



Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

Vicerrectorado  
de  
**INVESTIGACIÓN**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA DETERMINACIÓN DEL TIPO DE  
SOSTENIMIENTO DEL MACIZO ROCOSO EN LOS TÚNELES CARRETEROS**

**“LOS ÁNGELES”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**AUTOR:**

**RIOS BARTOLO RICARDO**

**ASESOR:**

**Dr. TELLO MALPARTIDA, OMART DEMETRIO**

**JURADO:**

**Dr. PUMARICRA PADILLA, RAÚL VALENTÍN**

**Ms. GARCÍA URRUTIA OLAVARRÍA, ROQUE JESÚS LEONARDO**

**Ms. AYBAR ARRIOLA, GUSTAVO ADOLFO**

**LIMA – PERÚ**

**2019**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más.

A mis Padres con todo mi cariño y amor, las personas que hicieron de todo para que yo pudiera lograr mis metas, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y agradecimiento, Elgo y María Isabel.

A mi hermano Gonzalo, compañero incondicional, que siempre ha estado junto a mí y brindándome su apoyo.

## **AGRADECIMIENTO**

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

Agradezco a mi asesor el Ing. Omar D. Tello Malpartida quien con su orientación y ayuda que me brindó, hicieron posible la culminación de esta tesis.

Quiero expresar mi agradecimiento especial al Ing. Daniel Osores por el material y conocimientos compartidos durante la realización de esta tesis por parte de la empresa CISAC.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación aborda el desarrollo de evaluación geomecánica para la determinación del tipo de sostenimiento del macizo rocoso en los túneles carreteros “Los Ángeles” en función del factor de seguridad y los costos unitarios de sostenimiento.

La investigación fue desarrollada en el emplazamiento de los túneles carreteros proyectados, los cuales se ubican en los distritos de Lurigancho – Chosica y Ricardo Palma, en las provincias de Lima y Huarochirí, departamento de Lima, el proyecto de los túneles atraviesa el Batolito de la Costa Peruana, consta de 02 túneles (eje 01 y eje 02), los cuales son paralelos entre sí (gemelos) de 12 960m y 13 000m, respectivamente.

Tiene como objetivos determinar la influencia de la evaluación geomecánica en la determinación del tipo de sostenimiento del macizo rocoso en los túneles carreteros “Los Ángeles”, para lo cual se estableció 13 estaciones geomecánicas tomando datos a lo largo de los ejes, luego, se procedió a hacer uso de las clasificaciones geomecánicas obteniendo roca del tipo II y III, según Bieniawski; y roca media y buena, según Barton. Asimismo, se utilizaron las recomendaciones de sostenimientos según el tipo de roca propuestas por cada autor. Se determinaron las familias de diaclasas más representativas en cada estación geomecánica mediante el software Dips V.5.1.

Se evaluó cómo influye el factor de seguridad en el sostenimiento del macizo rocoso en los túneles, mediante el software Phase 2 V.8.0, para este caso se eligió el criterio de rotura de Hoek – Brown al tratarse de roca, los resultados mostraron que el más costoso y sobredimensionado estructuralmente fue el de Bieniawski, mientras que Barton fue el más acertado, cumpliendo con los factores de seguridad establecidos por la norma, siendo éste, el más económico y viable. Por

lo tanto, para esta investigación las recomendaciones por Barton se ajustan mejor a la realidad peruana (técnico – económico) debido al gasto público que ejerce el estado en este tipo de obras.

Finalmente, se llegó a la conclusión de que todas las hipótesis planteadas estaban en lo cierto.

**Palabras claves:** Costos unitarios, diaclasas, factor de seguridad, geomecánica, sostenimiento.

## ABSTRACT

The present work of investigation approaches the development of geomechanical evaluation for the determination of the type of support of the rock mass in the road tunnels "Los Angeles" in function of the factor of security and the unit costs of support.

The research was developed at the site of the projected highway tunnels, which are located in the districts of Lurigancho - Chosica and Ricardo Palma, in the provinces of Lima and Huarochirí, department of Lima, the project of the tunnels crosses the Batolito of the Peruvian Coast, consists of 02 tunnels (axis 01 and axis 02), which are parallel to each other (twins) of 12 960m and 13,000m, respectively. Its objective is to determine the influence of the geomechanical evaluation in the determination of the type of support of the rock mass in the "Los Ángeles" road tunnels, for what refers to the 13 geomechanical stations that respond along the axes, then, A good use of the geomechanical classifications was obtained, obtaining rock of type II and III, according to Bieniawski; and bad, average and good rock, according to Barton. In addition, sustainability recommendations are used according to the type of rock proposed by each author. The most representative families of diaclases were determined in each geomechanical station using the software Dips V.5.1.

It was evaluated how the safety factor influences in the support of the rock mass in the tunnels, by means of the software Phase 2 V.8.0, for this case the Hoek - Brown breakage criterion was chosen, being the rock, the results showed that the more costly and structurally oversized was that of Bieniawski, while Barton was the most successful, complying with the safety factors established by the norm, this being the most economical and viable. Therefore, for this research the recommendations by Barton are better adjusted to the Peruvian reality (technical

- economic) due to the public expenditure of the state in this type of works. Finally, it was concluded that all the hypotheses raised were right.

**Keywords: Unitary costs, diaclases, safety factor, geomechanics, support.**

## INTRODUCCIÓN

Para el diseño preliminar de un túnel tallado en roca se ha recurrido hace más de 50 años a nivel mundial a los métodos empíricos, los cuales están conformados por las clasificaciones geomecánicas, que se centran en caracterizar al macizo rocoso con el fin de saber el tipo de roca al que se van a enfrentar. A su vez, estas clasificaciones según el tipo de roca, dan recomendaciones para el sostenimiento, así como la forma de excavación y la longitud de avance a emplear. Las clasificaciones más usadas son la Bieniawski y Barton, por su facilidad de comprenderlas y usarlas.

Por otro lado, con la intención de afinar los resultados y de alguna u otra manera reducir los costos producto del sostenimiento dado por los métodos empíricos, así como saber los factores de seguridad en las secciones de los túneles y los esfuerzos producto del macizo rocoso que se encuentra en la cobertura por donde está emplazado el túnel, aparecen los métodos numéricos con los elementos finitos que son usados en todos los proyectos de ingeniería de este tipo.

En consecuencia, para un buen diseño se necesita tiempo y dinero con el fin de conocer en lo mayor posible las características geomecánicas del tipo de material al que se va a enfrentar, reduciendo de manera drástica los futuros accidentes que puedan producirse.



## ÍNDICE

|  |             |
|--|-------------|
| <b>DEDICATORIA.....</b>                      | <b>II</b>   |
| <b>AGRADECIMIENTO .....</b>                  | <b>III</b>  |
| <b>RESUMEN.....</b>                          | <b>IV</b>   |
| <b>ABSTRACT .....</b>                        | <b>VI</b>   |
| <b>INTRODUCCIÓN.....</b>                     | <b>VIII</b> |
| <b>ÍNDICE .....</b>                          | <b>IX</b>   |
| <b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>          | <b>XIV</b>  |
| TABLAS .....                                 | XIV         |
| FIGURAS.....                                 | XVII        |
| <b>CAPÍTULO I.....</b>                       | <b>1</b>    |
| <b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>       | <b>1</b>    |
| 1.1.    Realidad Problemática .....          | 1           |
| 1.2.    Problema .....                       | 3           |
| 1.2.1 Problema Principal .....               | 3           |
| 1.2.2 Problema Secundario .....              | 3           |
| 1.2.3 Formulación del Problema .....         | 4           |
| 1.3.    Justificación .....                  | 4           |
| 1.3.1 Justificación de la investigación..... | 4           |
| 1.4.    Limitaciones.....                    | 5           |
| 1.4.1 Limitación de la investigación .....   | 5           |
| 1.5.    Objetivos De La Investigación.....   | 5           |

|                            |   |           |
|----------------------------|---|-----------|
| 1.5.1                      | Objetivos General.....                            | 5         |
| 1.5.2                      | Objetivos específicos .....                       | 6         |
| <b>CAPÍTULO II.....</b>    |   | <b>7</b>  |
| <b>MARCO TEÓRICO .....</b> |   | <b>7</b>  |
| 2.1.                       | Antecedentes .....                                | 7         |
| 2.1.1                      | Desde cuando existe o se conoce el problema ..... | 7         |
| 2.1.2                      | Estudios o Investigaciones Anteriores .....       | 8         |
| 2.2.                       | Bases Teóricas .....                              | 20        |
| 2.2.1.                     | Métodos de Sostenimiento .....                    | 20        |
| 2.2.2.                     | Factor de Seguridad.....                          | 32        |
| 2.3                        | Definición de Términos Básicos.....               | 33        |
| <b>CAPÍTULO III.....</b>   |   | <b>37</b> |
| <b>HIPÓTESIS .....</b>     |   | <b>37</b> |
| 3.1                        | Formulación de Hipótesis .....                    | 37        |
| 3.1.1                      | Hipótesis principal .....                         | 37        |
| 3.1.2                      | Hipótesis secundarias .....                       | 37        |
| 3.2                        | Variables .....                                   | 37        |
| 3.2.1                      | Variable independiente.....                       | 37        |
| 3.2.2                      | Variable dependiente.....                         | 37        |
| 3.3                        | Operacionalización de Variables.....              | 38        |
| <b>CAPÍTULO IV .....</b>   |   | <b>39</b> |
| <b>MÉTODO.....</b>         |   | <b>39</b> |
| 4.1                        | Diseño de la Investigación .....                  | 39        |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.2 Material .....  | 39        |
| 4.2.1 Unidad de estudio.....  | 39        |
| 4.2.2 Población.....  | 40        |
| 4.2.3 Muestra.....  | 40        |
| 4.3 Métodos.....  | 41        |
| 4.3.1 Técnicas e instrumentos y/o fuentes de recolección de datos ..... | 41        |
| 4.3.2 Validación de los instrumentos por juicio de expertos .....       | 41        |
| 4.3.3 Técnicas de procesamiento de datos .....                          | 43        |
| 4.3.4 Técnicas de análisis e interpretación de la información.....      | 43        |
| <b>CAPÍTULO V.....</b>  | <b>44</b> |
| <b>CASO DE APLICACIÓN .....</b>   | <b>44</b> |
| 5.1 Descripción del caso .....  | 44        |
| 5.1.1 Ubicación y accesos .....   | 44        |
| 5.1.2 Diseño Geométrico de Los Túneles Proyectoados.....                | 46        |
| 5.1.3 Clima y vegetación.....   | 46        |
| 5.1.4 Relieve.....  | 47        |
| 5.1.5 Geología .....  | 48        |
| 5.2 Evaluación geotécnica de los túneles .....                          | 57        |
| 5.2.1 Investigaciones de Campo.....                                     | 57        |
| 5.2.1.1 Toma de muestras de rocas .....                                 | 57        |
| 5.2.1.2 Evaluación geofísica .....                                      | 59        |
| 5.2.2 Cartografiado Geotécnico y Estaciones Geomecánicas .....          | 62        |
| 5.2.3 Características de las Discontinuidades .....                     | 62        |

|  |    |
|--|----|
| 5.2.4 Cálculo de RQD por estaciones geomecánicas .....   | 63 |
| 5.2.5 Cálculo del índice RMR según la Clasificación Geomecánica de Bieniaswki (1989).....                  | 64 |
| 5.2.6 Análisis de datos en el software Dips V.5.1.....   | 65 |
| Estación Geomecánica N° 01 .....   | 65 |
| Estación Geomecánica N° 02.....  | 67 |
| Estación Geomecánica N° 03.....  | 69 |
| Estación Geomecánica N° 04.....  | 71 |
| Estación Geomecánica N° 05.....  | 73 |
| Estación Geomecánica N° 06.....  | 75 |
| Estación Geomecánica N° 07.....  | 77 |
| Estación Geomecánica N° 08.....  | 79 |
| Estación Geomecánica N° 09.....  | 81 |
| Estación Geomecánica N° 10.....  | 83 |
| Estación Geomecánica N° 11 .....   | 85 |
| Estación Geomecánica N° 12.....  | 87 |
| Estación Geomecánica N° 13.....  | 89 |
| 5.2.7 Determinación del tipo de Sostenimiento según la Clasificación Geomecánica de Bieniawski (1989)..... | 91 |
| 5.2.8 Cálculo del índice Q según la Clasificación Geomecánica de Barton (1974) .....                       | 92 |
| 5.2.9 Determinación del tipo de Sostenimiento según la Clasificación Geomecánica de Barton (1974).....     | 93 |
| 5.2.10 Clasificación del tipo de roca según progresivas y ejes de la vía .....                             | 95 |

|   |            |
|---|------------|
| 5.2.11 Cálculo del Factor de Seguridad (F.S.) .....   | 97         |
| 5.2.12 Cálculo de Costos Unitarios de Sostenimiento .....   | 104        |
| 5.2.13 Cálculo del Costo Total del Sostenimiento por eje de Túnel según las<br>recomendaciones de Bieniawski y Barton ..... | 106        |
| <b>CAPÍTULO VI .....</b>  | <b>113</b> |
| <b>RESULTADOS.....</b>  | <b>113</b> |
| 6.1 Descripción de resultados .....   | 113        |
| 6.1.1 Evaluación geomecánica .....  | 113        |
| 6.1.2 Factor de seguridad .....   | 122        |
| 6.1.3 Costos Unitarios .....  | 126        |
| <b>CONCLUSIONES.....</b>  | <b>133</b> |
| <b>RECOMENDACIONES.....</b>   | <b>135</b> |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>  | <b>137</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>   | <b>140</b> |
| <i>ANEXO I: Matriz de Consistencia .....</i>  | 140        |
| <i>ANEXO II: Validación de los instrumentos por juicio de expertos. ....</i>  | 140        |

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla N° 1. <i>Interpretación de los valores de RMR</i> .....  | 22 |
| Tabla N° 2. <i>Interpretación de valores de RQD (Deere, 1964)</i> . ....                                     | 24 |
| Tabla N° 3. <i>Recomendaciones para la excavación y sostenimiento de túneles en roca</i> . ....              | 26 |
| Tabla N° 4. <i>Coefficiente de soporte para el tipo de excavación, ESR</i> .....                             | 29 |
| Tabla N° 5. <i>Principales correlaciones establecidas entre el sistema RMR y Q</i> .....                     | 31 |
| Tabla N° 6. <i>Factores de seguridad recomendados según plazo de estabilidad</i> . ....                      | 33 |
| Tabla N° 7. <i>Operacionalización de Variables</i> . ....  | 38 |
| Tabla N° 8. <i>Calificación de los instrumentos por juicio de expertos</i> . ....                            | 42 |
| Tabla N° 9. <i>Ensayo de Compresión Uniaxial</i> . ....  | 58 |
| Tabla N° 10. <i>Ensayo de Constantes Elásticas</i> . ....  | 58 |
| Tabla N° 11. <i>Cálculo del Índice R.Q.D por estación geomecánica</i> .....                                  | 63 |
| Tabla N° 12. <i>Cálculo del Índice RMR y Clase del macizo rocoso por estación geomecánica</i> . ...          | 64 |
| Tabla N° 13. <i>Cálculo del Índice RMR y Clase del macizo rocoso – Estación geomecánica N° 01</i> .<br>..... | 66 |
| Tabla N° 14. <i>Cálculo del Índice RMR y Clase del macizo rocoso – Estación geomecánica N° 02</i> .<br>..... | 68 |
| Tabla N° 15. <i>Cálculo del Índice RMR y Clase del macizo rocoso – Estación geomecánica N° 03</i> .<br>..... | 70 |
| Tabla N° 16. <i>Cálculo del Índice RMR y Clase del macizo rocoso – Estación geomecánica N° 04</i> .<br>..... | 72 |

