climáticas.

Con la presente investigación se intenta encontrar respuesta a la siguiente pregunta: ¿Cuál es la evaluación geomecánica del túnel de la Central Hidroeléctrica Potrero - San Marcos - Cajamarca?, para lo cual se tiene la siguiente hipótesis: El túnel de la Central Hidroeléctrica Potrero – San Marcos, está construido sobre rocas areniscosas, la cuales presentan bastantes discontinuidades y flujos debido a las infiltraciones, lo cual define su comportamiento geomecánico y geotécnico para la construcción del túnel. Dichas variables al interactuar en conjunto producen inestabilidad en el túnel.

La evaluación del túnel de la Central Hidroeléctrica Potrero de 170.02 m. permitirá determinar el comportamiento geomecánico del terreno a lo largo del eje de diseño, asimismo se identificó zonas de incidencia en la inestabilidad del túnel durante y después de la construcción.

Por esta razón es importante realizar la respectiva evaluación del túnel la cual servirá como base para estudios posteriores que se realicen en la zona de estudio

y circundantes, así como para tomar las medidas de control, mitigación y aumentar la vida útil de la obra beneficiando al proyecto.

Como objetivo general tenemos: Evaluar el comportamiento geomecánico del túnel en la Central Hidroeléctrica el Potrero - San Marcos – Cajamarca; los objetivos específicos que se desarrollaron son los siguientes: cartografiar las unidades geológicas, cartografiar las unidades geomecánicas, elaborar el plano geomecánico e interpretar las zonas de peligro.

El túnel de la Central Hidroeléctrica Potrero – San Marcos, está construido sobre rocas areniscosas, la cuales presentan bastantes discontinuidades y flujos debido a las infiltraciones, lo cual define su comportamiento geomecánico y geotécnico para la construcción del túnel. Dichas variables al interactuar en conjunto producen inestabilidad en el túnel.

En el capítulo I se detalla la ubicación y objetivos de la investigación, en el capítulo II se detalla el marco teórico y definiciones generales de geomecánica, en el capítulo III se detalla la metodología utilizada en la investigación, en el capítulo IV se realizó el análisis y discusión de resultados y en el capítulo V se determinó las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes Teóricos de la Investigación

Rivera (1980), Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba, que corresponde al Boletín N° 31. Estudio en el que se realizó el levantamiento geológico regional para conocer las características geológicas y tectónicas de las provincias, contribuyendo a ampliar los conocimientos de la constitución geológica de la zona, así como el potencial económico de la región. El área estudiada corresponde a un sector de la parte septentrional de la Cordillera Occidental disectado por numerosos valles, entre los cuales destacan el Jequetepeque y el Chicama. Longitudinalmente, esta cordillera está dividida por los valles interandinos de Cajamarca y Condebamba que convergen en el distrito Eduardo Villanueva (La Grama) para formar el río Crisnejas, llevando sus aguas al Marañón, que a su vez es afluente del río Amazonas. Geológicamente la zona de estudio está compuesta por rocas del paleozoico, mesozoico y cenozoico.

Aliaga (2003) realizó el Estudio Geológico-Geotécnico para la Rehabilitación de la Carretera Corral Quemado – Rio Nieva Tramo I: Puerto Naranjitos- Pedro Ruiz, en la provincia de Bagua, región de Amazonas; donde analiza tres factores importantes: Inestabilidad de Taludes, Deslizamientos y Precipitaciones Intensas, realizando además la zonificación geotécnica de la carretera. Fue presentado como Tesis en la Universidad Mayor de San Marcos.

Zavala y Rosado (2011) realizaron el estudio llamado Riesgo Geológico en la Región Cajamarca, que corresponde al Boletín N° 44 de la Serie C. En el que se realiza la evaluación de zonas críticas por peligros geológicos e hidrológicos en la Región Cajamarca, en los temas de evaluación de riesgos, movimientos en masa, peligros geológicos y otros. Fue publicado por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

Rodríguez (2013). Estudio tectónico del proyecto Central Hidroeléctrica Potrero. Indica que se encuentran evidencias de cuatro fases de deformación que se iniciaron en el Cretáceo tardío y que continúan durante el Cenozoico. Estas fases de deformación están evidenciadas por discordancias, pliegues y demás estructuras, evidenciadas en el área de trabajo. Aca las zonas plegadas de la cuenca se transforman en grandes sobreescurrecimientos que siguen fajas delgadas y paralelas, los pliegues alcanzan hasta 70 y 80 km. de longitud, con anchos promedios de 4-5 km., notándose una buena competencia en las cuarcitas del grupo Goyllarisquizga, especialmente las de Chimú, que en la mayoría de los casos, representan los núcleos de los grandes anticlinales.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Central Hidroeléctrica Potrero

La Central Hidroeléctrica Potrero, consiste en una “Central de Pasada”, es decir no considera embalse alguno, aprovechará los recursos hídricos del Río Crisnejas, con un salto neto de 125.38 m. El proyecto plantea aprovechar el salto hidráulico existente entre la cota de captación a los 1948.50 m.s.n.m. hasta los 1808.45 m.s.n.m. del eje de la turbina. Luego de las pruebas y puesta en marcha de la central, se interconectará al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional a través del sistema eléctrico existente Cajamarca - San Marcos – Cajabamba, en 60 KV.

El cierre del cauce es mediante un dique de concreto, la captación está en la margen izquierda, entregando a un corto canal cubierto, y luego a un desarenador; posteriormente la conducción es mediante canal cubierto de similares característica del anterior, el canal entrega a un túnel a pelo libre, este culmina en una cámara de

carga en subterráneo, allí inicia el conducto forzado con un pique vertical, posteriormente desarrolla en horizontal y subterráneo hasta llegar a una semi-caverna, a la salida en superficie, donde se ha ubicado la cámara de válvula, finalmente la conducción es en tubería enterrada hasta entregar a la casa de máquinas. (Arango, 2011).

2.2.2. Modelización en Ingeniería Geológica

González de Vallejo et al. (2004). Señalan que la ingeniería geológica tiene sus fundamentos en la geología y en el comportamiento mecánico de los suelos y las rocas. Incluye el conocimiento de las técnicas de investigación del subsuelo, tanto mecánicas como instrumentales y geofísicas, así como los métodos de análisis y modelización del terreno. La metodología de estudio responde en términos generales a la secuencia descrita a continuación:

- Identificación de materiales y procesos. Definición de la geomorfología, estructuras, litología y condiciones del agua subterránea.
- Investigación geológica-geotécnica del subsuelo.
- Distribución espacial de materiales, estructuras y discontinuidades.
- Condiciones hidrogeológicas, tensionales y ambientales.
- Caracterización de propiedades geomecánicas, hidrogeológicas y químicas.
- Caracterización de los materiales geológicos utilizados en la construcción, extracción de recursos naturales y trabajos de protección medioambiental.
- Comportamiento geológico-geotécnico bajo las condiciones del proyecto.
- Evaluación del comportamiento mecánico o hidráulico de suelos y macizos rocosos. Predicción de los cambios de las anteriores propiedades con el tiempo.
- Determinación de los parámetros que deben ser utilizados en los análisis de estabilidad para excavaciones, estructuras de tierras y cimentaciones.
- Evaluación de los tratamientos del terreno para su mejora frente a filtraciones, asentos, inestabilidad de taludes, desprendimientos, hundimientos, etc.
- Consideraciones frente a riesgos geológicos e impactos ambientales.

- Verificaciones y adaptación de los resultados del proyecto a las condiciones geológico-geotécnicas encontradas en obra. Instrumentación y auscultación.

Para el desarrollo completo deben definirse tres tipos de modelos.

Modelo Geológico: Representa la distribución espacial de los materiales, estructuras tectónicas, datos geomorfológicos e hidrogeológicos, entre otros, presentes en el área de estudio y su entorno de influencia, (González de Vallejo et al. 2004).

Modelo Geomecánico: Representa la caracterización geotécnica e hidrogeológica de los materiales y su clasificación geomecánica, (González de Vallejo et al. 2004).

Modelo Geotécnico: Representa la respuesta del terreno durante la construcción y después de la misma, (González de Vallejo et al. 2004).

Esta metodología constituye la base de las siguientes aplicaciones de la ingeniería geológica a la ingeniería civil y al medio ambiente.

- Infraestructuras para el transporte.
- Obras hidráulicas, marítimas y portuarias.
- Edificación urbana, industrial y de servicios.
- Centrales de energía (aplicación en esta investigación)
- Minería y canteras.
- Almacenamientos para residuos urbanos, industriales y radiactivos.
- Ordenamiento del territorio y planificación urbana.
- Protección civil y planes de emergencia.

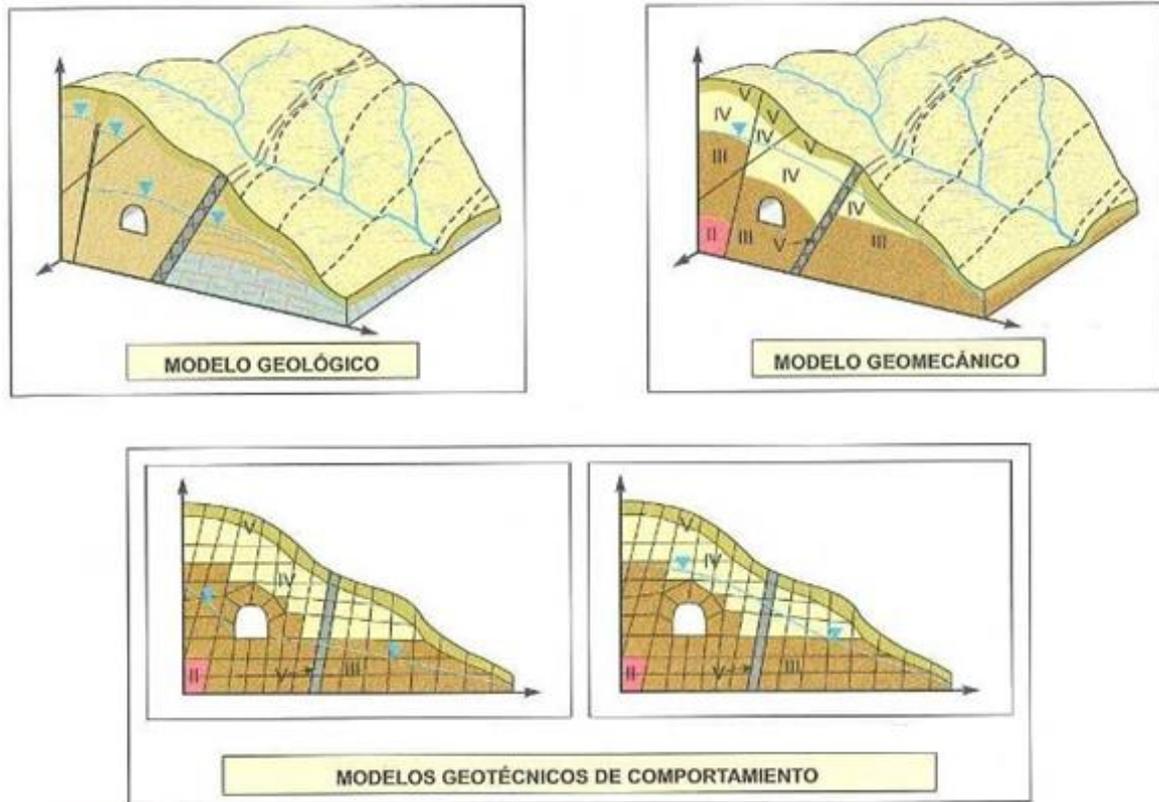


Figura 1. Ejemplos de modelización en ingeniería geológica.
González De Vallejo, 2004.

2.2.3. Clasificaciones Geomecánicas de las Rocas

Índice de Resistencia Geológica (GSI)

Creado por Hoek en 1994 es un índice de calidad geomecánica para los macizos rocosos cuyo rango numérico, comprendido entre 0 y 100, se basa en la identificación y clasificación en campo de dos de las características físico - mecánicas de un macizo rocoso:

- La macro estructura
- La condición de las superficies de las discontinuidades.

Según este índice, la fuerza de un macizo, depende de las propiedades de los bloques de roca intacta y también sobre la capacidad de ellas de resistirse al deslizamiento y rotación entre sí. (Hoek, 1994).

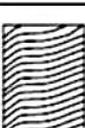
INDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA (GSI) PARA LAS ROCAS METAMÓRFICAS DE LA CORDILERA DE LA COSTA DE VENEZUELA		BRECHADA/CIZALLADA				
<p>A partir de la descripción de la estructura y las condiciones de la superficie de la masa rocosa, seleccionar el intervalo apropiado de esta gráfica. Estimar el valor promedio del GSI de dicho intervalo. No intentar ser tan preciso. Escoger un rango de GSI de 36 a 42 es más aceptable que fijar un GSI=38. También es importante reconocer que el criterio de hoek-brown debería ser aplicado solamente en macizos rocosos donde el tamaño de los bloques o fragmentos es pequeño comparado con el tamaño de la excavación a ser evaluada. Cuando el tamaño de los bloques individuales es aproximadamente mayor a un cuarto de la dimensión de la excavación, generalmente la falla estaría controlada por la estructura y el criterio de hoek-brown no debería ser utilizado.</p>		<p>MUY BUENA Rugosa, superficies cerradas sin meteorización</p> <p>BUENA Rugosa, ligeramente meteorizada, abertura < 1mm, rellenos duros</p> <p>MEDIA Plana, moderadamente meteorizada, abertura 1 - 5 mm, rellenos duros y blandos</p> <p>MALA Espejos de falla, superficies muy meteorizadas con abertura > 5 mm, predominan los rellenos blandos</p> <p>MUY MALA Espejos de falla, superficies muy meteorizadas y abiertas con rellenos blandos</p>				
ESTRUCTURA		DISMINUCION EN CALIDAD DE SUPERFICIE →				
	INTACTA O MASIVA: macizo rocoso con pocas discontinuidades, carentes de planos de foliación. Ej. Cuarzitas, anfibolitas o mármoles	90		N/A	N/A	N/A
	POCO FOLIADA: macizo rocoso parcialmente fracturado con hasta tres sistemas de discontinuidades. Puede contener intercalaciones delgadas de rocas foliadas. Ej. Cuarzita fracturada intercalada ocasionalmente con esquistos y/o filitas	80				
	MODERADAMENTE FOLIADA: macizo rocoso fracturado constituido por intercalaciones de rocas foliadas y no foliadas en proporciones semejantes. Ej. Intercalaciones de esquistos y/o filitas con mármoles fracturados en proporción similar	70				
	FOLIADA: macizo rocoso plegado y/o fallado, muy fracturado, donde predominan las rocas foliadas, con ocasionales intercalaciones de rocas no foliadas. Ej. Esquistos y/o filitas muy fracturadas intercaladas ocasionalmente con mármoles lenticulares	60				
	MUY FOLIADA: macizo rocoso plegado, altamente fracturado, constituido unicamente por rocas muy foliadas. Ej. Esquistos y/o filitas muy fracturadas sin la presencia de mármoles, gneises o cuarzitas	50				
	BRECHADA/CIZALLADA: macizo rocoso muy plegado, alterado tectónicamente, con aspecto brechoide. Ej. Brecha de falla o zona influenciada por fallas cercanas	40				
		30				
		20				
		10				
		5				
		N/A	N/A			

Figura 2. Clasificación según el índice de resistencia geológica, GSI. Truzman, 1999

Tabla 1. Calidad del macizo rocoso en relación al índice GSI. Truzman, 1999

Clase	Calidad	GSI
I	Muy Buena	80 - 100
II	Buena	60 - 80
III	Regular	40 - 60
IV	Mala	20 - 40
V	Muy Mala	< 20

Índice de Calidad de la Roca (RQD)

El índice de designación de la calidad de la roca RQD (Rock Quality Designation Index) proporciona un valor estimado cuantitativo de la calidad del macizo rocoso a partir de testigos de perforación diamantina principalmente y de afloramientos en superficie. (Deere, 1967).

Cálculo Del RQD para sondeos

Para el cálculo del RQD para sondeos se utiliza la siguiente fórmula:

$$R. Q. D. = \left[\frac{\sum \text{Longitud de fragmento} \geq 10\text{cm}}{\text{Longitud total de la perforación}} \right] \times 100$$

Cálculo Del RQD para una línea de mapeo

Cuando no se dispone de núcleos de perforación, el RQD puede ser estimado a partir de una línea o de un área de mapeo, como se describe a continuación:

Para una línea de mapeo, se puede obtener el promedio del espaciado de las discontinuidades (número de discontinuidades dividida entre la longitud de la línea de muestreo). El RQD obtenido de esta manera, se puede calcular con la siguiente ecuación:

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

Dónde: λ = (Número de discontinuidades) / (longitud total de muestreo).

Tabla 2. Índice de calidad de la roca. ISRM, 1981

RQD %	Calidad
< 25	Muy Mala
25 - 50	Mala
50 - 75	Media
75 - 90	Buena
90 - 100	Muy Buena

Clasificación de macizo rocoso (RMR)

Desarrollada por Bieniawski en 1973, con actualizaciones en 1979 y 1989. Esta clasificación tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos:

- (1) Resistencia uniaxial de la matriz rocosa: ensayo de compresión simple.
- (2) Grado de fracturación del macizo: ensayo RQD.
- (3) Espaciado de las discontinuidades: separación entre diaclasas (m).
- (4) Condiciones de las discontinuidades: rugosidad, continuidad, relleno.
- (5) Condiciones hidrogeológicas: caudal, presión de agua, humedad.

$$RMR = (1) + (2) + (3) + (4) + (5)$$

Estos factores se cuantifican definiendo valores para cada parámetro, cuya suma, en cada caso, nos da el índice de calidad del RMR que varía entre 0 y 100 (mayor cuanto mejor es la calidad de la roca).

Tabla 3. Calidad del macizo rocoso. González et al. 2004

CLASE	CALIDAD	VALORACIÓN RMR	COHESIÓN	ÁNGULO DE ROZAMIENTO
I	Muy buena	100 - 81	> 4 kg/cm ³	> 45°
II	Buena	80 - 61	3 - 4 kg/cm ³	35° - 45°
III	Media	60 - 41	2 - 3 kg/cm ³	25° - 35°
IV	Mala	40 - 21	1 - 2 kg/cm ³	15° - 25°
V	Muy mala	< 20	< 1 kg/cm ³	< 45°

Tabla 4. Clasificación Geomecánica según Bieniawski, 1989. RMR.

1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo de Carga Puntual	> 10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	Compresión Simple MPa		
		Compresión Simple	> 250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 Mpa	1 - 5 Mpa	< 1 Mpa
	Puntuación	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD (%)		100 - 90	90 - 75	75 - 50	50 - 25	< 25		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	2 - 0,6 m	60 - 20 cm	20 - 6cm	< 6 cm		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Discontinuidades	Longitud de la Discontinuidad	< 1 m	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 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	Relleno Duro	Relleno Blando	Relleno Blando		
				< 5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
Puntuación	6	5	3	1	0				
5	Flujo de agua en las discontinuidades	Relación P / σ principal	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5		
		Condiciones General	Completamente Secas	Ligeramente Húmedas	Húmedas	Goteando	Agua Fluyendo		
	Puntuación		15	10	7	4	0		

2.2.4. Inestabilidad en excavación de túneles.

Existen varios tipos de condiciones naturales que pueden generar problemas de estabilidad al excavar un túnel, como son: la orientación desfavorable de discontinuidades, la orientación desfavorable de los esfuerzos in situ respecto al eje del túnel, flujo de agua hacia el interior de la excavación a través de fracturas, acuíferos o rocas cársticas, la formación de cuñas o bloques inestables por combinación de algunas familias de discontinuidades con el contorno abierto por el túnel. (Goodman, 1989).

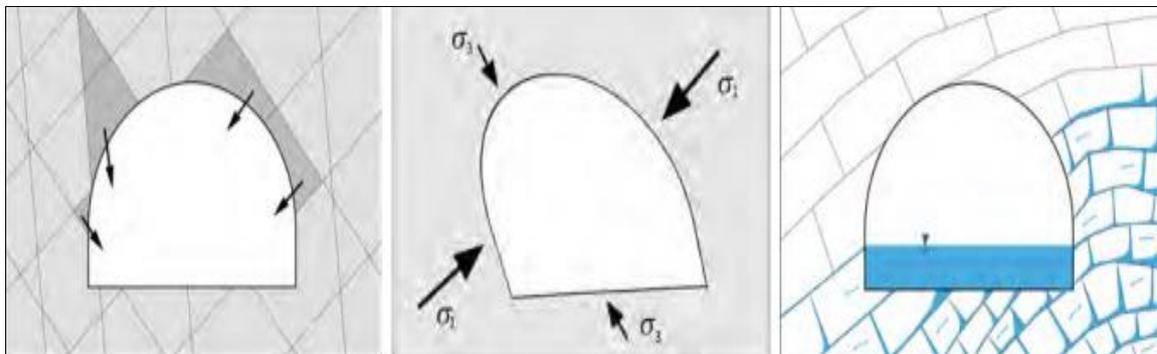


Figura 3. Condiciones naturales de inestabilidad en excavación de túneles.

Por otro lado, la excavación del túnel genera una serie de procesos inducidos que se suman a las condiciones naturales:

- a) Pérdida de resistencia del macizo que rodea la excavación como consecuencia de la descompresión creada (rotura del material, apertura de discontinuidades, fisuramiento por voladuras, alteraciones, flujo de agua hacia el interior del túnel).
- b) Reorientación de los campos tensionales.
- c) Otros efectos como subsidencias en superficie, movimientos de ladera, cambios en el régimen de los acuíferos.

Las condiciones de estabilidad del túnel estarán determinadas por la respuesta del macizo rocoso ante las acciones naturales, así como ante las inducidas; las medidas necesarias de soporte, estabilización y reforzamiento del terreno serán función de la combinación de acciones que resulte más desfavorable para la estabilidad. (Goodman, 1989).

2.2.5. Túneles sujetos a desprendimientos de bloques o cuñas

En casos de túneles donde la estructura del macizo rocoso está definida por distintas familias de discontinuidades (fracturas, estratificación, foliación), la estabilidad de la excavación puede estar regida por la potencial formación de bloques o cuñas inestables. En el proyecto deben definirse los mecanismos cinemáticamente admisibles de inestabilidad basados en la cartografía estructural que se lleva a cabo durante la campaña de estudios y posteriormente durante el seguimiento de la obra.

El procedimiento más común consiste en definir cuñas-tipo, basándose en técnicas estadísticas y con éstas revisar los sostenimientos propuestos para la excavación; para fines de cálculo estructural, resulta conveniente implementar técnicas de análisis de sensibilidad tales que, puedan acotar los niveles de seguridad para rangos amplios de posibles situaciones geotécnicas.

El estudio de la estabilidad debe basarse en una rigurosa recolección de datos estructurales representativos y en cantidad suficiente para tratar estadísticamente la información. Desafortunadamente la mayor parte de los datos que es posible recolectar durante la fase de estudios y proyecto proviene de la superficie del terreno (las muestras extraídas de los sondeos representan información muy puntal que muchas veces no alcanza la profundidad de la excavación), donde las condiciones de alteración y descompresión del macizo suelen ser muy distintas a las que encontrará el túnel en profundidad. Por lo anterior, la estabilidad de una excavación regida por la formación de bloques, sólo puede calcularse de forma estimativa, basándose en una serie de hipótesis sobre la orientación y las condiciones de las juntas, que sólo serán verificables durante la ejecución de la obra. (Gavilanes, 2004).

Los pasos a seguir para tratar el problema de cuñas potencialmente inestables son los siguientes:

- Determinar las orientaciones y buzamientos promedio de las familias más representativas.

- Identificar las cuñas potenciales, tanto las que pueden deslizar como las que pueden caer.
- Calcular el factor de seguridad de dichas cuñas, dependiendo del modo de falla.
- Calcular la cantidad de refuerzo requerido para que el factor de seguridad de cada cuña esté dentro de un rango aceptable.

La técnica más comúnmente utilizada para la representación de las cuñas y sus modos de falla es a través de estereogramas. (Gavilanes, 2004).

Representación estereográfica de las cuñas y/o bloques potencialmente inestables

La cuña se forma a partir de la intersección de dos o más planos de discontinuidad (diaclasas, fallas, estratificación, esquistosidad). Un plano de discontinuidad suele definirse por su inclinación respecto a la horizontal; a esta inclinación se le denomina buzamiento o echado (Dip); a la orientación azimutal de la línea de máxima pendiente se le denomina dirección del echado o rumbo (Dip Direction), estos datos son necesarios e indispensables en la elaboración de una proyección estereográfica, para lo cual es necesario:

- Recolectar los datos estructurales más representativos de la zona y determinar las familias de discontinuidades.
- Definir la orientación de los planos mayores de falla
- Conocer la orientación del eje de proyecto
- Determinar las combinaciones de familias más desfavorables para la clave y las paredes del túnel (formación de cuñas).

La proyección estereográfica es una herramienta esencial que permite realizar una representación visual de los planos de discontinuidad en 3D (o en 2D) y comprender la geometría de las cuñas potenciales. (Evert Hoek, 1995).

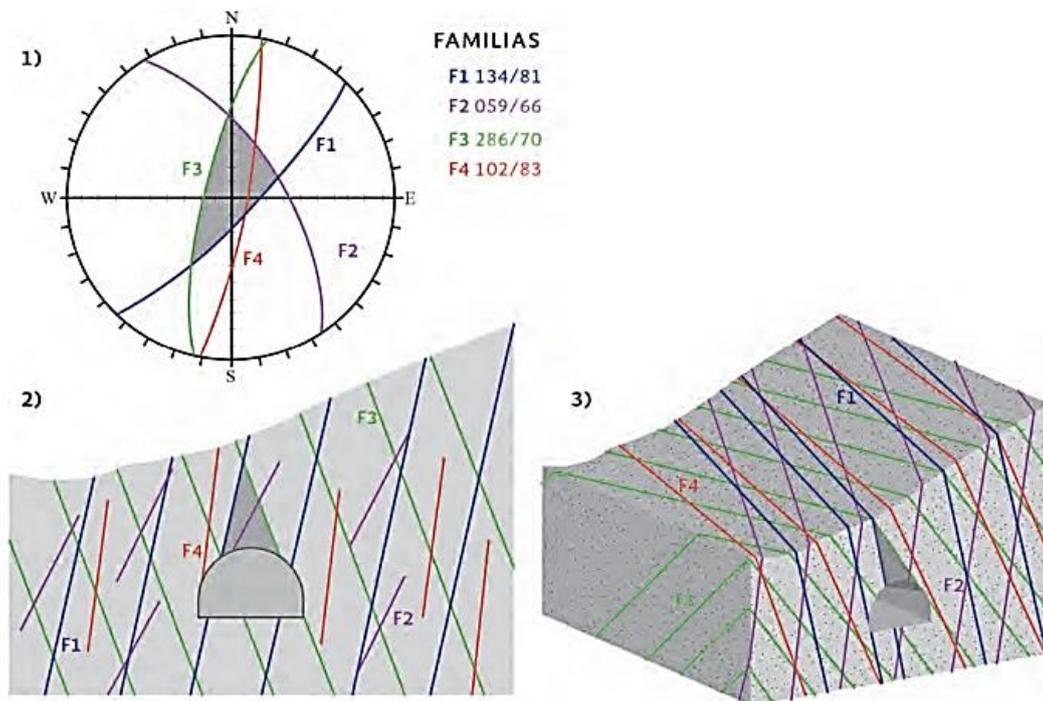


Figura 4. 1) Proyección estereográfica de cuña crítica, 2) Representación en sección transversal, 3) Representación en bloques.

2.2.6. Sostenimiento Con Pernos Helicoidales

Las Barras Helicoidales son pernos de adhesión, que trabajan sin tensionar el perno sino por adherencia a las paredes del taladro, en combinación con un mortero de cemento o resina. Este sistema está constituido por 3 elementos:

- a) Perno, que viene a ser una barra de acero laminado en caliente con una sección transversal ovalada y resaltes en forma de filete helicoidal de paso amplio en toda su longitud.
- b) una placa de acero perforada o con un diseño piramidal.
- c) Una tuerca de fundición nodular.

Los pernos helicoidales son barras que tienen resaltes en forma de rosca helicoidal. Los resaltes actúan como anclaje y evitan el desplazamiento de la barra. Actúan en conjunto con la placa y tuerca para evitar el desplazamiento de la barra y también para reforzar la resistencia natural de los estratos y pendientes al usar los morteros o resinas correspondientes. (Robles, 1994).

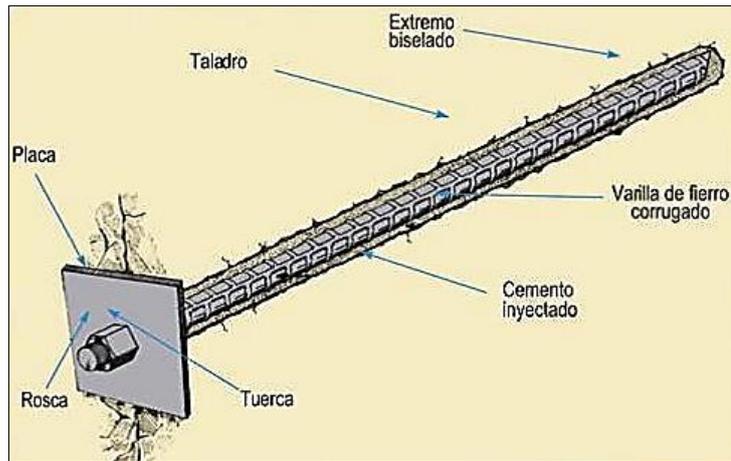


Figura 5. Instalación de perno helicoidal.

2.2.7. Criterio de rotura de macizos rocosos

Hoek (1983 y 2007), reconoce las diversas escalas de un macizo rocoso y establece que el criterio de rotura de Hoek-Brown (comportamiento isótropo), solo es aplicable en aquellos casos en los que exista un número elevado de juntas con condiciones de superficie similares.

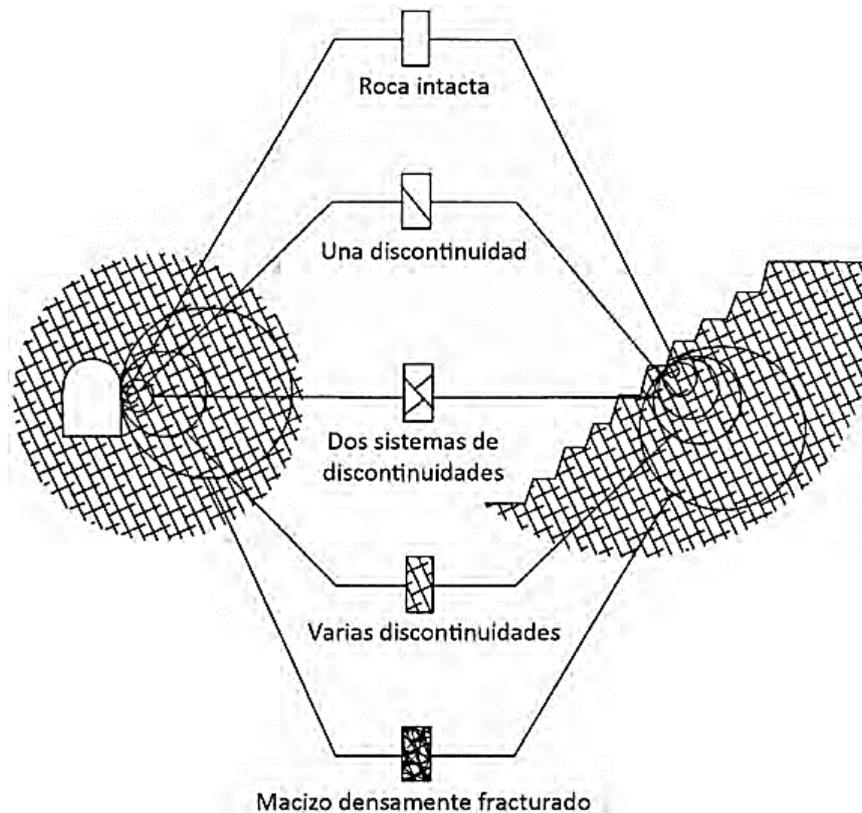


Figura 6. Rango de aplicabilidad del criterio de rotura de Hoek – Brown.

Barton (1996), también reconociendo este efecto escala postula que los medios continuos deben quedar relegados a macizos rocosos de calidad muy mala ($Q < 0.01$) o muy buena ($Q > 0.01$). Para el rango intermedio de Q , que según la correlación con el RMR propuesta por Barton (1995) supone $20 < \text{RMR} < 80$, recomienda el uso de elementos discretos.

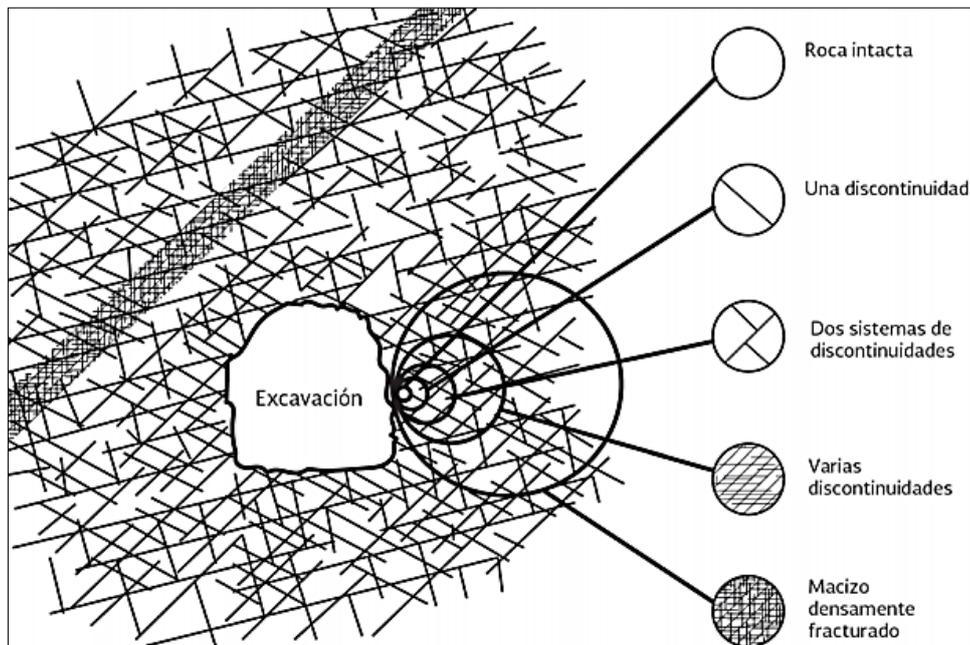


Figura 7. Rango de aplicación de modelos numéricos a partir de Barton.

Kaiser et al. (2000), relacionan los mecanismos de inestabilidad de túneles excavados en macizos rocosos en función de su RMR y del estado tensional caracterizado por la relación entre el esfuerzo principal mayor in-situ y la resistencia a compresión simple.

Tal como se aprecia en la Figura 7 para macizos rocosos masivos ($\text{RMR} > 75$) el papel que juegan las juntas es menor y los métodos continuos serían aplicables. Para valores de RMR inferiores a 75, los mecanismos de rotura involucran a las juntas. Para niveles tensionales bajos (con respecto a la resistencia a compresión simple de la roca intacta) podrían aplicarse elementos discretos con bloques rígidos.

Al aumentar el estado tensional se producen mecanismos que combinan el desplazamiento de bloques con la rotura frágil de la matriz rocosa. En estos casos serían de aplicación los elementos discretos con bloques deformables.

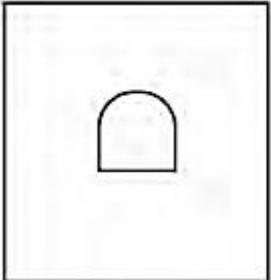
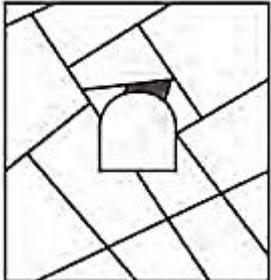
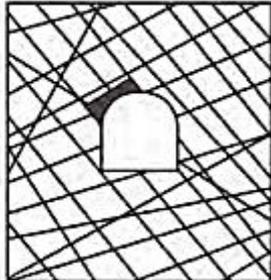
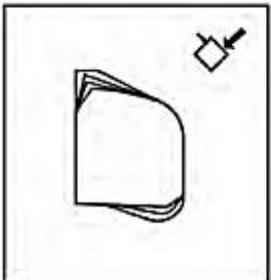
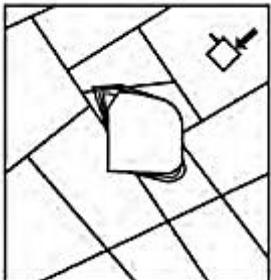
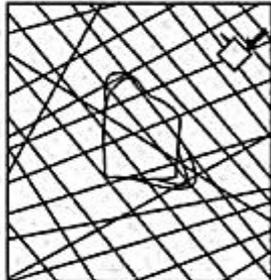
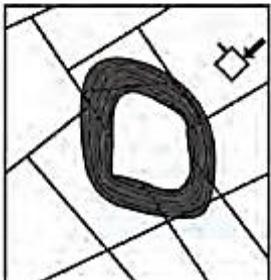
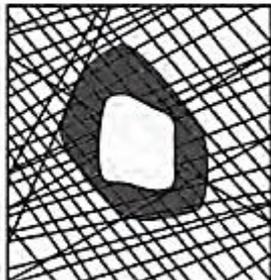
	Masiva (RMR>75)	Moderadamente fracturada (50≤RMR<75)	Muy fracturada (RMR<50)
Bajo nivel de esfuerzos ($\sigma_1/\sigma_3 < 0,15$)	 <p>Respuesta lineal elástica</p>	 <p>Bloques y cuñas que caen o deslizan</p>	 <p>Dislocamiento y caída de bloques del contorno excavado</p>
Nivel de esfuerzos medio ($0,15 > \sigma_1/\sigma_3 > 0,4$)	 <p>Falla frágil adyacente al contorno de la excavación</p>	 <p>Falla frágil localizada de la roca matriz y movimiento de bloques</p>	 <p>Falla frágil localizada de la roca matriz y dislocamiento a través de las discontinuidades</p>
Alto Nivel de esfuerzos ($\sigma_1/\sigma_3 < 0,4$)	 <p>Zona de falla Falla frágil alrededor de la excavación</p>	 <p>Falla frágil de la roca matriz alrededor de la excavación y movimiento de bloques</p>	 <p>Roca fluyente o expansiva comportamiento elastoplástico/continuo</p>

Figura 8. Mecanismos de inestabilidad en túneles. A partir de Kaiser.