|   |    |
|---|----|
| Tabla N° 17. <i>Cálculo del Índice RMR y Clase del macizo rocoso – Estación geomecánica N° 05.</i><br>.....               | 74 |
| Tabla N° 18. <i>Cálculo del Índice RMR y Clase del macizo rocoso – Estación geomecánica N° 06.</i><br>.....               | 76 |
| Tabla N° 19. <i>Cálculo del Índice RMR y Clase del macizo rocoso – Estación geomecánica N° 07.</i><br>.....               | 78 |
| Tabla N° 20. <i>Cálculo del Índice RMR y Clase del macizo rocoso – Estación geomecánica N° 08.</i><br>.....               | 80 |
| Tabla N° 21. <i>Cálculo del Índice RMR y Clase del macizo rocoso – Estación geomecánica N° 09.</i><br>.....               | 82 |
| Tabla N° 22. <i>Cálculo del Índice RMR y Clase del macizo rocoso – Estación geomecánica N° 10.</i><br>.....               | 84 |
| Tabla N° 23. <i>Cálculo del Índice RMR y Clase del macizo rocoso – Estación geomecánica N° 11.</i><br>.....               | 86 |
| Tabla N° 24. <i>Cálculo del Índice RMR y Clase del macizo rocoso – Estación geomecánica N° 12.</i><br>.....               | 88 |
| Tabla N° 25. <i>Cálculo del Índice RMR y Clase del macizo rocoso – Estación geomecánica N° 13.</i><br>.....               | 90 |
| Tabla N° 26. <i>Tipo de sostenimiento para los túneles según la Clasificación geomecánica de Bieniawski (1989).</i> ..... | 92 |
| Tabla N° 27. <i>Cálculo del Índice Q y Clase del macizo rocoso por estación geomecánica.....</i>                          | 92 |
| Tabla N° 28. <i>Tipo de sostenimiento según la Clasificación geomecánica de Barton (1974).</i> .....                      | 95 |
| Tabla N° 29. <i>Clasificación del tipo de roca según progresiva – Eje 01.</i> .....                                       | 96 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla N° 30. <i>Clasificación del tipo de roca según progresiva – Eje 02.</i> .....                                | 97  |
| Tabla N° 31. <i>Costos unitarios por tipo de sostenimiento.</i> .....  | 106 |
| Tabla N° 32. <i>Cantidad total de pernos de anclaje por tipo de roca en el túnel eje 01 – Bieniawski.</i> .....    | 107 |
| Tabla N° 33. <i>Volumen total de shotcrete en el túnel eje 01 - Bieniawski.</i> .....                              | 107 |
| Tabla N° 34. <i>Cantidad de Malla electrosoldada en el túnel eje 01 - Bieniawski.</i> .....                        | 108 |
| Tabla N° 35. <i>Costo total del sostenimiento del túnel eje 01. L = 12 960m - Bieniawski.</i> .....                | 108 |
| Tabla N° 36. <i>Cantidad total de pernos de anclaje por tipo de roca en el túnel eje 02 – Bieniawski.</i><br>..... | 109 |
| Tabla N° 37. <i>Volumen total de shotcrete en el túnel eje 02 - Bieniawski.</i> .....                              | 109 |
| Tabla N° 38. <i>Cantidad de Malla electrosoldada en el túnel eje 02 - Bieniawski.</i> .....                        | 110 |
| Tabla N° 39. <i>Costo total del sostenimiento del túnel eje 2. L = 13 000m - Bieniawski.</i> .....                 | 110 |
| Tabla N° 40. <i>Volumen total de shotcrete en el túnel eje 01 – Barton.</i> .....                                  | 111 |
| Tabla N° 41. <i>Volumen total de shotcrete en el túnel eje 02 - Barton.</i> .....                                  | 111 |
| Tabla N° 42. <i>Costo total del sostenimiento del túnel eje 1. L = 12 960m - Barton.</i> .....                     | 112 |
| Tabla N° 43. <i>Costo total del sostenimiento del túnel eje 2. L = 13 000m - Barton.</i> .....                     | 112 |
| Tabla N° 44. <i>Resumen del Cálculo de RMR y Q por estaciones geomecánicas.</i> .....                              | 114 |
| Tabla N° 45. <i>Resumen de factores de seguridad mínimo con sostenimientos recomendados.</i> ..                    | 125 |
| Tabla N° 46. <i>Resumen de Costos totales de los sostenimientos empleados por eje y método.</i> ..                 | 132 |



**FIGURAS**

|  |    |
|--|----|
| Figura N° 1. <i>Proceso comúnmente usado para evaluar el valor del RQD de un testigo (ACG, 2003).</i> .....                        | 23 |
| Figura N° 2. <i>Ábaco de sostenimiento para túneles en roca.</i> .....   | 30 |
| Figura N° 3. <i>Plano de ubicación del proyecto.</i> .....   | 45 |
| Figura N° 4. <i>Plano Regional.</i> .....  | 55 |
| Figura N° 5. <i>Plano de geología local.</i> .....   | 56 |
| Figura N° 6. <i>Plano de ubicación general de las líneas sísmicas, líneas de reflexión y líneas de tomografía eléctrica.</i> ..... | 61 |
| Figura N° 7. <i>Estereograma de la estación geomecánica N° 01.</i> .....   | 67 |
| Figura N° 8. <i>Estereograma de la estación geomecánica N° 02.</i> .....   | 69 |
| Figura N° 9. <i>Estereograma de la estación geomecánica N° 03.</i> .....   | 71 |
| Figura N° 10. <i>Estereograma de la estación geomecánica N° 04.</i> .....  | 73 |
| Figura N° 11. <i>Estereograma de la estación geomecánica N° 05.</i> .....  | 75 |
| Figura N° 12. <i>Estereograma de la estación geomecánica N° 06.</i> .....  | 77 |
| Figura N° 13. <i>Estereograma de la estación geomecánica N° 07.</i> .....  | 79 |
| Figura N° 14. <i>Estereograma de la estación geomecánica N° 08.</i> .....  | 81 |
| Figura N° 15. <i>Estereograma de la estación geomecánica N° 09.</i> .....  | 83 |
| Figura N° 16. <i>Estereograma de la estación geomecánica N° 10.</i> .....  | 85 |
| Figura N° 17. <i>Estereograma de la estación geomecánica N° 11.</i> .....  | 87 |
| Figura N° 18. <i>Estereograma de la estación geomecánica N° 12.</i> .....  | 89 |
| Figura N° 19. <i>Estereograma de la estación geomecánica N° 13.</i> .....  | 91 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura N° 20. <i>Factor de seguridad sin sostenimiento, luego de la excavación a sección completa.</i> ..... | 99  |
| Figura N° 21. <i>Factor de seguridad con sostenimiento para roca tipo II (RMR: 61 - 80).</i> .....           | 100 |
| Figura N° 22. <i>Factor de seguridad con sostenimiento para roca tipo III (RMR: 41-60).</i> .....            | 101 |
| Figura N° 23. <i>Factor de seguridad con sostenimiento para roca buena (Q: 10 - 40).</i> .....               | 102 |
| Figura N° 24. <i>Factor de seguridad con sostenimiento para roca media (Q: 4 - 10).</i> .....                | 103 |
| Figura N° 25. <i>APU pernos de anclaje.</i> .....  | 104 |
| Figura N° 26. <i>APU Shotcrete clase C (<math>f'c=280\text{kg/cm}^2</math>).</i> .....                       | 105 |
| Figura N° 27. <i>APU Malla electrosoldada de 4" x 4".</i> .....  | 105 |
| Figura N° 28. <i>Resumen de factores de seguridad con sostenimiento – Resultado I.</i> .....                 | 123 |
| Figura N° 29. <i>Resumen de factores de seguridad con sostenimiento – Resultado II.</i> .....                | 124 |
| Figura N° 30. <i>Resumen de Cantidad de Materiales por Ejes y métodos. Resultado I.</i> .....                | 127 |
| Figura N° 31. <i>Resumen de Cantidad de Materiales por Ejes y métodos. Resultado II.</i> .....               | 128 |
| Figura N° 32. <i>Costo total del sostenimiento recomendado por Bieniawski.</i> .....                         | 130 |
| Figura N° 33. <i>Costo total del sostenimiento recomendado por Barton.</i> .....                             | 131 |

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Realidad Problemática**

Los colapsos en túneles que, por definición, no deberían producirse, se producen de cuando en cuando y son por lo tanto una parte inevitable del proceso de construcción, muchos de estos provocados por un mal estudio geológico – geotécnico.

Los más importantes colapsos sucedieron en España, con el colapso del Carmel en el Metro de Barcelona, el hundimiento de los túneles de Heathrow en Londres, los del Metro de Munich, el metro de Lausana en Suiza, el túnel de Sasago en Japón, el metro de Santana en Brasil o el más reciente producido en Julio de 2017, el túnel Buenavista II en Colombia en la fase de excavación.

Durante una excavación subterránea, el principal problema es el tipo del material que se presenta en el emplazamiento de la obra, para lo cual se debe realizar una buena identificación de los diferentes tipos de roca que se pueden presentar con el fin de determinar el sostenimiento. Es imprescindible un análisis previo del macizo rocoso para realizar las actividades con una mayor seguridad.

Actualmente el Perú no cuenta con túneles carreteros de gran longitud, los cuales no sobrepasan los 2.000km, los más largos son el Túnel Vía Parque Rímac en Lima (2.000km), el Túnel Punta Olímpica en Ancash (1.384km) y el Túnel Yanango en Junín

(1.060km), donde no se presentaron mayores inconvenientes en la etapa de construcción y post-construcción hasta la fecha.

Es por eso que para evitar este tipo de problemas se debe recurrir a la caracterización del macizo rocoso mediante el uso de las clasificaciones geomecánicas, las cuales constituyen la fase inicial de todo estudio geológico – geotécnico y tienen por objeto evaluar las propiedades físicas y mecánicas del macizo rocoso compuesto por la roca intacta y sus discontinuidades. Por medio de la clasificación se llega a calcular un índice característico de la roca, que permite describir numéricamente la calidad de la misma, lo cual ofrece una prognosis sobre el tipo de sostenimiento a emplear, la forma de organizar las excavaciones o las propiedades geomecánicas del macizo rocoso estudiado, esto con la finalidad de que dichos resultados obtenidos en la investigación sean utilizados más adelante. Bieniawsky, Z. (1997). “Quo vadis Rock Mass Classifications” Vienna Eurock 97. Workshop Felsbau N° 3/97, pp 177-178. Recomienda: “que las clasificaciones geomecánicas se usen en el contexto de un proceso global de diseño ingenieril”. Además, indica “que deben usarse solo en fases preliminares y/o planeamiento, pero no para definir las medidas finales de diseño”.

Entonces, si no se realizara una evaluación geomecánica para el macizo rocoso de los túneles carreteros “Los Ángeles”, se presentarán problemas de inestabilidad que los túneles sufrirán durante el proceso de excavación y de servicio, ocasionando de este modo un ambiente inseguro, y en consecuencia, pondría en riesgo la vida humana, ya que según estadísticas en este tipo de obras, durante la etapa de construcción, el ratio de

muerdes es de 1.5 personas por kilómetro, además de pérdidas materiales y equipos de trabajo. Cartaya, M. (2011), en su tesis doctoral “Caracterización Geomecánica De Macizos Rocosos En Obras Subterráneas De La Región Oriental De País”, afirma: “La caracterización geomecánica pronostica el comportamiento del macizo rocoso, con esto, se reduce significativamente el costo de la obra y accidentes de trabajo”.

Se debe tener en cuenta que la mayoría de los proyectos de construcción civil deben presentar una vida útil de al menos 50 años y que los proyectos de construcción de infraestructuras, como túneles y puentes, deben presentar una vida útil de hasta 200 años. Es por eso, que la evaluación geomecánica para la determinación del sostenimiento del macizo rocoso en un túnel es sumamente importante.

## **1.2. Problema**

### **1.2.1 Problema Principal**

- La influencia de la evaluación geomecánica en la determinación del tipo de sostenimiento del macizo rocoso en los túneles carreteros “Los Ángeles”.

### **1.2.2 Problema Secundario**

- Influencia del factor de seguridad en el sostenimiento del macizo rocoso en los túneles carreteros “Los Ángeles”.
- Factibilidad en la determinación los costos unitarios de sostenimiento del macizo rocoso en los túneles carreteros “Los Ángeles”.

### **1.2.3 Formulación del Problema**

- ¿Cuál es la influencia de la evaluación geomecánica en la determinación del tipo de sostenimiento del macizo rocoso en los túneles carreteros “Los Ángeles”?

## **1.3. Justificación**

### **1.3.1 Justificación de la investigación**

#### ***1.3.1.1 Práctica***

La investigación ayudará a resolver un problema real. Los resultados de la investigación permitirán mostrar que, en cualquier proyecto de túnel carretero, se debe conocer el tipo y calidad del terreno ya que es donde se realizará las operaciones de perforación y voladura, también mostrará los equipos adecuados a emplear durante la construcción, así como el método de excavación y los tipos de sostenimiento a emplear.

#### ***1.3.1.2 Metodológica***

La presente investigación puede ayudar a crear un nuevo método de clasificación geomecánica, como es el caso del método Bieniawski con el RMR de 1972, RMR de 1989 y el RMR de 2014 (aún en fase de estudio), los cuales se crearon por la información obtenida de casos históricos de túneles construidos en todo el mundo.

#### ***1.3.1.3 Social***

El alcance o proyección social de esta investigación es de manera indirecta, como un parte – todo (Sostenimiento – Túnel), ya que, con una buena elección del tipo de

sostenimiento, los túneles proporcionarán a los que transiten por ellos, una mayor protección, seguridad y nivel de servicio durante su período de vida útil (hasta de 200 años), evitando de esta manera futuros accidentes por el desprendimiento de cuñas. Según el estudio de tráfico se tiene un volumen vehicular de 25 363 vehículos por día, beneficiándose de esta manera la población que transite por la Carretera Central.

## **1.4. Limitaciones**

### **1.4.1 Limitación de la investigación**

- La longitud total de cada túnel es de 13.260km y en su emplazamiento hay presencia de roca y suelo. Esta investigación se basará netamente en la mecánica de rocas y por lo tanto se evaluará al macizo rocoso ( $L=13.000\text{km}$ ), ya que para la evaluación de suelos ( $L=0.260\text{km}$ ) se aplica otra metodología.
- Para la presente investigación se hará uso de las clasificaciones geomecánicas de Deere (RQD), Bieniawski (RMR 89) y Barton (Q).

## **1.5. Objetivos De La Investigación**

### **1.5.1 Objetivos General**

- Determinar la influencia de la evaluación geomecánica en la determinación del tipo de sostenimiento del macizo rocoso en los túneles carreteros “Los Ángeles”.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Evaluar cómo influencia del factor de seguridad en el sostenimiento del macizo rocoso en los túneles carreteros Los Ángeles.
- Determinar la factibilidad de los costos unitarios de sostenimiento del macizo rocoso en los túneles carreteros “Los Ángeles”.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes

##### 2.1.1 Desde cuando existe o se conoce el problema

Ante la necesidad de saber el tipo de sostenimiento a emplear en los túneles, surgen las clasificaciones geomecánicas con ayuda de la caracterización geomecánica, que sirven para estimar los parámetros y comportamiento de los macizos rocosos. (Palmstrom, 1998). Además de las obras subterráneas, como lo son los túneles, también se aplican en taludes y cimentaciones. Las clasificaciones se utilizan hace más de 50 años, pero la metodología se expandió por el mundo a partir de los años 70. (González de Vallejo, 1998).

La primera clasificación del terreno para la ejecución de túneles apareció en 1946 a manos de Terzaghi, a partir de datos obtenidos por cerchas metálicas. Luego, por los años 50 se empezó a usar bulones y gunita; y con ellos, las clasificaciones como la de Lauffer en 1958 y los métodos más usados a nivel mundial en la actualidad como son los de Bieniawski y Barton. (Universidad de Cantabria, 2016).

En el Perú, la evaluación geomecánica está más ligada a túneles mineros que carreteros y los sistemas de clasificación geomecánica más usados en este último son: Sistema RMR (Bieniawski), el Sistema Q (Barton) y el índice GSI (Índice de Resistencia Geológica). Un ejemplo de ello fue el Túnel Yanango, que para determinar en primera instancia el sostenimiento, se utilizó el Sistema Q de Barton.

## **2.1.2 Estudios o Investigaciones Anteriores**

### ***2.1.2.1 Antecedentes Nacionales:***

Quispe, K. (2018), En su tesis denominada “Evaluación geomecánica para la elección del tipo de sostenimiento en el túnel Yauricocha del N.V.720, Sociedad Minera Corona S.A”, buscó determinar la influencia de la evaluación geomecánica en la elección del tipo de sostenimiento en el túnel minero. Además, analizó la influencia del factor de seguridad en el sostenimiento del túnel. Los métodos geomecánicos usados fueron el RMR y el GSI, llegando a las siguientes conclusiones: Conclusión N° 01: Después de realizar la evaluación geomecánica en el túnel, se determinó el tipo de sostenimiento a usar en la estación de Medición N° 1, donde se deberá sostener con Perno Helicoidal de 7’ pies con un espaciado de 1.2 x 1.2 metros, en un tramo de 200 metros. En la Estación de medición N° 2 se debe sostener con Malla electrosoldada + Perno Helicoidal de 7’ con un espaciado de 1.2x1.2 metros, en un tramo de 150 metros. En la Estación de medición N° 3 se debe sostener con Shotcrete de 2” pulgadas + Perno Helicoidal de 7’ pies con un espaciado de 1.2 x 1.2 metros, en un tramo de 200 metros. En la Estación de medición N° 4 se deberá sostener con Cimbras metálicas tipo H6 en un tramo de 100 metros. Conclusión N°02: El coeficiente de seguridad influye directamente en la elección del tipo de sostenimiento del túnel. Además, si el F.S es mayor que 1.5, se logra la estabilidad de las labores durante la vida útil del túnel.

Este trabajo se relaciona con la investigación planteada ya que muestra cómo influye la evaluación y F.S. de manera directa en la elección del tipo de sostenimiento de un túnel, lo cual resulta un aporte importante.

Cruzado, P. (2016), En su investigación titulada “Evaluación geomecánica del túnel de la Central Hidroeléctrica Potrero – San Marcos – Cajamarca”, el objetivo es evaluar el comportamiento geomecánico del túnel. 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. La clasificación del macizo roco encontrado es del tipo II y III, además recomienda usar pernos cementados de 2.10m con espaciado de 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.

Los tipos de roca (según Bieniawsky) encontrados en esta investigación son del mismo tipo que se presentan en los túneles “Los Ángeles”, de esta manera se podrán comparar características y ver cómo es que influye la evaluación geomecánica para la determinación del sostenimiento de un túnel.

Soto, A. (2016), En su tesis denominada “Diseño de sostenimiento en el Túnel Wayrasencca – Ollachea”, el objetivo fue determinar las características geomecánicas del macizo rocoso en el Túnel Wayrasencca y diseñar el sostenimiento de las cuñas subterráneas del Túnel Wayrasencca. Para esto, el autor decidió caracterizar

geomecánicamente el macizo rocoso, que permitiría diseñar el sostenimiento de las cuñas subterráneas del túnel, los pasos que empleo para tal objetivo fueron: 1.- Formulación del problema y los objetivos del proyecto. 2.- Revisión del marco referencial que comprende el estudio. 3.- Recolección de datos de campo y muestreo para ensayos de laboratorio (Caracterización en campo). 4.- Determinación de diferentes parámetros geomecánicos a través de ensayos de laboratorio y software. 5.- Caracterización geomecánica, Diseño de Sostenimiento Empírico y Analítico. 6.- Análisis del comportamiento de estabilidad de las cuñas subterráneas con el sostenimiento planteado (Evaluación de resultados). Luego de este proceso llegó a las siguientes conclusiones: Las características estructurales y geológicas de la zona de estudio, determinaron las clasificaciones de Roca RMR y Q. Además, estas determinaron el tipo de sostenimiento del túnel, donde encontraron roca de tipo II, III, IV y V, con un índice de calidad RMR y Q que varían entre 27 – 69 y 0.3 - 13.1, respectivamente. Según las recomendaciones se hizo uso de pernos de anclaje, concreto proyectado y cerchas metálicas, que, trabajando en conjunto, llegaron a un factor de seguridad mínimo de 3.611 (superior a 1.5) para cuñas perimetrales en el sector R-3, lo que indica que es muy conservador y se puede disminuir el sostenimiento, el cual tiene un efecto en el costo del proyecto. También concluyó que, al variar la dirección del túnel, varía los porcentajes de cuñas subterráneas favorables y a su vez varía el coeficiente de seguridad de cada cuña subterránea, por lo cual el autor afirma que la dirección del túnel si determina el análisis de estabilidad del sostenimiento del Túnel Wayrasencca.

Este trabajo se relaciona con la investigación planteada ya que muestra la caracterización del macizo rocoso y como se usan las clasificaciones geomecánicas RMR y Q, además nos muestra factores de seguridad muy altos producto de la mala calidad de roca; y como este varía según el dimensionamiento del tipo de sostenimiento, dicha información servirá para la presente investigación.

Figuroa, M., y Chimoven, J. (2014), En su investigación titulada “Determinación del sostenimiento adecuado en labores lineales convencionales en roca tipo II y III en la Unidad Minera San Antonio III - Sánchez Carrión”, buscó determinar el sostenimiento adecuado para las labores lineales convencionales en tipos de roca II y III, mediante métodos empíricos (RMR, RQD y Q) y numéricos (simulación en software Dips y Phase 2), empleando una serie de etapas: Etapa 02: Recopilación de información. Etapa 03: Selección y preparación del equipo, para el mapeo geomecánico de las labores. Etapa 04: Determinación de las características de la roca presente en las labores necesarias para la clasificación RMR. Etapa 05: Procesamiento de datos obtenidos, para adquirir clasificación geomecánica según RMR, RQD y Q. Etapa 06: Elección del tipo de sostenimiento según ábacos de RMR y Q. Etapa 07: Simulación de estabilidad en software Dips, Phase2 y Unwedge. Etapa 08: Resultados (Determinar el sostenimiento adecuado). Como consecuencia de este proceso se concluyó que para roca del tipo II el sostenimiento son pernos cementados puntuales u ocasionales de 5 pies de longitud y para roca del tipo III se requiere pernos cementados de 5 pies de longitud, espaciados sistemáticamente 1.20 m x 1.20 m. Además, al simular el

sostenimiento para cada tipo de roca con el software Phase 2, el autor obtuvo un factor de seguridad mayor a 1.5, concluyendo que las labores de trabajo serán estables.

Como aporte, nos muestra los pasos a emplear para determinar el sostenimiento en tipos de roca II y III, apoyándose de los métodos empíricos para obtener un pre diseño y luego verificándolo mediante programas de software (elementos finitos), relacionando las dimensiones del sostenimiento con el coeficiente de seguridad.

Espinoza, J. (2011), En su tesis denominada “Sostenimiento mecanizado en labores mineras, en la compañía de minas Volcan S.A.A – Unidad de Producción Andaychagua”, el objetivo fue implementar el sostenimiento mecanizado en todas las labores y tajeos de producción y determinar las retribuciones que ofrece el sostenimiento mecanizado en la mina Andaychagua. El procedimiento para tal objetivo fue el estudio de campo, trabajos de gabinete, procesamiento de datos y el registro de datos. El autor se basó en las recomendaciones de Bieniawski 1989 y se apoyó en los softwares Dips (datos geológicos de orientación) y Phase 2 (estabilidad, factor de seguridad) y llegó a las siguientes conclusiones: Conclusión N° 01: El sistema de mecanización del sostenimiento ha permitido reducir los accidentes por desprendimiento de rocas. Conclusión N° 8: Los métodos empleados cuantifican y cualifican el macizo rocoso con más exactitud. Esto nos permite conocer el tipo de roca en donde se está realizando la excavación. Conclusión N° 9: Para el diseño de la excavación se tiene en cuenta el tipo de roca y sus parámetros mecánicos del macizo rocoso, además del tiempo de exposición que se encuentra abierta la excavación. Conclusión N° 10: De acuerdo al análisis de estabilidad simulado con el software

phase versión 2.5 para secciones de 4 m de ancho y 4 m de alto, sin sostenimiento de refuerzo, el factor de seguridad dinámico en techo y laterales es de 1.40 (moderadamente estable) y estático es de 1.28 (estable). Conclusión N° 13: El sostenimiento mecanizado nos proporciona un rendimiento y sostenimiento eficaz a comparación de un sostenimiento convencional y semi mecanizado. Conclusión N° 14: Con respecto a la comparación de costos en algunos casos el sostenimiento mecanizado es conveniente, pero la instalación de los sostenimientos activos y pasivos son de mejor calidad.

Se usará la información sobre la caracterización del macizo rocoso, el uso de los métodos empíricos y numéricos, el sostenimiento mecanizado empleado, la influencia de este en el factor de seguridad y su costo.

#### ***2.1.2.2 Antecedentes Internacionales***

González, A. (2018), En su investigación “Caracterización geomecánica del macizo rocoso, para su aplicación en geotécnia, en el sector Lucarqui, Loja – Ecuador”, los objetivos fueron: objetivo 01: Caracterizar geomecánicamente el macizo rocoso, con el fin de determinar el comportamiento, calidad y estabilidad para su aplicación en ingeniería geotécnica. Objetivo 02: Determinar los parámetros físico – mecánicos del macizo rocoso. Objetivo 03: Clasificar geomecánicamente el macizo rocoso. La metodología utilizada es la siguiente: Trabajo en gabinete (recopilación de mapas, elaboración de fichas, organización de material y equipo de campo), trabajo de campo (Identificación del macizo, levantamiento geológico y obtención de datos geomecánicos) y análisis de laboratorio. Se determinó que la calidad del macizo

rocoso es de tipo II y III (Según Bieniawski), dando como resultado que la evaluación de la zona de estudio sea estable o parcialmente estable. De acuerdo a la caracterización geomecánica, las zonas más susceptibles son la Zona 1, Zona 4, y Zona 8 debido a su alto grado de fracturamiento, por el deterioro que ellos han sufrido por efectos del agua y erosión. Luego recomienda que las clasificaciones geomecánicas deben usarse en conjunto para determinar la clasificación más idónea para un mejor análisis de la calidad del macizo rocoso.

Como aporte, nos muestra los pasos a emplear para determinar el sostenimiento en tipos de roca II y III (misma clasificación que la presente investigación), apoyándose en el método de Bieniawski mediante el índice RMR y sus recomendaciones, posteriormente el autor se da cuenta que el uso de un solo método no es el adecuado y que podrían usarse al menos dos para tener más noción del sostenimiento.

Castresana, L. (2016), En su tesis de maestría “Análisis comparativo de metodología de sostenimiento de túneles”, uno de sus objetivos fue analizar en detalle las propuestas de sostenimiento con métodos empíricos y numéricos en los dos mayores túneles de España: Guadarrama y Pajares. Para esto usó los métodos empíricos de sostenimiento como son: Bieniawski, Barton, ICE y Romana, verificándolos con el método numérico de elementos finitos (Software Phase 2). Esto se realizó para evaluar la estabilidad de la sección del túnel y analizar el coeficiente de seguridad, con la finalidad de definir el tipo de sostenimiento a emplear. Concluye que los métodos numéricos deberían servir para corregir las propuestas empíricas (sostenimiento), ya que se comprueba que en ocasiones las clasificaciones dan



propuestas con un factor de seguridad elevado. Por lo que se puede apreciar que habría un sobre costo y un sobredimensionamiento.

La presente tesis aporta lo siguiente: Muestra la comparación de cuatro tipos de métodos de sostenimiento de túneles, conteniendo a los que se emplearán en la presente tesis, a su vez nos muestra que al usar estos métodos y emplear las recomendaciones de sostenimiento, arroja factores de seguridad muy conservadores y para ello usa el Software Phase 2, el cual soluciona el sobredimensionamiento y el sobre costo respetando los parámetros para su estabilidad y vida útil del proyecto.

Mullo, F. (2016). En su tesis denominada “Empleo de las clasificaciones geomecánicas, para la investigación del comportamiento geotécnico de las excavaciones subterráneas en la central La Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair 1500 Mw”, buscó determinar el comportamiento geotécnico del macizo rocoso en base a la clasificación geomecánica del área donde se excavarán las obras subterráneas de la Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair. La metodología empleada fue la siguiente: compilación de datos geológicos de la zona, definir de las características del macizo, excavación, sostenimiento, maquinarias y equipos. El autor concluyó que luego de usar los métodos de clasificación geomecánica RMR, Q y GSI, logró definir el comportamiento del macizo rocoso (Relajamiento de roca, estallido de roca, formación de cuñas, etc), esto reforzó la identificación de las zonas con peligro de desprendimiento y a su vez decidir qué sectores necesitaban refuerzo. Se usaron anclajes puntuales, en roca tipo II, III y IV, logrando así estabilizar y garantizar la seguridad de las personas y maquinarias en dicho sector.

La presente tesis aporta lo siguiente: Procedimiento de la caracterización del macizo rocoso en el emplazamiento de la Hidroeléctrica y la obtención de propiedades físico-mecánicas que servirán para el empleo de las clasificaciones geomecánicas y como estos recomiendan usar anclajes puntuales de diferentes dimensiones según el tipo de roca.

Rincón, B. (2016), El trabajo denominado “Caracterización geomecánica del macizo rocoso del área del contrato 01-068-986 *Cooperativa Cooprocabon Sugamuxi* Municipio Gámeza Boyacá”, tiene como objetivo realizar la clasificación geomecánica del macizo rocoso del área en estudio, el cual lo hizo en 4 etapas. Primera etapa: Recopilación, validación y análisis de la información existente. Segunda etapa: Visitas de campo, toma de muestras y de datos estructurales. Tercera etapa: Realizar ensayos de laboratorio y procesamiento de los mismo. Cuarta etapa: El informe final determinando la clasificación geomecánica del macizo rocoso por el método propuesto por (Bieniawski, 1989) conocido como RMR (Rock Mass Rating). El autor llegó a la conclusión que, al clasificar el macizo rocoso, este fue del tipo III ya que el índice de calidad RMR está entre el rango de 41 a 60 con una cohesión de 2-3kg/cm<sup>2</sup> y un ángulo de rozamiento de 25°-35°.

La presente tesis aporta lo siguiente: El proceso de caracterización geomecánica del macizo rocoso.

Palacios, S. (2015), En su tesis de grado “Estudio comparativo de métodos de excavación de túneles en suelo mediante el método de los elementos finitos”, uno de

los objetivos es estudiar las tensiones que se llevan a cabo en las paredes del Túnel de Santa María – Madrid, durante el proceso de excavación (método belga e inglés). Además, nos muestra que, el F.S. vs espesor de shotcrete varían directamente mediante funciones logarítmicas:  $y = 0.519\ln(x) + 0.3855$  (Método belga),  $y = 0.687\ln(x) + 0.3214$  (Método inglés). Se aprecia que el F.S. crece muy rápido al principio, pero a medida que el espesor va alcanzando un valor óptimo, en el primer caso 0.35m (FS = 1.25) y en el segundo 0.25m (FS = 1.25), el F.S. apenas cambia. Por lo cual, resulta insignificante mejorar el espesor ya que el costo aumenta mucho más que el coeficiente de seguridad.

La presente tesis aporta lo siguiente: El tipo de excavación (método belga e inglés) influye directamente en las tensiones de las paredes del túnel, por lo tanto, al coeficiente de seguridad; y que no por usar dimensiones más grandes de sostenimiento será más seguro, ya que según la investigación nos muestra que hasta cierto punto(necesario) el factor de seguridad apenas varía, lo cual genera un sobre costo en el proyecto.

Biraj, G. (2011). En su publicación denominada “Wedge stability analysis and rock squeezing prediction of headrace tunnel, Lower Balephi Hydroelectric Project, Sindhupalchock District, central Nepal. Journal of Nepal Geological Society, Vol. 42, pp. 125-136. Menciona: El análisis de la estabilidad de la cuña en el túnel de la carrera principal demostró que la cuña estructural se formaría debido a la excavación y se podría estabilizar con la ayuda de los pernos de roca y el granallado. Se predice que la compresión de rocas se producirá a gran profundidad del túnel en filita y se puede

estabilizar con la instalación de un soporte de roca consistente en una costilla de acero. Y concluye lo siguiente: El LBHEP está ubicado en el distrito de Sindhupalchock, en el centro de Nepal. La filita y la cuarcita filítica son los tipos de roca dominantes en el área de estudio y la mayor parte de la alineación del túnel se encuentra en estas rocas. El análisis de estabilidad de la cuña subterránea mostró que varias cuñas se formarían debido a la excavación subterránea y se estabilizarían con la ayuda de la formación de pernos en roca y la formación de incrustaciones. La sobrecarga máxima en la alineación del túnel principal es de 300 m en el encadenamiento a 2700 m desde el portal de entrada. El problema de la compresión podría ocurrir en la roca de filita con una sobrecarga máxima y se puede estabilizar mediante una rápida instalación de soporte con conjuntos de acero pesado y un control cuidadoso de la calidad de la construcción.

La presente tesis aporta lo siguiente: El análisis de estabilidad debido a la excavación en las secciones críticas en el macizo rocoso de la hidroeléctrica y la utilización de pernos de anclaje y cerchas para su estabilización.

Derek, M. (2005). En su investigación titulada “Preliminary assessment of potential underground stability (wedge and spalling) at Forsmark, Simpevarp and Laxemar sites”, plantea el objetivo siguiente: El propósito de este informe es proporcionar una evaluación preliminar del potencial de inestabilidad y desprendimiento de la cuña que se puede encontrar en los sitios Forsmark, Simpevarp y Laxemar. Para lograr este objetivo, se pueden utilizar las siguientes metodologías: 1.- Metodología de estabilidad de cuña. 2.- Metodología de evaluación del desprendimiento. 3.- Deshuesado por

aberturas no circulares. 4.- Las tensiones por desprendimiento e inducidas térmicamente, llegan a la siguiente conclusión: Las excavaciones subterráneas en una masa rocosa escasamente fracturada pueden desarrollar problemas de estabilidad relacionados con las caídas de suelo (cuñas) inducidas por la gravedad. La red de fractura discreta para Forsmark ha identificado varios conjuntos. Estos conjuntos se utilizaron en el programa de análisis de estabilidad de cuña subterránea UnWedge. Los resultados de este análisis de estabilidad indicaron que cualquier cuña potencialmente inestable sería manejada adecuadamente por los sistemas estándar de soporte de pernos de roca. Por lo tanto, basado en el modelo DFN actual, no hay razón para basar la profundidad de un repositorio o la orientación de los túneles o cavernas del repositorio en los análisis de estabilidad de cuñas. Esta noción también está respaldada por la experiencia de construcción del Laboratorio Äspö Hard Rock a profundidades de 450 m. Es posible que sea necesario volver a evaluar esta conclusión, ya que el modelo DFN se refina y se agrega nueva información durante el curso de la investigación del sitio.

La presente tesis aporta lo siguiente: Procedimiento de la evaluación geomecánica para determinar la inestabilidad de las cuñas a profundidades de 450 metros con la ayuda del método numérico.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Métodos de Sostenimiento**

Para determinar el sostenimiento de un túnel es necesario un conjunto de métodos para su diseño. Los métodos más utilizados son dos: el empírico y el numérico. El empírico permite hacer un prediseño, en base a la experiencia adquirida de obras similares, ejecutadas en otras partes de mundo y sirve como base para el análisis del método numérico, los cuales permiten modelar situaciones más complejas, por ejemplo, mediante el uso de los elementos finitos. A continuación, se mencionan las principales clasificaciones geomecánicas, las cuales son la base de este trabajo de tesis.

#### ***2.2.1.1. Métodos Empíricos de Sostenimiento***

Los métodos empíricos están relacionados a la caracterización del macizo rocoso. Este método mediante las recomendaciones dada por sus autores, definen la cantidad y el tipo de sostenimiento a emplear, dependiendo del tipo de roca.