Martin et al (2003), simplifican esta tipología de inestabilidad en tan solo tres clases. Para macizos rocosos con $GSI < 30$ si la resistencia a compresión simple es menor a dos veces el esfuerzo vertical se produce una deformación plástica; si el material es más competente se producen mecanismos gravitacionales con control estructural.

Este mismo mecanismo se produce para macizos rocosos con $GSI > 40$ y estados tensionales bajos mientras que para estados tensionales elevados se produce rotura frágil.

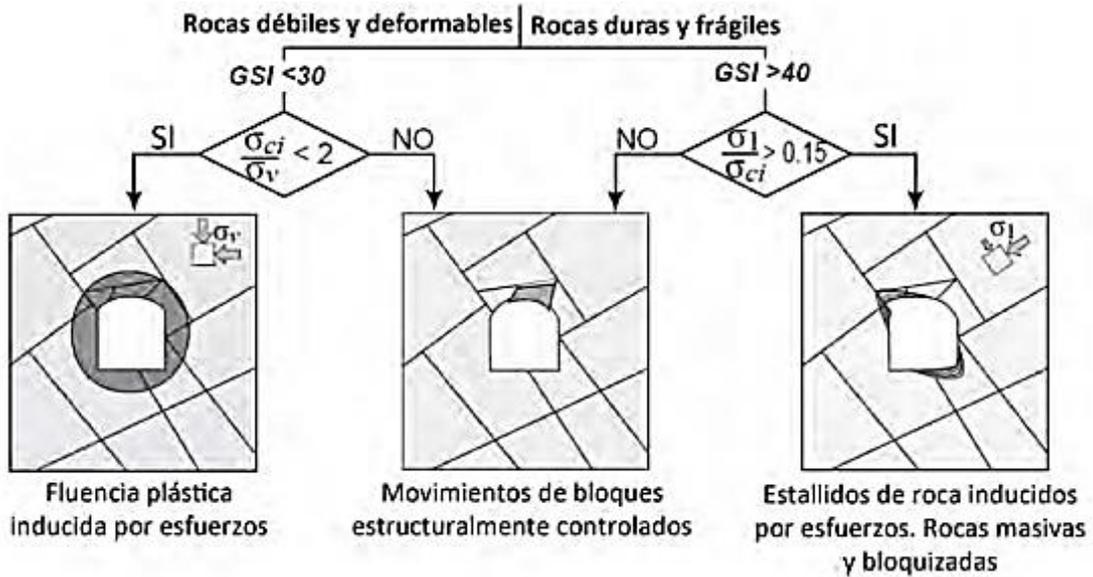


Figura 9. Mecanismos de inestabilidad Martin et al.

2.2.8. Propiedades y Parámetros de las Discontinuidades

La descripción y medida de las discontinuidades se realiza a cada familia de discontinuidades para cada afloramiento. Usando como parámetros: la orientación, espaciado, continuidad, rugosidad, abertura, relleno y grado de meteorización / alteración. (González De vallejo, 2002).

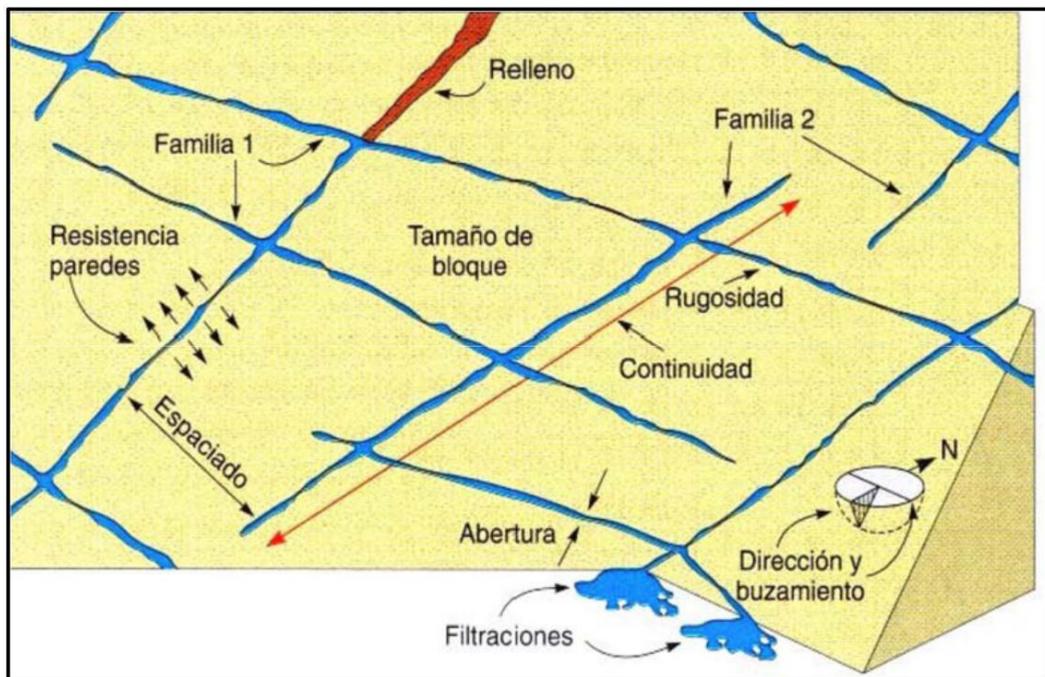


Figura 10. Propiedades geométricas de las discontinuidades. (González De Vallejo, 2002).

Tipos de Discontinuidades

a) Diaclasas o Juntas

Superficies de fractura, de desplazamiento inexistente o muy pequeño: J1, J2...

b) Fallas

Superficies de fractura, de desplazamiento relativo entre los bloques: F1, F2...

c) Planos de estratificación

Propio de rocas sedimentarias, limitan los estratos: S0...

d) Planos de esquistosidad

Propio de rocas metamórficas deformadas: S1, S2...

e) Superficies de laminación

Propio de rocas sedimentarias, se encuentran limitadas por láminas.

f) Superficies de contacto

Límite entre litologías, en rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas.

Descripción de las discontinuidades

a) Orientación

La orientación está referida a la dirección y buzamiento de las discontinuidades; así como a la obtención de familias de discontinuidades. (González De Vallejo, 2002).

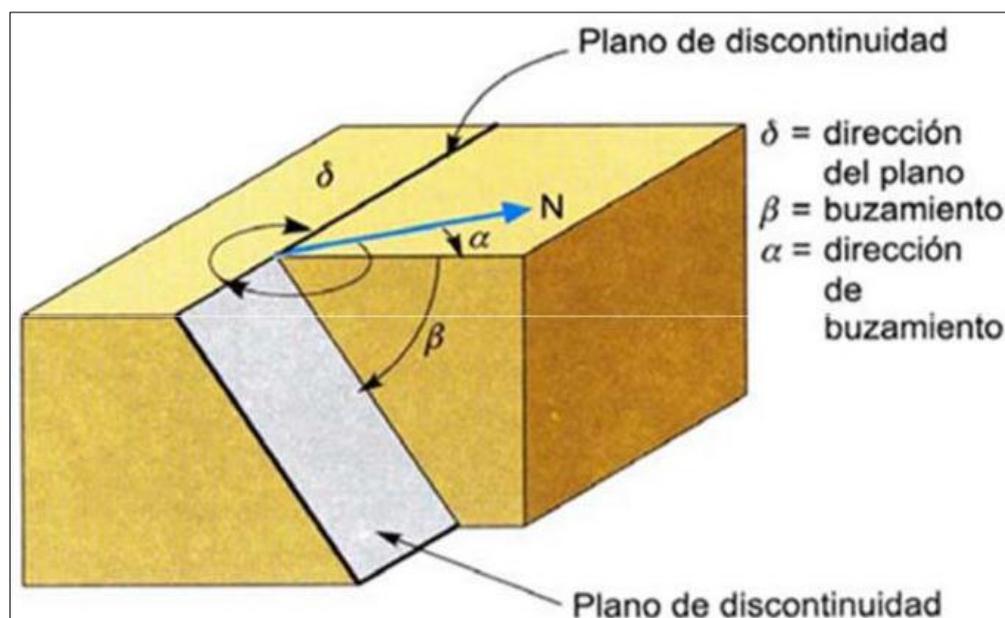


Figura 11. Dirección y buzamiento en un plano de discontinuidad. (González De Vallejo, 2002).

b) Espaciado

Se refiere a la distancia entre dos planos de discontinuidad de una misma familia y la medición del mismo se realiza con una cinta métrica colocada de forma perpendicular a los planos a ser medidos, registrándose la distancia entre discontinuidades adyacentes. (González De Vallejo, 2002).

En los testigos de perforación diamantina el espaciado se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Espaciado Promedio} = \frac{\text{Longitud evaluada (m)}}{\text{Número de discontinuidades}}$$

c) Continuidad o Persistencia

Longitud o extensión superficial del plano de la discontinuidad. (González De Vallejo, 2002).

d) Rugosidad

Son las irregularidades observadas a lo largo de las superficies de discontinuidad. La descripción de dicho parámetro se realiza de acuerdo a dos escalas: métrica y milimétrica, según la primera las superficies pueden ser: planas, onduladas o escalonadas y por la segunda pueden ser: pulidas, lisas o rugosas. (González De Vallejo, 2002)

e) Resistencia de las paredes

- Influye en la resistencia al corte y en la deformabilidad del plano de discontinuidad,
- Influida por: la roca matriz, el relleno y la meteorización (menor en las discontinuidades),
- Se determina a partir del martillo Schmidt o mediante los índices de campo: R0 – R6. (González De vallejo, 2002).

f) Abertura

Representa la distancia medida sobre la perpendicular común entre las paredes de la discontinuidad y su medida se realiza directamente con una regla graduada en milímetros. (González De Vallejo, 2002).

g) Relleno

Corresponde al material de naturaleza distinta a la roca de las paredes encontrado entre las discontinuidades. (González De Vallejo, 2002).

h) Filtraciones

El agua procede mayoritariamente del flujo en discontinuidades (permeabilidad secundaria), en rocas sedimentarias puede haber también permeabilidad en la matriz rocosa (permeabilidad primaria). (González De Vallejo, 2002).

i) Grado de alteración

Grado de alteración que se muestra en las superficies de las discontinuidades, por lo general es mayor al grado de alteración del macizo. (González De Vallejo, 2002).

2.3. Definición de términos básicos.

Túnel: Galería subterránea grande abierta artificialmente a través de un monte, por debajo de un río u otro obstáculo. Obra minera subterránea prácticamente horizontal, cuyos extremos comunican con superficie, (González De Vallejo, 2004).

Discontinuidad: Cambio abrupto en las propiedades físicas de materiales adyacentes en el interior de la Tierra, El término se refiere a superficies de debilidad, englobando diaclasas, fallas, grietas, fisuras, foliación y estratificación. (Salcedo, 1983).

Rock Mass Rating (RMR): Concepto del comportamiento de los macizos rocosos en donde se consideran las siguientes variables: orientación, espaciamiento, persistencia, rugosidad, resistencia de las paredes de la roca, apertura, relleno, filtraciones, (Gonzales De Vallejo, 2004).

Estratificación: Disposición paralela o subparalela que toman las capas de las rocas sedimentarias, durante su sedimentación, (Ortuño, 2002).

Deslizamiento en cuñas: Deslizamiento de un bloque en forma de cuña, formado por dos planos de discontinuidad a favor de su línea de intersección. Se cumple que el ángulo de talud es mayor que el buzamiento de la línea de intersección y éste mayor que el ángulo de rozamiento interno, (Gonzales De Vallejo, 2004).

Clasificación gemomecánica: Son métodos con los que se calcula la caracterización de las rocas para tener conocimiento de su comportamiento frente a esfuerzos e infiltraciones, (Oteo, 2002).

Flujo en túnel: Cantidad y dirección que toma cualquier fluido que sigue alguna discontinuidad y que llega al túnel, los cuales se calculan para poder definirlos según el RMR en su quinta variable, (Gonzales De Vallejo, 2004).

CAPÍTULO III.

MATERIALES Y METODOS

3.1. Ubicación

El túnel está ubicado en el departamento de Cajamarca, provincia de San Marcos, distrito de Eduardo Villanueva, a 5 Km al Sur - Este del Centro Poblado De Aguas Calientes.

Su ubicación política está en el distrito de Eduardo Villanueva, Provincia de San Marcos, departamento Cajamarca, se desarrolla en un tramo del río Crisnejas con coordenadas (UTM WG 84 - ZONA 17) , por el norte 9174234, por el este 823654 y con una cota de 1780 msnm.

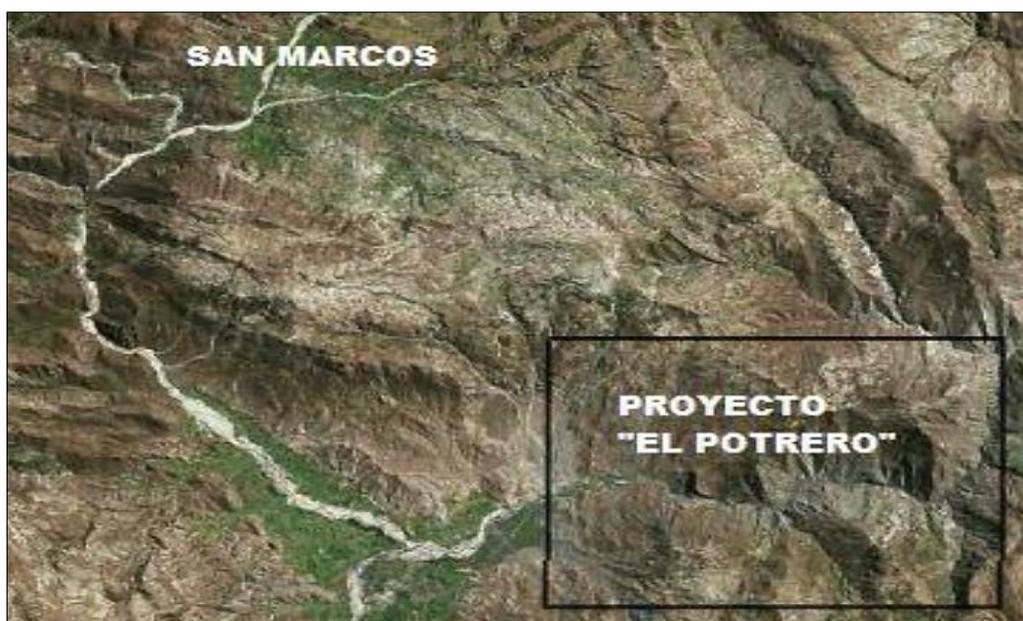


Figura 12. Ubicación del Proyecto Central Hidroeléctrica Potrero. SAS Planet 2015.

3.2. Accesibilidad

El acceso desde la ciudad de Cajamarca hasta el proyecto Central Hidroeléctrica Potrero esta descrito en la siguiente tabla:

Tabla 5. Accesibilidad al área de estudio

TRAMO	ACCESO	DISTANCIA (Km)	TIEMPO (Aprox.)
Cajamarca – San Marcos	Carretera Asfaltada	35	150 minutos
San Marcos – Aguas Calientes	Carretera Afirmada	120	75 minutos
Aguas Calientes – Proyecto CH. Potreros	Trocha Carrozable	5	30 minutos

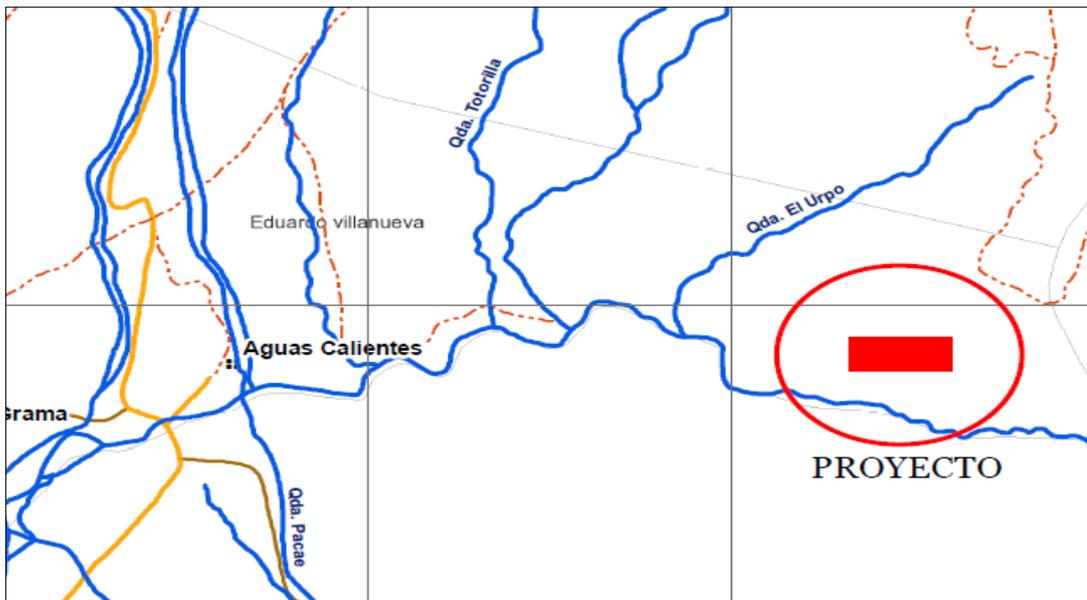


Figura 13. Accesibilidad al Proyecto Central Hidroeléctrica Potrero. Google Earth 2015

3.3. Clima

La zona del proyecto se caracteriza por tener un clima seco, templado y soleado. La temperatura máxima anual es de 22.6°C, la temperatura mínima anual es de 9.7°C, siendo la temperatura media anual de 16°C. La humedad relativa alcanza un promedio de 80% entre octubre y abril y 70% entre mayo y septiembre. Los vientos soplan con mayor intensidad en agosto. Los meses de lluvia son entre octubre y abril, y los meses de estiaje son entre mayo y septiembre. (Fuente: Memoria Descriptiva del Proyecto).



Figura 14. Clima en el Proyecto Central Hidroeléctrica Potrero.

3.4. Flora y Fauna

La zona presenta una flora diversa tales como huarango, molle, tuna, eucalipto, naranja, lima, plátano, mango, huayaba, caña, pauquillo, ñul, retama, chilca, pauco, tara, carrizo, penca, aliso, cactus, congona, etc. Los cultivos son comunes como maíz, trigo, cebada, ocas, ollucos, papas. La fauna es muy variada, siendo común en fauna doméstica ganado vacuno, porcino, ovino, caprino, cuyes, conejos y caballos. En aves tenemos águila, paloma, gavián, tortolita, guardacaballo, picaflor, putilla, turrache, chisco, jilguero, huanchaco, perico y golondrina. En peces existen sardina, sharcoca, dorado lambo, shagán y life. (Fuente: Memoria Descriptiva del Proyecto).

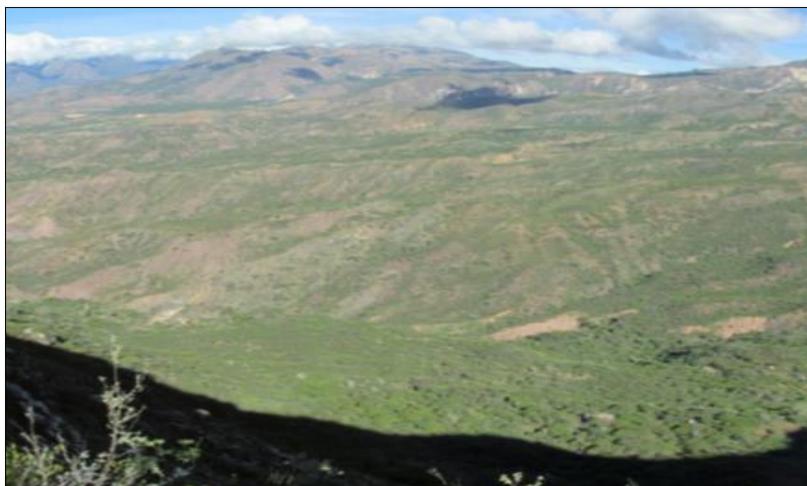


Figura 15. Flora en el Proyecto Central Hidroeléctrica Potrero.

3.5. Tipo de Estudio

La metodología desarrollada consiste en una investigación descriptiva y correlacional, teniendo como base los datos obtenidos en campo, posteriormente en gabinete proponer los puntos y estaciones geomecánicas de control, así como reconocer las unidades estructurales y litológicas a lo largo del eje del túnel, con los que se generaran las interpretaciones y conclusiones. Hay que tener en cuenta que dichos datos obtenidos en campo son reales y no están sujetos a ser manipulados o modificados, generando resultados objetivos que fueron analizados por el tesista.

Tabla 6. Metodología de la investigación

CRITERIO	INVESTIGACIÓN
Finalidad	Básica
Estrategia o Enfoque Teórico Metodológico	Cuantitativo
Objetivos (alcances)	Descriptiva
Fuente de Datos	Mixta
Control de diseño de la prueba	No experimental
Temporalidad	Transversal (correlacional –causal)
Contexto donde se realizará	Campo y gabinete

Fuente: Vieytes (2004), Estrada (1994); Ruíz-Rosado (2006).

3.6. Población y Muestra

3.6.1. Población de estudio

Conformado por el túnel de la Central Hidroeléctrica Potrero asociado a la litología y a las discontinuidades.

3.6.2. Muestra

Los 18 puntos de muestreo geomecánico, por medio de la matriz geomecánica.

3.6.3. Unidad de Análisis

Zonas críticas del túnel, mediante la clasificación del macizo rocoso (RMR).

3.7. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

3.7.1. Materiales y Equipos

Carta Geológica (1:100 000), nos ayuda a reconocer las diferentes litologías para una mejor interpretación y análisis.

Imagen satelital: Sirvió como instrumento de recolección de datos, referenciales a la entrada y salida del túnel así como también al eje en superficie del túnel.

3.7.2. Descripción y tipo de instrumentos de investigación

Los equipos e instrumentos que se usaron en el presente trabajo de investigación son:

Tablero: usado como soporte y plataforma para manipular planos y tablas geomecánicas.

Libreta De Campo: Utilizada para la toma de datos de campo y para la realización de los diferentes croquis o dibujos observados en el campo.

Brújula Brunton: Que sirve para medir la orientación e inclinación de las diferentes estructuras como fallas, diaclasas, fracturas y discontinuidades.

Flexómetro: utilizado para la medición de longitudes en las estaciones geomecánicas.

Picota: Instrumento utilizado para extracción de muestras en cada salida de campo.

Rayador: Instrumento utilizado para el reconocimiento de las propiedades físicas de las muestras.

Lupa Iwamoto 20X: Usada para visualizar estructuras y minerales que a simple vista no es posible.

Ácido: Utilizado para comprobar las composición químicas de las muestra observables.

Sistema De Posicionamiento Global (GPS): utilizado para la ubicación en el lugar de la toma de datos, las lecturas tomadas son las de entrada y salida del túnel.

Cámara Fotográfica Digital: Dispositivo electrónico usado para capturar y almacenar fotografías, sonidos y videos electrónicamente en formato digital.

Computadora: Maquina electrónica que recibe, procesa y analiza datos ingresados y manipulados por el ser humano.

3.8. Metodología

3.8.1. Etapa Preliminar de Gabinete

Matriz geomecánica: Sirve para recopilar información y están definidos para entender el comportamiento del macizo rocoso, sus discontinuidades, sus estructuras y su RMR. Su utilización permite al investigador ser más objetivo.

Observación: Esta técnica se realizó el registro visual de las características de las discontinuidades, para así poder realizar la caracterización del macizo rocoso.

Muestreo y mediciones directas: Esta técnica de recolección de datos se realizó mediante el cartografiado geomecánico.

Etapa de Gabinete: Se elaboró un plan de trabajo, para poder realizar todos los trabajos programados.

3.8.2. Etapa de Campo

Cartografiado geológico: En él se realizó un estudio detallado de la zona, reflejando los elementos y unidades más significativas, en este cartografiado se obtuvieron datos de campo que identificarán las principales características geológicas.

3.9. Elaboración de Instrumentos de Recolección de Datos

Para la elaboración de instrumento de recolección de datos tenemos:

Instrumentos manuales: Son aquellos equipos, herramientas, útiles de escritorio y otros instrumentos que son utilizados en trabajos de geología, que sirven para la toma de datos del túnel.

Formatos: Se presenta el formato o registro Geológico – Geotécnico para la toma de datos de discontinuidades, Formato de Mapeo para el cartografiado geológico y Modelos de tablas para la clasificación Geomecánica.

3.10. Geología

3.10.1. Geología Local

La zona de estudio se encuentra ubicada en rocas mesozoicas Jurásico-Cretáceo con numerosos plegamientos menores, anticlinales y sinclinales de gran tamaño. La zona está representada principalmente por la Formación Chicama infrayaciendo a la Formación Chimú, la primera consta de lutitas intemperizadas que toman diferentes coloraciones por lo que se pueden confundir con la Formación Carhuaz, lutitas bituminosas, limolitas, areniscas grises y la segunda (Formación Chimú) representada por areniscas blancas cuarzosas con transición a cuarcitas debido a un metamorfismo de bajo grado, generalmente las areniscas son de grano medio a grueso que forman bancos potentes que alcanzan más de 10 m. de espesor en la parte superior y con alternancia de lutitas, areniscas grises y limolitas en estratos de poco espesor aproximadamente de 0.5 m. en la parte inferior en contacto con la Formación Chicama. Además existen depósitos cuaternarios coluviales, aluviales, fluviales que forman pie de montes, abanicos, conos y terrazas.

Jurásico Superior

Formación Chicama, (Js-chic): Esta Formación suprayace a la Formación Pucará y aflora al norte del puente del río Crisnejas, donde superficialmente sufre un cambio de coloración, representada por lutitas negras laminares, deleznable, con delgadas intercalaciones de areniscas grises. En el área de estudio de esta investigación se encuentra aflorando al este del puente del río Crisnejas. Contiene nódulos negros piritosos y con algunos fósiles, principalmente es común encontrarlos en el lecho de las quebradas o zonas bajas; también es común observar manchas blancas amarillentas por fluorescencia de alumbre. También

afloran abundantes sills andesíticos y se encuentran venillas de yeso que entrecruzan los estratos, en esta formación se deja ver que la inestabilidad del terreno es la de mayor riesgo.

Cretáceo Inferior

Formación Chimú, (Ki-chim): Aflora presentando areniscas blancas que han sufrido un leve metamorfismo siendo aceptable llamarlas cuarcitas, formando una potente secuencia de cuarcitas blancas, en bancos gruesos que alcanzan los 30 m. en la parte superior. Las areniscas generalmente son de grano medio a grueso, con ocasionales, mantos de carbón, encontrándose un manto representativo de 0.90 m. (Tafur, 1954).

CAPÍTULO IV.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Cartografiado Geológico, toma de datos en estaciones Geomecánicas y Análisis de Gráficos en el Software Dips V6

4.1.1. Cartografiado Geológico

El cartografiado geológico fue realizado durante la ejecución del túnel, se tomó datos después década voladura, estos nos permitieron identificar la geología y el número de familias o diaclasas presentes en cada estación.

Durante el cartografiado Geológico, se registraron los siguientes datos: medición de DIP /DIR en todo el túnel, para lo cual se utilizó una brújula azimutal para facilitar la toma de datos, registrando siete sistemas de diaclasas las cuales son D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7 donde los sistemas más representativos son los siguientes D2, D3 y D6, los otros sistemas son secundarios.

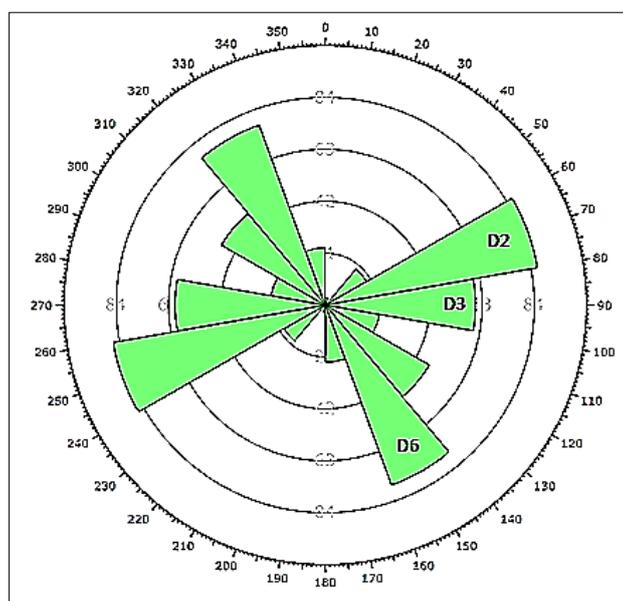


Figura 16. Análisis de diaclasas en rosetas

4.1.2. Matriz de Estaciones Geomecánicas

Matriz en la cual se registraron datos como: coordenadas geográficas de entrada y salida del túnel, características del macizo rocoso (litología, meteorización, grado de fracturamiento y RQD) como también propiedades de las discontinuidades (orientación, espaciado, persistencia, apertura, tipo de relleno, meteorización y filtraciones de agua). Con esta matriz se obtuvo la valoración RMR como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 7. Valoración RMR del túnel Central Hidroeléctrica Potrero.

ESTACIÓN N°	PROGRESIVA		RMR	CALIDAD DE ROCA	TIPO
	DE	A			
1	1+266.94	1+276.44	55	REGULAR	III
2	1+276.44	1+289.74	58	REGULAR	III
3	1+289.74	1+296.94	62	BUENA	II
4	1+296.94	1+302.64	63	BUENA	II
5	1+302.64	1+307.44	52	REGULAR	III
6	1+307.44	1+314.24	52	REGULAR	III
7	1+314.24	1+320.34	54	REGULAR	III
8	1+320.34	1+325.44	51	REGULAR	III
9	1+325.44	1+329.44	48	REGULAR	III
10	1+329.44	1+334.34	50	REGULAR	III
11	1+334.34	1+338.64	58	REGULAR	III
12	1+338.64	1+346.04	63	BUENA	II
13	1+346.04	1+353.14	62	BUENA	II
14	1+353.14	1+359.14	65	BUENA	II
15	1+359.14	1+402.34	68	BUENA	II
16	1+402.34	1+411.91	60	REGULAR	III
17	1+411.91	1+424.34	57	REGULAR	III
18	1+424.34	1+437.14	58	REGULAR	III

Como muestra el cuadro todo el túnel tiene roca de regular calidad (Tipo III) y roca de buena calidad (Tipo II), lo cual es favorable para la construcción del túnel.

4.1.3. Análisis datos en el Software Dips V6

En el software Dips V6 se ingresaron todos los datos tomados en las 18 estaciones de la matriz geomecánica de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

Estación Geomecánica 01

Comprendida entre las progresivas: Km 1+266.94 - Km 1+276.44 del tramo: 0.00m a 9.50m, con una orientación del túnel: N 86°.

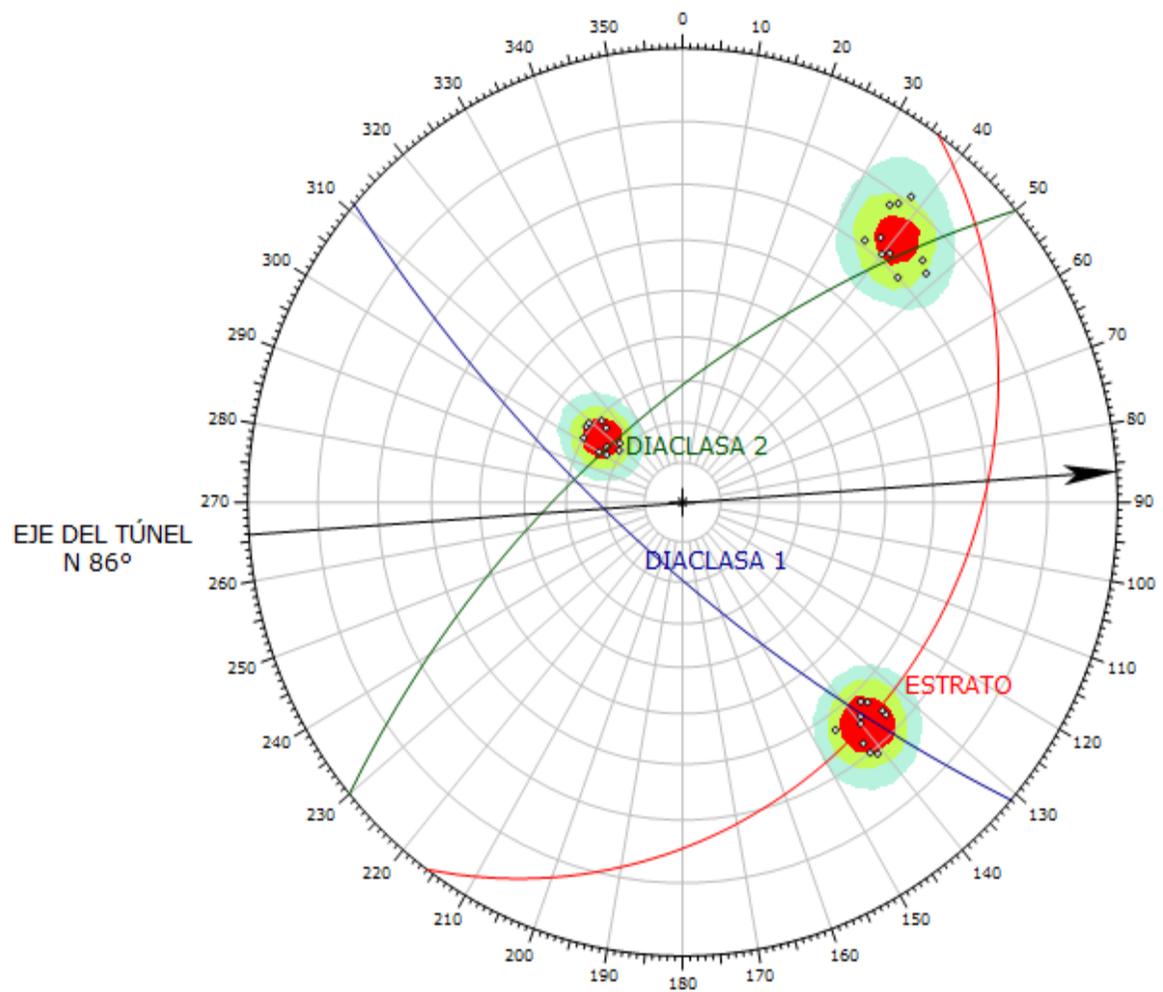
El RMR para esta estación geomecánica es de 55, roca tipo III de regular calidad, para la cual se reforzará su sostenimiento con pernos cementados de 2.10m espaciado a 1.80m x 1.80m.

Tabla 8. Valoración del macizo rocoso en estación 01

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)								
PARAMETRO	RANGO DE VALORES						VALOR	
R. COMPRES. UNIAXIAL (Mpa.)	>250 (15) x	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	12	
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8) x	<25 (3)	2	8	
ESPACIAM. (m)	>2 (20)	0.6-2 (15) x	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	<0.06 (5)	3	10	
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSIS.	<1m (6)	1-3m (4) x	3-10m (2)	10-20m (1)	>20m (0)	4 A	2
	ABERT.	Cerrada (6)	<0.1mm (6)	0.1-1mm (4) x	1-5mm (1)	>5mm (0)	4 B	1
	RUGOS.	Muy Rug. (6)	Rug. (5) x	Lig. Rug. (3)	Lisa (1)	Espej. De Falla (0)	4 C	3
	RELLEN.	Limpia (6)	Duro <5mm (4)	Duro >5mm (2) x	Suave <5mm (1)	Suave >5mm (0)	4 D	1
	ALTER.	Sana (6) x	Lig. Alt. (5)	Mod. Alt. (3)	Muy Alt. (2)	Descomp. (0)	4 E	5
AGUA SUBTERRANEA x	Seco (15)	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	15	
AJUSTE ORIENT. DE DISCONTINUIDADES	Muy Fav. (0) x	Fav. (-2)	Regular (-5)	Desfav. (-10)	Muy Desfav. (-12)	6	-2	
VALOR TOTAL RMR (SUMA DE VALORACIÓN DE 1 AL 6)							55	
CLASE DE MACIZO ROCOSO								
RMR	100-81	80-61	60-41	40-21	20-0	III		
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA			

Tabla 9. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).