Estos métodos son prácticos y fáciles de usar, son empleados generalmente en la primera fase de un proyecto, con la finalidad de saber a grosso modo el tipo de sostenimiento que ha de emplearse, los cuales se van afinando más adelante. Los métodos que se usaron en la presente investigación son el de Bieniawski y Barton, los cuales son los más reconocidos a nivel mundial.

##### ***2.2.1.1.1 Clasificación Geomecánica RMR de Bieniawski***

Desarrollada por Bieniawski en 1973, con actualizaciones en 1979 y 1989, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices

de calidad con parámetros geotécnicos del macizo y de excavación y sostenimiento en túneles. Esta clasificación tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos:

1. Resistencia uniaxial del material rocoso.
2. Grado de fracturación en términos del RQD.
3. Espaciado de las discontinuidades.
4. Condiciones de las discontinuidades.
5. Condiciones hidrogeológicas.
6. Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.

La incidencia de estos parámetros en el comportamiento geomecánico de un macizo se expresa por medio del índice de calidad RMR, *rock mass rating*, que varía de 0 a 100.

Una vez obtenidas las puntuaciones que resultan de aplicar los cinco parámetros de clasificación, se efectúa la corrección por orientación de discontinuidades y se obtiene un valor numérico con el que se clasifica finalmente el macizo rocoso.

(Gonzales de Vallejo, 2002).

El puntaje total del RMR está definido por:

$$\text{RMR} = (1) + (2) + (3) + (4) + (5) - \text{Ajuste por orientación de discontinuidades.}$$

Tabla N° 1. *Interpretación de los valores de RMR*

| Clase de Macizo Rocoso | RMR    | Descripción    |
|------------------------|--------|----------------|
| I                      | 81-100 | Roca Muy Buena |
| II                     | 61-80  | Roca Buena     |
| III                    | 41-60  | Roca Regular   |
| IV                     | 21-40  | Roca Mala      |
| V                      | 0-20   | Roca Muy Mala  |

*Fuente: (Bieniawski, 1989)*

### **Parámetros que considera la clasificación RMR de Bieniawski 1989**

**Resistencia de la roca:** Tiene una valoración máxima de 15 puntos, y puede utilizarse como criterio el resultado del ensayo de resistencia a compresión simple o bien el ensayo de carga puntual (Point Load).

**RQD (Rock Quality Designation):** El índice de calidad de roca, conocido como RQD (Deere, 1964), es uno de los sistemas más empleados para caracterizar la competencia del macizo rocoso.

El RQD asigna un porcentaje de calificación al macizo rocoso, de 100% (el más competente) a 0% (el menos competente: condición de suelo).

La calidad de roca R.Q.D se puede determinar a partir de trozos de rocas testigos mayores de 10cm recuperados en sonderos o a partir de juntas  $J_v$  que



indican el número de juntas por m<sup>3</sup> observadas en un afloramiento. Para el primer caso se utiliza la primera fórmula:

$$R. Q. D (\%) = \frac{\text{Longitud de los núcleos mayores de 100mm}}{\text{Largo del Barreno}} \times 100$$

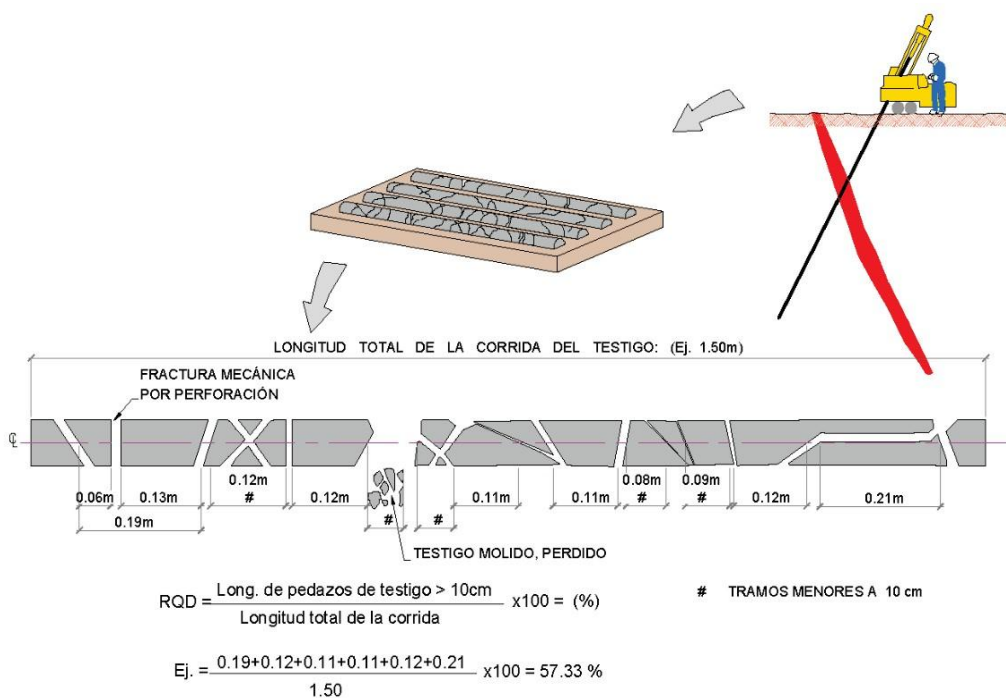


Figura N° 1. *Proceso comúnmente usado para evaluar el valor del RQD de un testigo (ACG, 2003).*

Para el segundo caso se utiliza la siguiente fórmula:

$$R. Q. D (\%) = 115 - 3.3 \times J_v$$

La interpretación del valor del RQD se muestra en la tabla siguiente:

Tabla N° 2. Interpretación de valores de RQD (Deere, 1964).

| Descripción del índice de calidad de roca | Valor del RQD |
|---|---------------|
| Muy pobre                                 | 0 - 25        |
| Pobre                                     | 25 - 50       |
| Regular                                   | 50 - 75       |
| Buena                                     | 75 - 90       |
| Excelente                                 | 90 - 100      |

Fuente: (Osinermin, 2017).

**Separación entre discontinuidades:** Tiene una valoración máxima de 20 puntos. El parámetro considerado es la separación en metros entre juntas de la familia principal de diaclasas la de roca.

**Estado de las discontinuidades:** Es el parámetro que más influye, con una valoración máxima de 30 puntos. Pueden aplicarse los criterios generales, en la que el estado de las diaclasas se descompone en otros cinco parámetros: persistencia, apertura, rugosidad, relleno y alteración de la junta.

**Presencia de agua:** La valoración máxima es de 15 puntos. La ofrece tres posibles criterios de valoración: estado general, caudal cada 10 metros de túnel y relación entre la presión del agua y la tensión principal mayor en la roca.

**Orientación de las discontinuidades:** Este parámetro tiene una valoración negativa, y oscila para túneles entre 0 y -12 puntos. En función del buzamiento de la familia de diaclasas y de su rumbo, en relación con el eje del túnel (paralelo o perpendicular), se establece una clasificación de la discontinuidad en cinco tipos: desde muy favorable hasta muy desfavorable.

#### ***2.2.1.1.2 Recomendaciones de excavación y sostenimiento según el RMR de Bieniawski 1989***

Este soporte está idealizado para una sección en herradura de 10 m de diámetro y que soporta una presión de 25 MPa, equivalente a 1000 m de cobertura, se muestra a continuación en la Tabla N° 3.

Tabla N° 3. Recomendaciones para la excavación y sostenimiento de túneles en roca.

| CLASE       | RMR    | EXCAVACIÓN<br>(PASE)  | SOSTENIMIENTO   |   |   |
|-------------|--------|---|---|---|---|
|             |        |   | BULONES (Longitud en m)   | CONCRETO PROYECTADO   | CERCHAS METÁLICAS   |
| I Muy buena | 81-100 | Sección completa (3 m)  | Ocasionalmente  | No necesario  | No necesarias   |
| II Buena    | 61-80  | Sección completa (1-1.5 m).<br>Sostenimiento terminado a 20 m del avance  | Localmente en clave. L = 3 m. Espaciados a 2.5 m con mallazo ocasional  | 50 mm en clave donde sea necesario                                  | No necesarias   |
| III Media   | 41-60  | Avance y destroza (1.5-3 m en avance)<br>Sostenimiento empezado en el frente y terminado a 10 m del frente  | Sistemáticamente en clave y hastial. L = 4 m. Espaciados 1.5 a 2.0 m. Mallazo en clave.                         | 50-100 mm en clave.<br>30 mm en hastiales.                          | No necesarias   |
| IV Mala     | 21-40  | Avance y destroza (1.0-1.5 m en avance)<br>Sostenimiento empezado simultáneamente con la excavación y hasta 10 m del frente                       | Sistemáticamente en clave y hastiales. L = 4 a 5 m. Espaciados a 1.0-1.5 m. Con mallazo.                        | 100-150 mm en clave.<br>100 mm en hastiales.                        | Ligeras a medias, espaciadas a 1.5 m donde sea necesario  |
| V Muy mala  | 1-20   | Galerías múltiples. (0.5-1.5 en avance)<br>Sostenimiento simultáneo con la excavación. Concreto proyectado inmediatamente después de la voladura. | Sistemáticamente en clave y hastiales. L = 5-6 m. Espaciados a 1.0-1.5 m. Con mallazo. Bulonar la contrabóveda. | 150-200 mm en clave.<br>150 mm en hastiales.<br>50 mm en el frente. | Medias a pesadas, espaciadas a 0.75 m, con forro y longarinas donde sea necesario. Contrabóveda |

Fuente: (Bieniawski, 1989). Sección del túnel en herradura. Ancho 10 m. Tensión vertical < 25 MPa. Excavado por voladuras.

### 2.2.1.1.3 Clasificación geomecánica $Q$ de Barton

Desarrollada por Barton, Lien y Lunde en 1974, a partir del estudio de un gran número de túneles, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite estimar parámetros geotécnicos del macizo y diseñar sostenimientos para túneles y cavernas subterráneas. El índice  $Q$  está basado en una evaluación numérica de seis parámetros dados por la expresión:

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

Dónde:

- **$J_n$**  = índice de diaclasado que indica el grado de fracturación del macizo rocoso.  
(Varía entre 0.5 y 20).
- **$J_r$**  = índice de rugosidad de las discontinuidades o juntas.  
(Varía entre 1 y 4).
- **$J_a$**  = índice que indica la alteración de las discontinuidades.  
(Varía entre 0.75 y 20).
- **$J_w$**  = coeficiente reductor por la presencia de agua.  
(Varía entre 0.05 y 1).
- **SRF (stress reduction factor)** = coeficiente que tiene en cuenta la influencia del estado tensional del macizo rocoso.

Los tres factores de la expresión representan:

**(RQD/Jn):** el tamaño de los bloques.

**(Jr/Ja):** la resistencia al corte entre los bloques.

**(Jw/SRF):** la influencia del estado tensional.

El índice  $Q$  obtenido a partir de ellos varía entre 0,001 y 1.000, con la siguiente clasificación del macizo rocoso, entre:

|               |                             |
|---------------|-----------------------------|
| 0,001 y 0,01: | roca excepcionalmente mala  |
| 0,01 y 0,1:   | roca extremadamente mala    |
| 0,1 y 1:      | roca muy mala               |
| 1 y 4:        | roca mala                   |
| 4 y 10:       | roca media                  |
| 10 y 40:      | roca buena                  |
| 40 y 100:     | roca muy buena              |
| 100 y 400:    | roca extremadamente buena   |
| 400 y 1.000:  | roca excepcionalmente buena |

(Gonzales de Vallejo, 2002).

#### 2.2.1.1.4 Recomendaciones de excavación y sostenimiento según la *Q* de Barton 1974

Se debe encontrar el diámetro equivalente de la excavación  $D_e$ :

$$D_e = \text{ancho o altura de la excavación en metros} / \text{ESR}$$

Tabla N° 4. *Coficiente de soporte para el tipo de excavación, ESR*

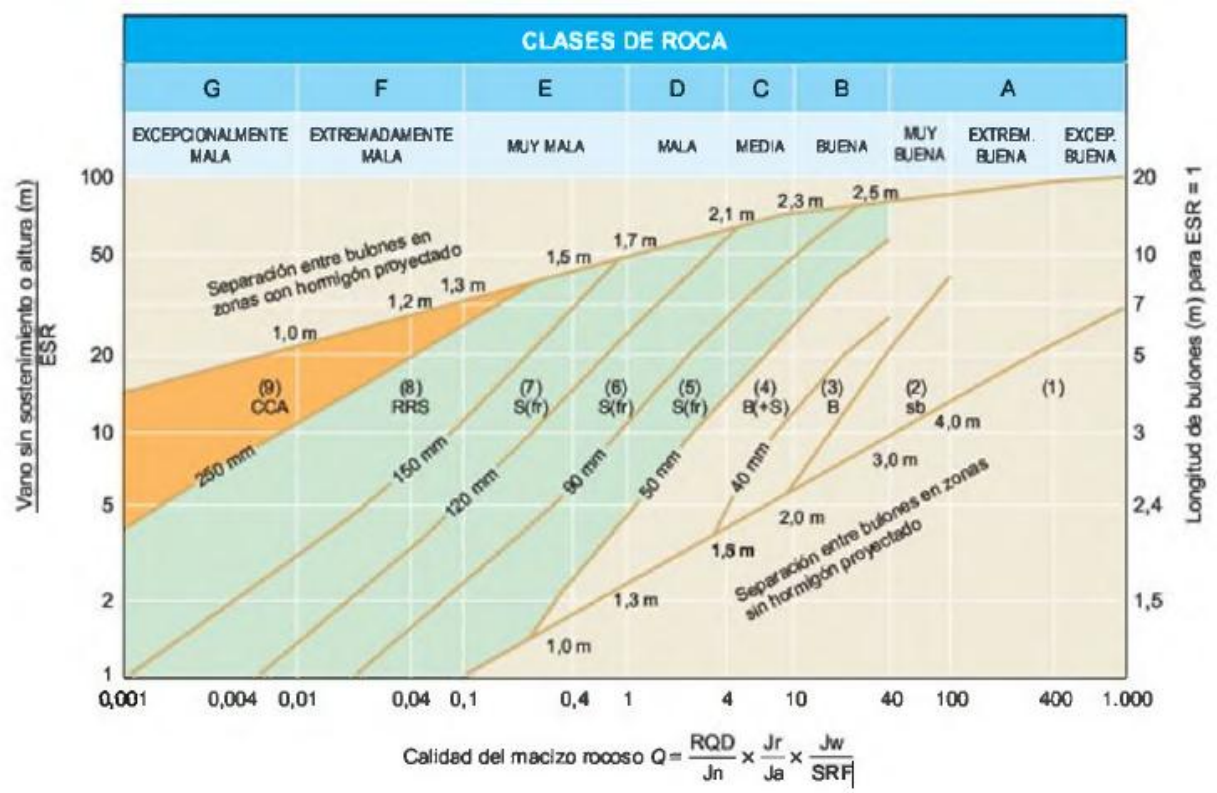
| CATEGORÍA | TIPO DE EXCAVACIÓN   | ESR   |
|-----------|--|-------|
| <b>A</b>  | Excavación temporal para minería   | 3 - 5 |
| <b>B</b>  | Excavación minera permanente, túneles de aducción de agua, túnel piloto,                                       | 1,6   |
| <b>C</b>  | Sala de almacenamiento, planta de tratamiento de aguas túnel de ferrocarril, túnel de acceso, chimeneas        | 1,3   |
| <b>D</b>  | Central hidroeléctrica, túneles importantes de camino o ferrocarril, cavernas de defensa civil, intersecciones | 1     |
| <b>E</b>  | Central nuclear subterránea, estación de ferrocarril, fábricas   | 0,8   |

*Fuente: (Barton, Lien, & Lunde, 1974).*

Se establece la longitud máxima de avance sin soporte con la siguiente expresión:

$$S = 2 \text{ ESR} \times Q^{0.4}$$

Se muestra la Figura N° 2, que sirve para establecer el sostenimiento:



- CATEGORÍAS DE SOSTENIMIENTO**
1. Sin sostenimiento.
  2. Bulonado puntual, sb.
  3. Bulonado sistemático, B.
  4. Bulonado sistemático con hormigón proyectado, 40–100 mm, B+S.
  5. Hormigón proyectado con fibras, 50–90 mm y bulonado S(fr)+B.
  6. Hormigón proyectado con fibras, 90–120 mm y bulonado, S(fr)+B.
  7. Hormigón proyectado con fibras, 120–150 mm y bulonado, S(fr)+B.
  8. Hormigón proyectado con fibras, >150 mm con bulonado y arcos armados reforzados con hormigón proyectado, S(fr)+RRS+B.
  9. Revestimiento de hormigón, CCA.

Figura N° 2. *Ábaco de sostenimiento para túneles en roca*

Fuente: (Barton, 2000).



### 2.2.1.1.5 Correlación entre el índice $Q$ de Barton y $RMR$ de Bieniawski

La primera correlación entre los dos sistemas de clasificación, fue propuesta por Bieniawski en 1976, mediante una regresión lineal de 111 conjuntos de datos de  $RMR$  y  $Q$  provenientes de 62 casos de Escandinavia, 28 de Sudáfrica, y 21 de Norteamérica, Europa y Australia, con un coeficiente de correlación de  $R^2 = 0,59$  ( $R = 0,77$ ).

$$RMR = 9 \cdot \ln(Q) + 44$$

Cabe que resaltar que esta expresión es la más conocida y usada.

A continuación, en la Tabla N° 5, se muestran las principales correlaciones establecidas entre el sistema  $RMR$  y  $Q$ :

Tabla N° 5. Principales correlaciones establecidas entre el sistema  $RMR$  y  $Q$ .

| Autor, año  | Proveniencia de los datos             | Correlación                       | $R/R^2$                     |
|---|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| Rutledge and Preston, 1978 (51)                     | 9 túneles en Nueva Zelanda            | $RMR = 5,9 \times \ln Q + 43$     | $R = 0,81$<br>$R^2 = 0,66$  |
| Cameron-Clarke and Budavari, 1981 (52) <sup>a</sup> | Túneles en Sudáfrica                  | $RMR = 5 \times \ln Q + 60,8$     | Mucha dispersión            |
| Moreno Tallón, 1982 (53)                            | 4 túneles en España                   | $RMR = 5,4 \times \ln Q + 55,2$   | $R = 0,55$<br>$R^2 = 0,30$  |
| Celada Tamames, 1983 (54)                           | España                                | $RMR = 43,89 - 9,19 \times \ln Q$ |                             |
| Abad <i>et al.</i> , 1983 (55)                      | Minas de carbón                       | $RMR = 10,5 \times \ln Q + 41,8$  | $R = 0,66$<br>$R^2 = 0,44$  |
| Kaiser <i>et al.</i> , 1986 (25)                    | Túnel de Wolverine West               | $RMR = 6,3 \times \ln Q + 41,6$   |                             |
| Sunwo and Hwang, 2001 (56)                          | Distintas litologías en Corea del Sur | $RMR = 5,97 \times \ln Q + 49,5$  | $R = 0,89$<br>$R^2 = 0,79$  |
| Castro-Fresno <i>et al.</i> , 2010 (38)             | Túneles en suelos de baja calidad     | $RMR = 6,63 \times \ln Q + 35,53$ | $R = 0,70$<br>$R^2 = 0,49$  |
| Alkorta-Lertxundi and Bernardo-Sanchez, 2010 (57)   | Túneles de la VSM (Vizcaya, España)   | $RMR = 5,9 \times \ln Q + 43$     | $R = 0,89$<br>$R^2 = 0,79$  |
| Alkorta-Lertxundi <i>et al.</i> , 2014 (58)         | Proyecto de túnel en Vizcaya, España  | $RMR = 6,7 \times \ln Q + 45,4$   | $R = 0,94$<br>$R^2 = 0,884$ |
| Sayeed and Khanna, 2015 (59)                        | India                                 | $RMR = 4,52 \times \ln Q + 43,6$  | $R = 0,86$<br>$R^2 = 0,736$ |

<sup>a</sup> De datos de campo.

Fuente: Fernández, Pérez y Mulone, 2017.

### **2.2.1.2. Métodos Numéricos de Sostenimiento**

En contraste con los métodos de diseño ya descritos, los análisis numéricos, tales como los elementos finitos, ofrecen modelar y diseñar el sostenimiento de túneles y obras subterráneas. Dentro de los elementos finitos existen programas como el Phase2 (RS2), de Rocscience. La utilización de este programa permite superar algunas deficiencias que presenta la aproximación mediante las Clasificaciones Geomecánicas, los cuales se detallan a continuación:

- Cuantificar los coeficientes de seguridad de los elementos de sostenimiento.
- Tener en cuenta el efecto del estado tensional natural.
- Considerar el efecto de la forma del túnel.
- Permite considerar el efecto de las fases de excavación.
- Modelizar tantos tipos de terreno como se desee.

(López Jimeno, 1997)

### **2.2.2. Factor de Seguridad**

El enfoque clásico utilizado en el diseño de estructuras de ingeniería es considerado la relación entre las fuerzas estabilizadoras y fuerzas desestabilizadoras sobre el sistema. El factor de seguridad (FS) es una medición determinística.

El factor de seguridad de una estructura se define como:

$$\mathbf{F.S. = Fuerzas estabilizadoras (F.E.) / Fuerzas desestabilizadoras (F.D.)}$$

Existen tres posibles escenarios:

- Cuando  $F.S. > 1$ , el sistema es estable.
- Cuando  $F.S. < 1$ , el sistema es inestable.
- Cuando  $F.S. = 1$ , el sistema está en equilibrio límite.

Tabla N° 6. *Factores de seguridad recomendados según plazo de estabilidad.*

| Plazo                            | Rangos de FS |
|----------------------------------|--------------|
| Estabilidad a largo plazo (LP)   | >1.5         |
| Estabilidad a mediano plazo (MP) | 1.3 - 1.5    |
| Estabilidad a corto plazo (CP)   | 1.1 - 1.3    |

**Nota:** se considera:  $CP < 3$  meses,  $3$  meses  $< MP < 1$  año y  $LP > 1$  año

*Fuente: (Osinermin, 2017)*

### 2.3 Definición de Términos Básicos

**Buzamiento:** Ángulo que forma con la horizontal la línea de máxima pendiente de un plano. (Instituto Geológico y Minero de España, 2006).

**Clasificaciones Geomecánicas:** Las clasificaciones geomecánicas se desarrollaron con el propósito de cuantificar preliminarmente las características del macizo rocoso, en base a descripciones geológicas cualitativas (caracterización). Si bien es cierto que inicialmente los sistemas de clasificación surgieron para la estimación del sostenimiento de túneles, posteriormente se utilizaron para evaluar propiedades del macizo rocoso (módulo de elasticidad, velocidades sísmicas). (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, 2017).

**Concreto proyectado (*Shotcrete*):** El concreto lanzado o proyectado (también llamado gunita) es el concreto que se coloca mediante proyección del mismo contra la superficie de roca que se desea proteger, de forma que queda adherido a ésta. El concreto proyectado se diferencia únicamente del concreto colocado (encofrado y vibrado), aparte del método de puesta en obra, en que el tamaño máximo de los áridos es menor y en que lleva siempre, como aditivo, un acelerante para facilitar su adherencia a la superficie de roca y para conseguir altas resistencias iniciales. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).

**Factor de seguridad:** El Factor de Seguridad es una medida determinista de la relación entre las fuerzas de resistencia (capacidad) y las fuerzas impulsoras (demanda) del sistema en su entorno considerado. El FS es el criterio más básico de diseño aceptado en la ingeniería. En geomecánica saltó a la fama a mediados del siglo XX, cuando la ingeniería geotécnica se desarrolló como una disciplina de ingeniería independiente en 1940. (Read & Stacey, 2009).

**Junta o Discontinuidad:** Es un término colectivo que indica cualquier corte en el macizo rocoso con resistencia a la tracción nula o muy baja. (Universitat Politècnica de Catalunya, s.f).

**Macizo rocoso:** Es un medio heterogéneo y discontinuo, cuyas propiedades mecánicas y resistentes no pueden ser medidas en laboratorio, y deben de obtenerse in-situ. (Hormazabal, 2018).

**Mapeo geomecánico:** El mapeo geomecánico consiste en la recolección de la data del macizo rocoso in situ, la descripción gráfica de las condiciones in situ del macizo rocoso consideran las diaclasas, las condiciones del ambiente y la clasificación del tipo de macizo rocoso, haciendo uso de las herramientas geomecánicas: picota de geólogo, martillo Schmidt, brújula y juego de colores. (Mendieta Britto, 2014).

**Matriz rocosa:** Es el material rocoso exento de discontinuidades, o los bloques de roca intacta que quedan entre ellas. La matriz rocosa, a pesar de considerarse continua, presenta comportamiento heterogéneo y anisótropo ligado a su fábrica y a su microestructura mineral. (Gonzales de Vallejo, 2002).

Las superficies de discontinuidad aparecen durante la formación de la roca (planos de estratificación, laminación, foliación, disyunción, etc.) o posteriormente por causas tectónicas (esquistosidad, pizarrosidad y las fracturas: fallas y las diaclasas), estas últimas denominadas vulgarmente “juntas”. (Jorda, 2013).

**Orientación:** Es la posición de la discontinuidad en el espacio y comúnmente es descrito por la dirección de buzamiento y el buzamiento de la línea de máxima pendiente en el plano de la discontinuidad. (Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1987).

**Pernos de anclaje (*Bulones*):** Los pernos de anclaje, constituyen un sistema de sostenimiento que consiste en la introducción de elementos lineales a modo de refuerzo en el terreno. Para ello se perfora y se ancla física o químicamente al terreno, reforzando y

contrarrestando la presión que ejerce el terreno sobre la excavación. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).

**Sostenimiento:** Se refiere a los elementos estructurales de sujeción del terreno, aplicados inmediatamente después de la excavación del túnel, con el fin de asegurar su estabilidad durante la construcción y después de ella, así como garantizar las condiciones de seguridad. (Gonzales de Vallejo, 2002).

## **CAPÍTULO III**

### **HIPÓTESIS**

#### **3.1 Formulación de Hipótesis**

##### **3.1.1 Hipótesis principal**

- La evaluación geomecánica influye significativamente en la determinación del tipo de sostenimiento del macizo rocoso en los túneles carreteros "Los Angeles".

##### **3.1.2 Hipótesis secundarias**

- El factor de seguridad influye directamente en la determinación del tipo de sostenimiento del macizo rocoso en los túneles carreteros "Los Angeles".
- La determinación de los costos unitarios de sostenimiento del macizo rocoso en los túneles carreteros "Los Angeles" es factible.

#### **3.2 Variables**

##### **3.2.1 Variable independiente**

- Evaluación geomecánica.

##### **3.2.2 Variable dependiente**

- Tipo de sostenimiento.

### 3.3 Operacionalización de Variables

Tabla N° 7. Operacionalización de Variables.

| Variable                                  | Definición Conceptual  | Definición Operacional |   |
|---|--|------------------------|---|
|   |  | Dimensiones            | Indicadores   |
| <b>VI:<br/>EVALUACIÓN<br/>GEOMECÁNICA</b> | Es aquella que evalúa las propiedades físicas y mecánicas de la roca, tratando directamente con la respuesta de la roca y del macizo rocoso al campo de fuerzas de su entorno físico, cuyos resultados permiten obtener una visión realista del estado actual del macizo rocoso. | Seguridad              | a) Clasificación geomecánica RQD.<br>b) Clasificación geomecánica RMR.<br>c) Clasificación geomecánica Q. |
| <b>VD:<br/>TIPOS DE<br/>SOSTENIMIENTO</b> | Son un conjunto de elementos resistentes que proporcionan al terreno excavado el suficiente confinamiento para conseguir la estabilización de la excavación con una deformación aceptable.   | Costo directo          | a) Cantidad de materiales.<br>b) Costos de materiales.  |

Fuente: Elaboración propia



## **CAPÍTULO IV**

### **MÉTODO**

#### **4.1 Diseño de la Investigación**

Esta investigación se encuentra dentro del diseño de Campo no Experimental del tipo transeccional o transversal, dado que se observaron los fenómenos, hechos, situaciones o sujetos en su ambiente natural. La variable independiente no ha sido manipulada.

El estudio es descriptivo, porque se pretende describir las propiedades y características geomecánicas del macizo rocoso para obtener su índice de calidad y posteriormente analizarlo de acuerdo a los diferentes parámetros establecidos por la geomecánica.

Correlacional, porque se busca medir y describir la relación entre la estabilidad durante la excavación y la calidad del macizo rocoso, planteando alternativas de solución ante los diferentes problemas de estabilidad que se pueden producir durante y después de la construcción de los túneles.

#### **4.2 Material**

##### **4.2.1 Unidad de estudio**

Esta investigación tiene como unidad de estudio, el macizo rocoso perteneciente al Batolito de la Costa Peruana de la Superunidad Santa Rosa, donde están emplazados los Túneles Carreteros “Los Ángeles” de 13 km de longitud (gemelos), ubicado en los distritos de Lurigancho – Chosica y Ricardo Palma, en las provincias de Lima y Huarochirí, departamento de Lima.

#### 4.2.2 Población

Esta investigación tiene como población al macizo rocoso del Batolito de la Costa Peruana donde se encuentran emplazados los Túneles Carreteros “Los Ángeles” (túneles gemelos).

#### 4.2.3 Muestra

La presente investigación se realizó en el macizo rocoso del Batolito de la Costa Peruana donde se encuentran emplazados los Túneles Carreteros “Los Ángeles” (túneles gemelos): Eje 01 KM (29+640.00 - 42+600.00) y Eje 02 KM (29+600.00 – 42+600.00), respecto a la Carretera Central, con una longitud de 12960 metros y 13000 metros, respectivamente.

El estudio del macizo rocoso en el área emplazada por los túneles carreteros (gemelos) tiene un área estimada de 60 ha.

El muestreo es de tipo no probabilístico (no aleatorio), debido a que no se puede realizar en cada pequeño espacio del área de estudio, si no las muestras se toman de acuerdo a los afloramientos existentes de rocas, considerando estaciones de monitoreo geomecánico según sea posible el acceso.

El muestreo se realizó en trece (13) estaciones de monitoreo adecuadas que abarcaron el área de estudio para los Túneles Carreteros “Los Ángeles”, tomándose en cuenta las siguientes características en cada estación:

- Macizo rocoso.
- Roca intacta.
- Discontinuidades.
- Litología.

## **4.3 Métodos**

### **4.3.1 Técnicas e instrumentos y/o fuentes de recolección de datos**

#### ***4.3.1.1 Análisis documental***

Se utilizó la información recopilada del estudio de PRE INVERSIÓN A NIVEL DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CENTRAL TRAMO: PUENTE LOS ÁNGELES – RICARDO PALMA, asimismo se revisaron fuentes bibliográficas (entrevistas, análisis documentales, fichas de investigación, revistas, libros, folletos y observaciones no experimentales).

#### ***4.3.1.2 Observación no experimental***

Se hizo uso de las fichas técnicas, valuando el proceso mediante la observación y el análisis de los datos obtenidos para la realización de las conclusiones.

### **4.3.2 Validación de los instrumentos por juicio de expertos**

Para la validación de los instrumentos por juicio de expertos se tomó en cuenta la opinión y análisis de tres (03) expertos de la especialidad de Geología y Geotecnia, quienes dictaminaron si los instrumentos aplicados (fichas técnicas) se ajustan a la

investigación. Se realizó la entrega de los instrumentos a cada uno de los expertos con un rango de calificación cualitativa. Dicho rango de calificación fue diseñado con una puntuación de 0 a 100.

El experto N°01, dictaminó que los datos contenidos en los instrumentos eran adecuados para el caso de estudio. El experto N°02, determinó la autenticidad y credibilidad de los instrumentos y finalmente el experto N°03, determinó que los elementos contenidos en los instrumentos eran propios para obtener la información suficiente.

La puntuación promedio fue de 86.67 sobre 100, siendo esta mayor a 50. De este modo se dio como validado los instrumentos (fichas técnicas) para su uso en la presente investigación. *Anexo II: Validación de los instrumentos por juicio de expertos.*

Tabla N° 8. *Calificación de los instrumentos por juicio de expertos.*

| Experto | Puntuación | Promedio |
|---------|------------|----------|
| N° 01   | 90         | 86,67    |
| N° 02   | 85         |          |
| N° 03   | 85         |          |

*Fuente: Elaboración propia*

#### **4.3.3 Técnicas de procesamiento de datos**

Para el procesamiento de datos se usaron dos técnicas: Tabulación y Registro. Asimismo, se prestará ayuda de programas de computación exclusivos para el procesamiento de datos. (Dips, Phase2).

#### **4.3.4 Técnicas de análisis e interpretación de la información**

Obtenida la información, se procedió a cumplir ciertos pasos para dar respuesta a los objetivos de la presente investigación. Para el análisis e interpretación se recolectó, registró y tabuló mediante las técnicas e instrumentos de recolección de datos empíricos.

El procesamiento de la información obtenida se logró por medio de la estadística descriptiva (análisis descriptivo e inferencial).

## **CAPÍTULO V**

### **CASO DE APLICACIÓN**

#### **5.1 Descripción del caso**

##### **5.1.1 Ubicación y accesos**

La zona de emplazamiento de los túneles proyectados y accesos se ubican en los distritos de Lurigancho – Chosica y Ricardo Palma, en las provincias de Lima y Huarochirí, departamento de Lima, el proyecto de los túneles atraviesa el Batolito de la Costa Peruana.

La variante materia del presente estudio se ubica en el inicio del flanco Occidental de la Cordillera Occidental de los Andes Peruanos, es accesible desde la ciudad de Lima por la Carretera Central.

El acceso a la zona de estudio es posible por vía terrestre hacia la zona de estudio la misma que se suscribe a la carretera Central, en el cruce de la quebrada Chacrasana, siguiendo la ruta mediante viaducto hasta el cruce con el río Rímac, hasta llegar al centro Recreativo Club Continental, donde se ubica el portal de entada del túnel proyectado en el progresiva km 29+640.00 y en el km 29+600.00 y el portal de salida en la progresivas Km 42+855.60 y 42+870.00 para los ejes 01 y eje 02 respectivamente.