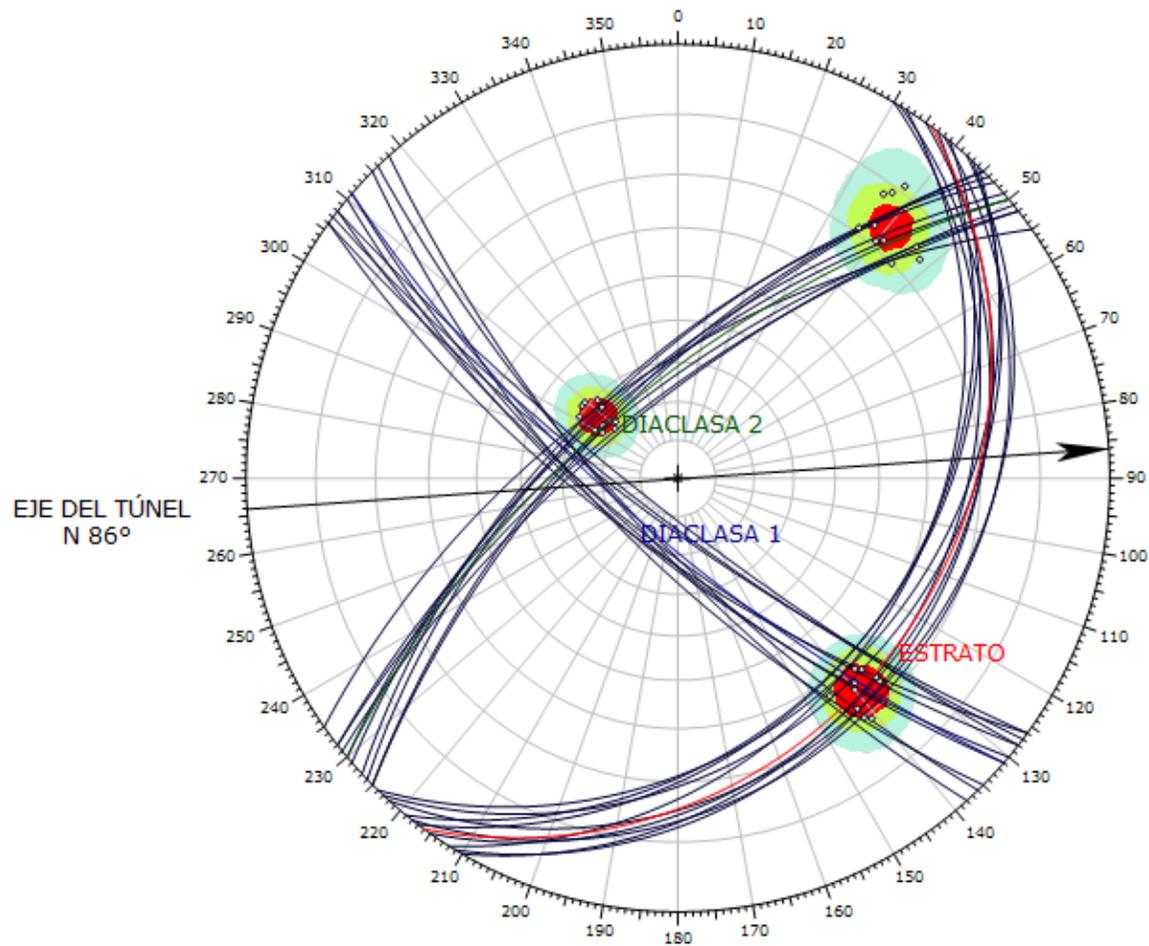
TIPO DE ROCA	PERNOS DE REFORZAMIENTO A INSTALAR
I	SIN SOPORTE
II	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M DE FORMA PUNTUAL
III	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.80 X 1.80
IV	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.50 X 1.50 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS
V	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.20 X 1.20 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS Y/O CIMBRAS ESPACIADAS A 1.0 X 1.0M



Color	Density Concentrations
	0.00 - 7.50
	7.50 - 15.00
	15.00 - 22.50
	22.50 - 30.00
Maximum Density	29.93%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	■	25	126	ESTRATO
2	■	75	221	DIACLASA 1
3	■	67	320	DIACLASA 2

Figura 17. Estereograma de la estación geomecánica 01



Color	Density Concentrations
	0.00 - 7.50
	7.50 - 15.00
	15.00 - 22.50
	22.50 - 30.00
Maximum Density	29.93%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	■	25	126	ESTRATO
2	■	75	221	DIACLASA 1
3	■	67	320	DIACLASA 2

Figura 18. Representación de la cantidad de planos de la estación 01

Estación Geomecánica 02

Comprendida entre las progresivas: Km 1+276.44 - Km 1+289.74, del tramo: 9.50m a 23.00m, con una orientación del túnel: N 88°.

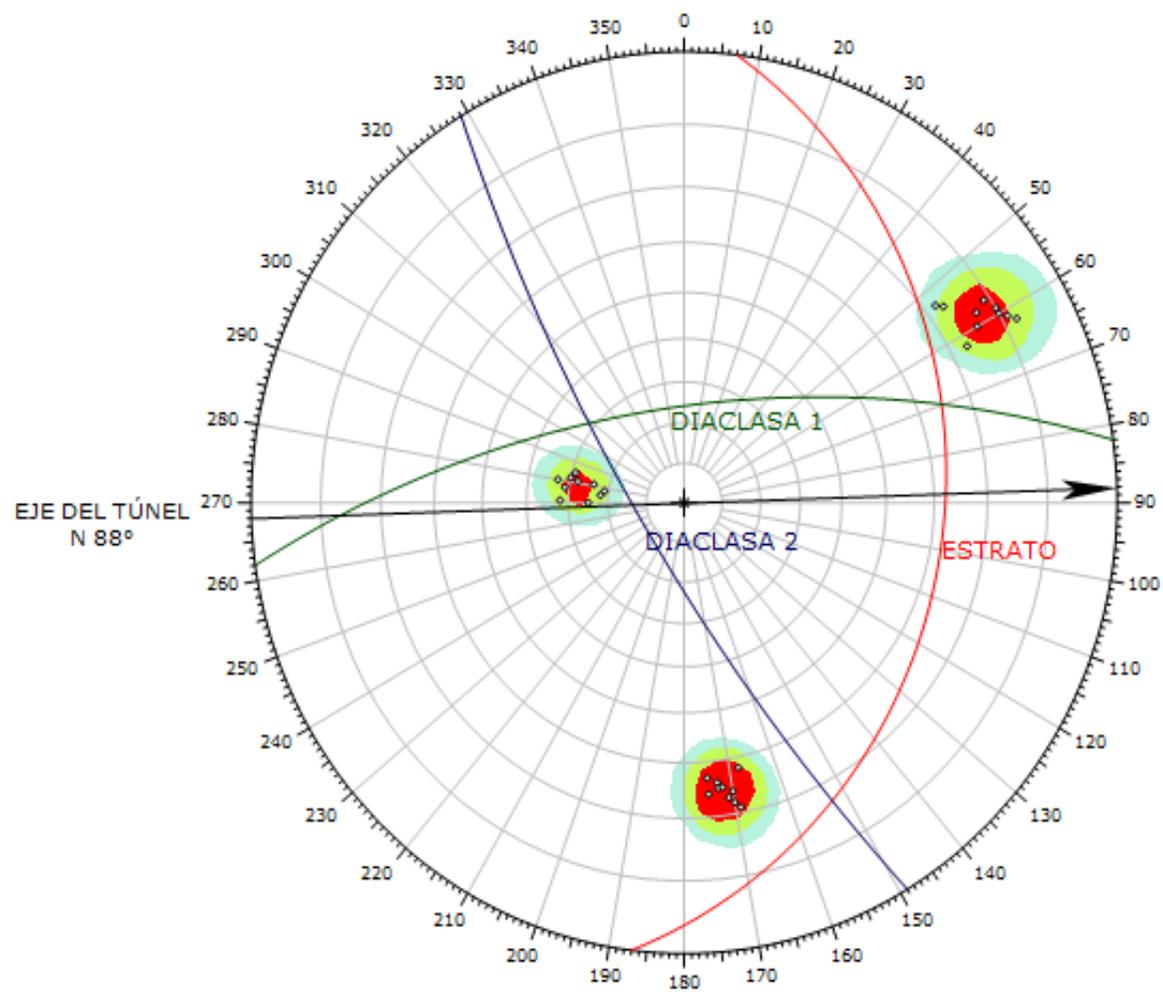
El RMR para esta estación geomecánica es de 58, roca tipo III de regular calidad, para la cual se reforzará su sostenimiento con pernos cementados de 2.10m espaciado a 1.80m x 1.80m.

Tabla 10. Valoración del macizo rocoso en estación 02

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)									
PARAMETRO		RANGO DE VALORES						VALOR	
R. COMPRE. UNIAXIAL (Mpa.)	>250 (15)	x	100-250 (12)		50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1)	1	12
	90-100 (20)		75-90 (17)	x	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2	13
RQD %	>2 (20)		0.6-2 (15)	x	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	<0.06 (5)	3	10
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSIS.	<1m (6)	1-3m (4)	x	3-10m (2)	10-20m (1)	>20m (0)	4	2
	ABERT.	Cerrada (6)	<0.1mm (6)		0.1-1mm (4)	x	1-5mm (1)	4	1
	RUGOS.	Muy Rug. (6)	Rug. (5)	x	Lig. Rug. (3)	Lisa (1)	Espej. De Falla (0)	4	3
	RELLEN.	Limpia (6)	Duro <5mm (4)		Duro >5mm (2)	x	Suave <5mm (1)	4	1
	ALTER.	Sana (6)	Lig. Alt. (5)	x	Mod. Alt. (3)	Muy Alt. (2)	Descomp. (0)	4	3
AGUA SUBTERRANEA	x	Seco (15)	Humedo (10)		Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	15
AJUSTE ORIENT. DE DISCONTINUIDADES	Muy Fav. (0)	x	Fav. (-2)		Regular (-5)	Desfav. (-10)	Muy Desfav. (-12)	6	-2
VALOR TOTAL RMR (SUMA DE VALORACIÓN DE 1 AL 6)								58	
CLASE DE MACIZO ROCOSO									
RMR	100-81		80-61		60-41	40-21	20-0		III
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA		II BUENA		III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA		

Tabla 11. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).

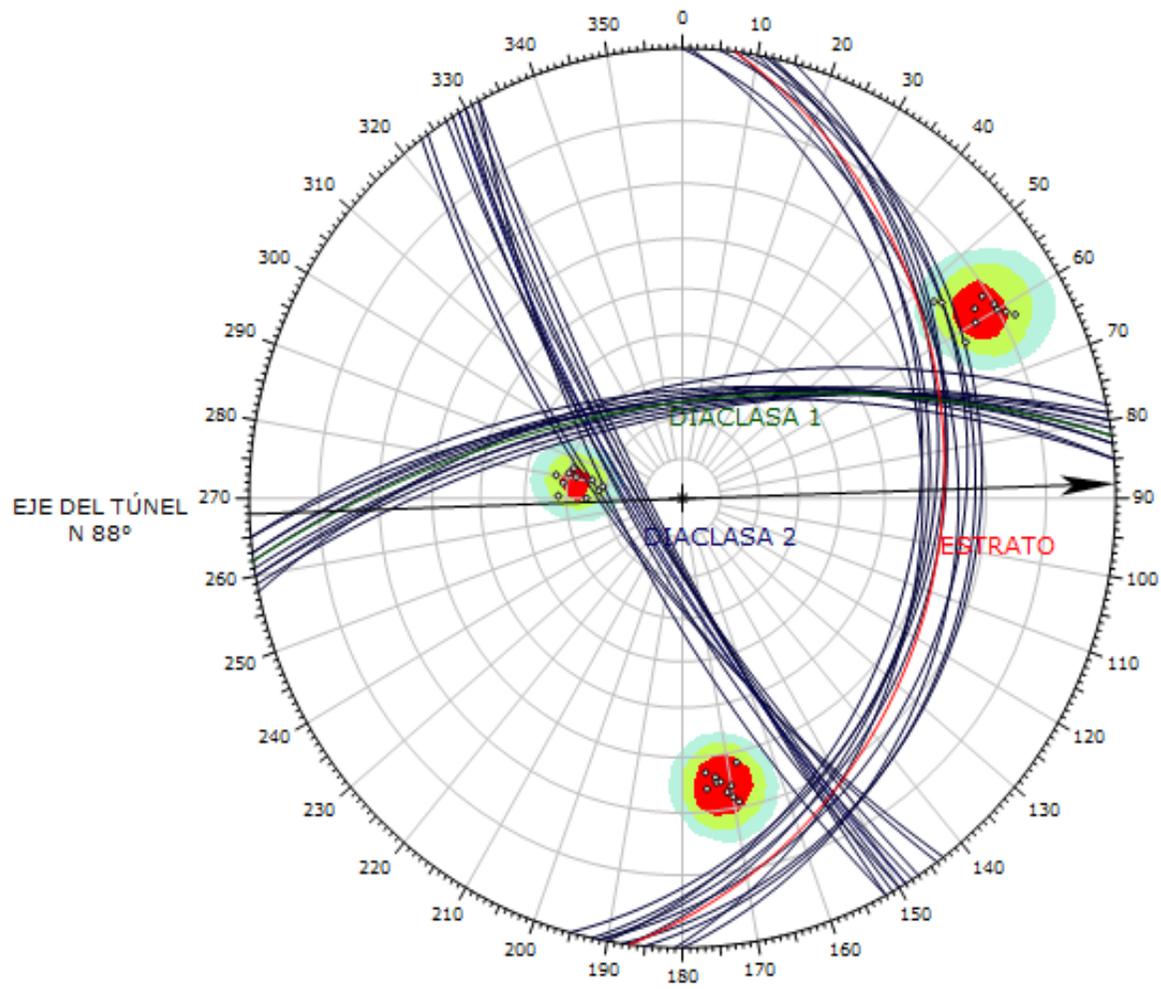
TIPO DE ROCA	PERNOS DE REFORZAMIENTO A INSTALAR
I	SIN SOPORTE
II	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M DE FORMA PUNTUAL
III	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.80 X 1.80
IV	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.50 X 1.50 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS
V	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.20 X 1.20 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS Y/O CIMBRAS ESPACIADAS A 1.0 X 1.0M



Color	Density Concentrations
	0.00 - 8.00
	8.00 - 16.00
	16.00 - 24.00
	24.00 - 32.00
Maximum Density	31.86%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	Red	28	97	ESTRATO
2	Green	66	352	DIACLASA 1
3	Blue	78	239	DIACLASA 2

Figura 19. Estereograma de la estación geomecánica 02



Color	Density Concentrations
	0.00 - 8.00
	8.00 - 16.00
	16.00 - 24.00
	24.00 - 32.00
Maximum Density	31.86%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	Red	28	97	ESTRATO
2	Green	66	352	DIACLASA 1
3	Blue	78	239	DIACLASA 2

Figura 20. Representación de la cantidad de planos de la estación 02

Estación Geomecánica 03

Esta estación esta comprendida entre las progresivas: Km 1+289.74 - Km 1+296.94, del tramo: 23.00m a 30.00m, con una orientación del túnel: N 97°.

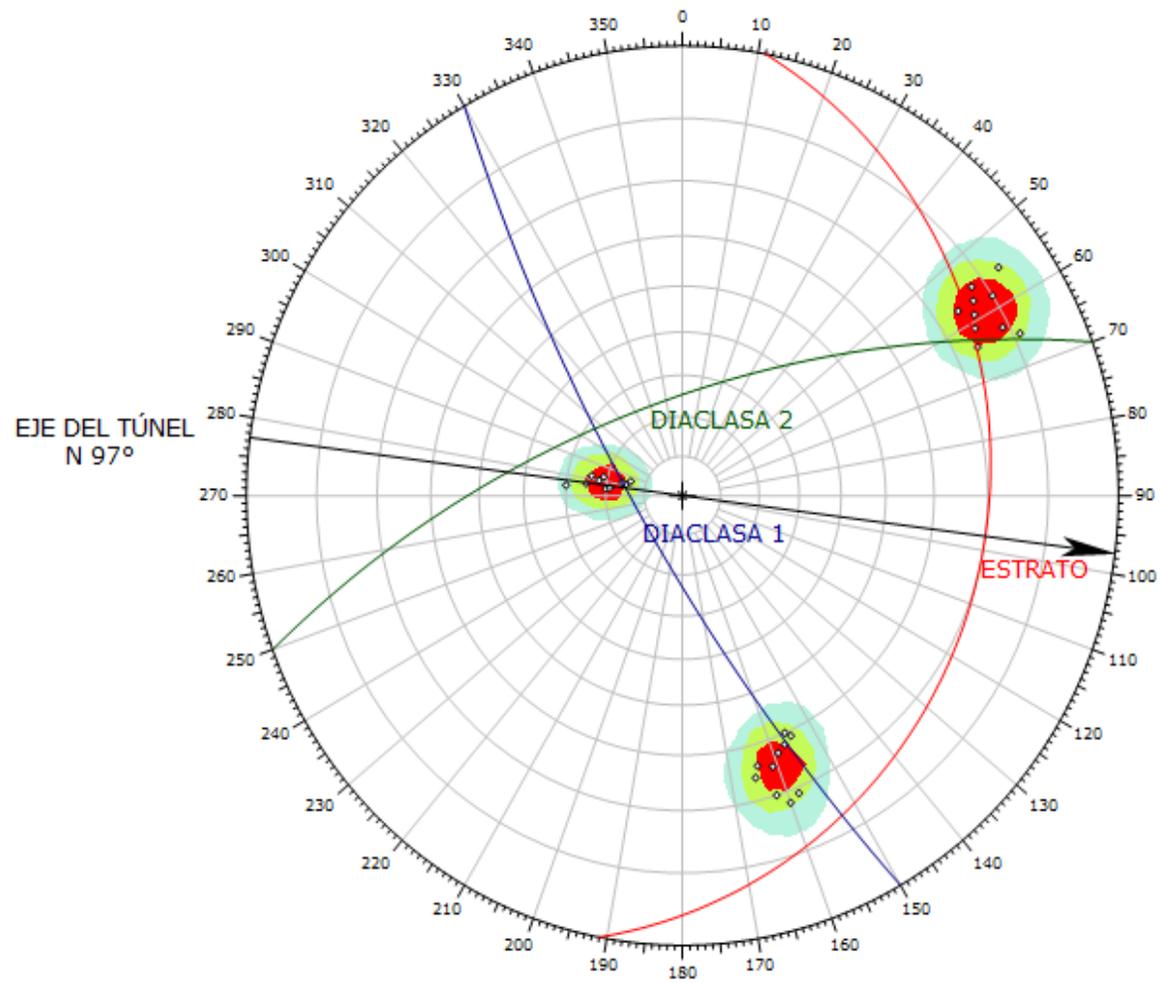
El RMR para esta estación geomecánica es de 62, roca tipo II de buena calidad, para la cual se reforzará su sostenimiento con pernos cementados de 2.10m de forma puntual.

Tabla 12. Valoración del macizo rocoso en estación 03

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)								
PARAMETRO		RANGO DE VALORES					VALOR	
R. COMPRES. UNIAxIAL (Mpa.)		>250 (15) x	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	12
RQD %		90-100 (20)	75-90 (17) x	50-75 (13)	25-50 (8)	< 25 (3)	2	13
ESPACIAM. (m)		> 2 (20)	0.6 - 2 (15) x	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	<0.06 (5)	3	10
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSIS.	<1m (6)	1-3m (4) x	3-10m (2)	10-20m (1)	>20m (0)	4	2
	ABERT.	Cerrada (6)	<0.1mm (6)	0.1-1mm (4) x	1-5mm (1)	>5mm (0)	4	1
	RUGOS.	Muy Rug. (6) x	Rug. (5)	Lig. Rug. (3)	Lisa (1)	Espej. De Falla (0)	4	5
	RELLEN.	Limpia (6)	Duro <5mm (4)	Duro >5mm (2) x	Suave <5mm (1)	Suave >5mm (0)	4	1
	ALTER.	Sana (6) x	Lig. Alt. (5)	Mod. Alt. (3)	Muy Alt. (2)	Descomp. (0)	4	5
AGUA SUBTERRANEA x		Seco (15)	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	15
AJUSTE ORIENT. DE DISCONTINUIDADES		Muy Fav. (0) x	Fav. (-2)	Regular (-5)	Desfav. (-10)	Muy Desfav. (-12)	6	-2
VALOR TOTAL RMR (SUMA DE VALORACIÓN DE 1 AL 6)							62	
CLASE DE MACIZO ROCOSO								
RMR		100-81	80-61	60-41	40-21	20-0	II	
DESCRIPCIÓN		I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA		

Tabla 13. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).

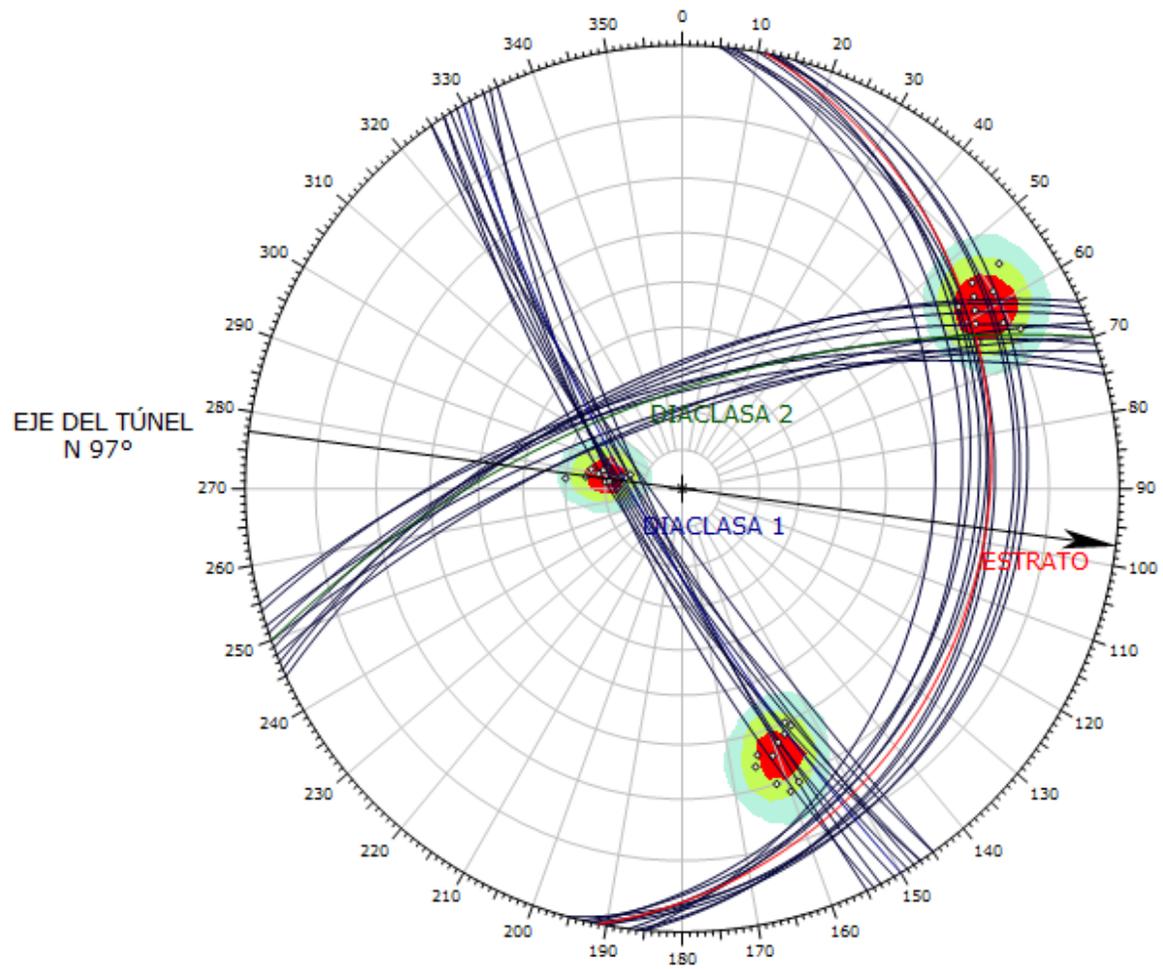
TIPO DE ROCA	TIPO DE SOPORTE
I	SIN SOPORTE
II	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M DE FORMA PUNTUAL
III	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.80 X 1.80
IV	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.50 X 1.50 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS
V	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.20 X 1.20 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS Y/O CIMBRAS ESPACIADAS A 1.0 X 1.0M



Color	Density Concentrations
	0.00 - 7.40
	7.40 - 14.80
	14.80 - 22.20
	22.20 - 29.60
Maximum Density	29.32%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	■	20	101	ESTRATO
2	■	78	240	DIACLASA 1
3	■	66	340	DIACLASA 2

Figura 21. Estereograma de la estación geomecánica 03



Color	Density Concentrations		
	0.00 - 7.40		
	7.40 - 14.80		
	14.80 - 22.20		
	22.20 - 29.60		
Maximum Density	29.32%		
Contour Data	Pole Vectors		
Contour Distribution	Fisher		
Counting Circle Size	1.0%		
Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	20	101	ESTRATO
2	78	240	DIACLASA 1
3	66	340	DIACLASA 2

Figura 22. Representación de la cantidad de planos de la estación 03

Estación Geomecánica 04

Esta estación esta comprendida entre las progresivas: Km 1+296.94 - Km 1+302.64, del tramo: 30.00m a 35.70m, con una orientación del túnel: N 103°.

En el análisis Dips V6 se forma cuña entre la diaclasa 1 y la diaclasa 2 por ser opuestas y por que se cortan entre si.

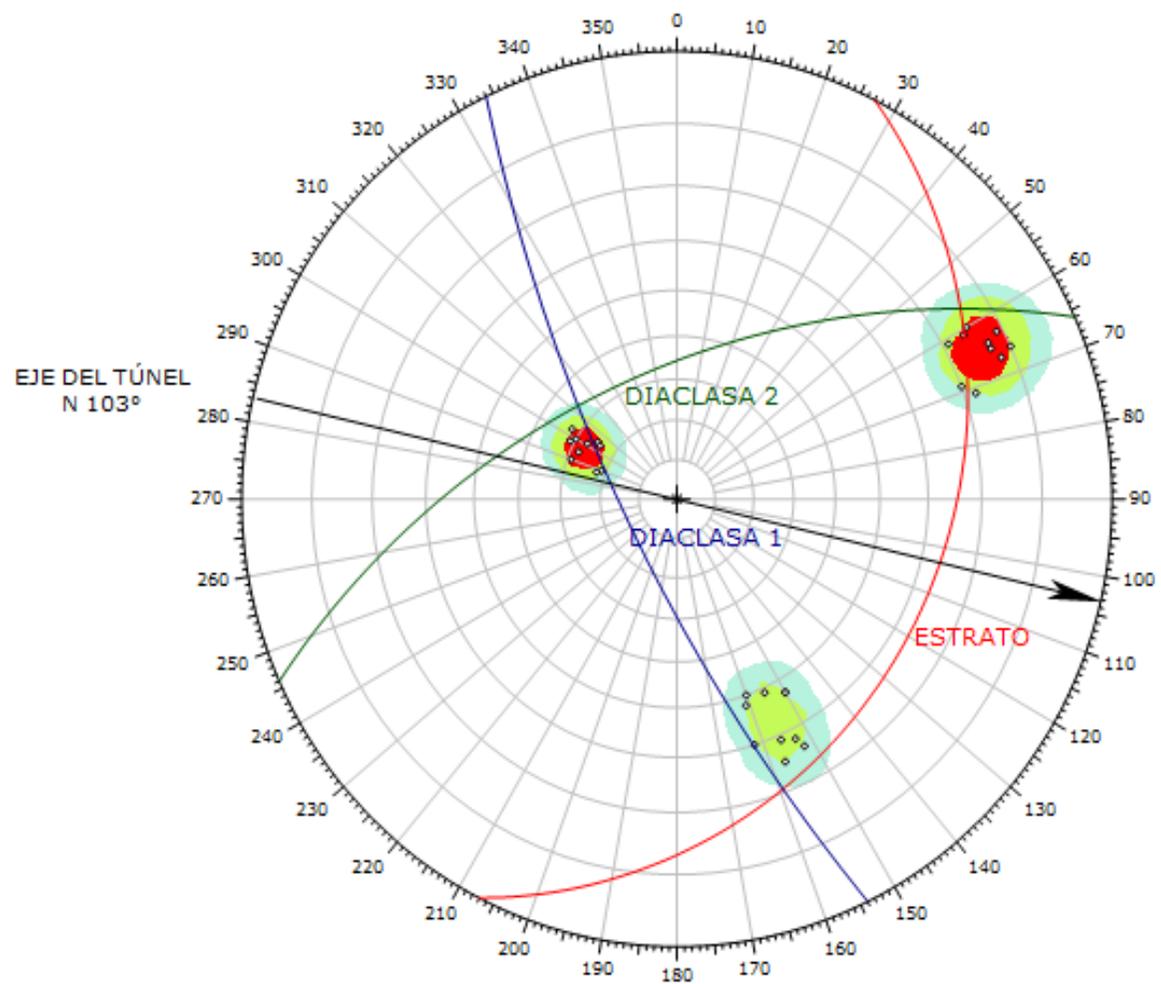
El RMR para esta estación geomecánica es de 63, roca tipo II de buena calidad, para la cual se reforzará su sostenimiento con pernos cementados de 2.10m de forma puntual.

Tabla 14. Valoración del macizo rocoso en estación 04

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)										
PARAMETRO	RANGO DE VALORES						VALOR			
R. COMPRES. UNIAXIAL (Mpa.)	>250 (15)	x	100-250 (12)		50-100 (7)		25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	12
RQD %	90-100 (20)		75-90 (17)	x	50-75 (13)		25-50 (8)	< 25 (3)	2	13
ESPACIAM. (m)	> 2 (20)		0.6 - 2 (15)	x	0.2-0.6 (10)		0.06-0.2 (8)	<0.06 (5)	3	10
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSIS.		<1m (6)	x	1-3m (4)	x	3-10m (2)	10-20m (1) >20m (0)	4	2
	ABERT.		Cerrada (6)		<0.1mm (6)	x	0.1-1mm (4)	1-5mm (1) >5mm (0)	4	4
	RUGOS.		Muy Rug. (6)	x	Rug. (5)		Lig. Rug. (3)	Lisa (1) Espej. De Falla (0)	4	5
	RELLEN.		Limpia (6)	x	Duro <5mm (4)		Duro >5mm (2)	Suave <5mm (1) >5mm (0)	4	4
	ALTER.		Sana (6)	x	Lig. Alt. (5)		Mod. Alt. (3)	Muy Alt. (2) Descomp. (0)	4	5
AGUA SUBTERRANEA		Seco (15)	x	Humedo (10)		Mojado (7)	Goteo (4) Flujo (0)	5	10	
AJUSTE ORIENT. DE DISCONTINUIDADES		Muy Fav. (0)	x	Fav. (-2)		Regular (-5)	Desfav. (-10) Muy Desfav. (-12)	6	-2	
VALOR TOTAL RMR (SUMA DE VALORACIÓN DE 1 AL 6)									63	
CLASE DE MACIZO ROCOSO									II	
RMR	100-81		80-61		60-41		40-21	20-0		
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA		II BUENA		III REGULAR		IV MALA	V MUY MALA		

Tabla 15. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).

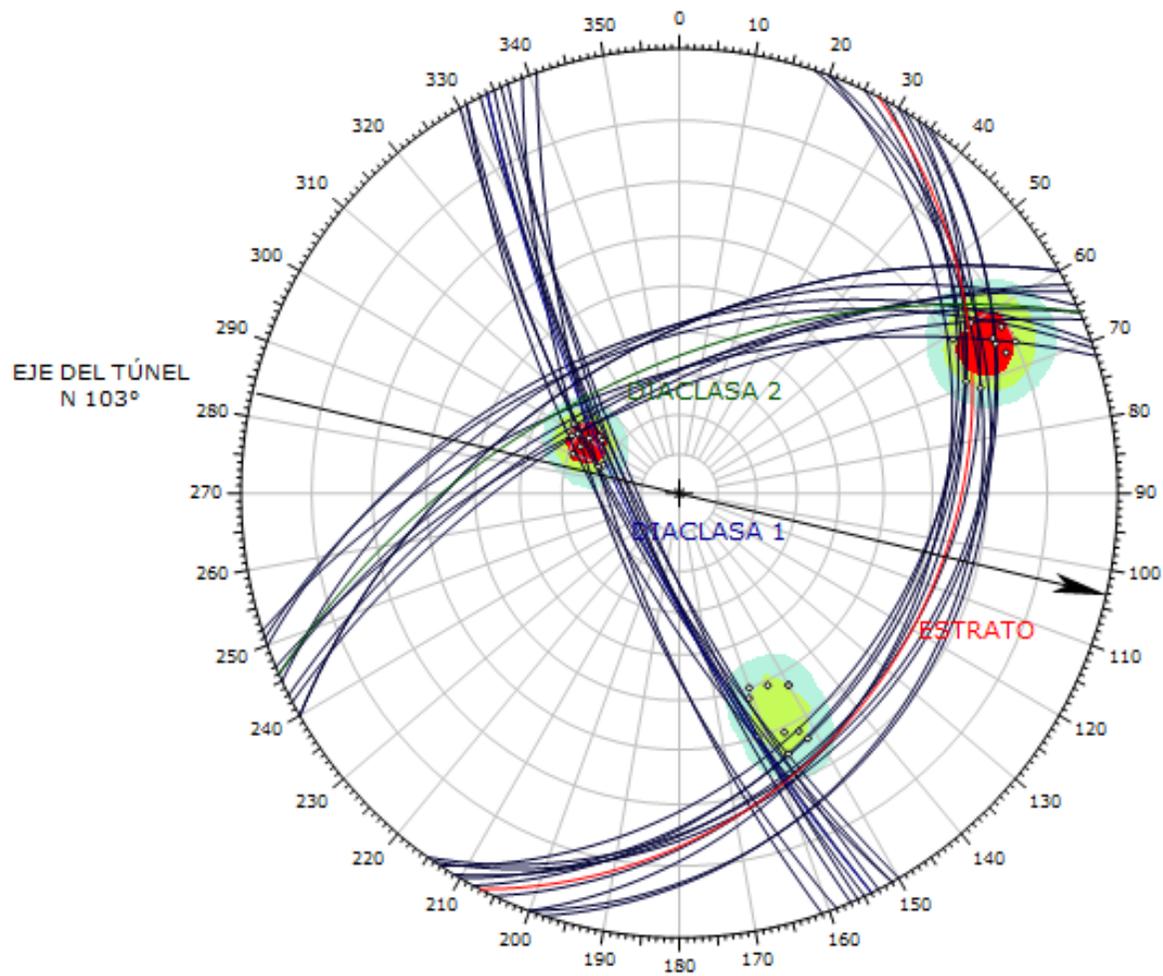
TIPO DE ROCA	TIPO DE SOPORTE
I	SIN SOPORTE
II	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M DE FORMA PUNTUAL
III	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.80 X 1.80
IV	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.50 X 1.50 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS
V	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.20 X 1.20 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS Y/O CIMBRAS ESPACIADAS A 1.0 X 1.0M



Color	Density Concentrations
	0.00 - 7.40
	7.40 - 14.80
	14.80 - 22.20
	22.20 - 29.60
Maximum Density	29.54%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	■	27	117	ESTRATO
2	■	76	244	DIACLASA 1
3	■	58	336	DIACLASA 2

Figura 23. Estereograma de la estación geomecánica 04



Color	Density Concentrations		
	0.00 - 7.40		
	7.40 - 14.80		
	14.80 - 22.20		
	22.20 - 29.60		
Maximum Density 29.54%			
Contour Data Pole Vectors			
Contour Distribution Fisher			
Counting Circle Size 1.0%			
Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	27	117	ESTRATO
2	76	244	DIACLASA 1
3	58	336	DIACLASA 2

Figura 24. Representación de la cantidad de planos de la estación 04

Estación Geomecánica 05

Esta estación esta comprendida entre las progresivas: Km 1+302.64 - Km 1+307.44, del tramo: 35.70m a 40.50m, con una orientación del túnel: N 105°.

En el análisis Dips V6 tambien se forma cuña entre la diaclasa 1 y la diaclasa 2 por que se van a cortar.

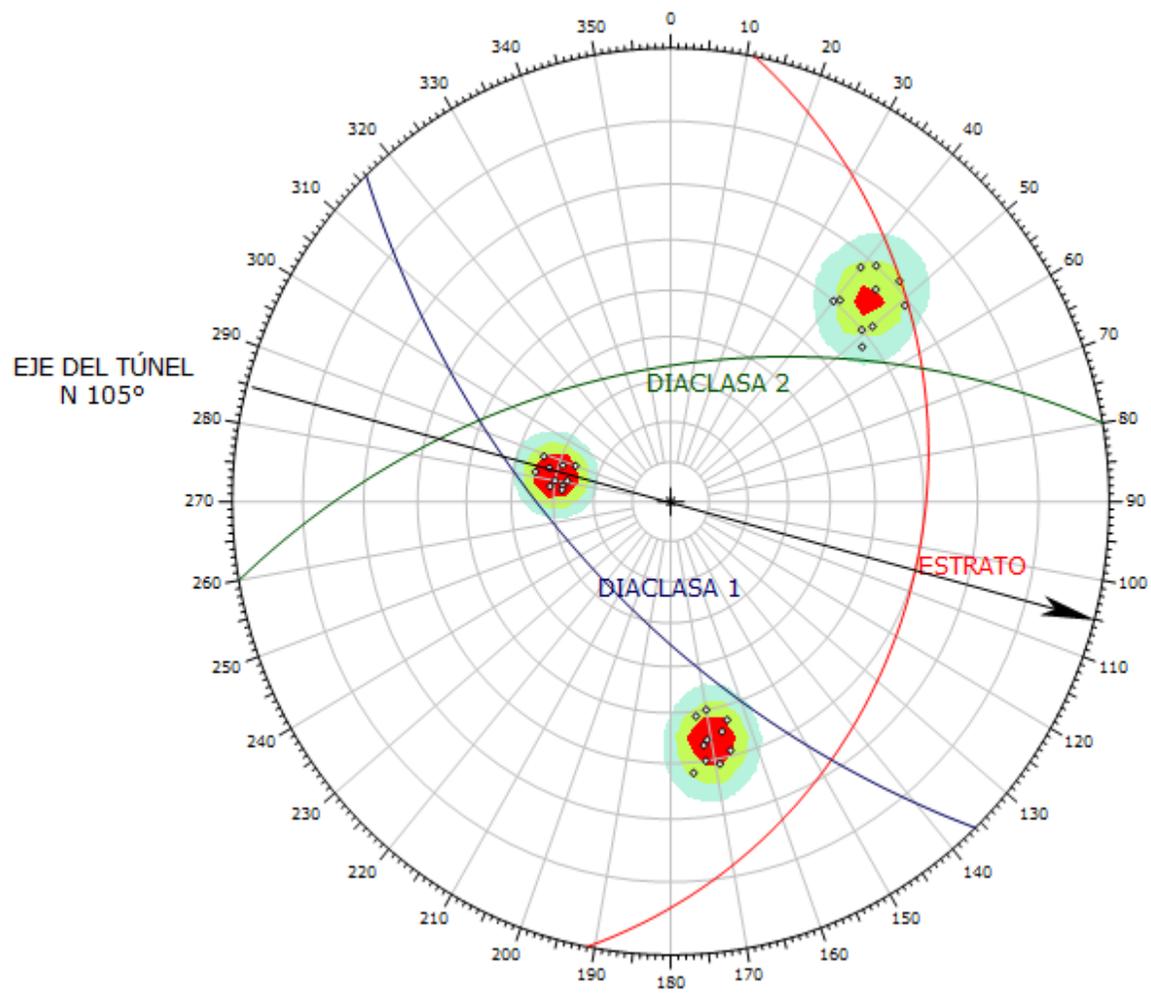
El RMR para esta estación geomecánica es de 52, roca tipo III de regular calidad, para la cual se reforzará su sostenimiento con pernos cementados de 2.10m espaciado a 1.80m x 1.80m.

Tabla 16. Valoración del macizo rocoso en estación 05

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)								
PARAMETRO	RANGO DE VALORES						VALOR	
R. COMPRES. UNIAxIAL (Mpa.)	>250 (15) x	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1)	<1(0)	1	12
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13) x	25-50 (8)	<25 (3)		2	8
ESPACIAM. (m)	>2 (20)	0.6 - 2 (15) x	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	<0.06 (5)		3	10
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSIS.	<1m (6) x	1-3m (4)	3-10m (2)	10-20m (1)	>20m (0)	4	4
	ABERT.	Cerrada (6)	<0.1mm (6)	0.1-1mm (4) x	1-5mm (1)	>5mm (0)	4	1
	RUGOS.	Muy Rug. (6) x	Rug. (5)	Lig. Rug. (3)	Lisa (1)	Espej. De Falla (0)	4	5
	RELLEN.	Limpia (6)	Duro <5mm (4)	Duro >5mm (2) x	Suave <5mm (1)	Suave >5mm (0)	4	1
	ALTER.	Sana (6)	Lig. Alt. (5) x	Mod. Alt. (3)	Muy Alt. (2)	Descomp. (0)	4	3
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15) x	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)		5	10
AJUSTE ORIENT. DE DISCONTINUIDADES	Muy Fav. (0) x	Fav. (-2)	Regular (-5)	Desfav. (-10)	Muy Desfav. (-12)		6	-2
VALOR TOTAL RMR (SUMA DE VALORACIÓN DE 1 AL 6)							52	
CLASE DE MACIZO ROCOSO								
RMR	100-81	80-61	60-41	40-21	20-0		III	
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA			

Tabla 17. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).

TIPO DE ROCA	PERNOS DE REFORZAMIENTO A INSTALAR
I	SIN SOPORTE
II	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M DE FORMA PUNTUAL
III	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.80 X 1.80
IV	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.50 X 1.50 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS
V	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.20 X 1.20 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS Y/O CIMBRAS ESPACIADAS A 1.0 X 1.0M



Color	Density Concentrations
	0.00 - 7.40
	7.40 - 14.80
	14.80 - 22.20
	22.20 - 29.60
Maximum Density	29.31%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	■	30	101	ESTRATO
2	■	64	226	DIACLASA 1
3	■	57	350	DIACLASA 2

Figura 25. Estereograma de la estación geomecánica 05

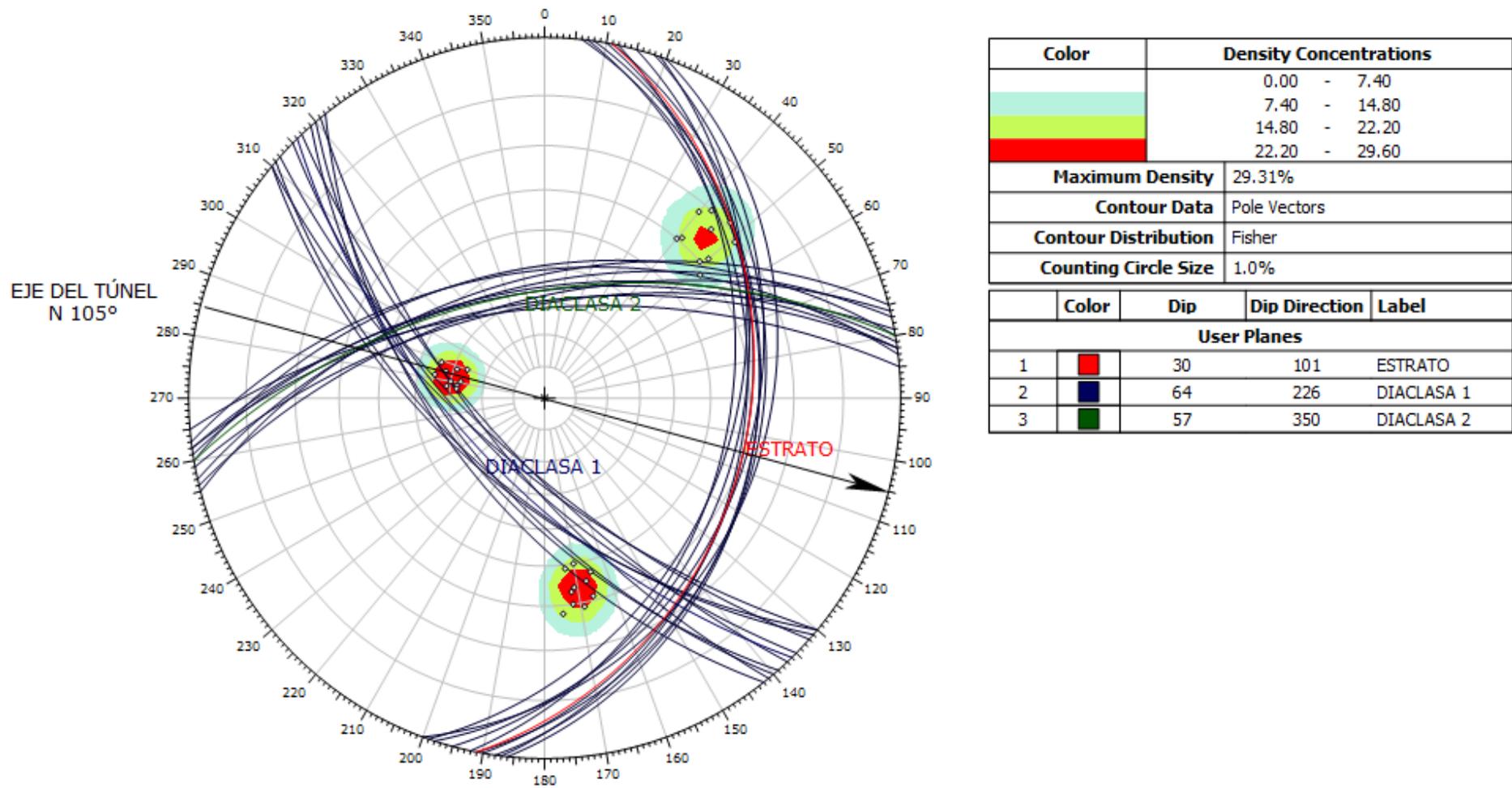


Figura 26. Representación de la cantidad de planos de la estación 05

Estación Geomecánica 06

Esta estación esta comprendida entre las progresivas: Km 1+307.44 - Km 1+314.24, del tramo: 40.50m a 47.30m, con una orientación del túnel: N 108°.

En su respectivo análisis Dips V6 se forma cuña entre la diaclasa 1 y la diaclasa 2 por que se van a cortar en dirección del túnel.

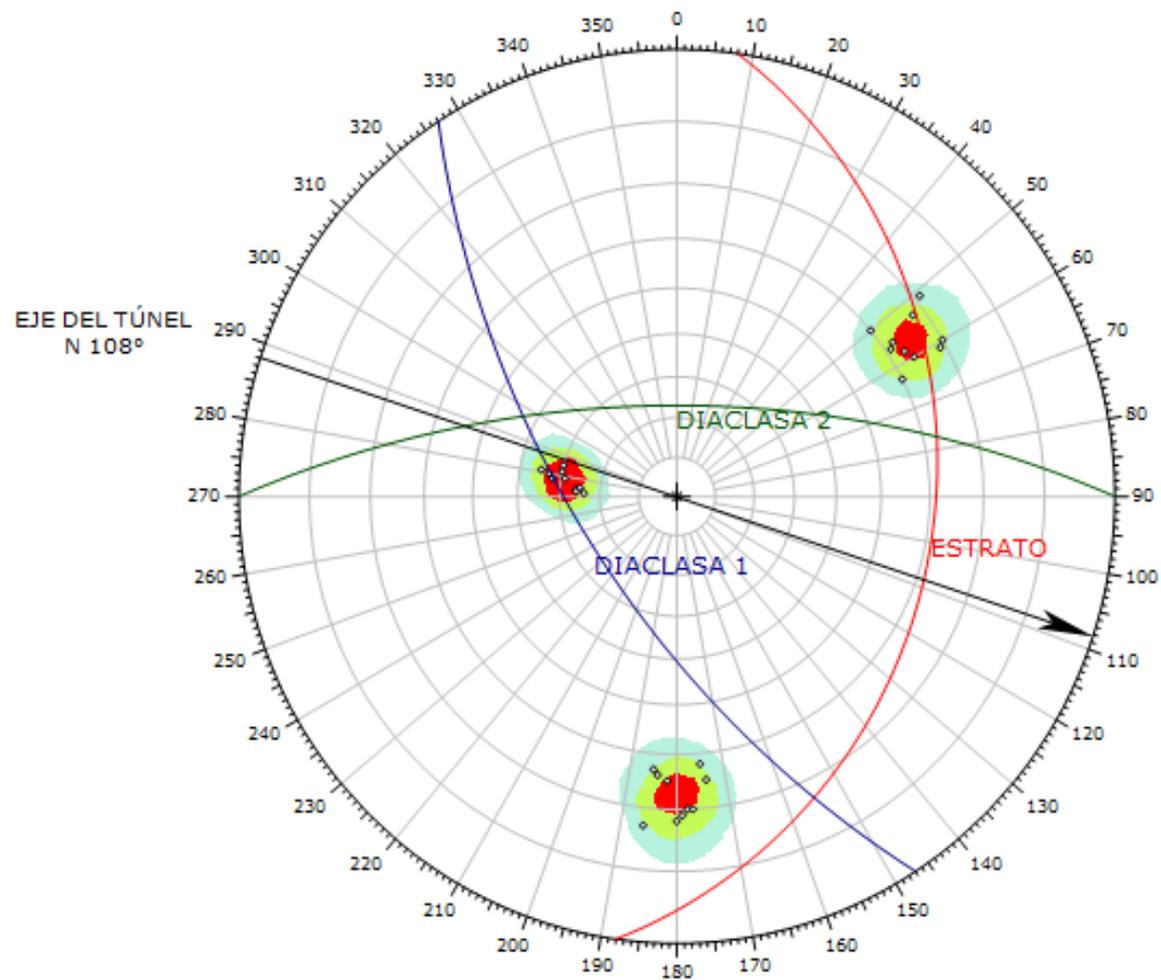
El RMR para esta estación geomecánica es de 52, roca tipo III de regular calidad, para la cual se reforzará su sostenimiento con pernos cementados de 2.10m espaciado a 1.80m x 1.80m.

Tabla 18. Valoración del macizo rocoso en estación 06

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)										
PARAMETRO		RANGO DE VALORES					VALOR			
R. COMPRES. UNIAxIAL (Mpa.)	>250 (15)	x	100-250 (12)		50-100 (7)		25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	12
	90-100 (20)		75-90 (17)		50-75 (13)	x	25-50 (8)	< 25 (3)	2	8
RQD %	> 2 (20)		0.6 - 2 (15)	x	0.2-0.6 (10)		0.06-0.2 (8)	<0.06 (5)	3	10
	<1m (6)	x	1-3m (4)		3-10m (2)		10-20m (1)	>20m (0)	4	4
CONDICIÓN DE JUNTAS	ABERT.		<0.1mm (6)		0.1-1mm (4)	x	1-5mm (1)	>5mm (0)	4	1
	RUGOS.	x	Rug. (5)		Lig. Rug. (3)		Lisa (1)	Espej. De Falla (0)	4	5
	RELLEN.		Limpia (6)		Duro <5mm (4)	x	Suave <5mm (1)	Suave >5mm (0)	4	1
	ALTER.		Sana (6)		Lig. Alt. (5)	x	Mod. Alt. (3)	Muy Alt. (2)	4	3
								Descomp. (0)	4	3
AGUA SUBTERRANEA		x	Humedo (10)		Mojado (7)		Goteo (4)	Flujo (0)	5	10
AJUSTE ORIENT. DE DISCONTINUIDADES		x	Fav. (-2)		Regular (-5)		Desfav. (-10)	Muy Desfav. (-12)	6	-2
VALOR TOTAL RMR (SUMA DE VALORACIÓN DE 1 AL 6)									52	
CLASE DE MACIZO ROCOSO									III	
RMR	100-81		80-61		60-41		40-21	20-0		
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA		II BUENA		III REGULAR		IV MALA	V MUY MALA		

Tabla 19. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).

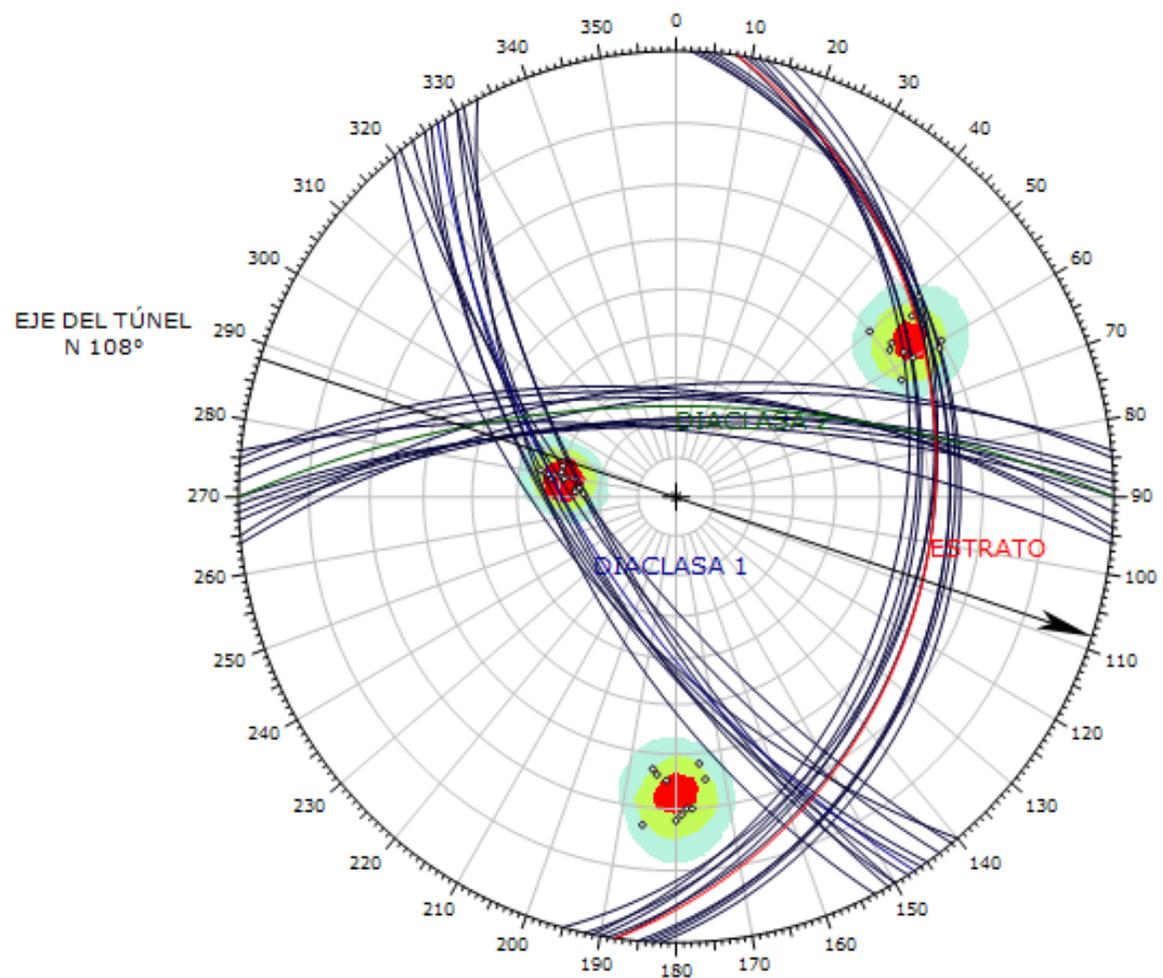
TIPO DE ROCA	PERNOS DE REFORZAMIENTO A INSTALAR
I	SIN SOPORTE
II	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M DE FORMA PUNTUAL
III	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.80 X 1.80
IV	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.50 X 1.50 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS
V	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.20 X 1.20 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS Y/O CIMBRAS ESPACIADAS A 1.0 X 1.0M



Color	Density Concentrations
	0.00 - 7.60
	7.60 - 15.20
	15.20 - 22.80
	22.80 - 30.40
Maximum Density	30.05%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	■	29	98	ESTRATO
2	■	65	237	DIACLASA 1
3	■	67	360	DIACLASA 2

Figura 27. Estereograma de la estación geomecánica 06



Color	Density Concentrations
	0.00 - 7.60
	7.60 - 15.20
	15.20 - 22.80
	22.80 - 30.40
Maximum Density	30.05%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	■	29	98	ESTRATO
2	■	65	237	DIACLASA 1
3	■	67	360	DIACLASA 2

Figura 28. Representación de la cantidad de planos de la estación 06

Estación Geomecánica 07

Esta estación esta comprendida entre las progresivas: Km 1+314.24 - Km 1+320.34, del tramo: 47.30m a 53.40m, con una orientación del túnel: N 111°.

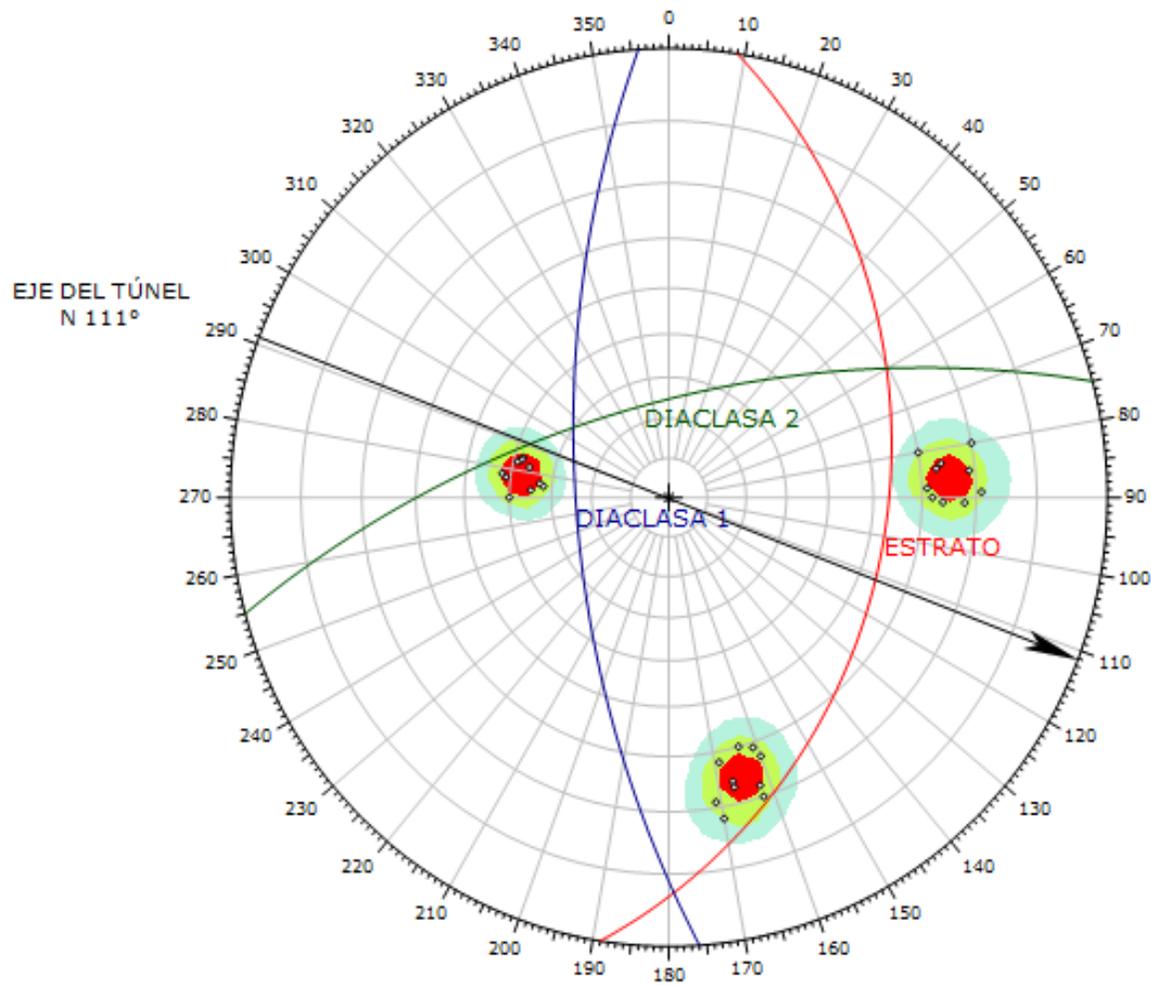
El RMR para esta estación geomecánica es de 54, roca tipo III de regular calidad, para la cual se reforzará su sostenimiento con pernos cementados de 2.10m espaciado a 1.80m x 1.80m.

Tabla 20. Valoración del macizo rocoso en estación 07

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)								
PARAMETRO	RANGO DE VALORES						VALOR	
R. COMPRE. UNIAxIAL (Mpa.)	>250 (15) x	100-250 (12)		50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	12
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	x	50-75 (13)	25-50 (8)	< 25 (3)	2	13
ESPACIAM. (m)	> 2 (20)	0.6 - 2 (15)	x	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	<0.06 (5)	3	10
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSIS.	<1m (6) x		1-3m (4)	3-10m (2)	10-20m (1)	>20m (0)	4 A 4
	ABERT.	Cerrada (6)		<0.1mm (6)	0.1-1mm (4) x	1-5mm (1)	>5mm (0)	4 B 1
	RUGOS.	Muy Rug. (6) x		Rug. (5)	Lig. Rug. (3)	Lisa (1)	Espej. De Falla (0)	4 C 5
	RELLEN.	Limpia (6)		Duro <5mm (4)	Duro >5mm (2) x	Suave <5mm (1)	Suave >5mm (0)	4 D 1
	ALTER.	Sana (6)		Lig. Alt. (5) x	Mod. Alt. (3)	Muy Alt. (2)	Descomp. (0)	4 E 3
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)		Humedo (10) x	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	7
AJUSTE ORIENT. DE DISCONTINUIDADES	Muy Fav. (0) x		Fav. (-2)	Regular (-5)	Desfav. (-10)	Muy Desfav. (-12)	6	-2
VALOR TOTAL RMR (SUMA DE VALORACIÓN DE 1 AL 6)							54	
CLASE DE MACIZO ROCOSO								
RMR	100-81	80-61		60-41	40-21	20-0	III	
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA		III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA		

Tabla 21. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).

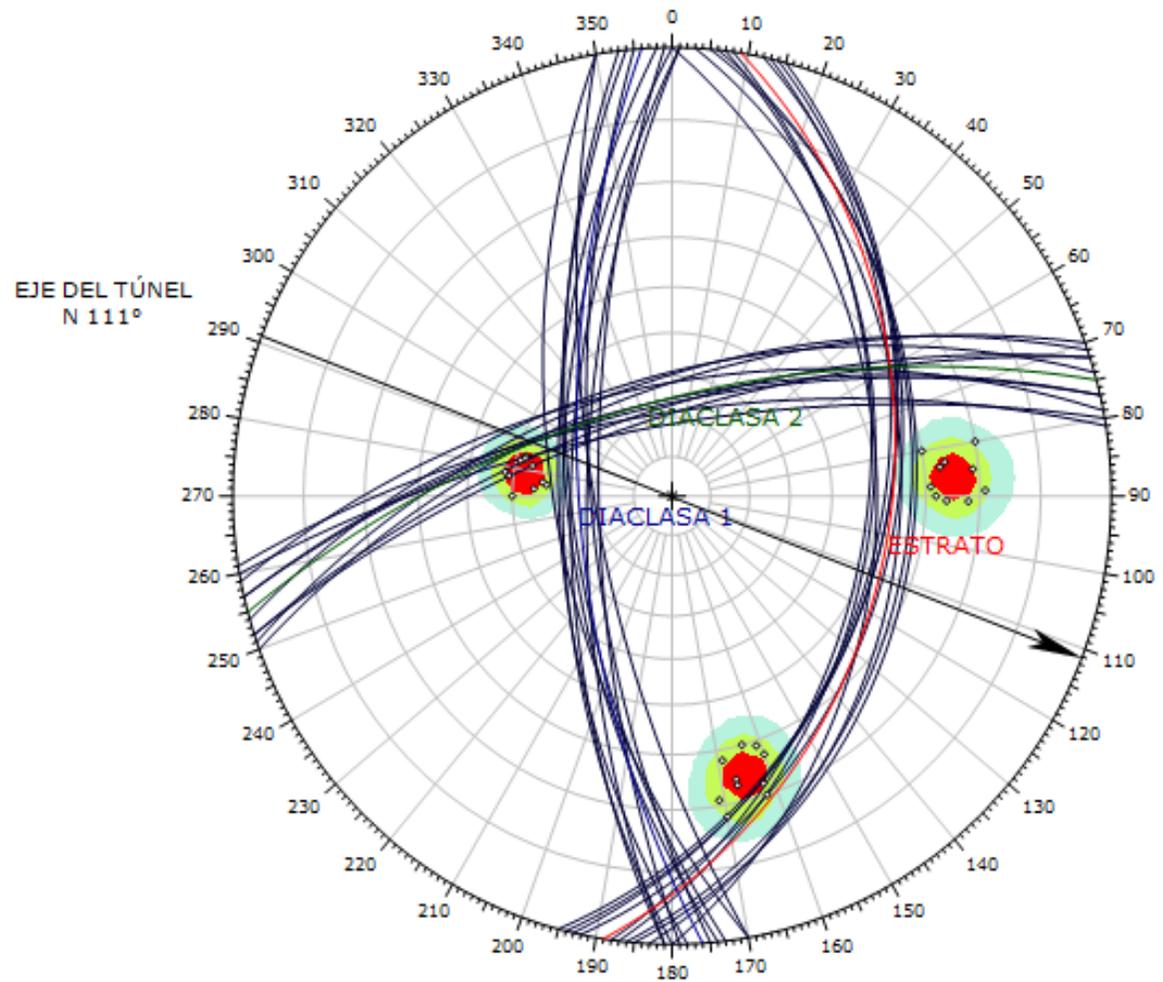
TIPO DE ROCA	PERNOS DE REFORZAMIENTO A INSTALAR
I	SIN SOPORTE
II	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M DE FORMA PUNTUAL
III	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.80 X 1.80
IV	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.50 X 1.50 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS
V	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.20 X 1.20 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS Y/O CIMBRAS ESPACIADAS A 1.0 X 1.0M



Color	Density Concentrations
	0.00 - 7.50
	7.50 - 15.00
	15.00 - 22.50
	22.50 - 30.00
Maximum Density	29.93%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	Red	37	99	ESTRATO
2	Blue	66	266	DIACLASA 1
3	Green	66	345	DIACLASA 2

Figura 29. Estereograma de la estación geomecánica 07



Color	Density Concentrations
	0.00 - 7.50
	7.50 - 15.00
	15.00 - 22.50
	22.50 - 30.00
Maximum Density	29.93%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	■	37	99	ESTRATO
2	■	66	266	DIACLASA 1
3	■	66	345	DIACLASA 2

Figura 30. Representación de la cantidad de planos de la estación 07

Estación Geomecánica 08

Esta estación esta comprendida entre las progresivas: Km 1+320.34 - Km 1+325.44, del tramo: 53.40m a 58.50m, con una orientación del túnel: N 115°.

En el análisis Dips V6 se forma cuña entre la diaclasa 1 y la diaclasa 2 por ser opuestas y por que se van a cortar en dirección del eje de túnel.

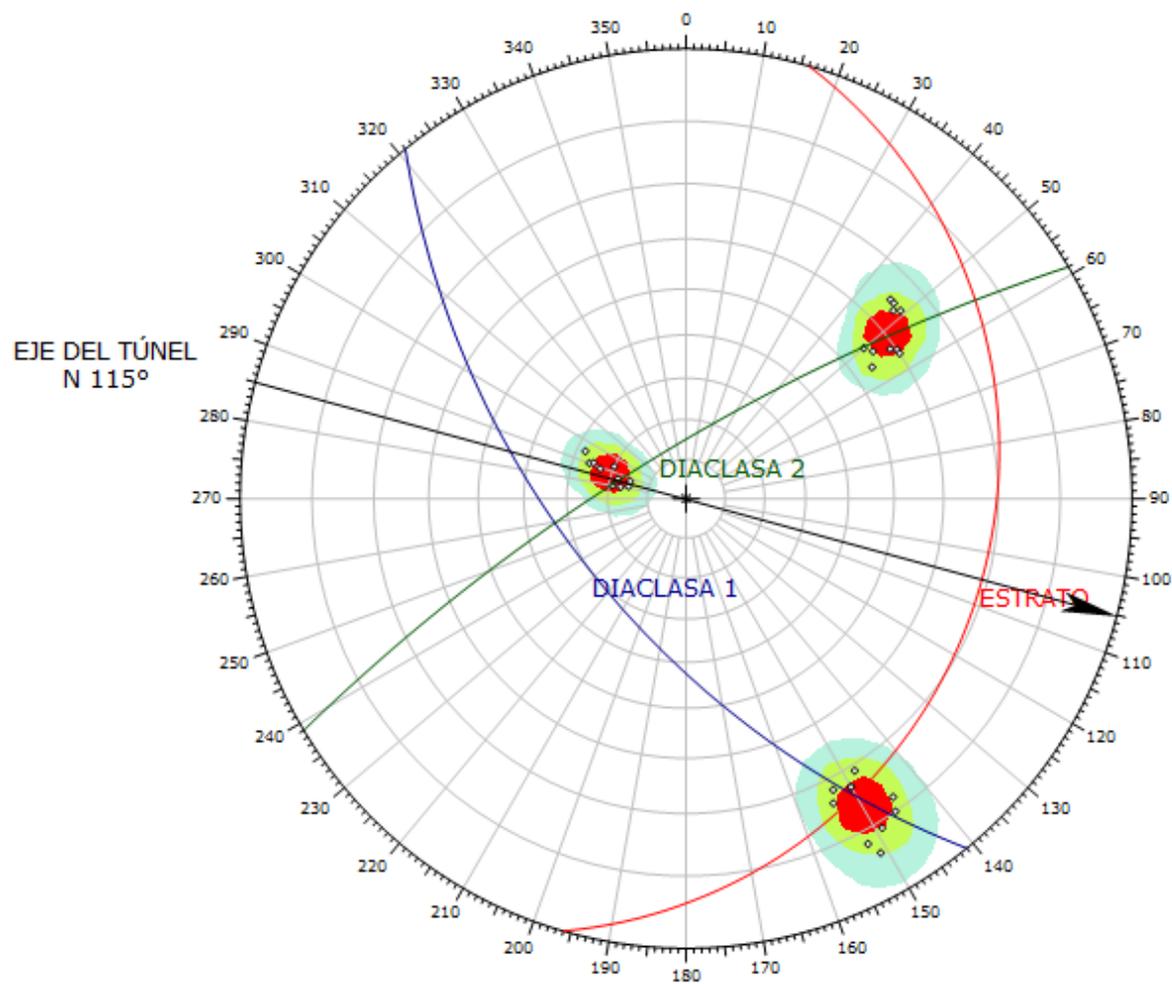
El RMR para esta estación geomecánica es de 51, roca tipo III de regular calidad, para la cual se reforzará su sostenimiento con pernos cementados de 2.10m espaciado a 1.80m x 1.80m.

Tabla 22. Valoración del macizo rocoso en estación 08

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)								
PARAMETRO	RANGO DE VALORES						VALOR	
R. COMPRES. UNIAxIAL (Mpa.)	>250 (15) x	100-250 (12)		50-100 (7)		25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1 12
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	x	50-75 (13)		25-50 (8)	< 25 (3)	2 13
ESPACIAM. (m)	> 2 (20)	0.6- 2 (15)	x	0.2-0.6 (10)		0.06-0.2 (8)	<0.06 (5)	3 10
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSIS.	<1m (6)	1-3m (4) x	3-10m (2)		10-20m (1)	>20m (0)	4 A 2
	ABERT.	Cerrada (6)	<0.1mm (6)	0.1-1mm (4)		1-5mm (1) x	>5mm (0)	4 B 0
	RUGOS.	Muy Rug. (6)	Rug. (5) x	Lig. Rug. (3)		Lisa (1)	Espej. De Falla (0)	4 C 3
	RELLEN.	Limpia (6)	Duro <5mm (4)	Duro >5mm (2)		Suave <5mm (1) x	Suave >5mm (0)	4 D 0
	ALTER.	Sana (6)	Lig. Alt. (5) x	Mod. Alt. (3)		Muy Alt. (2)	Descomp. (0)	4 E 3
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15) x	Humedo (10)		Mojado (7)		Goteo (4)	Flujo (0)	5 10
AJUSTE ORIENT. DE DISCONTINUIDADES	Muy Fav. (0) x	Fav. (-2)		Regular (-5)		Desfav. (-10)	Muy Desfav. (-12)	6 -2
VALOR TOTAL RMR (SUMA DE VALORACIÓN DE 1 AL 6)								51
CLASE DE MACIZO ROCOSO								III
RMR	100-81	80-61	60-41	40-21	20-0			
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA			

Tabla 23. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).

TIPO DE ROCA	PERNOS DE REFORZAMIENTO A INSTALAR
I	SIN SOPORTE
II	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M DE FORMA PUNTUAL
III	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.80 X 1.80
IV	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.50 X 1.50 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS
V	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.20 X 1.20 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS Y/O CIMBRAS ESPACIADAS A 1.0 X 1.0M



Color	Density Concentrations
	0.00 - 7.20
	7.20 - 14.40
	14.40 - 21.60
	21.60 - 28.80
Maximum Density	28.59%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	■	21	106	ESTRATO
2	■	60	231	DIACLASA 1
3	■	77	329	DIACLASA 2

Figura 31. Estereograma de la estación geomecánica 08

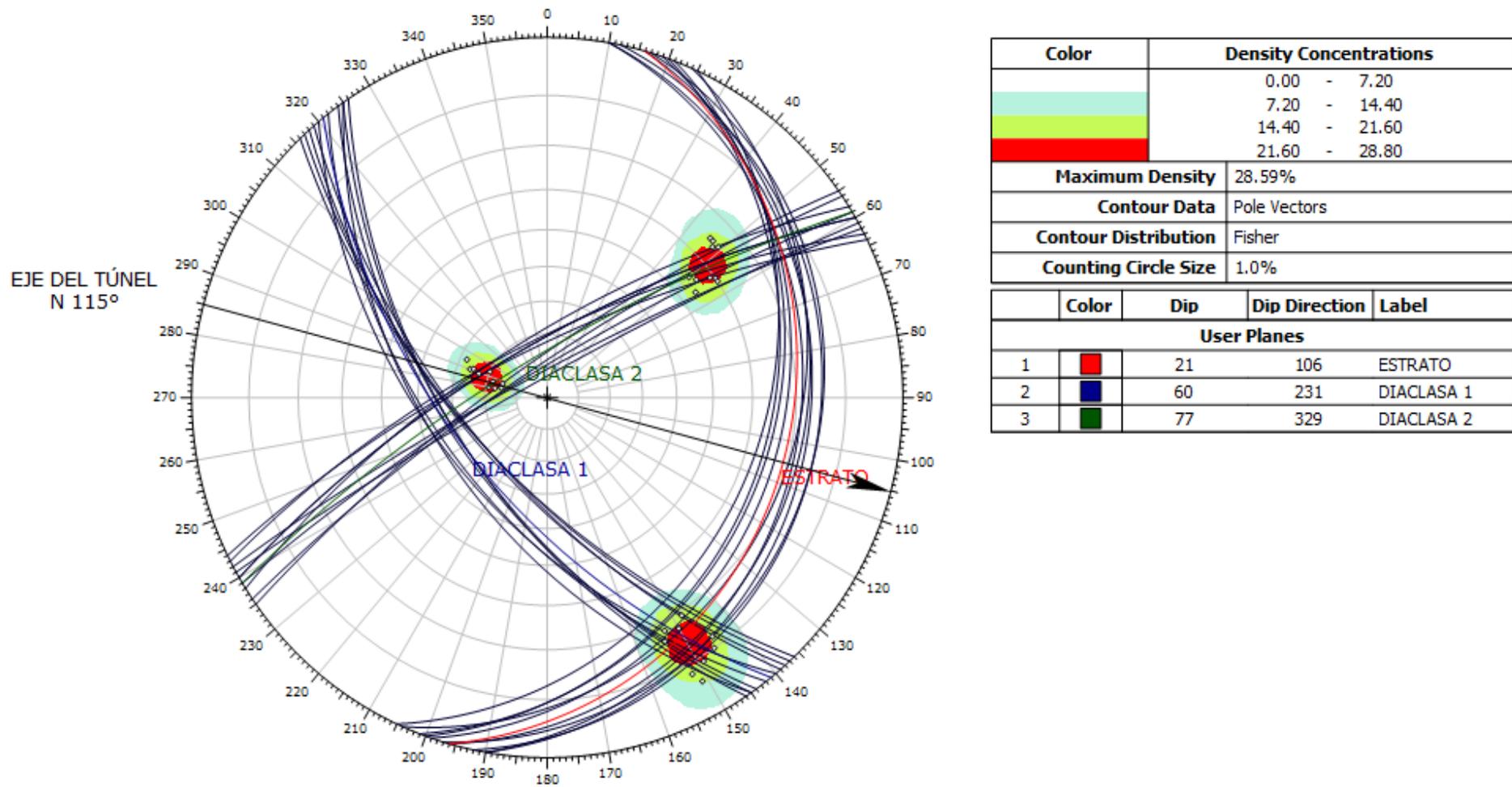


Figura 32. Representación de la cantidad de planos de la estación 08

Estación Geomecánica 09

Esta estación esta comprendida entre las progresivas: Km 1+325.44 - Km 1+329.44, del tramo: 58.50m a 62.50m, con una orientación del túnel: N 115°.

En el análisis Dips V6 se forma cuña por la intersección de la diaclasa 1 y la diaclasa 2 en el eje del túnel.