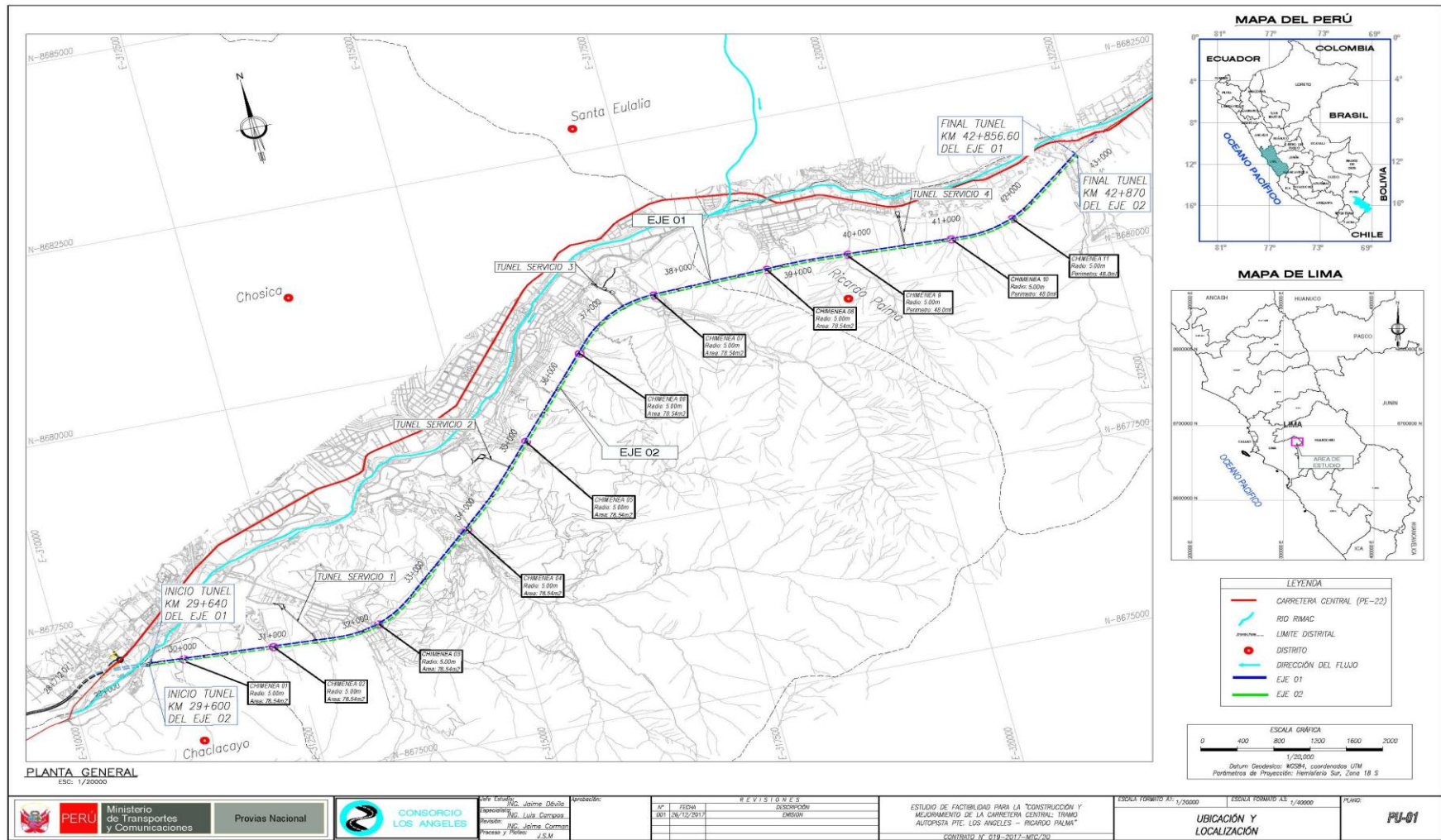


Figura N° 3. Plano de ubicación del proyecto. Fuente: Consorcio Los Ángeles.

### **5.1.2 Diseño Geométrico de Los Túneles Proyectados**

Considerando que el tramo de carretera donde están comprendidos Los Túneles Carreteros proyectados ha sido considerado como Ruta Nacional, entonces, de acuerdo a la normativa vigente el diseño geométrico del Túnel Proyectado debe quedar establecido a medidas consideradas en las rutas nacionales. Los Túneles Carreteros proyectados tendrán una longitud de 13,215.60 y 13,270.00 metros, para los ejes 01 y eje 02 respectivamente y tendrán las siguientes características:

|                        |   |
|------------------------|---|
| Longitud Total:        | 13,215.60m (Eje 01) y 13,270.00m (Eje 02)                 |
| Longitud analizada:    | 12,960.00m (Eje 01) y 13,000.00m (Eje 02) - Macizo rocoso |
| Ancho Promedio:        | 13.20 ml  |
| Ancho de rodadura:     | 11.70 ml  |
| Altura de Galibo:      | 5.50 ml   |
| Altura Total promedio: | 8.54 ml   |

### **5.1.3 Clima y vegetación**

Las condiciones climáticas que presenta el área de estudio son variadas, pues la altitud juega un papel importante en el clima, vegetación y uso de la tierra.

Los valles, por debajo de los 4,000 m.s.n.m. tienen temperaturas moderadas que dan un clima de templado a cálido en los valles profundos que se aproximan hacia la costa, en el curso medio de los valles las temperaturas son moderadas, las temperaturas medias varían entre 6° y 16°C.



En cuanto a lluvias, el área está afectada en su mayor parte por un período lluvioso que corresponde al verano Austral, con máximas precipitaciones entre los meses de diciembre y abril, cayendo abundantes lluvias entre los 1,000 y 1,500 m.s.n.m. El período de sequía corresponde a los meses de mayo a noviembre.

En el área noroeste del cuadrángulo de Matucana, hay varias estaciones meteorológicas instaladas para el control de las aguas de los ríos Rímac y Santa Eulalia que son aprovechadas en las centrales hidroeléctricas.

La vegetación está en íntima relación con el clima, específicamente en la cuenca del río Rímac, en cuyo valle se distribuye la mayor concentración humana dedicada en parte a la agricultura. La producción se da en las tierras que se encuentran en las terrazas, próximas al lecho del cauce del río Rímac.

#### **5.1.4 Relieve**

El relieve del área es un valle juvenil en “V” presenta contrastes topográficos y climáticos, ya que en la Divisoria Continental es montañoso e inhóspito y en los valles de la Vertiente del Pacífico es encañonado y de clima templado hasta cálido en los meses de verano de diciembre a marzo. El trazo de la Variante de la carretera Central se emplaza en la parte media del valle en “V”, en el comienzo de la estribación Occidental de la Cordillera Occidental de los Andes Peruanos, por sus características topográficas bien definidas ha sido posible diferenciar en ella las siguientes unidades geomorfológicas: Planicie Costanera y Estribaciones Andinas.

## **5.1.5 Geología**

### **5.1.5.1 Geología Regional y Local**

El marco geológico fue determinado según la información de los estudios geológicos realizados por el INGEMMET, Boletín 43 Geología de los Cuadrángulos de Lima 25i, Lurín 25j, Chancay 24i y Chosica 24j.

La estratigrafía presente en el entorno de la variante que se proyecta, la misma que se halla emplazada en el flanco occidental de la Cordillera Occidental de los Andes Peruanos, perteneciente a la Región Lima la misma que está constituida por una secuencia de rocas intrusivas pertenecientes al batolito de la costa, intercalado con depósitos coluvio-aluvionales depósitos cuaternarios de material suelto.

En el área de emplazamiento del entorno de la vía de evitamiento se han identificado rocas ígneas y sedimentarias, cuyas edades van desde del Paleozoico Superior hasta el Cuaternario reciente afectadas por las diversas fases del ciclo geotectónico andino. Las rocas más antiguas están representadas por el Complejo Basal de la Costa, constituido por volcánicos andesíticos porfíricos y de grano fino e intrusivos faneríticos, entidad que en conjunto se considera de edad precambiana a paleozoico inferior, siendo las unidades estratigráficas en el área de influencia del proyecto, las siguientes:

#### **Grupo Rímac.**

Esta unidad se encuentra distribuida ampliamente en el flanco Oeste de la Cordillera Occidental Andina en los cuadrángulos de Matucana y Huarochirí, llegando a la parte oriental de los cuadrángulos de Lurín y Chosica con un rumbo general NW-SE, habiéndose depositado en discordancia angular ya sea sobre el Grupo Casma o sobre una superficie de erosión labrada en el batolito.

En los cuadrángulos de Matucana y Huarochirí, SALAZAR H. (1974) ha reconocido en la parte inferior una secuencia volcánico-sedimentaria, seguida de otra sedimentaria tobácea, luego otra tobácea y en la parte superior otra volcánico-sedimentaria.

En los cuadrángulos de Lurín y Chosica el Grupo Rímac se manifiesta igualmente con una interposición de rocas volcánicas mayormente piro clásticas y sedimentarias que alteran a una coloración rojizo-violáceo muy característica.

En el valle del Rímac y en la parte alta del valle de Santa Eulalia, así como en el valle del Chillón se encuentran las mejores exposiciones de este grupo siendo su relación clara con respecto al Batolito y al Grupo Casma que los cubre discordantemente. Más al norte se le encuentra fallado contra la Formación Arahua. Litológicamente está constituido de una gruesa secuencia masiva de volcánicos tobáceos y sedimentos clásticos que se pierden lenticularmente.

El Grupo Rímac está constituido por un conjunto de unidades de rocas volcánicas y sedimentarias integradas por andesitas, flujos de brecha, andesitas tufáceas o tufos andesíticos, con ocasionales intercalaciones de areniscas tufáceas.

Aflora en el área de emplazamiento de la variante y se extiende hacia Matucana y Huarochirí, el cual presenta un gran desarrollo entre los valles Santa Eulalia, Rímac y parte alta de Lurín.

Localmente se puede diferenciar las siguientes unidades litológicas, en el área del entorno de la variante se ha mapeado las siguientes unidades de abajo hacia arriba:

**Rocas Intrusivas.**

Las rocas intrusivas que afloran en la región estudiada, corresponden a cuerpos emplazados en diferentes épocas. Afloran principalmente en el sector suroeste del cuadrángulo de Huarochirí, constituyendo un grupo de intrusiones del Batolito Costanero dentro del sector septentrional del segmento Arequipa; (clasificación de COBBING, PITCHER y TAYLOR, 1978). Existen otros cuerpos marginales, emplazados al este del batolito y distribuidos a lo largo de una faja en la parte media del Flanco Occidental Andino.

En la zona alta de la Cordillera Occidental se presentan grupos de intrusiones menores de facies hipabisales, distribuidos aisladamente a lo largo de toda la cordillera.

**Batolito de la Costa.**

Con este nombre se ha designado a cuerpos masivos que en composición varían de tonalita a granodiorita y localmente a monzonita y granito; afloran extensamente en el área de Omas-Cumias; constituyendo una faja de afloramientos de orientación NO-SE, con 15 Km. de ancho aproximadamente.

Las rocas intrusivas plutónicas han sido relevadas por COBBING; habiéndose adaptado la clasificación y nomenclatura establecida por PITCHER W. (1978) en unidades consanguíneas que tienen idénticas relaciones, la misma variación modal y de alguna manera la misma fábrica y textura, y han sido denominadas súper familias o supe unidades. Estas a su vez se agrupan en tres grandes segmentos conocidos como: Segmento Trujillo, desde Chimbote hacia el Norte; Segmento Lima, entre

Chimbote y el Sur de Lima (Qda. Tinajas-Lurín), finalmente Segmento Arequipa, entre el Sur de Lima y Arequipa.

En el área de estudio al nivel del valle de Lurín y específicamente en la quebrada Tinajas se dan cambios petroquímicos en el supe unidades, al pasar del Segmento Lima al Segmento Arequipa, Así por ejemplo la Superunidad Santa Rosa es reemplazada por la Superunidad Tiabaya aumentando su contenido potásico.

### **Superunidad Santa Rosa**

Esta Superunidad, constituida por cuerpos tonalítico-dioríticos y tonalítico-granodioríticos, tiene una gran extensión dentro de los cuadrángulos de Chancay y Chosica formando el segmento de Lima, pasando hasta la quebrada Tinajas (cuadrángulo de Lurín). Se emplazan con posterioridad a los gabros y dioritas de la Superunidad Patap y Paccho a los que intruye con contactos definidos y casi verticales. Asimismo, intruye a las secuencias mesozoicas del grupo Casma (sedimentos cretáceos y volcánicos).

Ha sido dividida a manera de sub-unidades en cuerpos oscuros (diorita-tonalitas) y cuerpos claros (tonalita-granodioritas) los mismos que guardan consanguinidad química, textural y de emplazamiento.

### **Tonalita-dioritas (Santa Rosa oscuro):**

Son cuerpos de color oscuro. Son parte de la Superunidad Santa Rosa. Constituyen el Plutón principal en los cerros que bordean Manchay, La Molina y el valle del Rímac desde Vitarte hasta Chosica; continuando hasta el valle del Chillón a

la altura de Yangas, cubriendo de esta manera una gran extensión. En el cuadrángulo de Chancay aflora solamente en el borde Nororiental del Cerro Campana, donde intruye a la secuencia cretácica y a la Superunidad Paraíso, siendo a su vez intruída por la Sub-unidad Santa Rosa claro.

Las rocas presentan en muestra de mano un color gris oscuro, textura holocristalina de grano medio variando a grueso y destacando las plagioclasas blancas dentro de una masa oscura.

#### **Tonalita-Granodioritas (Santa Rosa claro)**

Tienen un color claro que los diferencian de los tonalítico-dioríticos más oscuros, donde hay una transición de una leucotonalita clara con cuarzo (Santa Rosa Claro) como se puede ver en Cieneguilla, a diorita cuarcífera (Santa Rosa Oscuro) en la parte alta del Cerro Huaycán, constituyendo entonces los cuerpos claros las partes marginales. Aflora entre las Quebradas Tinajas, Cieneguilla, Chaclacayo y más al Norte en las Quebradas de Socos (afluentes del río Chillón), Huanchac, Puente Paraíso y Zancudo (afluente del río Chancay).

Presentan una topografía aguda, producto del cuarzo, con estructuras tabulares debido al diaclasamiento, cuyo rumbo general es Norte-Sur, variando en parte al Noroeste o al Sureste.

Las características físicas macroscópicas son: color gris claro, textura equigranular, holocristalina, de grano medio. Al microscopio se pueden apreciar plagioclasas subhedrales; mayormente frescas, aunque algunas se encuentran alteradas a sericita. Presentan maclas algo distorsionadas y microfracturadas, debido

al efecto de compresión. El cuarzo es hialino, intersticial y a veces engloba subópticamente biotitas, las que junto con la hornblenda constituyen los máficos más abundantes.

### **Granitos y Granodioritas**

Los cuerpos graníticos potásicos que afloran en el cuadrángulo de Lurín destacan como cuerpos menores, por su coloración rosada debido a la ortosa, constituyendo stocks que intruyen a las Dioritas y Tonalita-granodioritas Santa Rosa y Tiabaya. En la Quebrada Tinajas se encuentran granodioritas con una coloración rojiza que presentan enclaves de dioritas aseverando su emplazamiento posterior.

En el cuadrángulo de Chancay se tienen dos exposiciones, estando ubicadas, una en el sector Norte entre las curvas superiores de las Quebradas Paraíso y Pedroso y la otra al Norte de Lima en los alrededores del distrito de Independencia, la cual ha sido reconocida como Adamelita Amancaes.

En el sector de la Molina Vieja también se tiene granitos que han marmolizado a las Calizas Atocongo habiéndose hecho cateos en la parte alta del Cerro La Mina, los mismos que parecen ser antiguos.

En la parte alta de Manchay los granitos rojos intruyen a tonalitas contaminadas con feldespato potásicos. PITCHER y COBBING, incluyen estos cuerpos dentro de la Superunidad Santa Rosa como manifestaciones postreras de esta unidad; sin embargo, podrían corresponder a la Unidad Umayo (post Santa Rosa) la que más al Norte de Lima muestra contactos de stoping lo que descartaría la idea de que se trata

de las últimas pulsaciones de magmas residuales tonalíticos. Sin embargo, todo ello solo puede aclararse con un estudio detallado de los contactos.

### **Depósitos Cuaternarios.**

En el área de entorno del emplazamiento de las zonas vulnerables, se han identificado los siguientes depósitos cuaternarios:

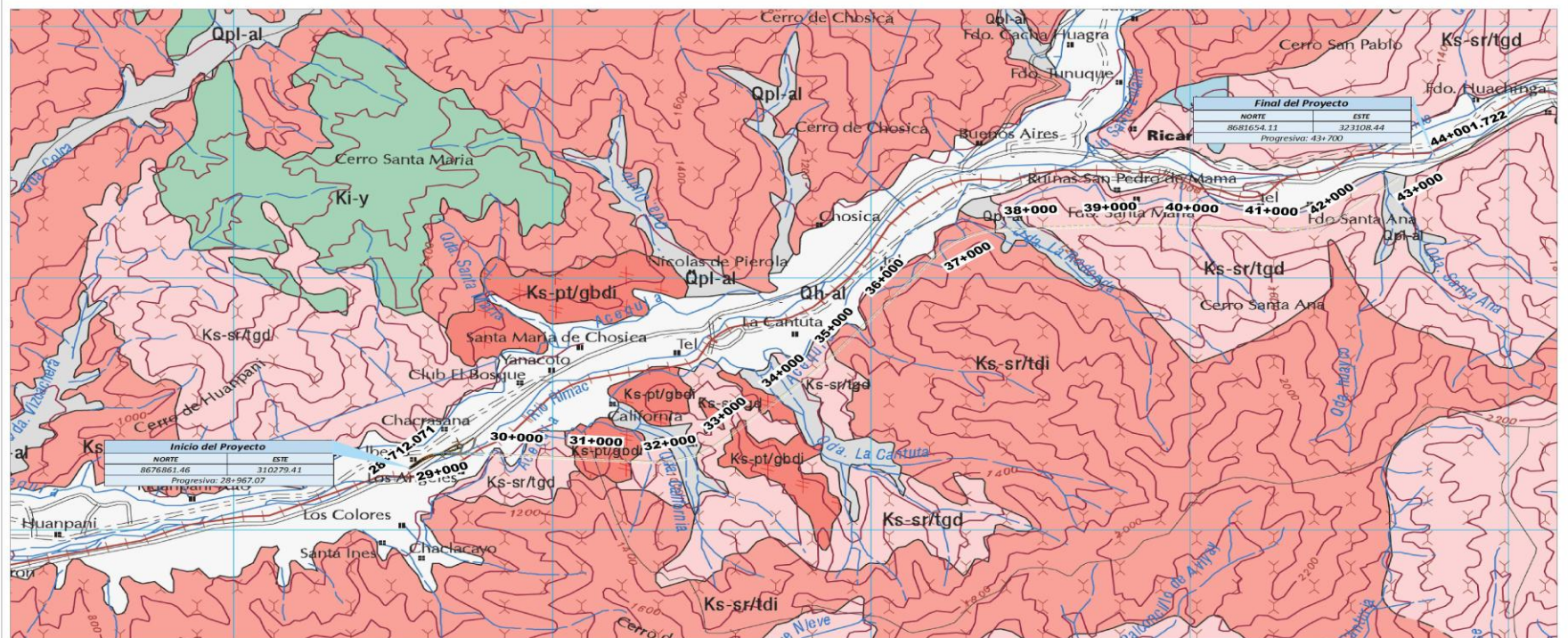
**a) Depósitos Aluviales.** - Estos depósitos están restringidos a franjas estrechas a ambos márgenes de los ríos, en los valles de Chancay, Chillón, Rímac, Lurín y Chilca.

Al Norte de Lima son observables desde la altura de Puente Piedra, extremo Sur de Carabayllo, aguas abajo hasta la garganta Márquez conformando las terrazas del mismo nombre estando constituidos predominantemente de material grueso compuesto de cantos y gravas sub-redondeadas en matriz arenosa, con materiales finos en forma subordinaria y en niveles más profundos.

Los depósitos más jóvenes incluidos dentro de estos aluviales recientes son materiales que se encuentran en el lecho actual de los ríos, los que en áreas planas y bajas de los valles pueden alcanzar amplitud como la que se observa en la desembocadura del río Rímac (playa Márquez), y el río Lurín; así como al Sur-este de Carabayllo y en las proximidades de la garganta Márquez.

Los materiales constituyentes son principalmente cantos y gravas subredondeadas con buena selección en algunos casos de matriz arenosa; se los puede considerar como depósitos fluvio aluviales; generalmente ofrecen condiciones desfavorables para la agricultura por ser muy pedregosos.





| SERIE        | UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS |        |
|--------------|--------------------------|--------|
| HOLOCENA     | Dep. aluviales           | Qh-al  |
|              | Dep. aluviales           | Qpl-al |
| PLEIS-TOCENA | Dep. aluviales           | Qpl-gl |
|              | Dep. glaciares           | Ts-hu  |
| SUPERIOR     | Volc. Huarochiri         | Ts-m   |
|              | Volc. Millotingo         |        |

|                       |            |
|-----------------------|------------|
| Granitos              | Ks-sr/gr   |
| Tonalita-Granodiorita | Ks-sr/tgd  |
| Tonalita-Diorita      | Ks-sr/tdi  |
| Tonalita-Diorita      | Ks-pa/tdi  |
| Tonalita-Diorita      | Ks-par/tdi |
| Gabro-diorita         | Ks-pt/gbdi |
| Dolerita              | Kms-do     |
| Andesita              | Ks-an      |



Univ. Externas  
 Exp. Geología: Modesto Pérez  
 Proyecto y Plan: W. Barrenecheo

Verificación:

| W  | FECHA      | REVISIONES | DESCRIPCION |
|----|------------|------------|-------------|
| 01 | 16/03/2011 |            | EMISIÓN     |

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CENTRAL: TRAMO AUTOPISTA RÍE DE LOS ANGELES - PICHICO PALMA  
 CONTRATO N° 019-2011-MTC/20

|                            |                            |          |
|----------------------------|----------------------------|----------|
| ESCALA FORMATO A4: 1/25000 | ESCALA FORMATO A3: 1/20000 | PLANO:   |
| GEOLOGIA REGIONAL          |                            | GG-RE-01 |

Figura N° 4. Plano Regional. Fuente: Consorcio Los Ángeles.

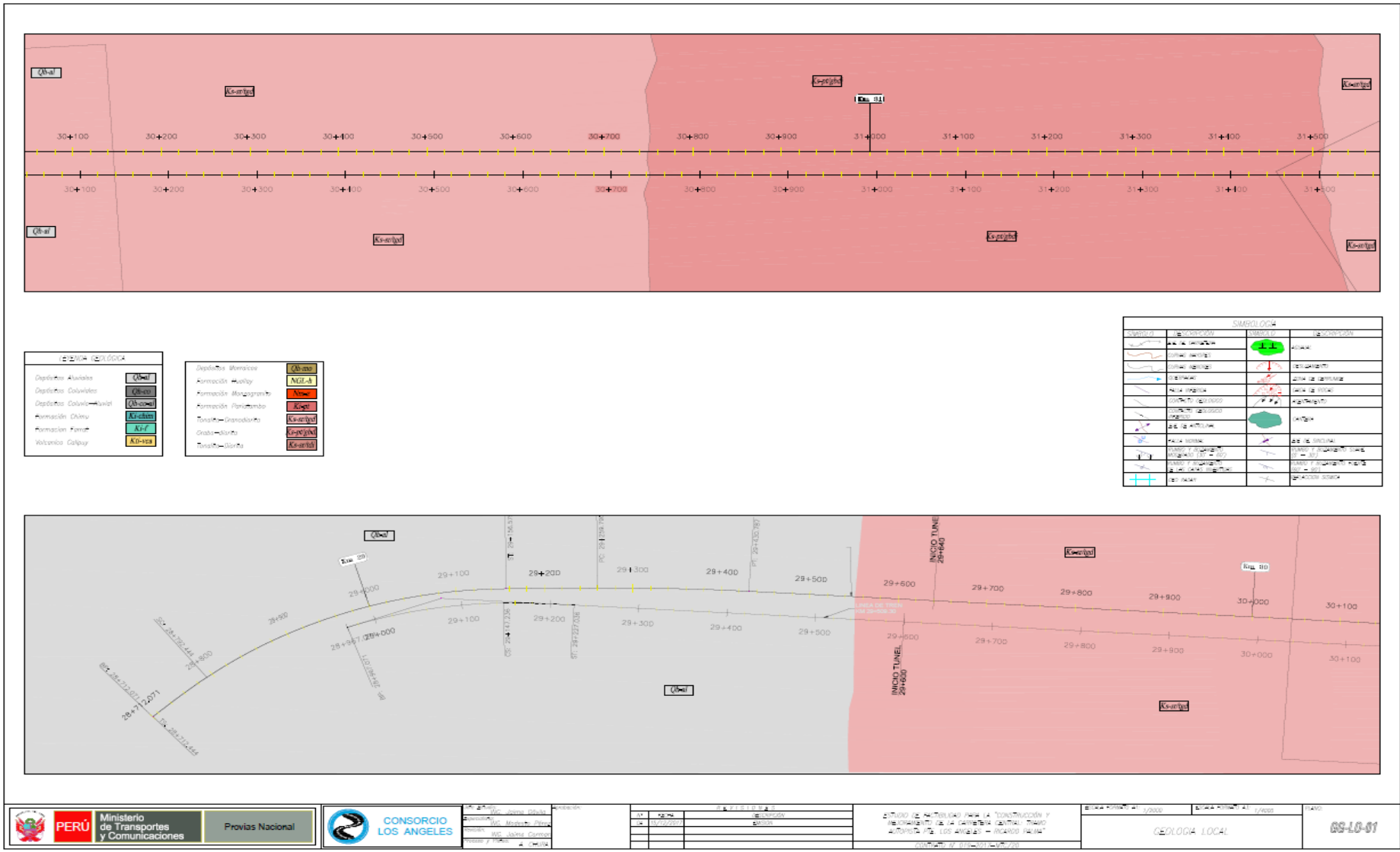


Figura N° 5. Plano de geología local. Fuente: Consorcio Los Ángeles.

## **5.2 Evaluación geotécnica de los túneles**

### **5.2.1 Investigaciones de Campo**

Para evaluar analíticamente el comportamiento de Los Túneles Carreteros Proyectados, incluyendo el estimativo de presiones a que se podrían ver sometidos los diferentes elementos de soporte, el revestimiento y la magnitud de las deformaciones que se pueden esperar, es necesario conocer las propiedades geomecánicas de los materiales a excavar y estimar las condiciones del macizo rocoso donde se emplazaran el túnel proyectado. Entre estas se destacan la resistencia del macizo rocoso, la cohesión, el ángulo de fricción, el módulo de deformación y el potencial de expansión. El mecanismo de inestabilidad del tramo en roca competente que se asume está dominado por la intersección de estructuras con la periferia del túnel, las cuales pueden formar cuñas inestables, así mismo la existencia de zonas de debilidad como la familia de fallas persistente perpendiculares y paralelas al eje del túnel.

Las investigaciones geotécnicas de campo han consistido en investigaciones geotécnicas directas (calicatas, toma de muestras de rocas) e indirectas (refracción sísmica, peligro sísmico).

#### **5.2.1.1 Toma de muestras de rocas**

El procedimiento para determinar los parámetros de diseño aplicables al macizo rocoso se basa en las propiedades de la roca intacta. A partir de estos valores, empleando correlaciones entre las propiedades de la roca intacta y las condiciones del macizo rocoso, particularmente el grado de fracturamiento, y el estado de las

discontinuidades, se establecen las propiedades de diseño para el macizo; a continuación, se presentan los análisis desarrollados para determinar los parámetros aplicables para las rocas encontradas. Para lograr estos resultados se obtuvieron muestras de rocas en tamaños de bloques de 40 x 40 cm los cuales fueron remitidos a los laboratorios respectivos y los resultados se muestran a continuación:

Tabla N° 9. *Ensayo de Compresión Uniaxial.*

| Muestra | Progresiva | Túnel  | Diametro (cm) | Altura (cm) | Carga de Rotura (Kg) | Resistencia a la Compresión Uniaxial (kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia a la Compresión Uniaxial (MPa) |
|---------|------------|--------|---------------|-------------|----------------------|--|--|
| M-1     | 29+626     | Eje 01 | 4.94          | 9.84        | 21.766               | 1,154.20   | 150.1                                      |
| M-2     | 29+589     | Eje 02 | 4.95          | 9.95        | 22.762               | 1,159.30   | 181.3                                      |

*Fuente: Consorcio Los Angeles*

Tabla N° 10. *Ensayo de Constantes Elásticas.*

| Muestra | Progresiva | Túnel  | Diametro (cm) | Altura (cm) | Resistencia a la Compresión Uniaxial (kg/cm <sup>2</sup> ) | Módulo de Young "E" (GPa) | Relación de Poisson "ν" |
|---------|------------|--------|---------------|-------------|--|---------------------------|-------------------------|
| M-1     | 29+626     | Eje 01 | 4.94          | 9.84        | 1,154.20   | 28.38                     | 0.21                    |
| M-2     | 29+589     | Eje 02 | 4.94          | 9.95        | 1,159.30   | 24.22                     | 0.24                    |

*Fuente: Consorcio Los Angeles*

### 5.2.1.2 Evaluación geofísica

La evaluación geofísica consistió en la realización de líneas de refracción sísmica(06), tomografía, reflexión sísmica (02 en el portal de entrada y 02 en el portal de salida) ubicados estratégicamente dentro de la influencia directa del túnel proyectado, así como en las quebradas, con la finalidad de identificar las características litológicas del macizo rocoso, el mismo que está constituido por rocas intrusivas y estimar el nivel de fracturación a través del viaje de las velocidades de las ondas P. Se efectuó un total de 4,000 metros de líneas sísmicas. La información obtenida en este trabajo de investigaciones geofísica su análisis y resultados fueron utilizados en el diseño de los Túneles Carreteros proyectados debido a que las características litológicas son las mismas en el área de influencia por donde se emplaza el eje del túnel.

El método de investigación geofísica ha sido el Perfilaje por Refracción Sísmica. Como fuente de generación de las ondas elásticas se ha usado golpes de martillo sobre una placa metálica. El procesamiento de los registros ha permitido elaborar los homógrafos de cada sección, estos gráficos son la base de la interpretación. Con el uso del grupo de programas SeisImager, han sido obtenidas las secciones de velocidades de las ondas longitudinales –  $V_p$ . Las conclusiones de estos ensayos fueron las siguientes:

- En las secciones de refracción sísmica, se han determinado de forma consistente la presencia de 02 a 03 estratos y/o capas para cada línea sísmica y de acuerdo a los resultados obtenidos en campo, los valores de Velocidad son bajos para la capa superficial, lo que permite indicar que se tratase de un material con un bajo grado de consolidación, característico de suelos cuaternarios con presencia de arcillas y limos,

la segunda capa se asocia a material más compacto y la tercera capa se presenta como un material muy compacto y en algunos casos se puede asociar a roca.

- En el trabajo se realizaron secciones geoelectricas alcanzando profundidades entre 150 a 300 metros con lo que se pudo caracterizar y diferenciar zonas a lo largo de la sección.
- En general la Tomografía eléctrica ha logrado definir a las zonas más compactas o roca masiva como zonas resistivas y las zonas menos compactas o roca fracturada con presencia de agua como zonas conductivas, para que se tenga muy en cuenta sobre todo las de baja resistividad como zonas de filtraciones de aguas en zonas de fracturamiento, ya que la napa freática en la zona no tiene un nivel horizontal prolongado y está limitado por zonas resistivas.
- La Reflexión combinada con la tomografía sísmica proporcionan información en profundidad, que denotan la presencia de roca, o fracturas que gracias a los cambios de amplitud de los reflectores pueden definir estos cambios de densidad.



### **5.2.2 Cartografiado Geotécnico y Estaciones Geomecánicas**

El cartografiado Geotécnico de Los Túneles proyectados se realizó sobre la base del levantamiento de discontinuidades realizadas a lo largo del tramo de los túneles proyectados. Este levantamiento de discontinuidades se analizó y corroboró que las familias encontradas en los túneles proyectados se toman como base los datos obtenidos anteriormente para el análisis e interpretación geotécnica respectiva. Se evaluó que el levantamiento de discontinuidades fue realizado utilizando el criterio de tipificación de la discontinuidad sea junta, diaclasa, falla, contacto, plano de estratificación, etc. Asimismo, se estableció las medidas del caso para establecer sus características de las discontinuidades considerando: su espaciamiento, persistencia, rugosidad, relleno y agua. Según el análisis realizado se establecieron 13 estaciones geomecánicas que fue mediante el criterio de tipo de rocas y características geológicas - geotécnicas de las mismas que lo diferenciaban unas entre otras. Los resultados fueron estableciendo una simetría en las características estructurales del macizo rocoso evaluado en los túneles proyectados, debido a la presencia de familias de discontinuidades similares en las diferentes estaciones geomecánicas.

### **5.2.3 Características de las Discontinuidades**

De acuerdo al levantamiento geotécnico de las discontinuidades en el campo se obtuvo las siguientes características que a continuación se presentan para los túneles proyectados. Se hace mención que se realizaron 13 estaciones geomecánicas en el afloramiento del macizo rocoso, en el eje de los túneles proyectados, obteniendo los datos in situ y



realizando la evaluación geomecánica mediante el software Dips para la obtención de las familias de discontinuidades más representativas.