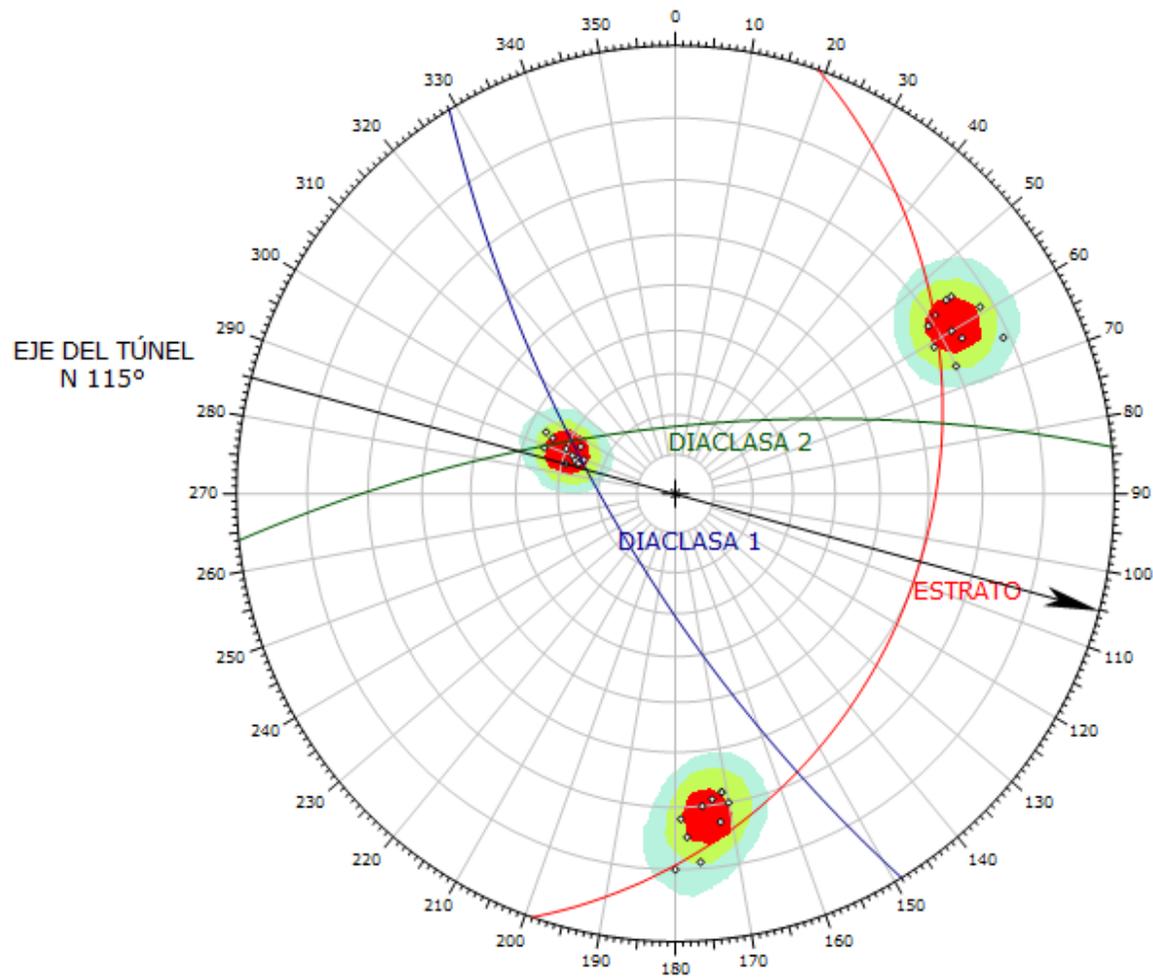
El RMR para esta estación geomecánica es de 48, roca tipo III de regular calidad, para la cual se reforzará su sostenimiento con pernos cementados de 2.10m espaciado a 1.80m x 1.80m.

Tabla 24. Valoración del macizo rocoso en estación 09

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)								
PARAMETRO	RANGO DE VALORES						VALOR	
R. COMPRES. UNIAxIAL (Mpa.)	>250 (15) x	100-250 (12)		50-100 (7)		25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1 12
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)		50-75 (13) x		25-50 (8)	< 25 (3)	2 8
ESPAciam. (m)	> 2 (20)	0.6 - 2 (15) x		0.2-0.6 (10)		0.06-0.2 (8)	<0.06 (5)	3 10
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSIS.	<1m (6)	1-3m (4) x	3-10m (2) x		10-20m (1)	>20m (0)	4 A 2
	ABERT.	Cerrada (6)	<0.1mm (6)	0.1-1mm (4) x		1-5mm (1)	>5mm (0)	4 B 1
	RUGOS.	Muy Rug. (6)	Rug. (5) x	Lig. Rug. (3)		Lisa (1)	Espej. De Falla (0)	4 C 3
	RELLEN.	Limpia (6)	Duro <5mm (4)	Duro >5mm (2) x		Suave <5mm (1)	Suave >5mm (0)	4 D 1
	ALTER.	Sana (6)	Lig. Alt. (5) x	Mod. Alt. (3)		Muy Alt. (2)	Descomp. (0)	4 E 3
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15) x	Humedo (10)		Mojado (7)		Goteo (4)	Flujo (0)	5 10
AJUSTE ORIENT. DE DISCONTINUIDADES	Muy Fav. (0) x	Fav. (-2)		Regular (-5)		Desfav. (-10)	Muy Desfav. (-12)	6 -2
VALOR TOTAL RMR (SUMA DE VALORACIÓN DE 1 AL 6)								48
CLASE DE MACIZO ROCOSO								
RMR	100-81	80-61	60-41	40-21	20-0	III		
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA			

Tabla 25. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).

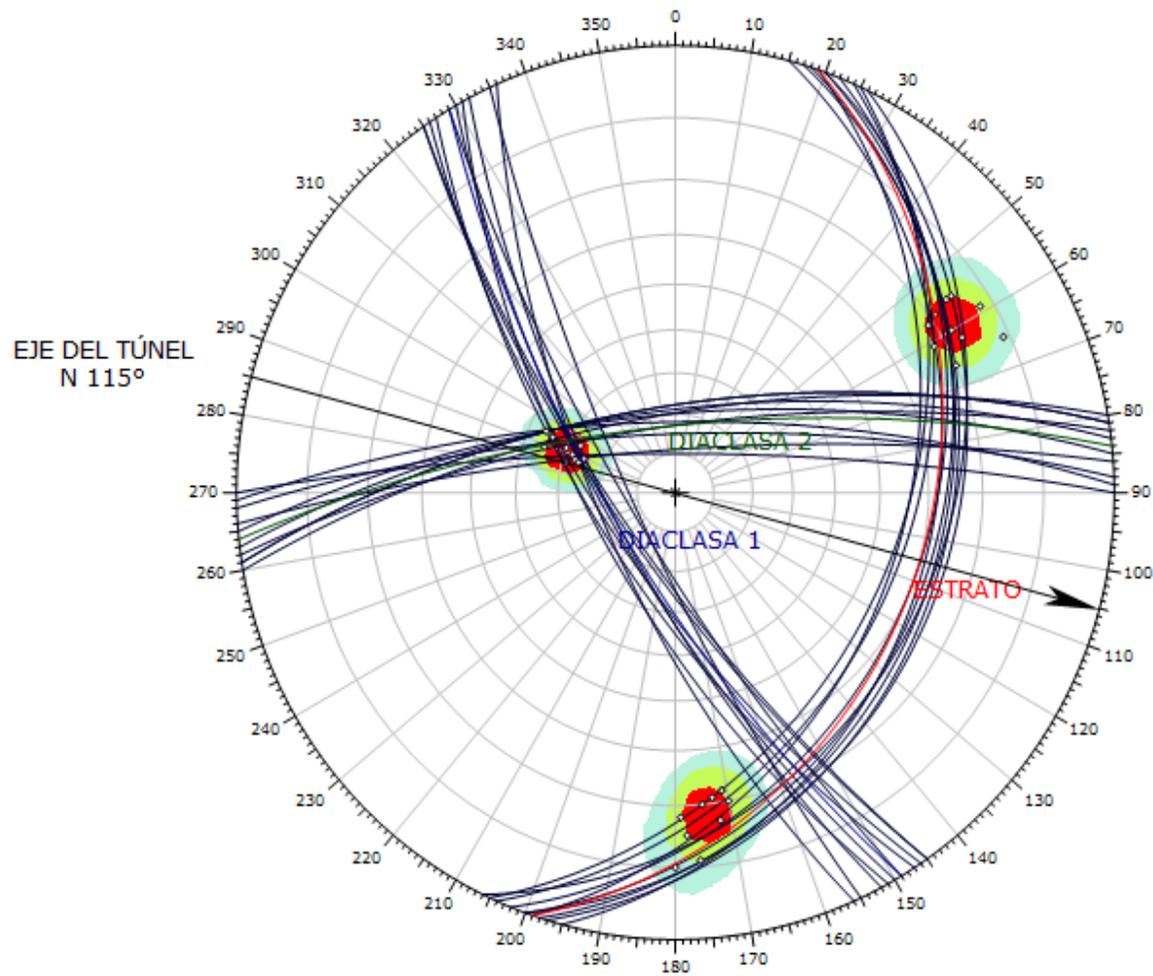
TIPO DE ROCA	PERNOS DE REFORZAMIENTO A INSTALAR
I	SIN SOPORTE
II	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M DE FORMA PUNTUAL
III	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.80 X 1.80
IV	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.50 X 1.50 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS
V	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.20 X 1.20 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS Y/O CIMBRAS ESPACIADAS A 1.0 X 1.0M



Color	Density Concentrations
	0.00 - 7.30
	7.30 - 14.60
	14.60 - 21.90
	21.90 - 29.20
Maximum Density	29.10%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	■	30	109	ESTRATO
2	■	73	239	DIACLASA 1
3	■	73	354	DIACLASA 2

Figura 33. Estereograma de la estación geomecánica 09



Color	Density Concentrations
	0.00 - 7.30
	7.30 - 14.60
	14.60 - 21.90
	21.90 - 29.20
Maximum Density	29.10%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	■	30	109	ESTRATO
2	■	73	239	DIACLASA 1
3	■	73	354	DIACLASA 2

Figura 34. Representación de la cantidad de planos de la estación 09

Estación Geomecánica 10

Esta estación esta comprendida entre las progresivas: Km 1+329.44 - Km 1+334.34, del tramo: 62.50m a 67.40m, con una orientación del túnel: N 115°.

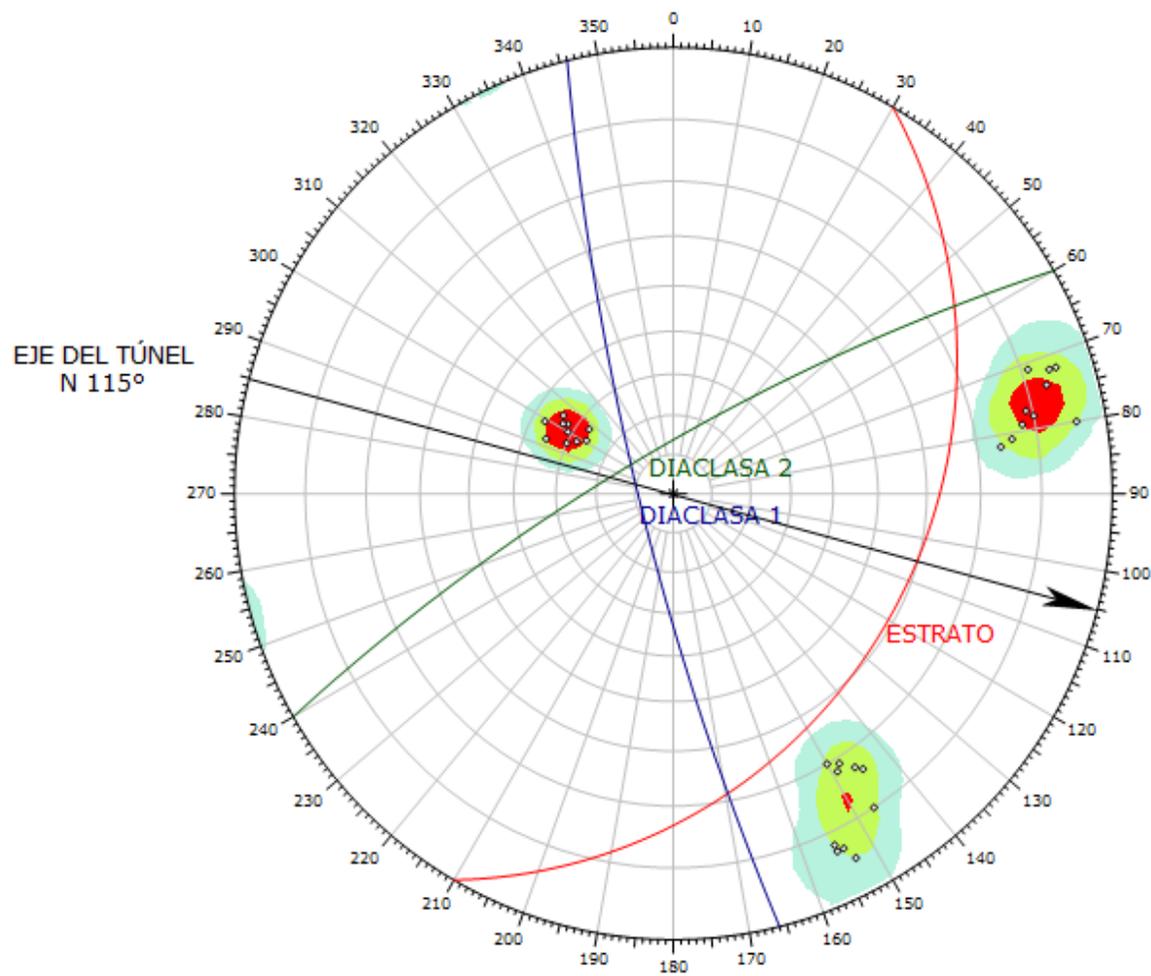
El RMR para esta estación geomecánica es de 50, roca tipo III de regular calidad, para la cual se reforzará su sostenimiento con pernos cementados de 2.10m espaciado a 1.80m x 1.80m.

Tabla 26. Valoración del macizo rocoso en estación 10

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)								
PARAMETRO		RANGO DE VALORES					VALOR	
R. COMPRE. UNIAXIAL (Mpa.)		>250 (15) x	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	12
RQD %		90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	x 25-50 (8)	< 25 (3)	2	8
ESPACIAM. (m)		> 2 (20)	0.6 - 2 (15)	x 0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	<0.06 (5)	3	10
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSIS.	<1m (6)	1-3m (4)	x 3-10m (2)	10-20m (1)	>20m (0)	4	2
	ABERT.	Cerrada (6)	<0.1mm (6)	0.1-1mm (4)	x 1-5mm (1)	>5mm (0)	4	1
	RUGOS.	Muy Rug. (6)	Rug. (5)	x Lig. Rug. (3)	Lisa (1)	Espej. De Falla (0)	4	3
	RELLEN.	Limpia (6)	Duro <5mm (4)	Duro >5mm (2)	x Suave <5mm (1)	Suave >5mm (0)	4	1
	ALTER.	Sana (6)	x Lig. Alt. (5)	Mod. Alt. (3)	Muy Alt. (2)	Descomp. (0)	4	5
AGUA SUBTERRANEA		Seco (15) x	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	10
AJUSTE ORIENT. DE DISCONTINUIDADES		Muy Fav. (0) x	Fav. (-2)	Regular (-5)	Desfav. (-10)	Muy Desfav. (-12)	6	-2
VALOR TOTAL RMR (SUMA DE VALORACIÓN DE 1 AL 6)							50	
CLASE DE MACIZO ROCOSO								
RMR		100-81	80-61	60-41	40-21	20-0	III	
DESCRIPCIÓN		I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA		

Tabla 27. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).

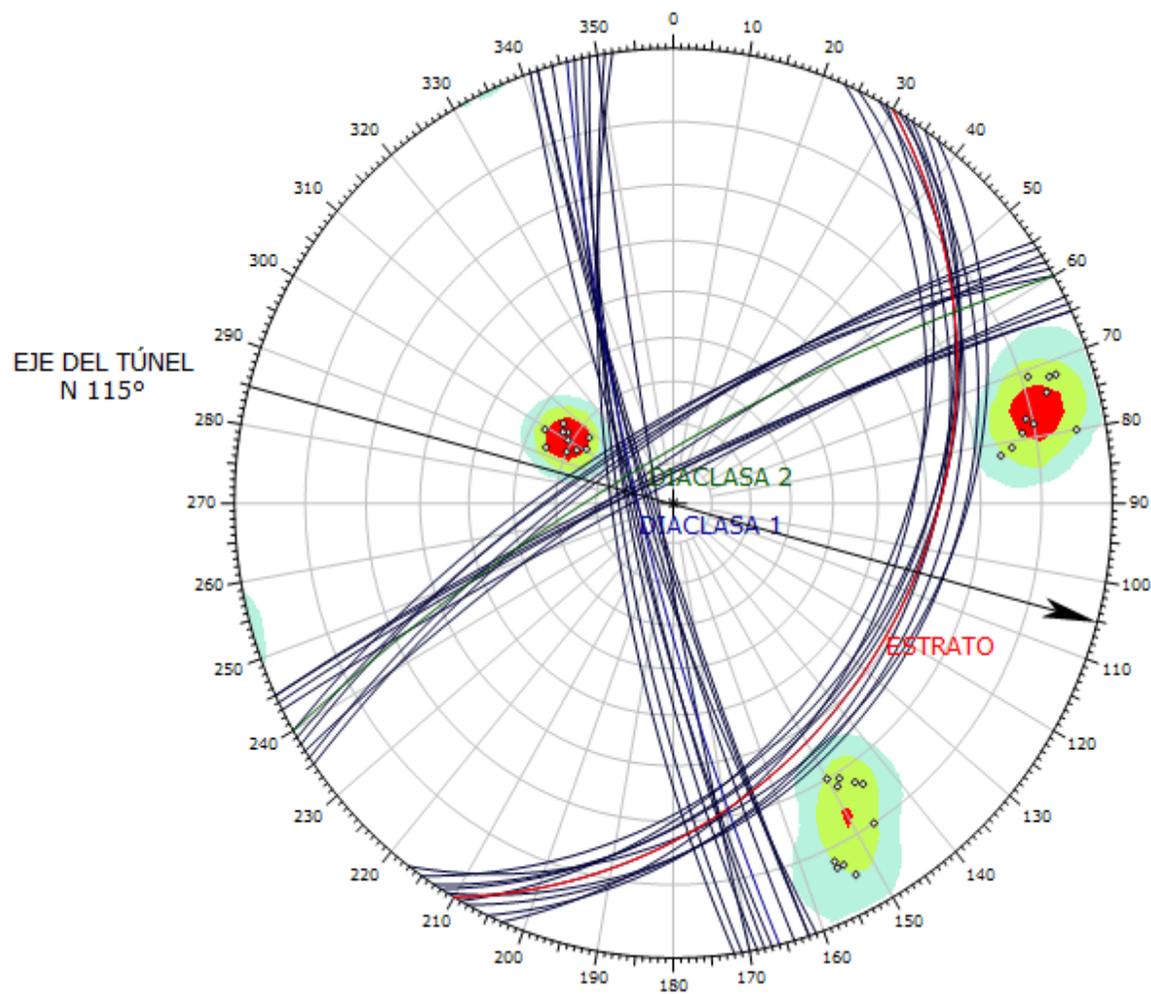
TIPO DE ROCA	PERNOS DE REFORZAMIENTO A INSTALAR
I	SIN SOPORTE
II	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M DE FORMA PUNTUAL
III	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.80 X 1.80
IV	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.50 X 1.50 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS
V	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.20 X 1.20 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS Y/O CIMBRAS ESPACIADAS A 1.0 X 1.0M



Color	Density Concentrations
	0.00 - 7.50
	7.50 - 15.00
	15.00 - 22.50
	22.50 - 30.00
Maximum Density	29.89%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	■	31	120	ESTRATO
2	■	81	256	DIACLASA 1
3	■	78	330	DIACLASA 2

Figura 35. Estereograma de la estación geomecánica 10



Color	Density Concentrations
	0.00 - 7.50
	7.50 - 15.00
	15.00 - 22.50
	22.50 - 30.00
Maximum Density	29.89%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	■	31	120	ESTRATO
2	■	81	256	DIACLASA 1
3	■	78	330	DIACLASA 2

Figura 36. Representación de la cantidad de planos de la estación 10

Estación Geomecánica 11

Esta estación esta comprendida entre las progresivas: Km 1+334.34 - Km 1+338.64, del tramo: 67.40m a 71.70m, con una orientación del túnel: N 115°.

En su respectivo análisis Dips V6 se forma cuña entre la diaclasa 1 y la diaclasa 2 por que son opuestas.

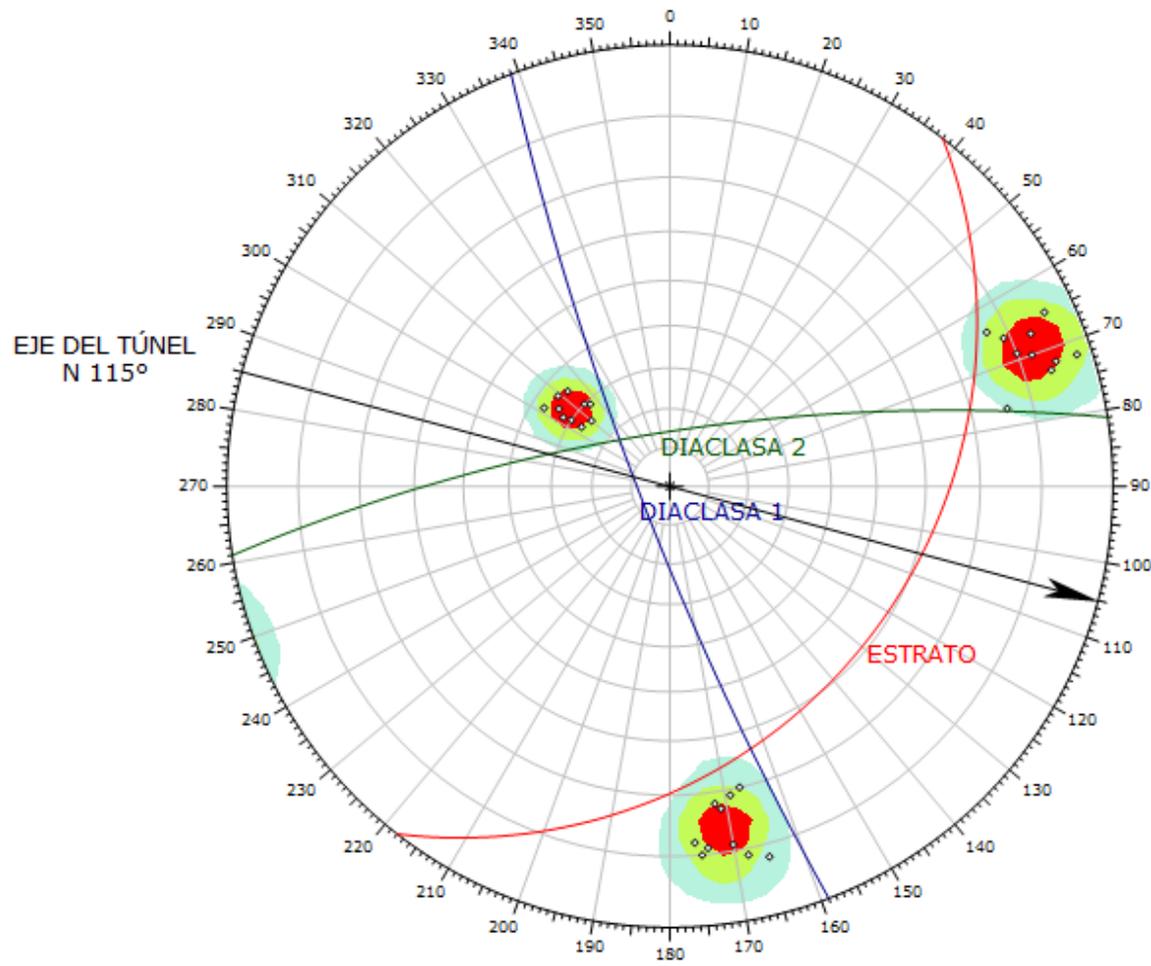
El RMR para esta estación geomecánica es de 58, roca tipo III de regular calidad, para la cual se reforzará su sostenimiento con pernos cementados de 2.10m espaciado a 1.80m x 1.80m.

Tabla 28. Valoración del macizo rocoso en estación 11

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)								
PARAMETRO		RANGO DE VALORES					VALOR	
R. COMPRES. UNIAxIAL (Mpa.)		>250 (15) x	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	12
RQD %		90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13) x	25-50 (8)	< 25 (3)	2	8
ESPACIAM. (m)		> 2 (20) x	0.6 - 2 (15)	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	<0.06 (5)	3	15
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSIS.	<1m (6)	1-3m (4) x	3-10m (2)	10-20m (1)	>20m (0)	4 A	2
	ABERT.	Cerrada (6)	<0.1mm (6)	0.1-1mm (4) x	1-5mm (1)	>5mm (0)	4 B	1
	RUGOS.	Muy Rug. (6)	Rug. (5) x	Lig. Rug. (3)	Lisa (1)	Espej. De Falla (0)	4 C	3
	RELLEN.	Limpia (6)	Duro <5mm (4) x	Duro >5mm (2)	Suave <5mm (1)	Suave >5mm (0)	4 D	4
	ALTER.	Sana (6) x	Lig. Alt. (5)	Mod. Alt. (3)	Muy Alt. (2)	Descomp. (0)	4 E	5
AGUA SUBTERRANEA		Seco (15) x	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	10
AJUSTE ORIENT. DE DISCONTINUIDADES		Muy Fav. (0) x	Fav. (-2)	Regular (-5)	Desfav. (-10)	Muy Desfav. (-12)	6	-2
VALOR TOTAL RMR (SUMA DE VALORACIÓN DE 1 AL 6)							58	
CLASE DE MACIZO ROCOSO								
RMR		100-81	80-61	60-41	40-21	20-0	III	
DESCRIPCIÓN		I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA		

Tabla 29. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).

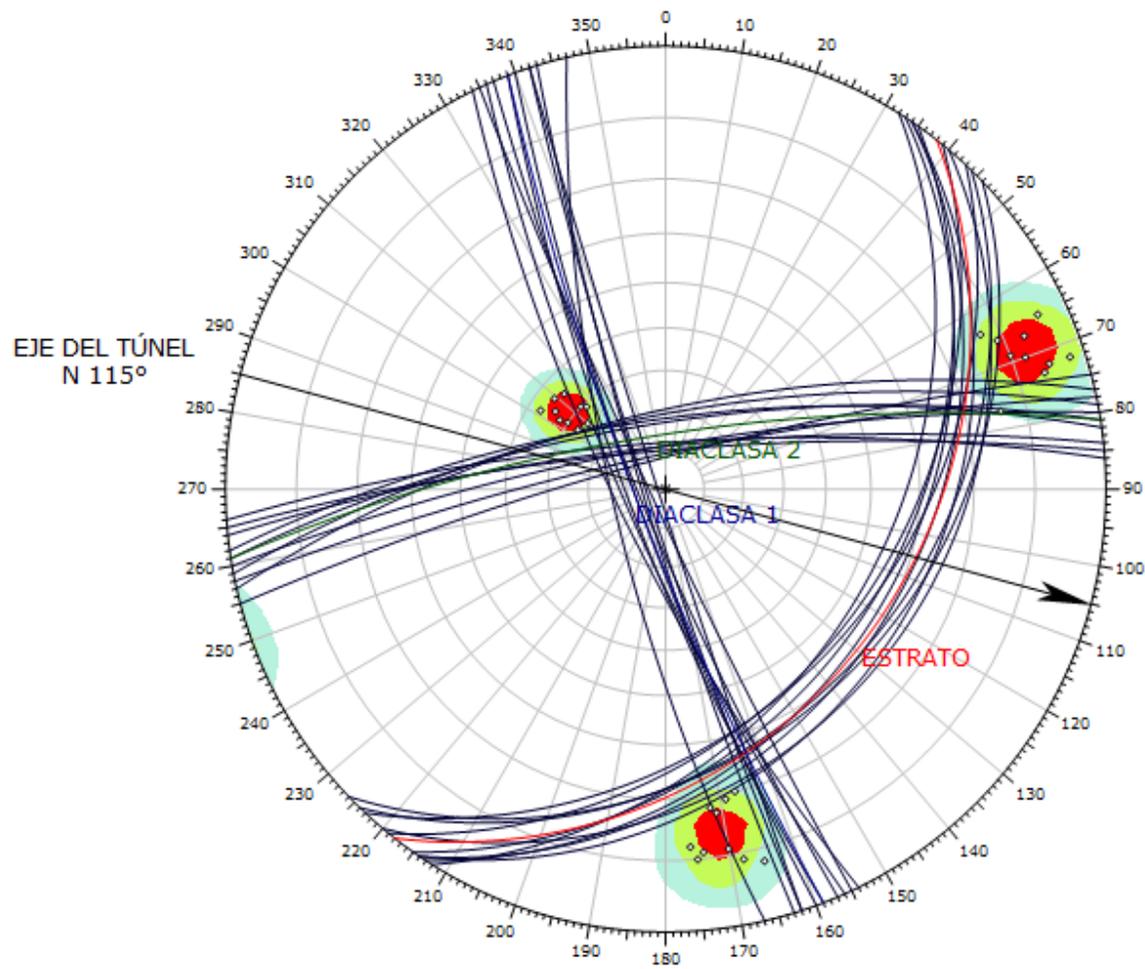
TIPO DE ROCA	PERNOS DE REFORZAMIENTO A INSTALAR
I	SIN SOPORTE
II	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M DE FORMA PUNTUAL
III	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.80 X 1.80
IV	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.50 X 1.50 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS
V	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.20 X 1.20 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS Y/O CIMBRAS ESPACIADAS A 1.0 X 1.0M



Color	Density Concentrations
	0.00 - 7.30
	7.30 - 14.60
	14.60 - 21.90
	21.90 - 29.20
Maximum Density	28.94%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	■	31	128	ESTRATO
2	■	82	249	DIACLASA 1
3	■	76	351	DIACLASA 2

Figura 37. Estereograma de la estación geomecánica 11



Color	Density Concentrations
	0.00 - 7.30
	7.30 - 14.60
	14.60 - 21.90
	21.90 - 29.20
Maximum Density	28.94%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	■	31	128	ESTRATO
2	■	82	249	DIACLASA 1
3	■	76	351	DIACLASA 2

Figura 38. Representación de la cantidad de planos de la estación 11

Estación Geomecánica 12

Esta estación esta comprendida entre las progresivas: Km 1+338.64 - Km 1+346.04, del tramo: 71.70m a 79.10m, con una orientación del túnel: N 115°.

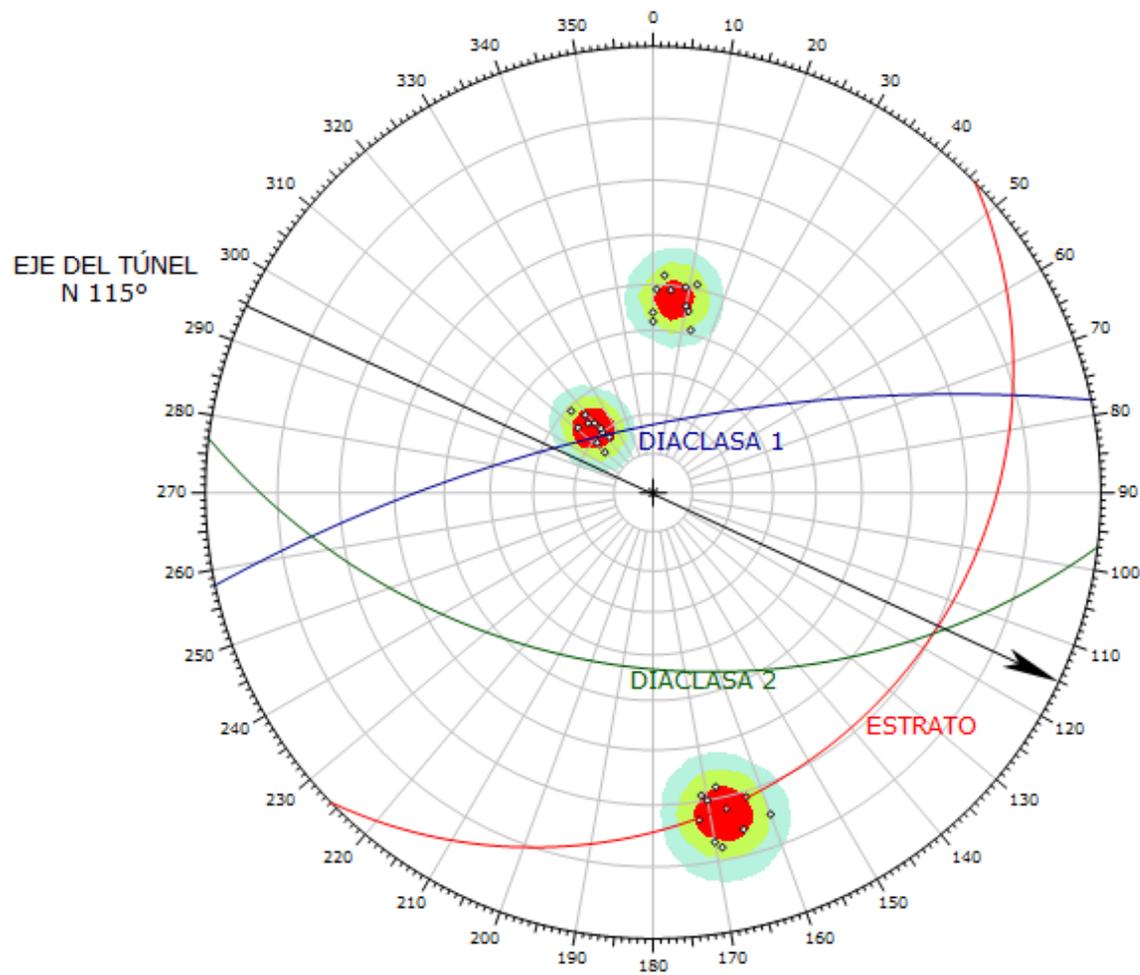
El RMR para esta estación geomecánica es de 63, roca tipo II de buena calidad, para la cual se reforzará su sostenimiento con pernos cementados de 2.10m de forma puntual.

Tabla 30. Valoración del macizo rocoso en estación 12

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)										
PARAMETRO	RANGO DE VALORES						VALOR			
R. COMPRES. UNIAxIAL (Mpa.)	>250 (15)	x	100-250 (12)		50-100 (7)		25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	12
RQD %	90-100 (20)		75-90 (17)	x	50-75 (13)		25-50 (8)	< 25 (3)	2	13
ESPAciam. (m)	> 2 (20)	x	0.6 - 2 (15)		0.2-0.6 (10)		0.06-0.2 (8)	<0.06 (5)	3	15
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSIS.	<1m (6)	1-3m (4)	x	3-10m (2)		10-20m (1)	>20m (0)	4	2
	ABERT.	Cerrada (6)	<0.1mm (6)		0.1-1mm (4)	x	1-5mm (1)	>5mm (0)	4	1
	RUGOS.	Muy Rug. (6)	Rug. (5)	x	Lig. Rug. (3)		Lisa (1)	Espej. De Falla (0)	4	3
	RELLEN.	Limpia (6)	Duro <5mm (4)	x	Duro >5mm (2)		Suave <5mm (1)	Suave >5mm (0)	4	4
	ALTER.	Sana (6)	Lig. Alt. (5)	x	Mod. Alt. (3)		Muy Alt. (2)	Descomp. (0)	4	5
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	x	Humedo (10)		Mojado (7)		Goteo (4)	Flujo (0)	5	10
AJUSTE ORIENT. DE DISCONTINUIDADES	Muy Fav. (0)	x	Fav. (-2)		Regular (-5)		Desfav. (-10)	Muy Desfav. (-12)	6	-2
VALOR TOTAL RMR (SUMA DE VALORACIÓN DE 1 AL 6)									63	
CLASE DE MACIZO ROCOSO									II	
RMR	100-81		80-61		60-41		40-21	20-0		
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA		II BUENA		III REGULAR		IV MALA	V MUY MALA		

Tabla 31. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).

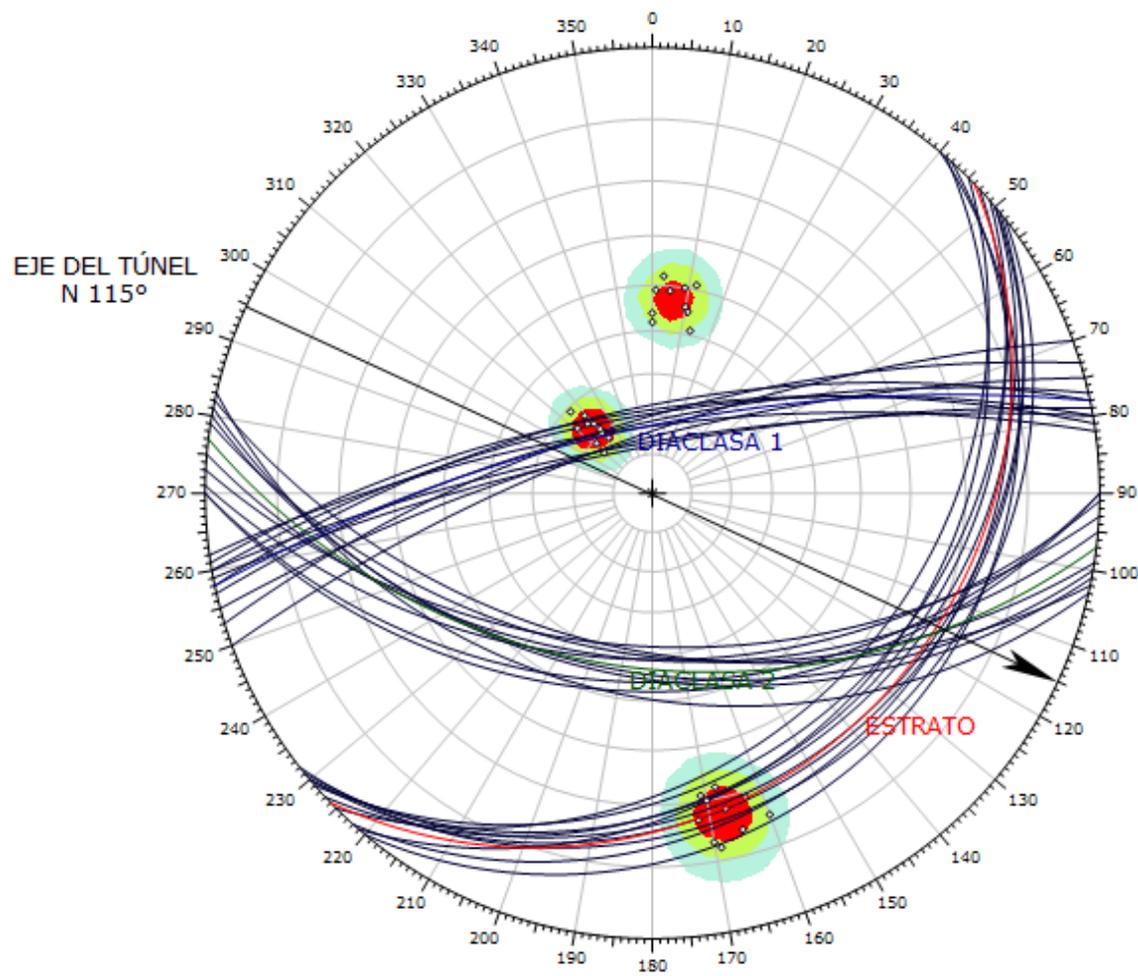
TIPO DE ROCA	TIPO DE SOPORTE
I	SIN SOPORTE
II	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M DE FORMA PUNTUAL
III	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.80 X 1.80
IV	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.50 X 1.50 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS
V	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.20 X 1.20 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS Y/O CIMBRAS ESPACIADAS A 1.0 X 1.0M



Color	Density Concentrations
	0.00 - 7.40
	7.40 - 14.80
	14.80 - 22.20
	22.20 - 29.60
Maximum Density	29.50%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	■	21	136	ESTRATO
2	■	73	348	DIACLASA 1
3	■	47	187	DIACLASA 2

Figura 39. Estereograma de la estación geomecánica 12



Color	Density Concentrations
	0.00 - 7.40
	7.40 - 14.80
	14.80 - 22.20
	22.20 - 29.60
Maximum Density	29.50%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	■	21	136	ESTRATO
2	■	73	348	DIACLASA 1
3	■	47	187	DIACLASA 2

Figura 40. Representación de la cantidad de planos de la estación 12

Estación Geomecánica 13

Esta estación esta comprendida entre las progresivas: Km 1+346.04 - Km 1+353.14, del tramo: 79.10m a 86.20m, con una orientación del túnel: N 115°.

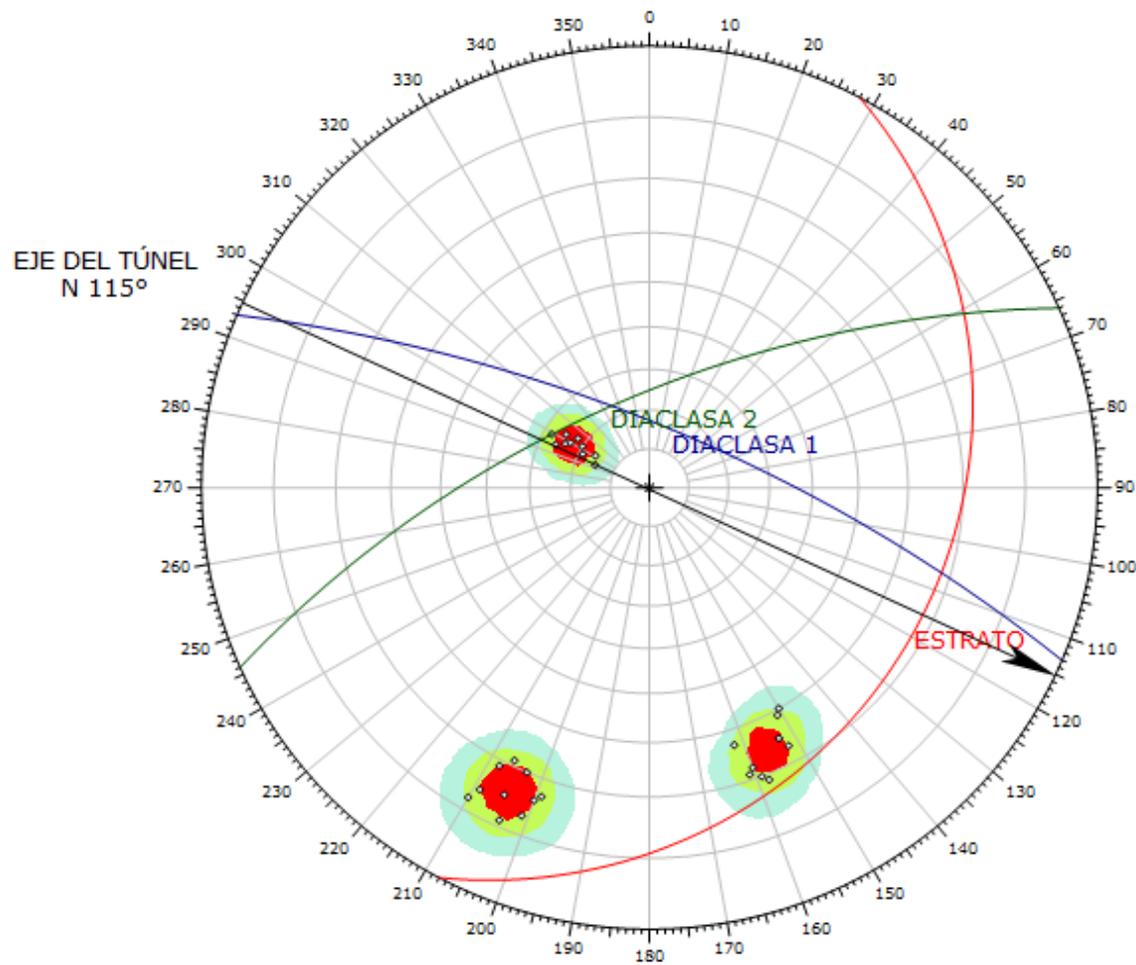
El RMR para esta estación geomecánica es de 62, roca tipo II de buena calidad, para la cual se reforzará su sostenimiento con pernos cementados de 2.10m de forma puntual.

Tabla 32. Valoración del macizo rocoso en estación 13

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)										
PARAMETRO	RANGO DE VALORES						VALOR			
R. COMPRES. UNIAxIAL (Mpa.)	>250 (15)	x	100-250 (12)		50-100 (7)		25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	12
RQD %	90-100 (20)		75-90 (17)	x	50-75 (13)		25-50 (8)	< 25 (3)	2	13
ESPACIAM. (m)	> 2 (20)	x	0.6 - 2 (15)		0.2-0.6 (10)		0.06-0.2 (8)	<0.06 (5)	3	15
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSIS.	<1m (6)	1-3m (4)	x	3-10m (2)		10-20m (1)	>20m (0)	4	2
	ABERT.	Cerrada (6)	<0.1mm (6)		0.1-1mm (4)	x	1-5mm (1)	>5mm (0)	4	1
	RUGOS.	Muy Rug. (6)	Rug. (5)		Lig. Rug. (3)		Lisa (1)	Espej. De Falla (0)	4	5
	RELLEN.	Limpia (6)	Duro <5mm (4)		Duro >5mm (2)	x	Suave <5mm (1)	Suave >5mm (0)	4	1
	ALTER.	Sana (6)	Lig. Alt. (5)		Mod. Alt. (3)		Muy Alt. (2)	Descomp. (0)	4	5
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	x	Humedo (10)		Mojado (7)		Goteo (4)	Flujo (0)	5	10
AJUSTE ORIENT. DE DISCONTINUIDADES	Muy Fav. (0)	x	Fav. (-2)		Regular (-5)		Desfav. (-10)	Muy Desfav. (-12)	6	-2
VALOR TOTAL RMR (SUMA DE VALORACIÓN DE 1 AL 6)									62	
CLASE DE MACIZO ROCOSO									II	
RMR	100-81		80-61		60-41		40-21	20-0		
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA		II BUENA		III REGULAR		IV MALA	V MUY MALA		

Tabla 33. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).

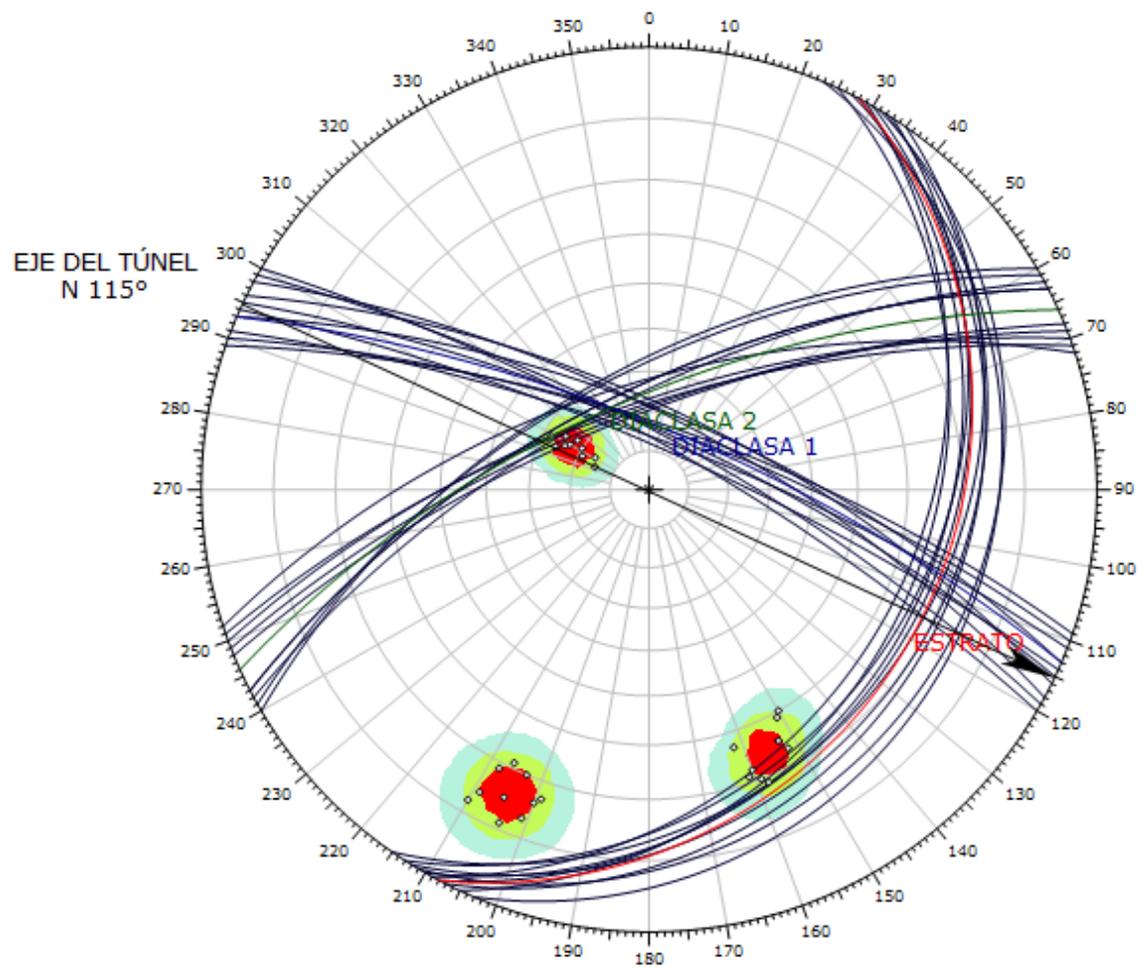
TIPO DE ROCA	TIPO DE SOPORTE
I	SIN SOPORTE
II	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M DE FORMA PUNTUAL
III	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.80 X 1.80
IV	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.50 X 1.50 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS
V	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.20 X 1.20 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS Y/O CIMBRAS ESPACIADAS A 1.0 X 1.0M



Color	Density Concentrations
	0.00 - 7.50
	7.50 - 15.00
	15.00 - 22.50
	22.50 - 30.00
Maximum Density	29.65%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	■	22	118	ESTRATO
2	■	74	23	DIACLASA 1
3	■	67	336	DIACLASA 2

Figura 41. Estereograma de la estación geomecánica 13



Color	Density Concentrations
	0.00 - 7.50
	7.50 - 15.00
	15.00 - 22.50
	22.50 - 30.00
Maximum Density	29.65%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	■	22	118	ESTRATO
2	■	74	23	DIACLASA 1
3	■	67	336	DIACLASA 2

Figura 42. Representación de la cantidad de planos de la estación 13

Estación Geomecánica 14

Esta estación esta comprendida entre las progresivas: Km 1+353.14 - Km 1+359.14, del tramo: 86.20m a 92.20m, con una orientación del túnel: N 115°.

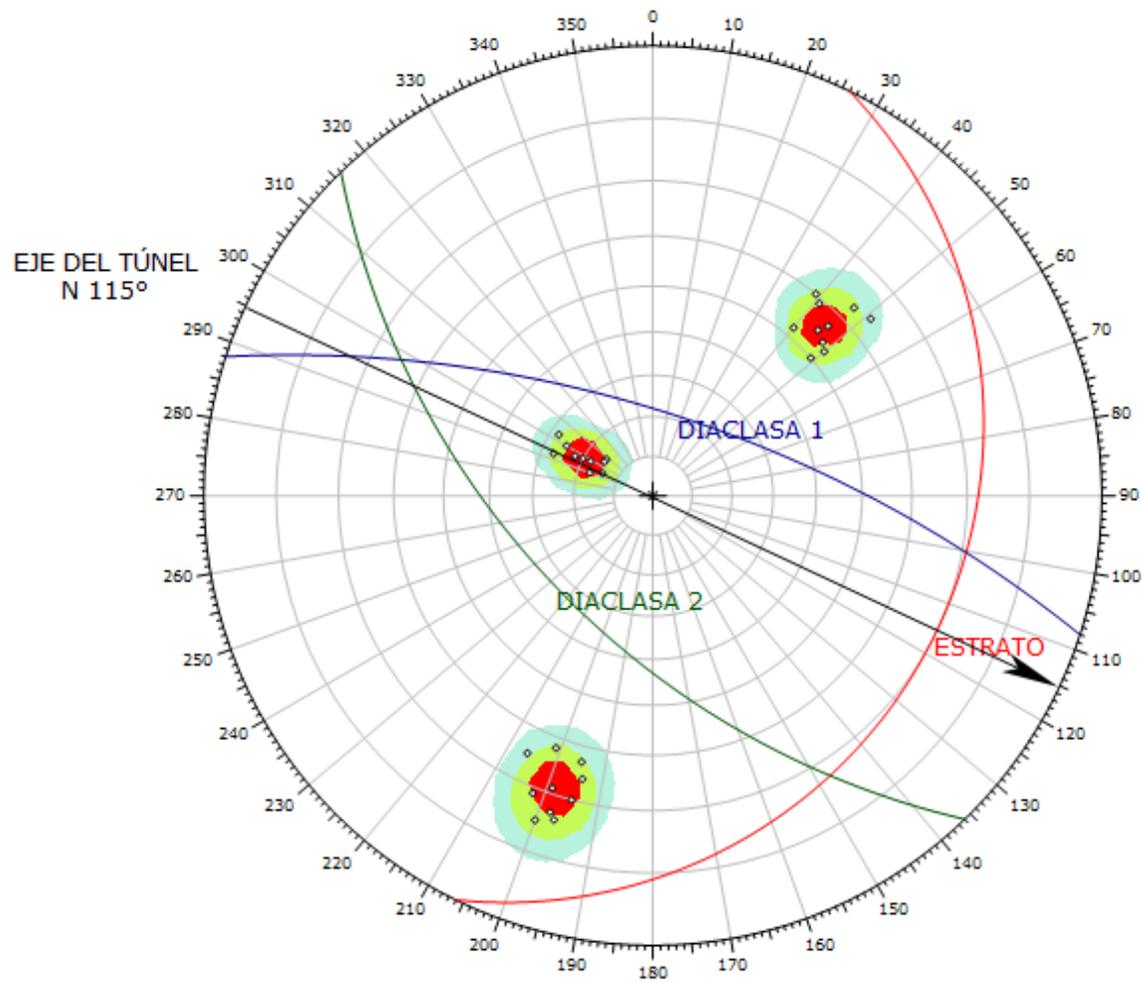
El RMR para esta estación geomecánica es de 65, roca tipo II de buena calidad, para la cual se reforzará su sostenimiento con pernos cementados de 2.10m de forma puntual.

Tabla 34. Valoración del macizo rocoso en estación 14

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)								
PARAMETRO	RANGO DE VALORES						VALOR	
R. COMPRES. UNIAxIAL (Mpa.)	>250 (15) x	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	12	
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17) x	50-75 (13)	25-50 (8)	< 25 (3)	2	13	
ESPACIAM. (m)	> 2 (20) x	0.6 - 2 (15)	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	<0.06 (5)	3	15	
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSIS.	<1m (6)	1-3m (4) x	3-10m (2)	10-20m (1)	>20m (0)	4	2
	ABERT.	Cerrada (6)	<0.1mm (6)	0.1-1mm (4) x	1-5mm (1)	>5mm (0)	4	1
	RUGOS.	Muy Rug. (6) x	Rug. (5)	Lig. Rug. (3)	Lisa (1)	Espej. De Falla (0)	4	5
	RELLEN.	Limpia (6) x	Duro <5mm (4)	Duro >5mm (2)	Suave <5mm (1)	Suave >5mm (0)	4	4
	ALTER.	Sana (6) x	Lig. Alt. (5)	Mod. Alt. (3)	Muy Alt. (2)	Descomp. (0)	4	5
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15) x	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	10	
AJUSTE ORIENT. DE DISCONTINUIDADES	Muy Fav. (0) x	Fav. (-2)	Regular (-5)	Desfav. (-10)	Muy Desfav. (-12)	6	-2	
VALOR TOTAL RMR (SUMA DE VALORACIÓN DE 1 AL 6)							65	
CLASE DE MACIZO ROCOSO								
RMR	100-81	80-61	60-41	40-21	20-0	II		
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA			

Tabla 35. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).

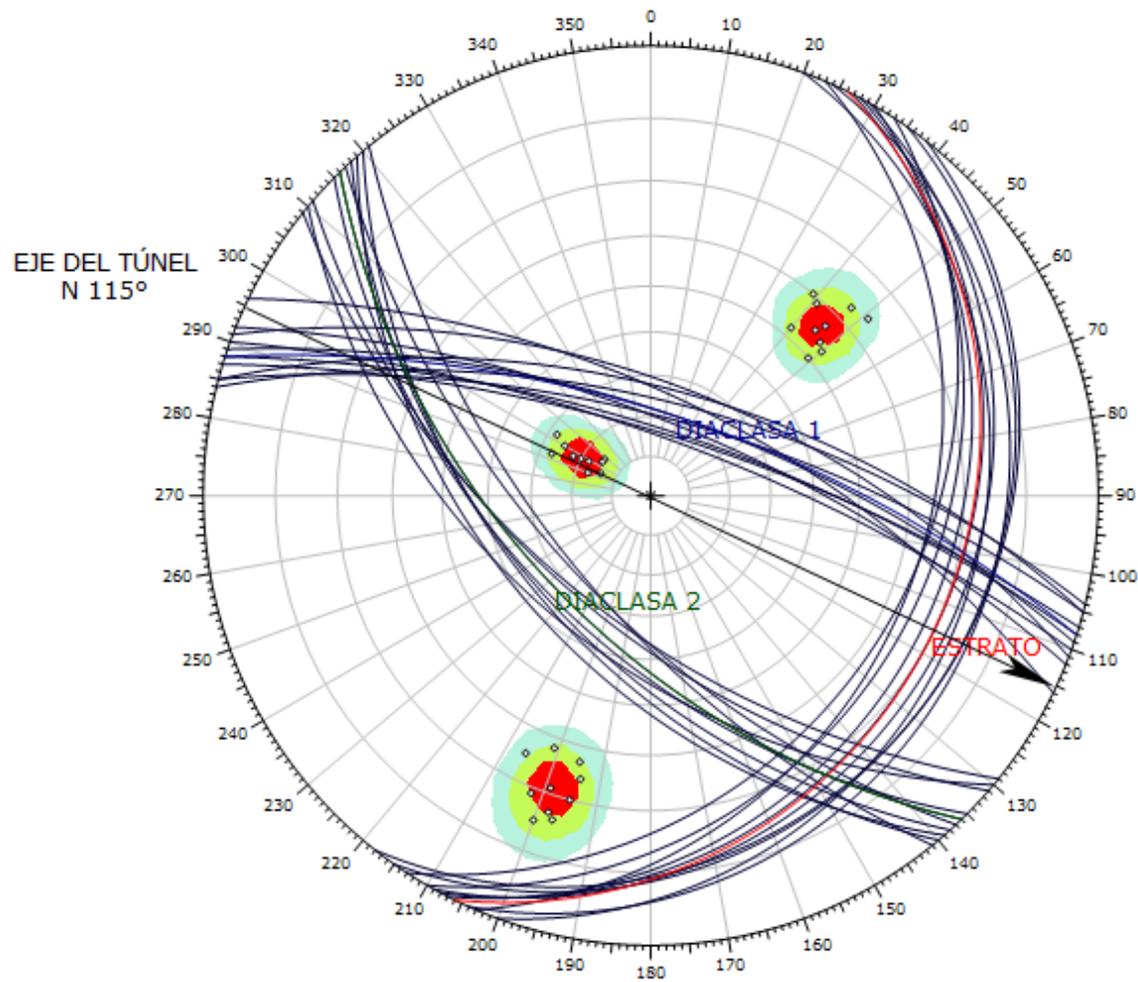
TIPO DE ROCA	TIPO DE SOPORTE
I	SIN SOPORTE
II	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M DE FORMA PUNTUAL
III	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.80 X 1.80
IV	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.50 X 1.50 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS
V	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.20 X 1.20 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS Y/O CIMBRAS ESPACIADAS A 1.0 X 1.0M



Color	Density Concentrations
	0.00 - 7.00
	7.00 - 14.00
	14.00 - 21.00
	21.00 - 28.00
Maximum Density	27.75%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1		20	116	ESTRATO
2		69	18	DIACLASA 1
3		57	226	DIACLASA 2

Figura 43. Estereograma de la estación geomecánica 14



Color	Density Concentrations
	0.00 - 7.00
	7.00 - 14.00
	14.00 - 21.00
	21.00 - 28.00
Maximum Density	27.75%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	■	20	116	ESTRATO
2	■	69	18	DIACLASA 1
3	■	57	226	DIACLASA 2

Figura 44. Representación de la cantidad de planos de la estación 14

Estación Geomecánica 15

Esta estación esta comprendida entre las progresivas: Km 1+359.14 - Km 1+402.34, del tramo: 92.20 A 135.40, con una orientación del túnel: N 115°.

En el análisis Dips V6 se forma cuña entre la diaclasa 1 y la diaclasa 2 por que son opuestas, cruzando el eje del túnel.

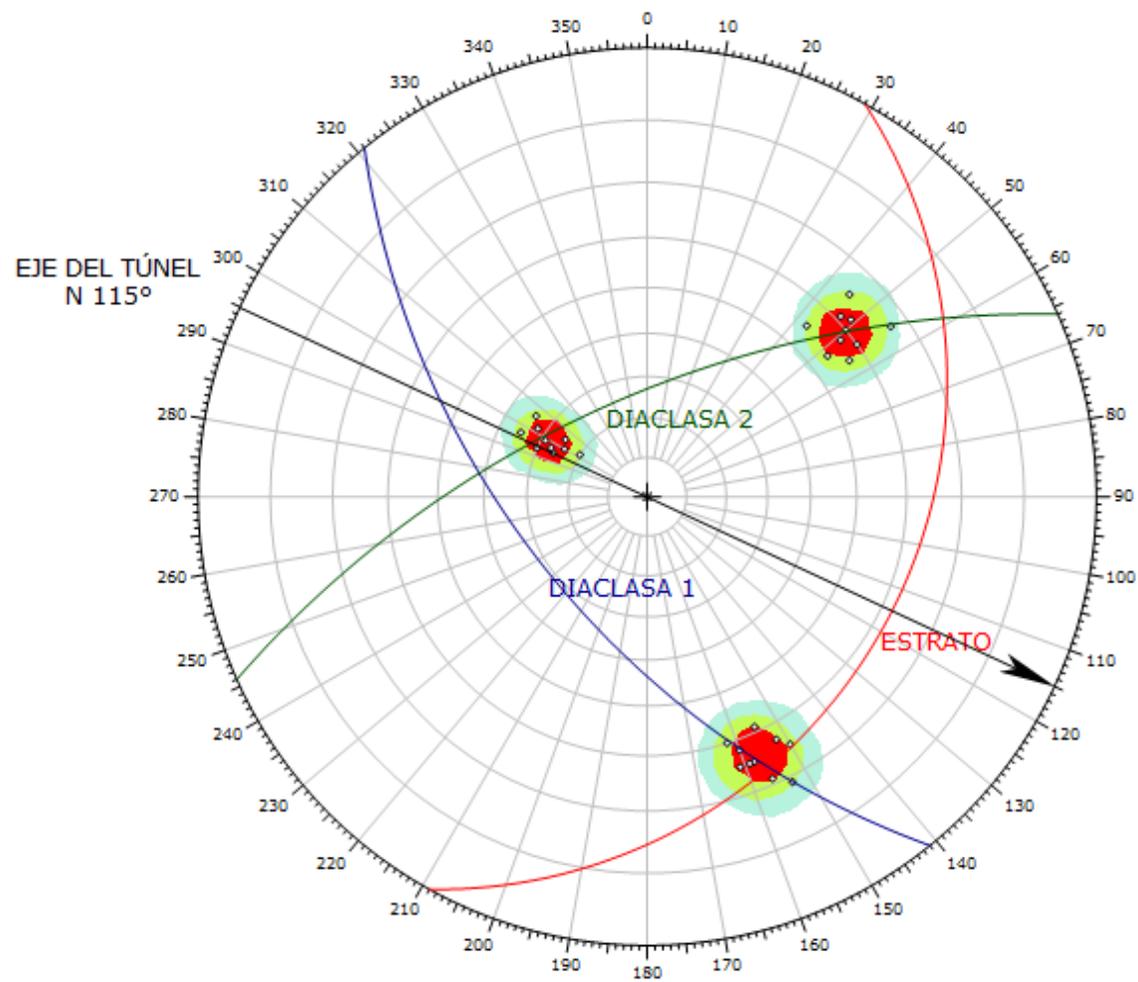
El RMR para esta estación geomecánica es de 68, roca tipo II de buena calidad, para la cual se reforzará su sostenimiento con pernos cementados de 2.10m de forma puntual.

Tabla 36. Valoración del macizo rocoso en estación 15

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)										
PARAMETRO	RANGO DE VALORES						VALOR			
R. COMPRES. UNIAxIAL (Mpa.)	>250 (15)	x	100-250 (12)		50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1)	1	12	
RQD %	90-100 (20)		75-90 (17)	x	50-75 (13)	25-50 (8)	< 25 (3)	2	13	
ESPAciam. (m)	> 2 (20)	x	0.6 - 2 (15)		0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	<0.06 (5)	3	15	
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSIS.		<1m (6)	x	1-3m (4)	3-10m (2)	10-20m (1)	>20m (0)	4	2
	ABERT.		Cerrada (6)	x	<0.1mm (6)	0.1-1mm (4)	1-5mm (1)	>5mm (0)	4	4
	RUGOS.		Muy Rug. (6)	x	Rug. (5)	Lig. Rug. (3)	Lisa (1)	Espej. De Falla (0)	4	5
	RELLEN.		Limpia (6)	x	Duro <5mm (4)	Duro >5mm (2)	Suave <5mm (1)	Suave >5mm (0)	4	4
	ALTER.		Sana (6)	x	Lig. Alt. (5)	Mod. Alt. (3)	Muy Alt. (2)	Descomp. (0)	4	5
AGUA SUBTERRANEA		Seco (15)	x	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	10	
AJUSTE ORIENT. DE DISCONTINUIDADES		Muy Fav. (0)	x	Fav. (-2)	Regular (-5)	Desfav. (-10)	Muy Desfav. (-12)	6	-2	
VALOR TOTAL RMR (SUMA DE VALORACIÓN DE 1 AL 6)								68		
CLASE DE MACIZO ROCOSO										
RMR	100-81		80-61		60-41	40-21	20-0			
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA		II BUENA		III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA		II	

Tabla 37. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).

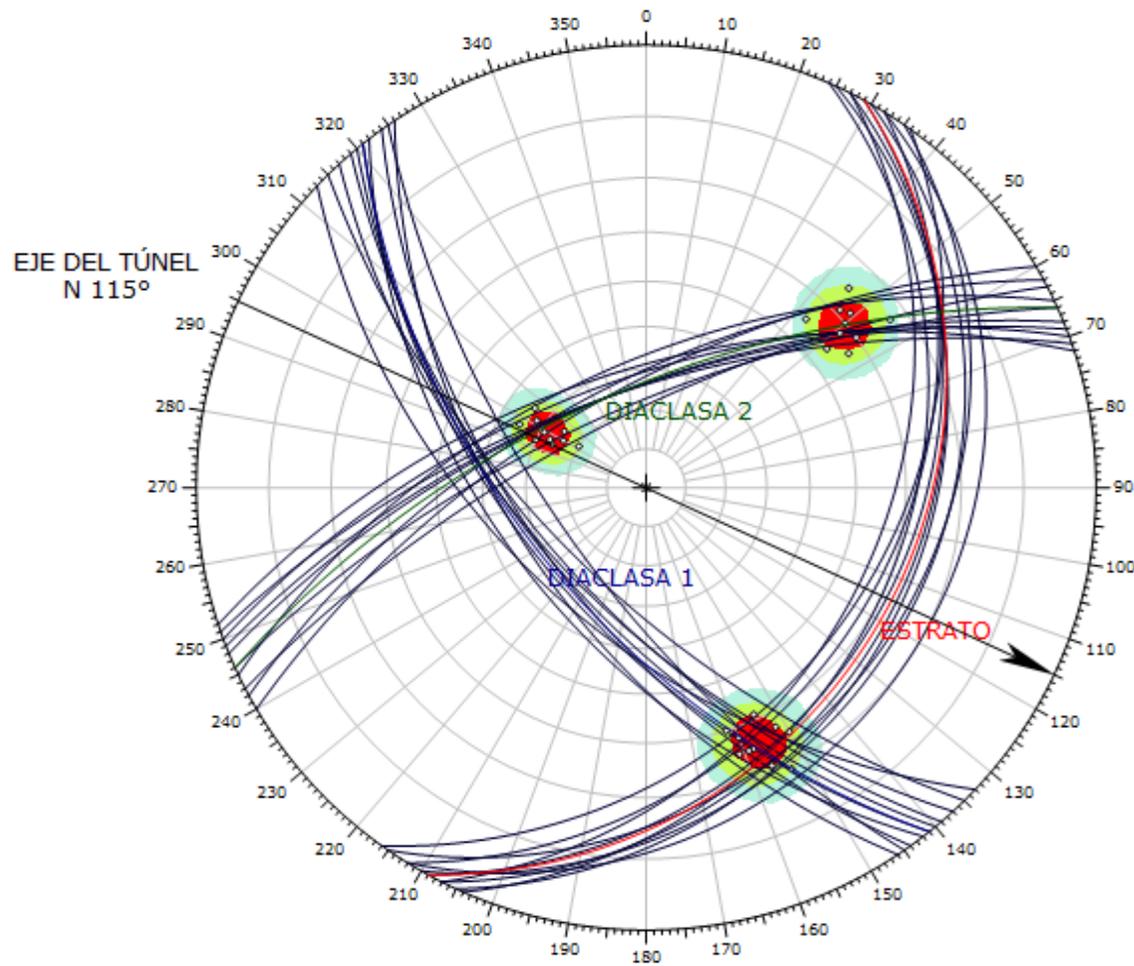
TIPO DE ROCA	TIPO DE SOPORTE
I	SIN SOPORTE
II	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M DE FORMA PUNTUAL
III	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.80 X 1.80
IV	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.50 X 1.50 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS
V	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.20 X 1.20 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS Y/O CIMBRAS ESPACIADAS A 1.0 X 1.0M



Color	Density Concentrations
	0.00 - 7.00
	7.00 - 14.00
	14.00 - 21.00
	21.00 - 28.00
Maximum Density	27.77%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	Red	28	119	ESTRATO
2	Blue	59	231	DIACLASA 1
3	Green	65	336	DIACLASA 2

Figura 45. Estereograma de la estación geomecánica 15



Color	Density Concentrations
	0.00 - 7.00
	7.00 - 14.00
	14.00 - 21.00
	21.00 - 28.00
Maximum Density	27.77%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	■	28	119	ESTRATO
2	■	59	231	DIACLASA 1
3	■	65	336	DIACLASA 2

Figura 46. Representación de la cantidad de planos de la estación 15

Estación Geomecánica 16

Esta estación esta comprendida entre las progresivas: Km 1+402.34 - Km 1+411.91, del tramo: 135.40m a 144.97m, con una orientación del túnel: N 115°.

En el análisis Dips V6 se forma cuña entre la diaclasa 1 y la diaclasa 2 por que son opuestas.

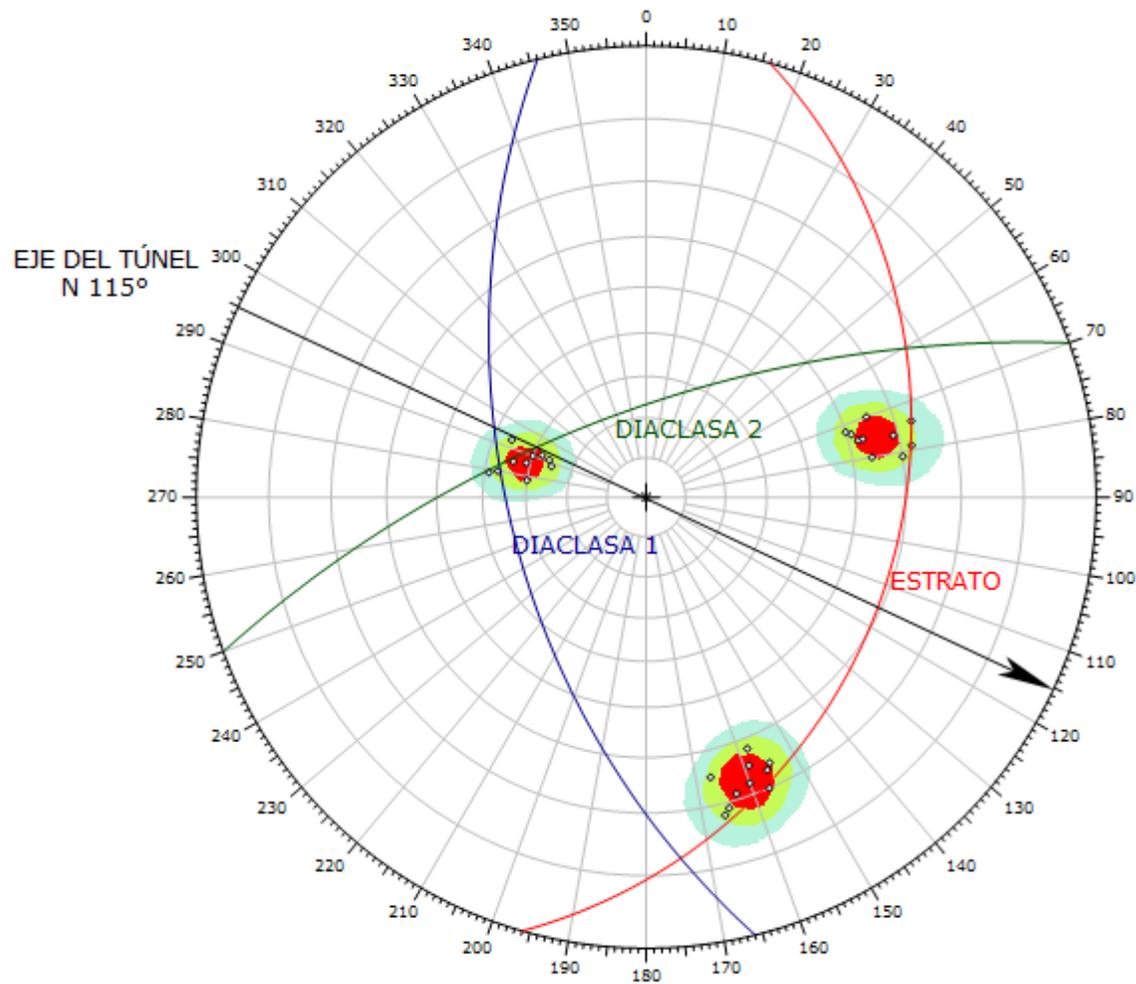
El RMR para esta estación geomecánica es de 60, roca tipo III de regular calidad, para la cual se reforzará su sostenimiento con pernos cementados de 2.10m espaciado a 1.80m x 1.80m.

Tabla 38. Valoración del macizo rocoso en estación 16

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)										
PARAMETRO	RANGO DE VALORES						VALOR			
R. COMPRES. UNIAxIAL (Mpa.)	>250 (15)	x	100-250 (12)		50-100 (7)		25-50 (4)	<25(2) <5(1)	1	12
RQD %	90-100 (20)		75-90 (17)	x	50-75 (13)		25-50 (8)	< 25 (3)	2	13
ESPAciam. (m)	> 2 (20)	x	0.6 - 2 (15)		0.2-0.6 (10)		0.06-0.2 (8)	<0.06 (5)	3	15
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSIS.	<1m (6)	1-3m (4)		3-10m (2)	x	10-20m (1)	>20m (0)	4	1
	ABERT.	Cerrada (6)	<0.1mm (6)		0.1-1mm (4)	x	1-5mm (1)	>5mm (0)	4	1
	RUGOS.	Muy Rug. (6)	Rug. (5)	x	Lig. Rug. (3)		Lisa (1)	Espej. De Falla (0)	4	3
	RELLEN.	Limpia (6)	Duro <5mm (4)	x	Duro >5mm (2)		Suave <5mm (1)	Suave >5mm (0)	4	4
	ALTER.	Sana (6)	Lig. Alt. (5)	x	Mod. Alt. (3)		Muy Alt. (2)	Descomp. (0)	4	3
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	x	Humedo (10)		Mojado (7)		Goteo (4)	Flujo (0)	5	10
AJUSTE ORIENT. DE DISCONTINUIDADES	Muy Fav. (0)	x	Fav. (-2)		Regular (-5)		Desfav. (-10)	Muy Desfav. (-12)	6	-2
VALOR TOTAL RMR (SUMA DE VALORACIÓN DE 1 AL 6)									60	
CLASE DE MACIZO ROCOSO										
RMR	100-81		80-61		60-41		40-21	20-0	III	
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA		II BUENA		III REGULAR		IV MALA	V MUY MALA		

Tabla 39. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).

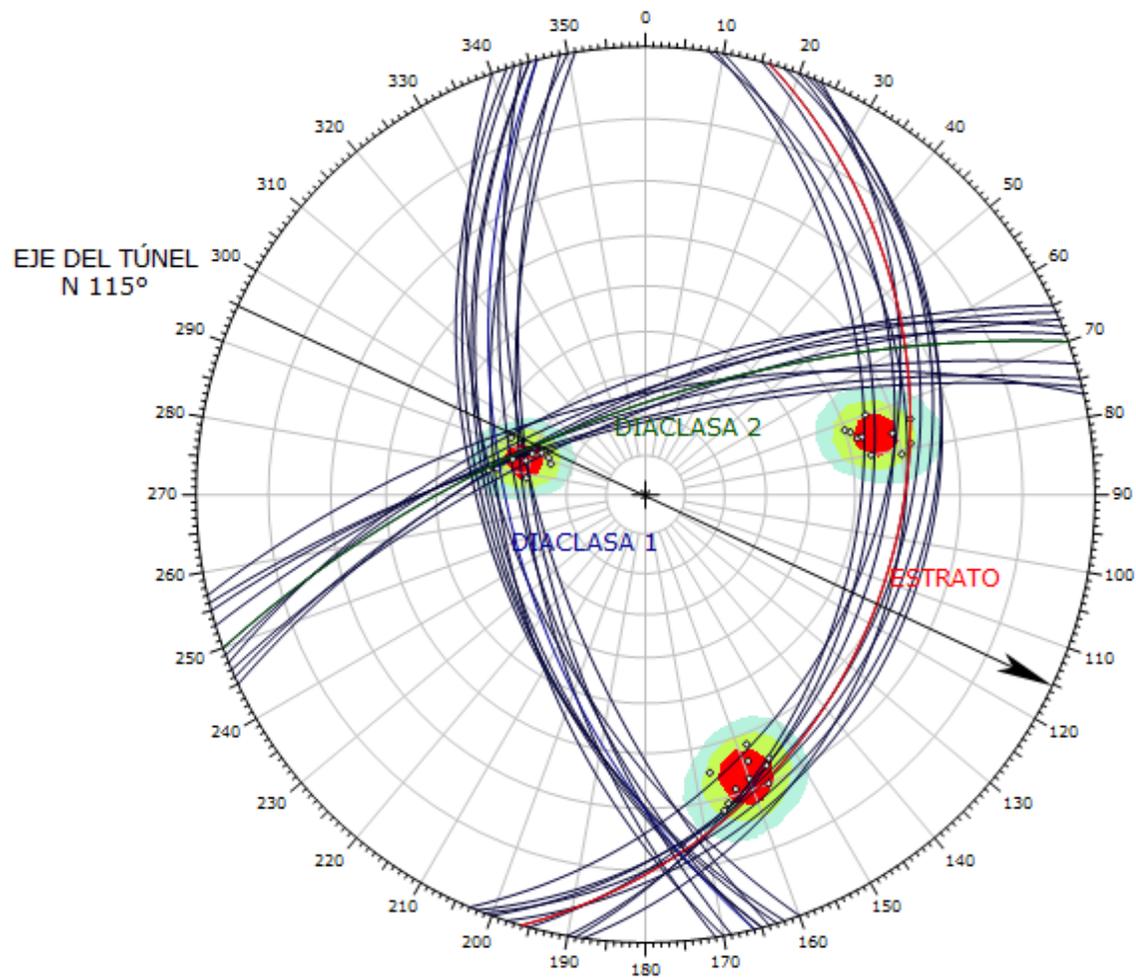
TIPO DE ROCA	PERNOS DE REFORZAMIENTO A INSTALAR
I	SIN SOPORTE
II	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M DE FORMA PUNTUAL
III	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.80 X 1.80
IV	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.50 X 1.50 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS
V	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.20 X 1.20 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS Y/O CIMBRAS ESPACIADAS A 1.0 X 1.0M



Color	Density Concentrations
	0.00 - 7.20
	7.20 - 14.40
	14.40 - 21.60
	21.60 - 28.80
Maximum Density	28.52%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	Red	31	106	ESTRATO
2	Blue	56	256	DIACLASA 1
3	Green	68	340	DIACLASA 2

Figura 47. Estereograma de la estación geomecánica 16



Color	Density Concentrations		
	0.00 - 7.20		
	7.20 - 14.40		
	14.40 - 21.60		
	21.60 - 28.80		
Maximum Density	28.52%		
Contour Data	Pole Vectors		
Contour Distribution	Fisher		
Counting Circle Size	1.0%		
Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	31	106	ESTRATO
2	56	256	DIACLASA 1
3	68	340	DIACLASA 2

Figura 48. Representación de la cantidad de planos de la estación 16

Estación Geomecánica 17

Esta estación esta comprendida entre las progresivas: Km 1+411.91 - Km 1+424.34, del tramo: 144.97m a 157.40m, con una orientación del túnel: N 115°.

En el análisis Dips V6 se forman cuñas entre la diaclasa 1 y la diaclasa 2 por que se cortan y por que son opuestas.

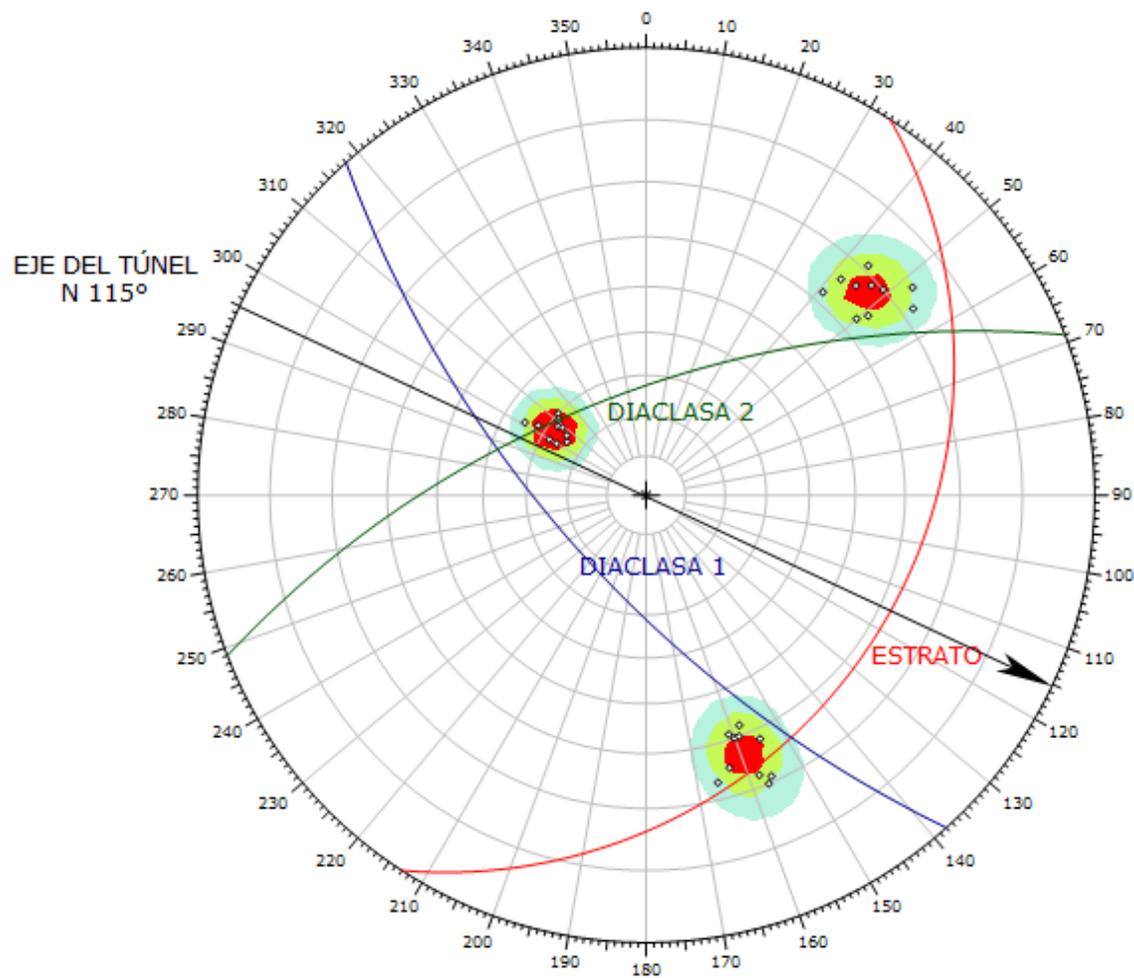
El RMR para esta estación geomecánica es de 57, roca tipo III de regular calidad, para la cual se reforzará su sostenimiento con pernos cementados de 2.10m espaciado a 1.80m x 1.80m.

Tabla 40. Valoración del macizo rocoso en estación 17

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)										
PARAMETRO	RANGO DE VALORES						VALOR			
R. COMPRES. UNIAxIAL (Mpa.)	>250 (15)	x	100-250 (12)		50-100 (7)		25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	12
RQD %	90-100 (20)		75-90 (17)	x	50-75 (13)		25-50 (8)	< 25 (3)	2	13
ESPACIAM. (m)	>2 (20)	x	0.6 - 2 (15)		0.2-0.6 (10)		0.06-0.2 (8)	<0.06 (5)	3	15
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSIS.	<1m (6)	1-3m (4)		3-10m (2)	x	10-20m (1)	>20m (0)	4	1
	ABERT.	Cerrada (6)	<0.1mm (6)		0.1-1mm (4)	x	1-5mm (1)	>5mm (0)	4	1
	RUGOS.	Muy Rug. (6)	Rug. (5)	x	Lig. Rug. (3)		Lisa (1)	Espej. De Falla (0)	4	3
	RELLEN.	Limpia (6)	Duro <5mm (4)		Duro >5mm (2)	x	Suave <5mm (1)	Suave >5mm (0)	4	1
	ALTER.	Sana (6)	Lig. Alt. (5)	x	Mod. Alt. (3)		Muy Alt. (2)	Descomp. (0)	4	3
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	x	Humedo (10)		Mojado (7)		Goteo (4)	Flujo (0)	5	10
AJUSTE ORIENT. DE DISCONTINUIDADES	Muy Fav. (0)	x	Fav. (-2)		Regular (-5)		Desfav. (-10)	Muy Desfav. (-12)	6	-2
VALOR TOTAL RMR (SUMA DE VALORACIÓN DE 1 AL 6)									57	
CLASE DE MACIZO ROCOSO									III	
RMR	100-81	80-61	60-41	40-21	20-0					
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA					

Tabla 41. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).

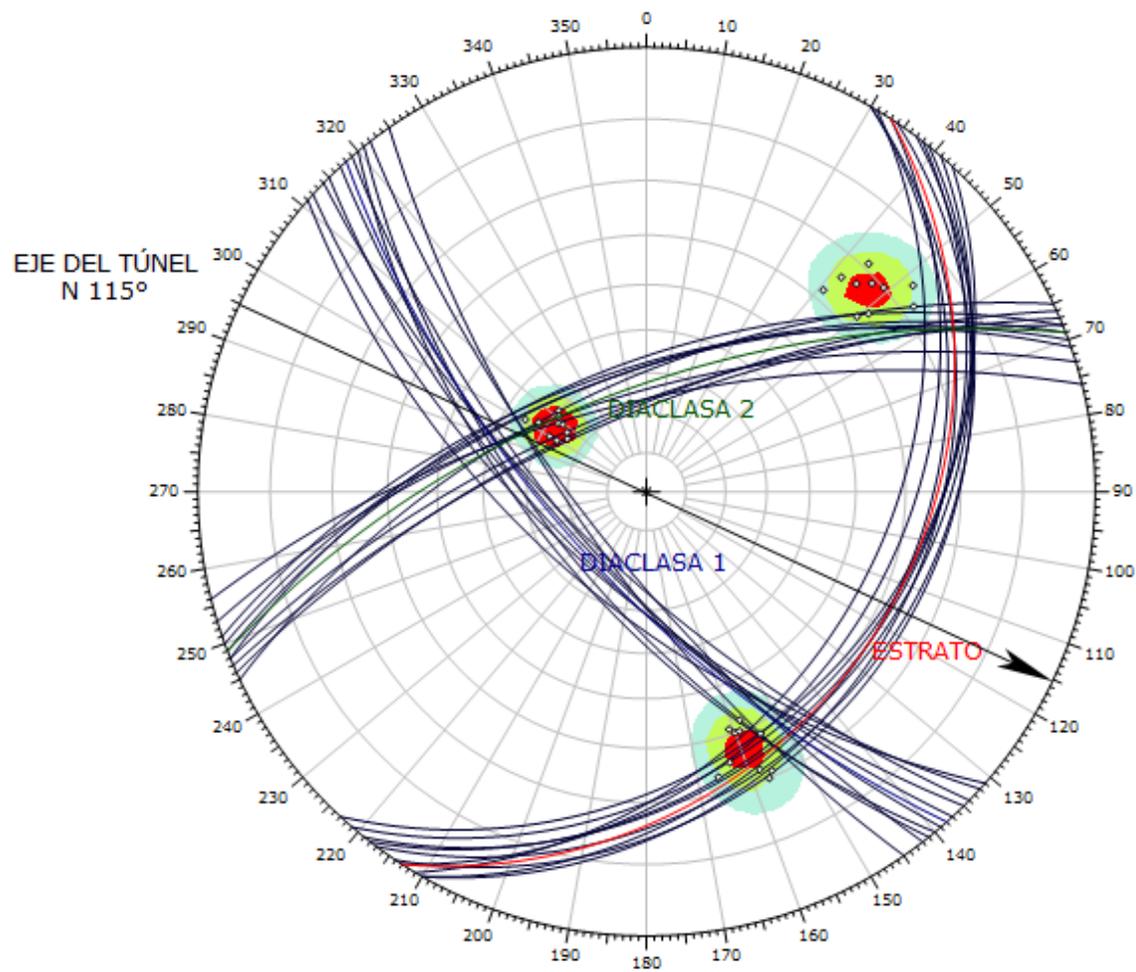
TIPO DE ROCA	PERNOS DE REFORZAMIENTO A INSTALAR
I	SIN SOPORTE
II	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M DE FORMA PUNTUAL
III	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.80 X 1.80
IV	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.50 X 1.50 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS
V	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.20 X 1.20 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS Y/O CIMBRAS ESPACIADAS A 1.0 X 1.0M



Color	Density Concentrations
	0.00 - 7.70
	7.70 - 15.40
	15.40 - 23.10
	23.10 - 30.80
Maximum Density	30.46%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	■	28	123	ESTRATO
2	■	68	228	DIACLASA 1
3	■	64	339	DIACLASA 2

Figura 49. Estereograma de la estación geomecánica 17



Color	Density Concentrations
	0.00 - 7.70
	7.70 - 15.40
	15.40 - 23.10
	23.10 - 30.80
Maximum Density	30.46%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	■	28	123	ESTRATO
2	■	68	228	DIACLASA 1
3	■	64	339	DIACLASA 2

Figura 50. Representación de la cantidad de planos de la estación 17

Estación Geomecánica 18

Esta estación esta comprendida entre las progresivas: Km 1+424.34 - Km 1+437.14, del tramo: 157.40m a 170.20m, con una orientación del túnel: N 115°.

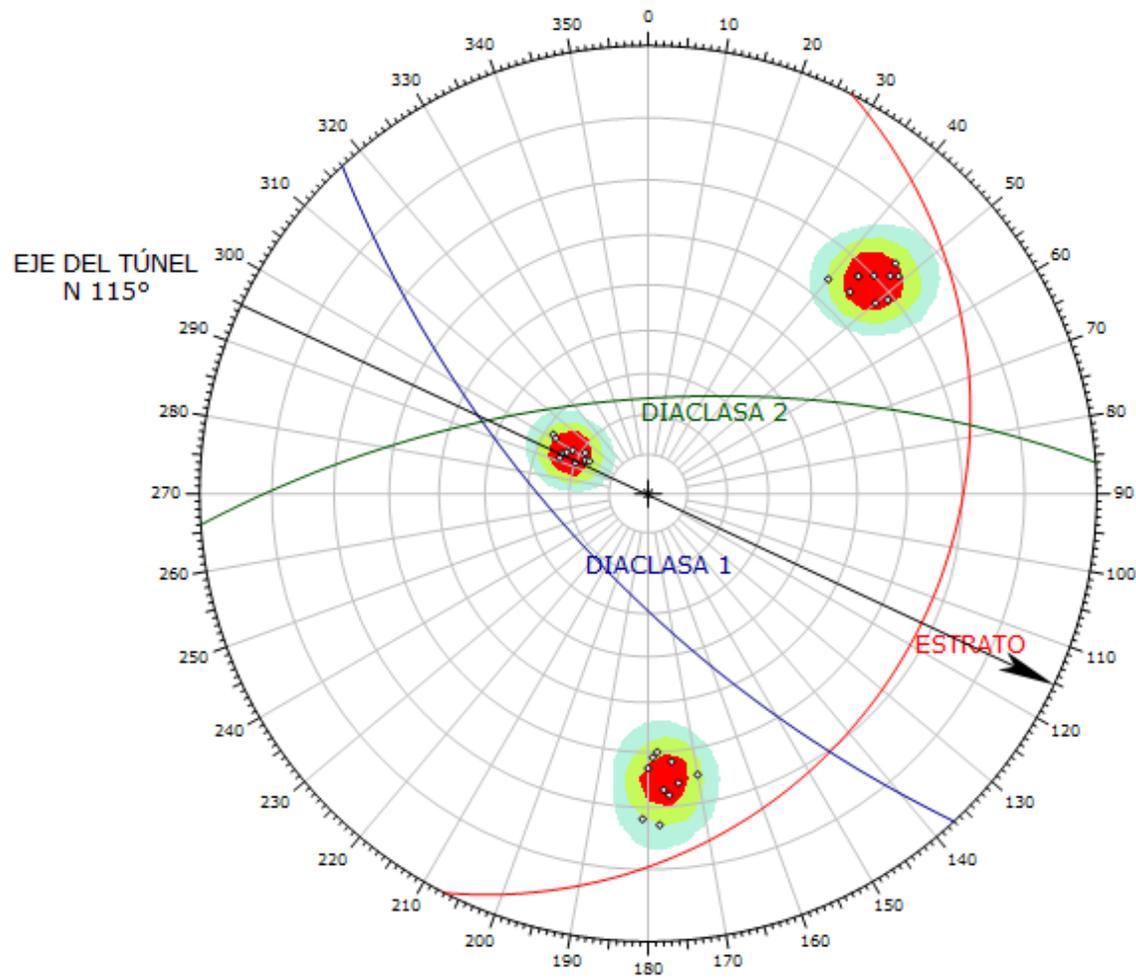
El RMR para esta estación geomecánica es de 58, roca tipo III de regular calidad, para la cual se reforzará su sostenimiento con pernos cementados de 2.10m espaciado a 1.80m x 1.80m.

Tabla 42. Valoración del macizo rocoso en estación 18

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)										
PARAMETRO	RANGO DE VALORES						VALOR			
R. COMPRES. UNIAxIAL (Mpa.)	>250 (15)	x	100-250 (12)		50-100 (7)		25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	12
RQD %	90-100 (20)		75-90 (17)	x	50-75 (13)		25-50 (8)	< 25 (3)	2	13
ESPAciam. (m)	> 2 (20)	x	0.6- 2 (15)		0.2-0.6 (10)		0.06-0.2 (8)	<0.06 (5)	3	15
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSIS.	<1m (6)	1-3m (4)		3-10m (2)	x	10-20m (1)	>20m (0)	4	1
	ABERT.	Cerrada (6)	<0.1mm (6)		0.1-1mm (4)	x	1-5mm (1)	>5mm (0)	4	1
	RUGOS.	Muy Rug. (6)	Rug. (5)	x	Lig. Rug. (3)		Lisa (1)	Espej. De Falla (0)	4	3
	RELLEN.	Limpia (6)	Duro <5mm (4)	x	Duro >5mm (2)		Suave <5mm (1)	Suave >5mm (0)	4	2
	ALTER.	Sana (6)	Lig. Alt. (5)	x	Mod. Alt. (3)		Muy Alt. (2)	Descomp. (0)	4	3
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	x	Humedo (10)		Mojado (7)		Goteo (4)	Flujo (0)	5	10
AJUSTE ORIENT. DE DISCONTINUIDADES	Muy Fav. (0)	x	Fav. (-2)		Regular (-5)		Desfav. (-10)	Muy Desfav. (-12)	6	-2
VALOR TOTAL RMR (SUMA DE VALORACIÓN DE 1 AL 6)									58	
CLASE DE MACIZO ROCOSO										
RMR	100-81		80-61		60-41		40-21	20-0	III	
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA		II BUENA		III REGULAR		IV MALA	V MUY MALA		

Tabla 43. Sostenimiento según tipo de roca, Fitchner (2016).

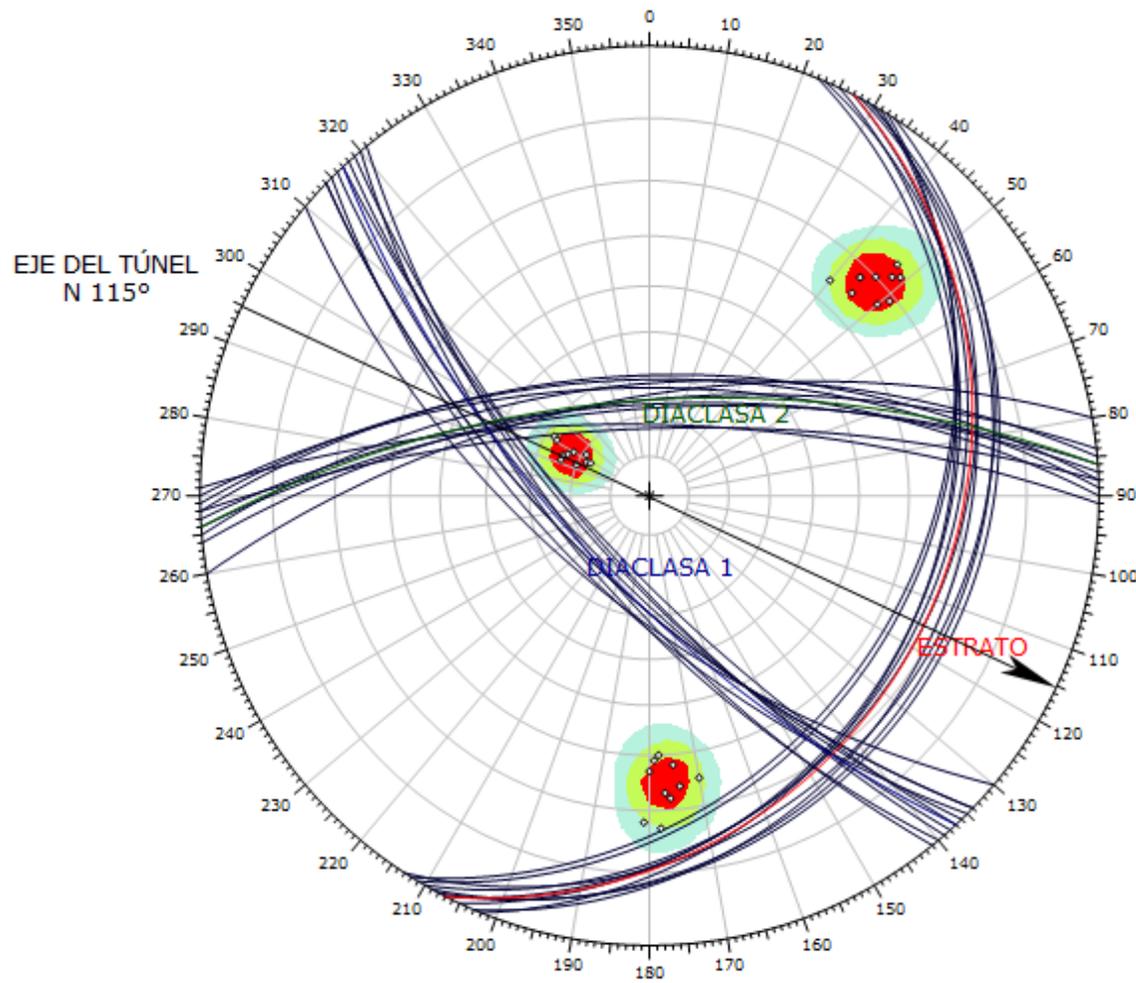
TIPO DE ROCA	PERNOS DE REFORZAMIENTO A INSTALAR
I	SIN SOPORTE
II	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M DE FORMA PUNTUAL
III	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.80 X 1.80
IV	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.50 X 1.50 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS
V	PERNOS CEMENTADOS DE 2.10M ESPACIADO A 1.20 X 1.20 CON SHOTCRETE 2 PULGADAS Y/O CIMBRAS ESPACIADAS A 1.0 X 1.0M



Color	Density Concentrations
	0.00 - 7.50
	7.50 - 15.00
	15.00 - 22.50
	22.50 - 30.00
Maximum Density	29.94%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	■	22	117	ESTRATO
2	■	69	227	DIACLASA 1
3	■	66	356	DIACLASA 2

Figura 51. Estereograma de la estación geomecánica 18



Color	Density Concentrations
	0.00 - 7.50
	7.50 - 15.00
	15.00 - 22.50
	22.50 - 30.00
Maximum Density	29.94%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	■	22	117	ESTRATO
2	■	69	227	DIACLASA 1
3	■	66	356	DIACLASA 2

Figura 52. Representación de la cantidad de planos de la estación 18

4.2. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Mediante el cartografiado geológico se determinó la presencia de diaclasas en el túnel de la central Hidroeléctrica Potrero, a través de la matriz geomecánica se comprobó las filtraciones de agua que tienen las principales diaclasas y discontinuidades. Con el software Dips V6 se analizó las familias de diaclasas que forman cuñas en el eje de túnel, por lo cual se afirma que el túnel de la Central Hidroeléctrica Potrero presenta inestabilidad Geomecánica. Para esta inestabilidad, será necesario su reforzamiento con pernos cementados de 2.10 m. con espaciado a 1.80 m. x 1.80 m. en el caso de roca tipo III y pernos cementados de 2.10 m. colocados de forma puntual para el caso de rocas tipo II.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

El cartografiado geológico determina los principales sistemas de diaclasas y el tipo de litología que presenta el túnel de la Central Hidroeléctrica Potrero, presentando 07 sistemas de discontinuidades (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7), en la cual los sistemas D2, D3 y D6 son los sistemas de discontinuidades más importantes por que se encuentran en todo el tramo del túnel. Finalmente los sistemas de discontinuidades D1, D4, D5 Y D7 aparecen en alguna zona del túnel.

De acuerdo a su litología el macizo rocoso es una roca sedimentaria de la Formación Chimu, que en este caso es una arenisca cuarzosa, lo cual indica que es una roca muy competente por presentar el mayor porcentaje de cuarzo dentro de su composición.

La evaluación geomecánica de todo el tramo excavado del túnel de 107.20 metros, determina un ambiente homogéneo ya que desde el inicio, progresiva Km 1+266.94 hasta el final en la progresiva Km 1+437.14 la clasificación del macizo rocoso se comporta como roca regular (Tipo III) y como roca buena (Tipo II).

El software Dips V6 ayudó a determinar el comportamiento de los planos y la formación de cuñas en el eje del túnel. Se forman cuñas en las siguientes estaciones geomecánicas: Estación 04, estación 05, estación 06, estación 08, estación 09, estación 11, estación 15, estación 16 y estación 17.

Las filtraciones de agua por las principales diaclasas aumentan los parámetros de inestabilidad del túnel de la Central Hidroeléctrica Potrero.

El túnel de la Central Hidroeléctrica Potrero presenta inestabilidad Geomecánica por tener cuñas y filtraciones de agua que determinan la caída de rocas.

5.2. RECOMENDACIONES

Monitorear periódicamente las estaciones geomecánicas donde se tomaron los datos por parte de la empresa Agua Azul para verificar su comportamiento, ya que encuentran expuestas a la meteorización.

Realizar la clasificación de Q de Barton para controlar la caída de las cuñas.

Realizar ensayos triaxiales para determinar con exactitud el comportamiento de la roca.

Reforzar la inestabilidad del túnel de la Central Hidroeléctrica Potrero con pernos cementados de 2.10 m. con espaciado a 1.80m x 1.80m en el caso de roca tipo III y pernos cementados de 2.10 m. colocados de forma puntual para el caso de rocas tipo II.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bieniawski, (1989), Engineering Rock Mass Classifications. John Wiley & Sons. New York. 251 p.p.
- D.F. Coates (1997), Fundamentos de Mecánica De Rocas, Dirección de Minas- Ministerio de Energía de Minas y Recursos Naturales, Canadá.
- Dávila, J. (2011), Diccionario Geológico, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Lima, Perú: Arth Grouting. p.901.
- Gavilanes, J. y Byron, H. (2004), Introducción a la ingeniería de túneles.3 ed. Quito, Ecuador: Edit. AIME. 340 p.
- González, L. et al. (2002), Ingeniería Geológica, Madrid, España: Pearson Educación. 744 p.
- López J. C., et al (1998-2004), Serie Ingeo Túneles (1 al 7), Madrid – España.
- Ramirez, O. et al (1991), Mecánica De Rocas Aplicada a la Minería Metálica Subterránea, itge, Madrid - España: s.e. 361p.
- Ramos, J. (2015), Evaluación Geológica – Geomecánica del Túnel Curibamba Masma – Jauja - Junin. Tesis Profesional Ingeniero Geólogo.
- Reyes, L. (1980), Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. (Boletín N° 31 de la Serie A). Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET). Editorial Lima-Perú.
- SNMPE (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía). (2004). Manual de Geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea.1 ed. Perú: s.e. 215 p.
- V. Belousov (1974), Geología Estructural, Editorial MIR, Moscú.
- Zavala, B; Rosado, M. (2011), Riesgo geológico en la región Cajamarca, (Boletín N° 44 de la Serie C). Instituto Geológico Minero y Metalúrgico INGEMMET. Editorial: Lima-Perú.

ANEXOS

REGISTRO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO				UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA																		
PROGRESIVA: Km 1+266.94 - Km 1+276.44				TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TÚNEL CARRETERO EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA POTRERO																		
TRAMO: 0.00 A 9.50 SISTEMA : PSAD - 56				SAN MARCOS - CAJAMARCA - PERÚ																		
ORIENTACIÓN DEL TÚNEL: N 86°																						
RESPONSABLE : PAUL BELIZARIO CRUZADO PERALTA																						
CÓDIGO: EGC - 01 FECHA: 14/09/2016																						
D I S C O N Ú T M I E N R O I D A D	DATA GPS.			MACIZO ROCOSO				TIPOS	RESIST.COMP. UNIAX	DIRECCIÓN	ESPACIADO (m)	PERSIS (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC- METEOR	AGUA	CALIDAD DE INFORM.			
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLÓG / FORMAC.	MEIEO RIZ.	GRADO DE FRACT.	RQD								GSI	DIP				DD		TIPO
					1=Fresco	1 = Alto		λ	1= Bloq - regular	Fi=falla inversa	5= Suave - pulida	6 = Arena	7 = Siderita	8 = Roca Tritur								
					2=Lev	2 = Med										ND/m	2= Bloq - irregular	Fd=falla Direcc	3= Lig.Rug.	4 = Oxidos	5=Suave>5mm	
1	Coordenadas iniciales			Arenisca cuarzosa (85%) y Carbón (15%)	1	2	50	2	E	130	29	134	3	3	4							3
2	823717	9174561	1866		E				E		31	127										
3	Coordenadas finales				E				E		25	120										
4	823872	9174511	1866		E				E		24	125										
5					E				E		22	132										
6				E				E		31	129											
7				E				E		23	121											
8				E				E		27	133											
9				E				E		30	122											
10				E				E		21	128											
11				1	2	60	2	D1	135	71	216	2	3	4	2	4	3	3	1	1		
12				D1				D1		73	218											
13				D1				D1		75	226											
14				D1				D1		74	228											
15				D1				D1		71	220											
16				D1				D1		79	217											
17				D1				D1		72	221											
18				D1				D1		70	225											
19				D1				D1		81	218											
20				D1				D1		78	216											
21				1	2	52	3	D2	125	63	325	3	3	4	3	4	3	2	2	1		
22				D2				D2		66	315											
23				D2				D2		62	317											
24				D2				D2		64	319											
25				D2				D2		68	322											
26				D2				D2		65	320											
27				D2				D2		67	315											
28				D2				D2		70	322											
29				D2				D2		63	316											
30				D2				D2		71	321											
																	RMR	55	REGULAR TIPO III			

Diseño Original: M. Sc. Victor Tolentino Y.

Modificación 01: Ing. Reinaldo Rodríguez C.

Modificación Final: Bach. Paul Cruzado P.

Anexo Registro Geológico – Geotécnico de la estación Geomecánica 01

REGISTRO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO				UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA																												
PROGRESIVA: Km 1+276.44 - Km 1+289.74				FACULTAD DE INGENIERIA																												
TRAMO: 9.50 A 23.00		SISTEMA : PSAD - 56		ECUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA																												
ORIENTACIÓN DEL TÚNEL: N 88°				TESIS: EVALUACIÓN GEOMECAÁNICA DEL TÚNEL CARRETERO EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA POTRERO																												
RESPONSABLE : PAUL BELIZARIO CRUZADO PERALTA				SAN MARCOS - CAJAMARCA - PERÚ																												
CÓDIGO: EGC - 02		FECHA: 19/09/2016		PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS																												
D I S C O N Ú T M E N R U O I D A D	DATA GPS.			MACIZO ROCOSO				TIPOS	RESIST.COMP. UNIAX	DIRECCIÓN	ESPACIADO (m)	PERSIS (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC-METEOR	AGUA	CALIDAD DE INFORM.													
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLÓG / FORMAC.	MEIO RIZ.	GRADO DE FRACT.	RQD								GSI	DIP				DD	TIPO	DUREZA										
					1=Fresco	1=Alto																	λ	1= Bloq - regular	1= Ninguna	1= Inalterada	1= Seco	1= Lec. Real				
	2=Lev	2=Med	2= Bloq - irregular	2= Qz / Silic	2= Duro<5mm	2= Lig. Alt	2= Humedo								2= Lect Apar																	
	3=Mod	3= Bajo	2= Bloq - irregular	3= Qz / Silic	3= Duro>5mm	3= Mod. Alt	3= Mojado								3= Lec Proy																	
	4=Alt	ND/m	3= Bloq y capas	4= Ond. - Lisa	4= Suave<5mm	4= Muy Alt	4= Goteo								6= Presión																	
	5=Compl		4= Fract- intenso	5= Suave - pulida	5= Descomp	5= Flujo																										
	6=Suelo	SE=Sobrees.	5= <0,06	5= >20	5= >5	6= Arena	6= Siderita								8= Roca Tritur																	
	Coordenadas iniciales		Arenisca cuarzosa (90%) y Carbón (10%)	1	2	55	2								E						140	29	105	4	3	4	3	4	4	3	1	1
	2	823717		9174561	1866																E		33	100								
Coordenadas finales								E		22	95																					
4	823872	9174511		1866				E		25	90																					
5								E		21	98																					
6								E		30	102																					
7								E		32	91																					
8								E		28	101																					
9								E		31	97																					
10								E		24	101																					
11				1	2	65	3	D1	138	82	242	4	2	4	2	7	4	2	1	1												
12								D1		80	240																					
13								D1		72	233																					
14								D1		81	241																					
15								D1		76	240																					
16								D1		80	239																					
17								D1		79	237																					
18								D1		73	242																					
19								D1		77	238																					
20								D1		73	234																					
21				1	2	50	2	D2	145	66	355	4	3	4	3	7	4	3	2	1												
22								D2		68	350																					
23								D2		65	353																					
24								D2		67	351																					
25								D2		64	353																					
26								D2		62	348																					
27								D2		66	350																					
28								D2		65	352																					
29								D2		69	349																					
30								D2		63	355																					
																RMR	58	REGULAR														
																TIPO III																

Diseño Original: M. Sc. Victor Tolentino Y.

Modificación 01: Ing. Reinaldo Rodriguez C.

Modificación Final: Bach. Paul Cruzado P.

Anexo Registro Geológico – Geotécnico de la estación Geomecánica 02

REGISTRO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO				UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA																										
PROGRESIVA: Km 1+296.94 - Km 1+302.64				FACULTAD DE INGENIERIA																										
TRAMO: 30.00 A 35.70		SISTEMA : PSAD - 56		ECUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA																										
ORIENTACIÓN DEL TÚNEL: N 103°				TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TÚNEL CARRETERO EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA POTRERO																										
RESPONSABLE : PAUL CRUZADO PERALTA				SAN MARCOS - CAJAMARCA - PERÚ																										
CÓDIGO: EGC - 04		FECHA: 24/09/2016		PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS																										
D I S C O N Ú M E R O I D E A D	DATA GPS.			MACIZO ROCOSO				TIPOS	RESIST.COMP. UNIAX	DIRECCIÓN		ESPACIADO (m)	PERSIS (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC-METEOR	AGUA	CALIDAD DE INFORM.										
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLÓG / FORMAC.	METEO RIZ.	GRADO DE FRACT.	RQD			GSI	Oci (Mpa)					ORIENTACIÓN	DIP				DD									
																													1=Fresco	1=Alto
	2=Lev	2= Med	2= Bloq - irregular		Fd=falla Direcc	4= Oxidos	4=Suave<5mm			5=Descomp																				
																														3=Mod
	4=Alt	5=Compl	6=Suelo		C=Contacto	8= Roca Tritur																								
1						Coordenadas iniciales			Arenisca cuarzosa (100%)	1	2	55	2	E	180	29	110	4	3	4	2	4	2	2	1					
2	823717	9174561	1866	E	32	123																								
3	Coordenadas finales			E	21	110																								
4	823872	9174511	1866	E	25	125																								
5				E	22	108																								
6				E	28	115																								
7				E	31	118																								
8				E	27	121																								
9				E	24	124																								
10				E	30	120																								
11				1	2	60	2	D1	176	62	333	4	3	3	2	7	3	3	2	1										
12								D1	53	330																				
13								D1	50	340																				
14								D1	65	337																				
15								D1	52	341																				
16								D1	61	336																				
17								D1	64	332																				
18								D1	51	335																				
19								D1	60	342																				
20								D1	53	330																				
21				1	2	50	2	D2	172	78	247	3	3	3	3	7	2	3	1	1										
22								D2	75	240																				
23								D2	77	245																				
24								D2	70	249																				
25								D2	74	241																				
26								D2	79	243																				
27								D2	72	251																				
28								D2	77	244																				
29								D2	80	246																				
30								D2	71	241																				
																	RMR	63		BUENA TIPO II										

Diseño Original: M. Sc. Victor Tolentino Y.

Modificación 01: Ing. Reinaldo Rodriguez C.

Modificación Final: Bach. Paul Cruzado P.

Anexo Registro Geológico – Geotécnico de la estación Geomecánica 04

REGISTRO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO				UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA																		
PROGRESIVA: Km 1+314.24 - Km 1+320.34				FACULTAD DE INGENIERIA																		
TRAMO: 47.30 A 53.40		SISTEMA : PSAD - 56		ECUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA																		
ORIENTACIÓN DEL TÚNEL: N 111°				TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TÚNEL CARRETERO EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA POTRERO																		
RESPONSABLE : PAUL BELIZARIO CRUZADO PERALTA				SAN MARCOS - CAJAMARCA - PERÚ																		
CÓDIGO: EGC - 07		FECHA: 07/10/2016		PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS																		
D I S C O N Ú T M E N R U O I D A D	DATA GPS.			MACIZO ROCOSO				TIPOS	RESIST.COMP. UNIAX	DIRECCIÓN		ESPACIADO (m)	PERSIS (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC-METEOR	AGUA	CALIDAD DE INFORM.		
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLÓG / FORMAC.	METHO RIZ.	GRADO DE FRACT.	RQD			GSI	ORIENTACIÓN					Oci (Mpa)	DIP				DD	TIPO
								1=Fresco	1=Alto			λ	1= Bloq- regular	Fi=falla inversa	1 => 2			1 =< 1	1= Nada	1=Muy Rug.		
	2=Lev	2 = Med	ND/m	2= Bloq - irregular	Fd=falla Direcc	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=Mod	3 = Bajo		3= Bloq y capas	mf=Microfalia	3 =0, 6 -0,2	3 = 3-10	3 = 0,1 - 1	3= Lig.Rug.	3 = Calcita	3=Duro>5mm.	3=Mod.Alt	3 = Mojado	3=Lec Proy								
	4=Alt	6=Suelo	4= Fract- intenso	4= Fract- intenso	SE=Sobrees.	4=0,2 - 0,06	4=10-20	4= 1 -5	4= Ond. - Lisa	4= Oxidos	4=Suave<5mm.	4= Muy Alt	4 = Goteo									
	5=Compl			5=Suave>5mm	5= Descomp	5 = Flujo																
	6=Suelo	C=Contacto	6= Presión	6= Arena	7 = Siderita	5 =< 0,06	5 =>20	5 =>5	5= Suave - pulida	8 = Roca Tritur												
	1	Coordenadas iniciales			Arenisca cuarzosa (100%)	1	2	50	2	E	130	35	93	3	2	4	2	5	4	3	3	1
	2	823717	9174561	1866		E	32	95														
3	Coordenadas finales			E		38	105															
4	823872	9174511	1866	E		40	90															
5				E		42	98															
6				E		33	96															
7				E		38	104															
8				E		36	102															
9				E		41	97															
10				E		39	103															
11				1	2	55	2	D1	127	61	268	3	3	5	3	4	5	3	2	1		
12				D1	63	264																
13				D1	68	271																
14				D1	70	260																
15				D1	64	263																
16				D1	62	270																
17				D1	69	265																
18				D1	60	260																
19				D1	64	271																
20				D1	71	269																
21				1	2	60	2	D2	125	68	342	2	2	5	2	4	4	3	3	1		
22				D2	66	347																
23				D2	60	344																
24				D2	63	340																
25				D2	70	342																
26				D2	62	349																
27				D2	67	347																
28				D2	69	351																
29				D2	61	341																
30				D2	72	350																
																		RMR	54	REGULAR TIPO III		

Diseño Original: M. Sc. Victor Tolentino Y.

Modificación 01: Ing. Reinaldo Rodriguez C.

Modificación Final: Bach. Paul Cruzado P.

Anexo Registro Geológico – Geotécnico de la estación Geomecánica 07

REGISTRO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO				UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA																													
PROGRESIVA: Km 1+320.34 - Km 1+325.44				FACULTAD DE INGENIERIA																													
TRAMO: 53.40 A 58.50		SISTEMA : PSAD - 56		ECUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA																													
ORIENTACIÓN DEL TÚNEL: N 115°				TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TÚNEL CARRETERO EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA POTRERO																													
RESPONSABLE : PAUL BELIZARIO CRUZADO PERALTA				SAN MARCOS - CAJAMARCA - PERÚ																													
CÓDIGO: EGC - 08		FECHA: 12/10/2016		PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS																													
D I S C O N T I N U I D A D	DATA GPS.			MACIZO ROCOSO				TIPOS	RESIST.COMP. UNIAX	DIRECCIÓN		ESPACIADO (m)	PERSIS (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC-METEOR	AGUA	CALIDAD DE INFORM.													
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLÓG / FORMAC.	METEO RIZ.	GRADO DE FRACT.	RQD	GSI		Oci (Mpa)	ORIENTACIÓN						TIPO	DUREZA															
																	1=Fresco	1=Alto				λ	1= Bloq - regular	Fi=falla inversa	1 => 2	1 =< 1	1= Nada	1=Muy Rug.	1 = Arcilla	1 = Ninguna	1 = Inalterada	1 = Seco	1 = Lec. Real
	2=Lev	2 = Med	ND/m	2= Bloq - irregular	Fd=falla Direcc	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=Mod	3 = Bajo		4=Fract- intenso	3= Bloq y capas	mf=Microfalla	3 =0, 6 -0,2	3 =3-10									3 = 0,1 - 1	3= Lig.Rug.				3 = Calcita	3=Duro>5mm.	3=Mod.Alt	3 = Mojado	3=Lec Proy							
	4=Alt	5=Compl	6=Suelo		4= Fract- intenso	5E=Sobrees.	4=0,2 - 0,06	4=10-20									4= 1 - 5	4= Ond. - Lisa				4= Oxidos	4=Suave<5mm.	4= Muy Alt	4 = Goteo	6 = Presión							
	5=Compl	6=Suelo		C=Contacto	5=>5	5= Suave - pulida	5 = < 0,06	5 =>20									5 =>5	5 = Carbón				5=Suave>5mm	5= Descomp	5 = Flujo									
	DIP		DD		6 = Arena		7 = Siderita										8 = Roca Tritur																
	1	Coordenadas iniciales			Arenisca cuarzosa (100%)	1	2	50									2	E				135	26	110	3	3	4	3	5	5	3	2	1
	2	823717	9174561	1866		E												E					15	102									
3	Coordenadas finales			E					E									17				100											
4	823872	9174511	1866	E					E		28	115																					
5				E					E		15	107																					
6				E					E		25	111																					
7				E				E		18	106																						
8				E				E		20	114																						
9				E				E		23	109																						
10				E				E		19	100																						
11				1	2	60	2	D1	130	60	235	3	2	5	2	1	4	3	2	1													
12								D1		65	226																						
13								D1		56	232																						
14								D1		54	235																						
15								D1		64	228																						
16								D1		60	236																						
17								D1		65	227																						
18								D1		55	230																						
19								D1		59	234																						
20								D1		65	229																						
21				1	2	40	2	D2	128	73	330	3	3	5	3	4	5	2	3	1													
22								D2		74	334																						
23								D2		78	325																						
24								D2		73	330																						
25								D2		71	328																						
26								D2		82	332																						
27								D2		80	326																						
28								D2		84	331																						
29								D2		72	333																						
30								D2		81	329																						
																	RMR	51	REGULAR														
																			TIPO III														

Diseño Original: M. Sc. Víctor Tolentino Y.

Modificación 01: Ing. Reinaldo Rodriguez C.

Modificación Final: Bach. Paul Cruzado P.

Anexo Registro Geológico – Geotécnico de la estación Geomecánica 08

REGISTRO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO				UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA																			
PROGRESIVA: Km 1+325.44 - Km 1+329.44				FACULTAD DE INGENIERIA																			
TRAMO: 58.50 A 62.50		SISTEMA : PSAD - 56		ECUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA																			
ORIENTACIÓN DEL TÚNEL: N 115°				TESIS: EVALUACIÓN GEOMECAÁNICA DEL TÚNEL CARRETERO EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA POTRERO																			
RESPONSABLE : PAUL BELIZARIO CRUZADO PERALTA				SAN MARCOS - CAJAMARCA - PERÚ																			
CÓDIGO: EGC - 09		FECHA: 16/10/2016		PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS																			
D I S C O N T I N U I D A D	DATA GPS.			MACIZO ROCOSO				TIPOS	RESIST.COMP. UNIAX	DIRECCIÓN		ESPACIADO (m)	PERSIS (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC-METEOR	AGUA	CALIDAD DE INFORM.			
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLÓG / FORMAC.	METEO RIZ.	GRADO DE FRACT.	RQD			GSi	ORIEN TACIÓN					DIP	DD				TIPO	DUREZA	
					1=Fresco	1=Alto	λ	1= Bloq - regular	E= Estratíf. D= Diaclasa Fn= Falla Norm Fi= falla inversa Fd= falla Direcc mf= Microfalla SE= Sobrees. C= Contacto	Oci (Mpa)		1= Nada 2= Qz / Silic 3= Calcita 4= Oxidos 5= Carbón 6= Arena 7= Siderita 8= Roca Tritur	1= Ninguna 2= Duro<5mm 3= Duro>5mm 4= Muy Alt 5= Suave<5mm 5= Suave>5mm	1= Inalterada 2= Lig. Alt 3= Mod. Alt 4= Muy Alt 5= Descomp 6= Presión	1= Seco 2= Humedo 3= Mojado 4= Goteo 5= Flujo 6= Presión								
	Coordenadas iniciales				Arenisica cuarzosa (70%) y Carbón (30%)	1		2			44					2	E	120	29	105	3	3	4
	2	823717	9174561	1866		E	28	110															
	Coordenadas finales									E	27	116											
	4	823872	9174511	1866		E	30	112															
	5					E	25	110															
	6					E	34	114															
	7					E	27	108															
8				E		36	115																
9				E		26	107																
10				E		35	109																
11				1	2	45	2	D1	127	68	241	2	3	4	2	5	5	3	3	1			
12								D1	75	235													
15								D1	72	240													
14								D1	69	237													
15								D1	78	239													
16								D1	73	242													
17								D1	70	246													
18								D1	74	235													
19								D1	71	236													
20								D1	79	245													
21				1	2	55	2	D2	125	68	351	3	2	4	3	5	4	3	2	1			
22								D2	70	355													
23								D2	72	359													
24								D2	68	351													
25								D2	73	352													
26								D2	70	350													
27								D2	79	356													
28								D2	75	358													
29								D2	69	353													
30								D2	80	360													
																	RMR	48	REGULAR TIPO III				

Diseño Original: M. Sc. Victor Tolentino Y.

Modificación 01: Ing. Reinaldo Rodriguez C.

Modificación Final: Bach. Paul Cruzado P.

Anexo Registro Geológico – Geotécnico de la estación Geomecánica 09

REGISTRO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO				UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA																			
PROGRESIVA: Km 1+329.44 - Km 1+334.34				FACULTAD DE INGENIERIA																			
TRAMO: 62.50 A 67.40		SISTEMA : PSAD - 56		ECUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA																			
ORIENTACIÓN DEL TÚNEL: N 115°				TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TÚNEL CARRETERO EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA POTRERO																			
RESPONSABLE : PAUL BELIZARIO CRUZADO PERALTA				SAN MARCOS - CAJAMARCA - PERÚ																			
CÓDIGO: EGC - 10		FECHA: 18/10/2016		PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS																			
D I S C O N T I N U I D A D	DATA GPS.			MACIZO ROCOSO				TIPOS	RESIST.COMP. UNIAIX	DIRECCIÓN		ESPACIADO (m)	PERSIS (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC-METEOR	AGUA	CALIDAD DE INFORM.			
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLOG / FORMAC.	MEIBO RIZ.	GRADO DE FRACT.	RQD			GSI	E=Estratíf.					D=Diaclasa	F=falla Norm				Oci (Mpa)	ORIENTACIÓN	TIPO
								1=Fresco	2=Lev			1=Alto	λ	1= Bloq- regular	Fi=falla inversa			3=0, 6 -0,2	3=3-10	3=0,1 - 1			
	3=Mod	2=Med	2= Bloq - irregular	Fd=falla Direcc	4=0,2 - 0,06	4=10-20	4=1 -5			4= Ond. - Lisa	4= Oxidos					4=Suave<5mm	4= Muy Alt				4= Goteo		
								4=Alt	3=Bajo			ND/m	3= Bloq y capas	mf=Microfalla	5=<0,06			5=>20	5=>5	5= Suave - pulida		5= Carbón	5=Suave>5mm
	5=Compl	6=Suelo	d= Fract- intenso	5E=Sobrees.	6=Contacto	DIP	DD			6= Arena	7= Siderita					8= Roca Tritur	6= Presión						
								1	Coordenadas iniciales			Arenisca cuarzosa (90%) y Carbón (10%)	1	2	45			2	E	120	30	115	3
	2	823717	9174561	1866	E	35	113																
	3	Coordenadas finales			E	32	123																
	4	823872	9174511	1866	E	34	125																
5				E	27	127																	
6				E	33	122																	
7				E	37	119																	
8				E	31	120																	
9				E	28	118																	
10				E	26	121																	
11				1	2	50	2	D1	127	85	252	2	3	4	2	5	4	3	2	1			
12								D1	86	260													
13								D1	74	262													
14								D1	84	252													
15								D1	80	258													
16								D1	83	254													
17								D1	76	261													
18								D1	78	259													
19								D1	81	251													
20								D1	79	257													
21				1	2	60	2	D2	125	74	325	3	2	4	2	5	4	2	2	1			
22								D2	80	327													
23								D2	83	335													
24								D2	72	329													
25								D2	83	334													
26								D2	85	333													
27								D2	70	330													
28								D2	73	326													
29								D2	82	335													
30								D2	71	328													
																		RMR	50		REGULAR		
																					TIPO III		

Diseño Original: M. Sc. Victor Tolentino Y.

Modificación 01: Ing. Reinaldo Rodriguez C.

Modificación Final: Bach. Paul Cruzado P.

Anexo Registro Geológico – Geotécnico de la estación Geomecánica 10

REGISTRO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO				UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA																
PROGRESIVA: Km 1+338.64 - Km 1+346.04				FACULTAD DE INGENIERIA																
TRAMO: 71.70 A 79.10		SISTEMA : PSAD - 56		ECUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA																
ORIENTACIÓN DEL TÚNEL: N 115°				TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TÚNEL CARRETERO EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA POTRERO																
RESPONSABLE : PAUL BELIZARIO CRUZADO PERALTA				SAN MARCOS - CAJAMARCA - PERÚ																
CÓDIGO: EGC - 12		FECHA: 26/10/2016		PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS																
D I S C O N T I N U I D A D	DATA GPS.			MACIZO ROCOSO				TIPOS	RESIST.COMP. UNIAX	DIRECCIÓN		ESPACIADO (m)	PERSIS (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC-METEOR	AGUA	CALIDAD DE INFORM.
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLÓG / FORMAC.	METEO RIZ.	GRADO DE FRACT.	RQD			GSi	ORIENTACIÓN					TIPO	DUREZA			
					1=Fresco	1=Alto	λ	1= Bloq- regular	Oci (Mpa)	DIP	DD	1= Arcilla	1= Ninguna	1= Inalterada	1= Seco	1= Lec. Real				
	2=Lev	2= Med	ND/m	2= Bloq - irregular	2= >2	1= <1		1= Nada				1= Muy Rug.	1= Qz / Silic	2= Duro<5mm	2= Lig. Alt	2= Humedo	2= Lect Apar			
	3=Mod	3= Bajo		4= Fract- intenso	3= Bloq y capas	3= 0, 6 -0,2	2= 1-3	2= < 0,1	2= Rugosa	2= Qz / Silic	2= Duro<5mm	2= Lig. Alt	2= Humedo	2= Lect Apar						
	4=Alt	6=Suelo	4= Fract- intenso		4= Microfalla	3= 0, 6 -0,2	3= 3-10	3= 0,1 - 1	3= Lig.Rug.	3= Calcita	3= Duro>5mm	3= Mod.Alt	3= Mojado	3= Lec Proy						
	5=Compl			6=Suelo	4= Fract- intenso	5= Sobrees.	4= 0,2 - 0,06	4= 10-20	4= 1-5	4= Ond. - Lisa	4= Oxidos	4= Suave<5mm	4= Muy Alt	4= Goteo	4= Flujo					
	6=Suelo	6=Suelo	4= Fract- intenso			6= Contacto	5= < 0,06	5= >20	5= >5	5= Suave - pulida	5= Carbón	5= Suave>5mm	5= Descomp	5= Flujo	5= Presión					
	Coordenadas iniciales				Arenisca cuarzosa (100%)															
1	823717	9174561	1866																	
2	Coordenadas finales																			
3	823872	9174511	1866																	
4																				
5																				
6																				
7																				
8																				
9																				
10																				
11				1	2	55	2	D1	147	73	352	2	3	4	2	4	4	2	3	1
12																				
13																				
14																				
15																				
16																				
17																				
18																				
19																				
20																				
21				1	2	50	2	D2	140	42	180	2	2	4	2	6	3	3	2	1
22																				
23																				
24																				
25																				
26																				
27																				
28																				
29																				
30																				
															RMR	63	BUENA TIPO II			

Diseño Original: M. Sc. Victor Tolentino Y.

Modificación 01: Ing. Reinaldo Rodriguez C.

Modificación Final: Bach. Paul Cruzado P.

Anexo Registro Geológico – Geotécnico de la estación Geomecánica 12

REGISTRO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO			UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA																		
PROGRESIVA: Km 1+353.14 - Km 1+359.14			FACULTAD DE INGENIERIA																		
TRAMO: 86.20 A 92.20			ECUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA																		
ORIENTACIÓN DEL TÚNEL: N 115°			TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TÚNEL CARRETERO EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA POTRERO																		
RESPONSABLE : PAUL BELIZARIO CRUZADO PERALTA			SAN MARCOS - CAJAMARCA - PERÚ																		
CÓDIGO: EGC - 14			FECHA: 04/11/2016			PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS															
D I S C O N Ú T M I E N R U O I D A D	DATA GPS.			MACIZO ROCOSO				TIPOS	RESIST.COMP. UNIAX	DIRECCIÓN	ESPACIADO (m)	PERSIS (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC-METEOR	AGUA	CALIDAD DE INFORM.		
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLÓG / FORMAC.	MEJEO RIZ.	GRADO DE FRACT.	RQD								GSI	ORIEN TACION				DIP	DD
					1=Fresco	1=Alto		λ	1= Bloq- regular	E=Estratif.	Oci (Mpa)	1=>2	1=<1	1=Nada			1=Muy Rug.	1= Arcilla	1= Ninguna		
	2=Lev	2=Med	ND/m	2= Bloq -irregular	D=Diaclasa	ORIEN TACION	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=Mod	3=Bajo		4=Fract- intenso	3= Bloq y capas		Fn=Falla Norm	ORIEN TACION	3= 0, 6 -0,2	3= 3-10	3= 0,1 - 1	3= Lig.Rug.	3= Calcita	3=Duro>5mm.	3=Mod.Alt	3= Mojado	3=Lec Proy				
	4=Alt	5=Comp	6=Suelto		4= Fract- intenso	Fd=falla Direcc	ORIEN TACION		4=0,2 - 0,06	4=10-20	4= 1 -5	4= Ond. - Lisa	4= Oxidos	4=Suave<5mm.	4= Muy Alt	4= Goteo	3=Lec Proy				
	5=Comp	6=Suelto		C=Contacto	5= Suave - pulida	Fm=Microfalla		ORIEN TACION	5= < 0,06	5= >20	5= >5	5= Suave - pulida	5= Carbón	5=Suave>5mm	5= Descomp	5= Flujo					
6=Suelto																					
1	Coordenadas iniciales			Arenisca cuarzosa (100%)	1	2	60	2	E	150	27	113	2	3	4	2	5	2	2	1	
2	823717	9174561	1866						E		20	118									
3	Coordenadas finales								E		15	128									
4	823872	9174511	1866						E		17	110									
5									E		15	125									
6									E		18	119									
7									E		22	117									
8									E		14	114									
9									E		25	120									
10									E		28	123									
11				1	2	55	2	D1	147	63	15	3	2	4	3	4	2	3	2	1	
12								D1		75	20										
13								D1		70	15										
14								D1		73	18										
15								D1		66	14										
16								D1		69	19										
17								D1		71	22										
18								D1		65	26										
19								D1		74	17										
20								D1		62	21										
21				1	2	70	2	D2	145	60	219	2	3	4	3	4	3	2	2	1	
22								D2		55	225										
23								D2		53	230										
24								D2		59	221										
25								D2		63	227										
26								D2		54	228										
27								D2		57	226										
28								D2		64	231										
29								D2		52	220										
30								D2		50	229										
																	RMR	65		BUENA TIPO II	

Diseño Original: M. Sc. Víctor Tolentino Y.

Modificación 01: Ing. Reinaldo Rodríguez C.

Modificación Final: Bach. Paul Cruzado P.

Anexo Registro Geológico – Geotécnico de la estación Geomecánica 14

REGISTRO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO						UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA ECUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA																																								
PROGRESIVA: Km 1+359.14 - Km 1+402.34						TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TÚNEL CARRETERO EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA POTRERO																																								
TRAMO: 92.20 A 135.40			SISTEMA : PSAD - 56			SAN MARCOS - CAJAMARCA - PERÚ																																								
ORIENTACIÓN DEL TÚNEL: N 115°																																														
RESPONSABLE : PAUL BELIZARIO CRUZADO PERALTA																																														
CÓDIGO: EGC - 15			FECHA: 09/11/2016																																											
D I S C O N Ú T M E I N R O U I D A D	DATA GPS.			MACIZO ROCOSO				PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS																																						
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLÓG / FORMAC.	MÉTO RIZ.	GRADO DE FRACT.	RQD	GSI	TIPOS	RESIST.COMP. UNIAX	DIRECCIÓN	ESPACIADO (m)	PERSIS (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC-METEOR	AGUA	CALIDAD DE INFORM.																										
																TIPO	DUREZA																													
					Oci (Mpa)	ORIENTACIÓN	DIP	DD								1=Fresco	λ				1= Bloq - regular	2= Bloq - irregular	E=Estratif.	Oci (Mpa)	ORIENTACIÓN	ESPACIADO (m)	PERSIS (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO	ALTERAC-METEOR	AGUA	CALIDAD DE INFORM.													
																Fi=falla inversa																		2= Lev	1= Alto	3= Bloq y capas	mf=Microfalia	1 => 2	1 =< 1	1= Nada	1=Muy Rug.	1= Arcilla	1= Ninguna	1= Inalterada	1= Seco	1= Lec. Real
																C=Contacto																		4=Alt	3 =Bajo	ND/m	4=Fract- intenso	3=0, 6 -0,2	3 =3-10	3 =0,1 - 1	3= Lig.Rug.	3= Calcita	3=Duro>5mm.	3=Mod.Alt	3 =Mojado	3=Lec Proy
																6=Suave>5mm																		5= Descomp	5 =Flujo	5 =< 0,06	5 =>20	5 =>5	5= Suave - pulida	5= Carbón	5=Suave>5mm	6= Presión				
																																														6= Presión
	1	Coordenadas iniciales			Arenisca cuarzosa (100%)	1	2	67	2	E	150	20	122	2	3		4	2	5	2	2	1	1																							
2	823717	9174561	1866	E		26	115																																							
3	Coordenadas finales			E		25	125																																							
4	823872	9174511	1866	E		35	117																																							
5				E		24	120																																							
6				E		27	117																																							
7				E	32	122																																								
8				E	30	114																																								
9				E	34	126																																								
10				E	29	119																																								
11				1	2	65	2	D1	145	67	235	2	3	3	3	4	3	2	1	1																										
12								D1		55	223																																			
13								D1		60	230																																			
14								D1		65	225																																			
15								D1		62	229																																			
16								D1		57	236																																			
17								D1		60	234																																			
18								D1		54	232																																			
19								D1		61	227																																			
20								D1		58	231																																			
21				1	2	60	2	D2	148	65	330	3	2	3	2	4	3	1	2	1																										
22								D2		60	342																																			
23								D2		63	332																																			
24								D2		65	338																																			
25								D2		62	340																																			
26								D2		69	336																																			
27								D2		65	341																																			
28								D2		71	333																																			
29								D2		59	335																																			
30								D2		65	339																																			
																		RMR	68		BUENA																									
																					TIPO II																									

Diseño Original: M. Sc. Victor Tolentino Y.

Modificación 01: Ing. Reinaldo Rodriguez C.

Modificación Final: Bach. Paul Cruzado P.

Anexo Registro Geológico – Geotécnico de la estación Geomecánica 15

REGISTRO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO				UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA																				
PROGRESIVA: Km 1+402.34 - Km 1+411.91				FACULTAD DE INGENIERIA																				
TRAMO: 135.40 A 144.97		SISTEMA : PSAD - 56		ECUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA																				
ORIENTACIÓN DEL TÚNEL: N 115°				TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TÚNEL CARRETERO EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA POTRERO																				
RESPONSABLE : PAUL BELIZARIO CRUZADO PERALTA				SAN MARCOS - CAJAMARCA - PERÚ																				
CÓDIGO: EGC - 19		FECHA: 23/11/2016		PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS																				
DISCONTINUIDAD	DATA GPS.			MACIZO ROCOSO				TIPOS	RESIST.COMP. UNIAX	DIRECCIÓN		ESPACIADO (m)	PERSIS (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC-METEOR	AGUA	CALIDAD DE INFORM.				
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLOG / FORMAC.	MEIEORIZ.	GRADO DE FRACT.	RQD			GSI	ORIENTACIÓN					DIP	DD				TIPO	DUREZA		
								E=Estratif. D=Diaclasa Fn=Falla Norm Fi=falla inversa Fd=falla Direcc mf=Microfalia SE=Sobrees. C=Contacto	Oci (Mpa)			1 => 2 2 = 2 -0,6 3 = 0, 6 -0,2 4=0,2 - 0,06 5 =< 0,06	1 =< 1 2 = 1-3 3 = 3-10 4=10-20 5 => 20	1= Nada 2= Rugosa 3= Lig.Rug. 4= Ond. - Lisa 5= Suave - pulida	1 = Arcilla 2 = Oz / Silic 3 = Calcita 4 = Oxidos 5 = Carbón 6 = Arena 7 = Siderita 8 = Roca Tritur			1 = Ninguna 2=Duro<5mm 3=Duro>5mm 4=Suave<5mm 5=Suave>5mm	1 = Inalterada 2=Lig. Alt 3=Mod.Alt 4= Muy Alt 5= Descomp	1 = Seco 2 = Humedo 3 = Mojado 4 = Goteo 5 = Flujo 6 = Presión			1 = Lec. Real 2=Lect Apar 3=Lec Proy	
	λ	λ	λ	λ																				
					ND/m	ND/m																		
	1 = Fresco	1 = Alto	2 = Med	3 = Bajo			5 = Compl			6 = Suelo														
					1 = Bloq- regular	2 = Bloq - Irregular					3 = Bloq y capas					4 = Fract- intenso								
	1	Coordenadas iniciales					Arenisca cuarzosa (100%)			1							2				55	2		E
	2	823717	9174561	1866	E	30		98																
	3	Coordenadas finales			E	30		110																
4	823872	9174511	1866	E	28	112																		
5				E	26	111																		
6				E	31	106																		
7				E	36	113																		
8				E	39	99																		
9				E	25	108																		
10				E	37	100																		
11				1	2	52	2	D1	148	52	255	3	4	3	2	4	3	2	2	2	1			
12								D1	54	260														
13								D1	59	256														
14								D1	50	252														
15								D1	60	261														
16								D1	53	255														
17								D1	62	259														
18								D1	63	254														
19								D1	55	250														
20								D1	51	253														
21				1	2	50	2	D2	146	66	335	2	3	3	2	4	3	3	2	2	1			
22								D2	62	338														
23								D2	65	347														
24								D2	68	340														
25								D2	71	345														
26								D2	67	336														
27								D2	69	343														
28								D2	72	346														
29								D2	65	339														
30								D2	70	337														
																RMR	60	REGULAR	TIPO III					

Diseño Original: M. Sc. Victor Tolentino Y.

Modificación 01: Ing. Reinaldo Rodriguez C.

Modificación Final: Bach. Paul Cruzado P.

Anexo Registro Geológico – Geotécnico de la estación Geomecánica 16

REGISTRO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO				UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA																		
PROGRESIVA: Km 1+411.91 - Km 1+424.34				FACULTAD DE INGENIERIA																		
TRAMO: 144.97 A 157.40		SISTEMA : PSAD - 56		ECUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA																		
ORIENTACIÓN DEL TÚNEL: N 115°				TESIS: EVALUACIÓN GEOMECAÁNICA DEL TÚNEL CARRETERO EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA POTRERO																		
RESPONSABLE : PAUL BELIZARIO CRUZADO PERALTA				SAN MARCOS - CAJAMARCA - PERÚ																		
CÓDIGO: EGC - 20		FECHA: 27/11/2016		PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS																		
D I S C O N T I N U I D A D	DATA GPS.			MACIZO ROCOSO				TIPOS	RESIST.COMP. UNIAX	DIRECCIÓN	ESPACIADO (m)	PERSIS (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC-METEOR	AGUA	CALIDAD DE INFORM.			
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLOG / FORMAC.	MEIEOR RIZ.	GRADO DE FRACT.	RQD								GSI	TIPO				DUREZA		
					1=Fresco	1=Alto	λ	1= Bloq- regular	Oci (Mpa)	ORIENTACIÓN	DIP	DD	1= Arcilla	1= Ninguna	1= Inalterada	1= Seco	1= Lec. Real					
	2=Lev	2=Med	2= Bloq - irregular	2= <0,1	2= Muy Rug.	2= Qz / Silic		2= Duro<5mm										2= Lig. Alt	2= Humedo	2= Lect Apar		
	3=Mod	3=Bajo	3= Bloq y capas	3= 0, 6 -0,2	3= Lig.Rug.	3= Duro>5mm.	3= Mod.Alt	3= Mojado	3= Lec Proy													
	4=Alt	ND/m	4= Fract- intenso	4= 0,2 - 0,06	4= 10-20	4= 1-5	4= Ond. - Lisa	4= Oxidos	4= Suave<5mm.	4= Muy Alt	4= Goteo											
	5=Compl		5= <0,06	5= >20	5= >5	5= Suave - pulida	5= Carbón	5= Suave>5mm	5= Descomp	5= Flujo												
	6=Suelo	C=Contacto	6= Fract- intenso	6= <0,06	6= >20	6= >5	6= Suave - pulida	6= Arena	6= Presión													
	1	Coordenadas iniciales			Arenisca cuarzosa (100%)	1	2	54	2	E	150	26	120	2	4	4	3	5	2	3	2	1
2	823717	9174561	1866	E					E		24	124										
3	Coordenadas finales			E					E		28	128										
4	823872	9174511	1866	E					E		30	133										
5				E					E		28	120										
6				E					E		25	127										
7				E					E		32	123										
8				E					E		29	131										
9				E					E		35	121										
10				E					E		27	129										
11				1	2	55	2	D1	146	60	340	3	3	4	3	4	3	2	3		1	
12								D1		58	338											
13								D1		62	335											
14								D1		70	337											
15								D1		65	343											
16								D1		69	336											
17								D1		59	341											
18								D1		68	338											
19								D1		60	339											
20								D1		67	346											
21				1	2	60	2	D2	145	66	222	2	4	4	3	4	3	2	2		1	
22								D2		72	235											
23								D2		63	230											
24								D2		70	229											
25								D2		65	231											
26								D2		67	225											
27								D2		69	227											
28								D2		74	232											
29								D2		71	224											
30								D2		62	221											
																	RMR	57	REGULAR			
																			TIPO III			

Diseño Original: M. Sc. Victor Tolentino Y.

Modificación 01: Ing. Reinaldo Rodriguez C.

Modificación Final: Bach. Paul Cruzado P.

Anexo Registro Geológico – Geotécnico de la estación Geomecánica 17

REGISTRO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO				UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA																		
PROGRESIVA: Km 1+424.34 - Km 1+437.14				FACULTAD DE INGENIERIA																		
TRAMO: 157.40 A 170.20		SISTEMA : PSAD - 56		ECUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA																		
ORIENTACIÓN DEL TÚNEL: N 115°				TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL TÚNEL CARRETERO EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA POTRERO																		
RESPONSABLE : PAUL BELIZARIO CRUZADO PERALTA				SAN MARCOS - CAJAMARCA - PERÚ																		
CÓDIGO: EGC - 21		FECHA: 30/11/2016		PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS																		
D I S C O N T I N U I D A D	DATA GPS.			MACIZO ROCOSO				TIPOS	RESIST.COMP. UNIAX	DIRECCIÓN	ESPACIADO (m)	PERSIST (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC-METEOR	AGUA	CALIDAD DE INFORM.			
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLÓG / FORMAC.	METEO RIZ.	GRADO DE FRACT.	RQD								GSI	TIPO				DUREZA		
					1=Fresco	1=Alto	λ	1= Bloq- regular	E=Estratif.	1= Arcilla	1= Ninguna	1= Inalterada	1= Seco	1= Lec. Real								
					2=Lev	2=Med		2= Bloq - irregular <td>D=Diaclasa <td>2= 2 -0, 6</td> <td>2= 1-3</td> <td>2= < 0, 1</td> <td>2= Rugosa</td> <td>2= Qz / Silic</td> <td>2=Duro<5mm</td> <td>2=Lig. Alt</td> <td>2= Humedo</td> <td>2=Lect Apar</td> </td>	D=Diaclasa <td>2= 2 -0, 6</td> <td>2= 1-3</td> <td>2= < 0, 1</td> <td>2= Rugosa</td> <td>2= Qz / Silic</td> <td>2=Duro<5mm</td> <td>2=Lig. Alt</td> <td>2= Humedo</td> <td>2=Lect Apar</td>	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=Mod	3=Bajo	ND/m	3= Bloq y capas <td>Fn=Falla Norm <td>3= 0, 6 -0,2</td> <td>3= 3-10</td> <td>3= 0, 1 - 1</td> <td>3= Lig.Rug.</td> <td>3= Calcita</td> <td>3=Duro>5mm.</td> <td>3=Mod.Alt</td> <td>3= Mojado</td> <td>3=Lec Proy</td> </td>	Fn=Falla Norm <td>3= 0, 6 -0,2</td> <td>3= 3-10</td> <td>3= 0, 1 - 1</td> <td>3= Lig.Rug.</td> <td>3= Calcita</td> <td>3=Duro>5mm.</td> <td>3=Mod.Alt</td> <td>3= Mojado</td> <td>3=Lec Proy</td>	3= 0, 6 -0,2	3= 3-10	3= 0, 1 - 1	3= Lig.Rug.	3= Calcita	3=Duro>5mm.	3=Mod.Alt	3= Mojado	3=Lec Proy				
					4=Alt	4=Med		4= Fract - intenso <td>Fi=falla inversa <td>4=0,2 - 0,06</td> <td>4=10-20</td> <td>4= 1 -5</td> <td>4= Ond. - Lisa</td> <td>4= Oxidos</td> <td>4=Suave<5mm.</td> <td>4= Muy Alt</td> <td>4= Goteo</td> <td></td> </td>	Fi=falla inversa <td>4=0,2 - 0,06</td> <td>4=10-20</td> <td>4= 1 -5</td> <td>4= Ond. - Lisa</td> <td>4= Oxidos</td> <td>4=Suave<5mm.</td> <td>4= Muy Alt</td> <td>4= Goteo</td> <td></td>	4=0,2 - 0,06	4=10-20	4= 1 -5	4= Ond. - Lisa	4= Oxidos	4=Suave<5mm.	4= Muy Alt	4= Goteo					
					5=Comp	5=Bajo		5= Fract - intenso <td>Fd=falla Direcc <td>5= < 0,06</td> <td>5= >20</td> <td>5= >5</td> <td>5= Suave - pulida</td> <td>5= Carbón</td> <td>5=Suave>5mm</td> <td>5= Descomp</td> <td>5= Flujo</td> <td></td> </td>	Fd=falla Direcc <td>5= < 0,06</td> <td>5= >20</td> <td>5= >5</td> <td>5= Suave - pulida</td> <td>5= Carbón</td> <td>5=Suave>5mm</td> <td>5= Descomp</td> <td>5= Flujo</td> <td></td>	5= < 0,06	5= >20	5= >5	5= Suave - pulida	5= Carbón	5=Suave>5mm	5= Descomp	5= Flujo					
					6=Suelo	6=Bajo		6= Fract - intenso <td>mf=Microfalla <td></td> <td></td> <td></td> <td>6= Arena</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </td>	mf=Microfalla <td></td> <td></td> <td></td> <td>6= Arena</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td>				6= Arena									
								7= Sobrees. <td>C=Contacto <td></td> <td></td> <td></td> <td>7= Siderita</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </td>	C=Contacto <td></td> <td></td> <td></td> <td>7= Siderita</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td>				7= Siderita									
								8= Contacto <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>8= Roca Tritur</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td>					8= Roca Tritur									
1	Coordenadas iniciales			Arenisca cuarzosa (100%)	1	2	55	2	E	150	24	115	2	4	4	3	5	2	3	2	1	
2	823717	9174561	1866						E			20	113									
3	Coordenadas finales								E			18	118									
4	823872	9174511	1866						E			24	112									
5									E			23	117									
6									E			17	119									
7									E			28	122									
8									E			22	120									
9									E			19	123									
10									E			27	121									
11					1	2	53	2	D1	140	65	225	3	4	4	2	4	2	2	2	1	
12											68	224										
13											64	220										
14											67	230										
15											73	229										
16											70	226										
17											69	231										
18											74	227										
19											68	224										
20											72	228										
21					1	2	50	2	D2	145	60	358	2	4	4	2	6	2	3	2	1	
22											65	350										
23											62	355										
24											73	358										
25											63	360										
26											68	356										
27											61	359										
28											67	357										
29											72	361										
30											66	354										
																	RMR	58	REGULAR	TIPO III		

Diseño Original: M. Sc. Victor Tolentino Y.

Modificación 01: Ing. Reinaldo Rodriguez C.

Modificación Final: Bach. Paul Cruzado P.

Anexo Registro Geológico – Geotécnico de la estación Geomecánica 18