#### 5.2.4 Cálculo de RQD por estaciones geomecánicas

En las 13 estaciones geomecánicas se calcularon las discontinuidades por metro lineal siguiendo la teoría de Palmstrom, la cual nos dice que el RQD puede ser calculado a partir del número de discontinuidades por unidad de longitud.

$$\text{RQD} = 115 - 3.3 J_v$$

Tabla N° 11. *Cálculo del Índice R.Q.D por estación geomecánica*

| <b>ESTACIONES<br/>GEO MECÁNICAS</b> | <b>J<sub>v</sub></b> | <b>Índice<br/>R.Q.D</b> | <b>Descripción</b> |
|-------------------------------------|----------------------|-------------------------|--------------------|
| <b>Estación geomecánica N° 1</b>    | 14                   | 69                      | Regular            |
| <b>Estación geomecánica N° 2</b>    | 15                   | 66                      | Regular            |
| <b>Estación geomecánica N° 3</b>    | 15                   | 66                      | Regular            |
| <b>Estación geomecánica N° 4</b>    | 17                   | 59                      | Regular            |
| <b>Estación geomecánica N° 5</b>    | 20                   | 49                      | Pobre              |
| <b>Estación geomecánica N° 6</b>    | 13                   | 72                      | Regular            |
| <b>Estación geomecánica N° 7</b>    | 13                   | 72                      | Regular            |
| <b>Estación geomecánica N° 8</b>    | 14                   | 69                      | Regular            |
| <b>Estación geomecánica N° 9</b>    | 8                    | 89                      | Buena              |
| <b>Estación geomecánica N° 10</b>   | 13                   | 72                      | Regular            |
| <b>Estación geomecánica N° 11</b>   | 13                   | 72                      | Regular            |
| <b>Estación geomecánica N° 12</b>   | 10                   | 82                      | Buena              |
| <b>Estación geomecánica N° 13</b>   | 9                    | 85                      | Buena              |

*Fuente: Elaboración propia*

### 5.2.5 Cálculo del índice RMR según la Clasificación Geomecánica de Bieniaswki (1989)

Se hizo uso de fichas técnicas 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 estas fichas técnicas se obtuvieron las valoraciones RMR como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla N° 12. *Cálculo del Índice RMR y Clase del macizo rocoso por estación geomecánica.*

| <b>ESTACIONES<br/>GEO MECÁNICAS</b> | <b>Índice<br/>RMR</b> | <b>Clase de Macizo<br/>Rocoso</b> |
|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| <b>Estación geomecánica N° 1</b>    | 54                    | <b>III - REGULAR</b>              |
| <b>Estación geomecánica N° 2</b>    | 66                    | <b>II - BUENA</b>                 |
| <b>Estación geomecánica N° 3</b>    | 65                    | <b>II - BUENA</b>                 |
| <b>Estación geomecánica N° 4</b>    | 55                    | <b>III - REGULAR</b>              |
| <b>Estación geomecánica N° 5</b>    | 54                    | <b>III - REGULAR</b>              |
| <b>Estación geomecánica N° 6</b>    | 65                    | <b>II - BUENA</b>                 |
| <b>Estación geomecánica N° 7</b>    | 66                    | <b>II - BUENA</b>                 |
| <b>Estación geomecánica N° 8</b>    | 58                    | <b>III - REGULAR</b>              |
| <b>Estación geomecánica N° 9</b>    | 67                    | <b>II - BUENA</b>                 |
| <b>Estación geomecánica N° 10</b>   | 66                    | <b>II - BUENA</b>                 |
| <b>Estación geomecánica N° 11</b>   | 59                    | <b>III - REGULAR</b>              |
| <b>Estación geomecánica N° 12</b>   | 67                    | <b>II - BUENA</b>                 |
| <b>Estación geomecánica N° 13</b>   | 69                    | <b>II - BUENA</b>                 |

*Fuente: Elaboración propia*

### **5.2.6 Análisis de datos en el software Dips V.5.1**

En el software Dips V.5.1 se ingresaron todos los datos de las fracturas(Diaclasas) tomadas en las 13 estaciones geomecánicas (Dip/Dip Direction).

#### **Estación Geomecánica N° 01**

Comprendida entre las progresivas: Km 30+050.00 – Km 30+150.00, con una orientación del túnel: N 93°.

El RMR para esta estación geomecánica es de 54, roca tipo III de regular calidad para lo cual se reforzará el sostenimiento según la *Tabla N° 3*, donde nos indica: bulones de 3 metros de longitud con un espaciamiento de 1.5m x 1.5 m + Concreto proyectado con un espesor de 8 cm + Malla electrosoldada.

Tabla N° 13. Cálculo del Índice RMR y Clase del macizo rocoso – Estación geomecánica N° 01.

| VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)          |         |                  |               |               |               |                |                     |    |    |
|--|---------|------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------------|----|----|
| PARAMETRO                                      |         | RANGO DE VALORES |               |               |               |                | VALOR               |    |    |
| R. COMPRES. UNIAXIAL (Mpa.)                    |         | >250 (15)        | 100-250 (12)  | x             | 50-100 (7)    | 25-50 (4)      | <25(2) <5(1) <1(0)  | 1  | 7  |
| 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  | 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)         | 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  | 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) |         |                  |               |               |               |                |                     | 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     |                     |    |    |

Fuente: Elaboración propia

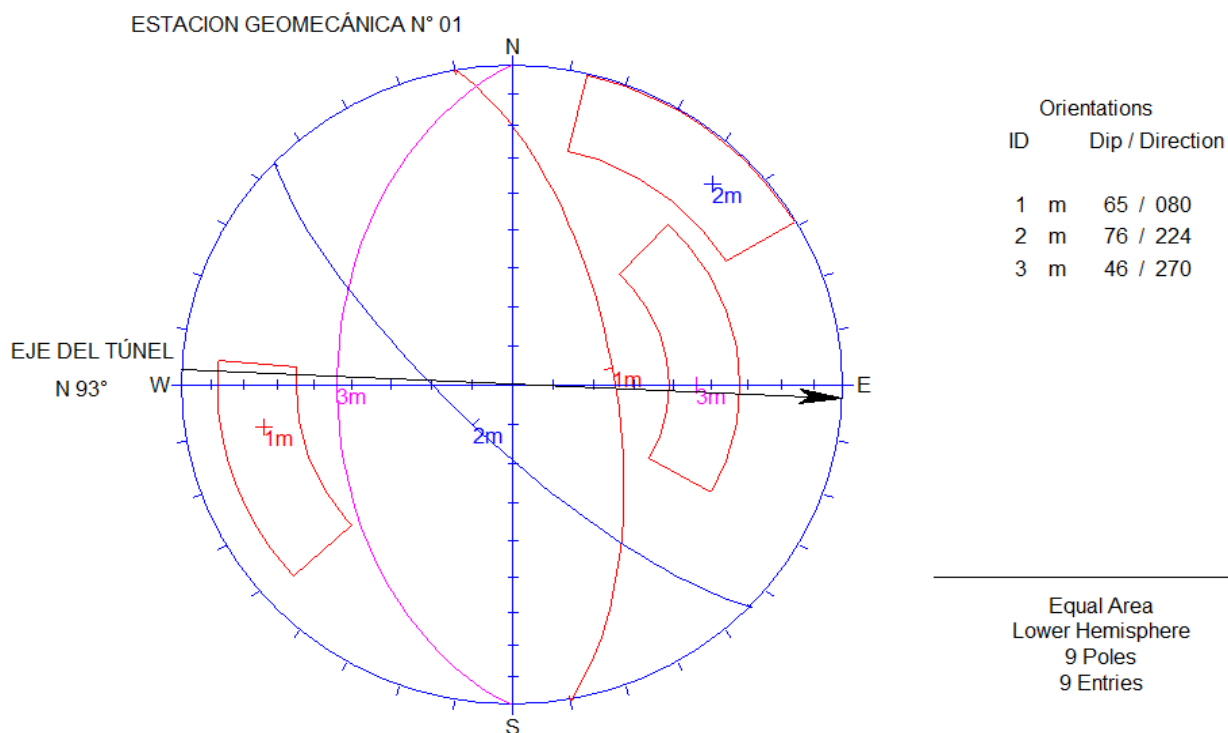


Figura N° 7. Estereograma de la estación geomecánica N° 01. Fuente: Elaboración propia.

### Estación Geomecánica N° 02

Comprendida entre las progresivas: Km 31+050.00 – Km 31+150.00, con una orientación del túnel: N 93°.

El RMR para esta estación geomecánica es de 66, roca tipo II de buena calidad para lo cual se reforzará el sostenimiento según la *Tabla N° 3*, donde nos indica: Bulones de 3 metros de longitud con un espaciamiento de 2.5m x 2.5 m + Concreto proyectado con un espesor de 5 cm + Malla electrosoldada ocasional.

Tabla N° 14. Cálculo del Índice RMR y Clase del macizo rocoso – Estación geomecánica N° 02.

| 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)      |               | 3-10m (2)     |               | 10-20m (1)         | >20m (0)            | 4            | 4  |
|   | ABERT.           | Cerrada (6)  |              | <0.1mm (5)    | 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)     | Suave >5mm (0)      | 4            | 4  |
|   | ALTER.           | x            | Sana (6)     |               | Lig. Alt. (5) |               | Mod. Alt. (3) |                    | Muy Alt. (2)        | Descomp. (0) | 4  |
| AGUA SUBTERRANEA                                      | x                | Seco (15)    |              | 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 |
| <b>VALOR TOTAL RMR (SUMA DE VALORACIÓN DE 1 AL 6)</b> |                  |              |              |               |               |               |               |                    | <b>66</b>           |              |    |
| <b>CLASE DE MACIZO ROCOSO</b>                         |                  |              |              |               |               |               |               |                    | <b>II</b>           |              |    |
| RMR   | 100-81           |              | 80-61        |               | 60-41         |               | 40-21         | 20-0               |                     |              |    |
| DESCRIPCIÓN   | I MUY BUENA      |              | II BUENA     |               | III REGULAR   |               | IV MALA       | V MUY MALA         |                     |              |    |

Fuente: Elaboración propia

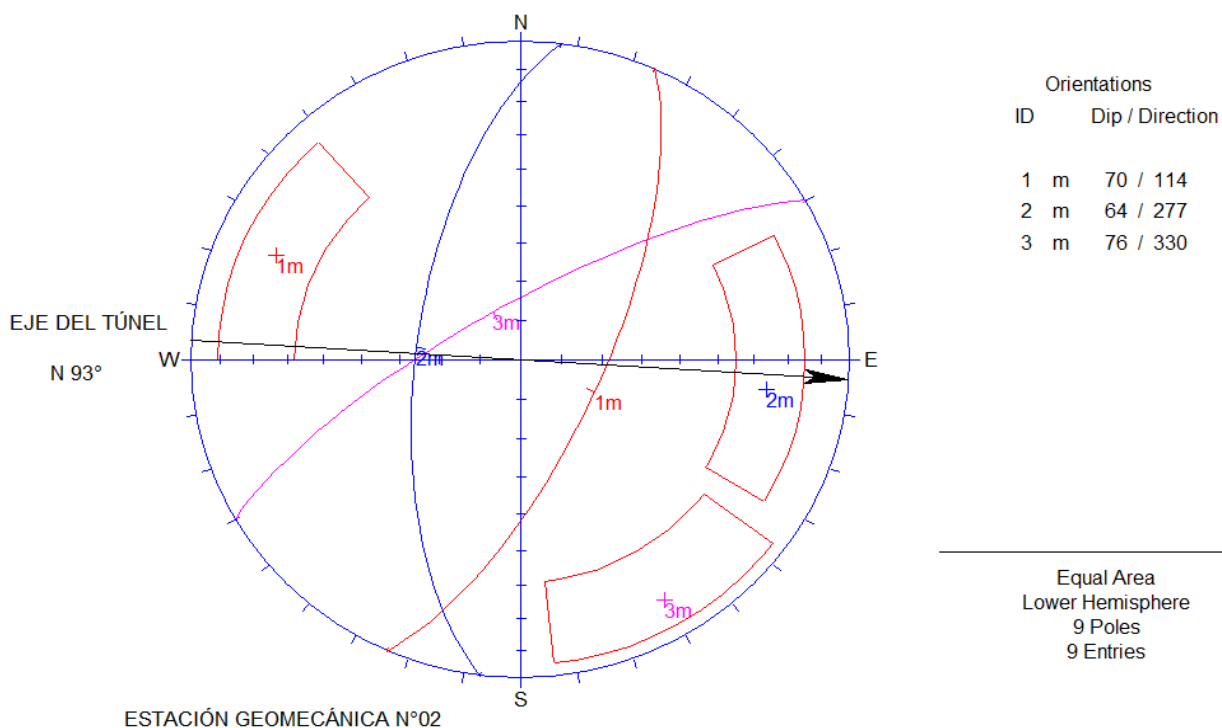


Figura N° 8. *Estereograma de la estación geomecánica N° 02. Fuente: Elaboración propia.*

### Estación Geomecánica N° 03

Comprendida entre las progresivas: Km 32+050.00 – Km 32+150.00, con una orientación del túnel: N 93°.

El RMR para esta estación geomecánica es de 65, roca tipo II de buena calidad para lo cual se reforzará el sostenimiento según la *Tabla N° 3*, donde nos indica: Bulones de 3 metros de longitud con un espaciamiento de 2.5m x 2.5 m + Concreto proyectado con un espesor de 5 cm + Malla electrosoldada ocasional.

Tabla N° 15. Cálculo del Índice RMR y Clase del macizo rocoso – Estación geomecánica N° 03.

| 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)         | 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  | 4  |
|  | ABERT.           | Cerrada (6)  | x            | <0.1mm (5)    |              | 0.1-1mm (4)   | 1-5mm (1)          | >5mm (0)            | 4  | 5  |
|  | 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                               | x                | Seco (15)    |              | 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         |                     |    |    |

Fuente: Elaboración propia



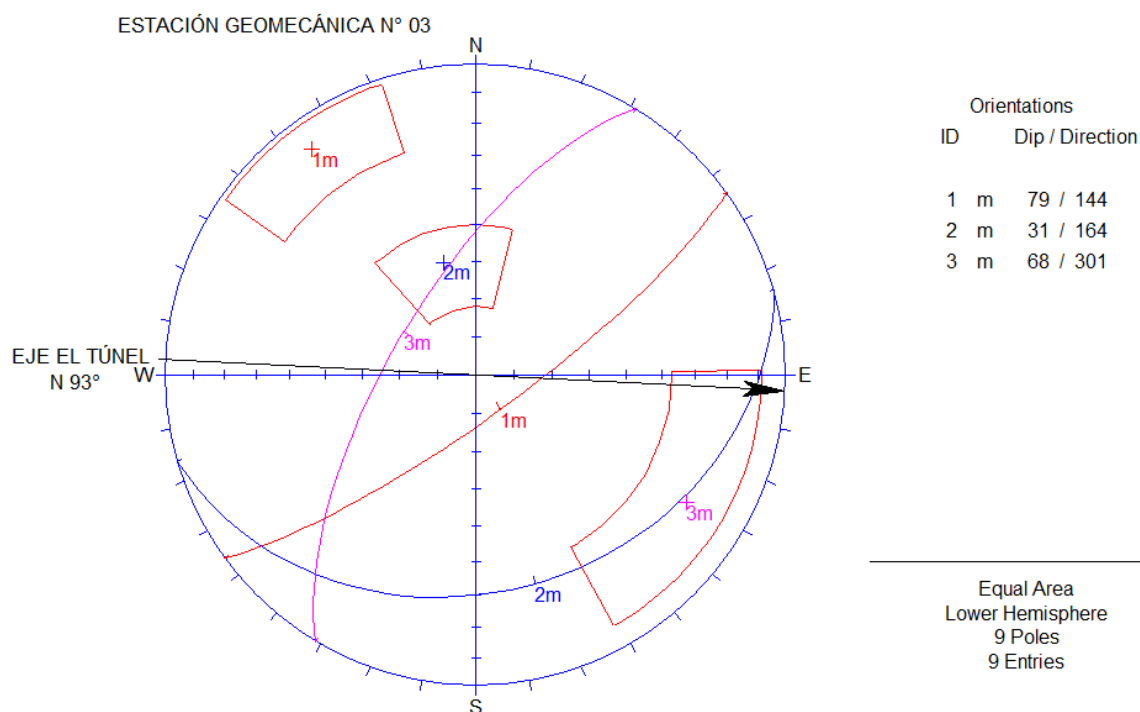


Figura N° 9. *Estereograma de la estación geomecánica N° 03. Fuente: Elaboración propia.*

#### Estación Geomecánica N° 04

Comprendida entre las progresivas: Km 33+050.00 – Km 33+150.00, con una orientación del túnel: N 42°.

El RMR para esta estación geomecánica es de 55, roca tipo III de regular calidad para lo cual se reforzará el sostenimiento según la *Tabla N° 3*, donde nos indica: Bulones de 3 metros de longitud con un espaciamiento de 1.5m x 1.5 m + Concreto proyectado con un espesor de 8 cm + Malla electrosoldada.

Tabla N° 16. Cálculo del Índice RMR y Clase del macizo rocoso – Estación geomecánica N° 04.

| VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)                 |                       |                       |                        |                        |                   |                     |           |    |
|---|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-------------------|---------------------|-----------|----|
| PARAMETRO   | RANGO DE VALORES      |                       |                        |                        |                   |                     | VALOR     |    |
| R. COMPRE. UNIAXIAL (Mpa.)                            | >250 (15)             | 100-250 (12)          | 50-100 (7) <b>x</b>    | 25-50 (4)              | <25(2) <5(1)      | <1(0)               | 1         | 4  |
| RQD %   | 90-100 (20)           | 75-90 (17) <b>x</b>   | 50-75 (13)             | 25-50 (8)              | < 25 (3)          |                     | 2         | 13 |
| ESPACIAM. (m)   | > 2 (20)              | 0.6 - 2 (15) <b>x</b> | 0.2-0.6 (10)           | 0.06-0.2 (8)           | <0.06 (5)         |                     | 3         | 10 |
| CONDICIÓN DE JUNTAS                                   | PERSIS.               | <1m (6) <b>x</b>      | 1-3m (4)               | 3-10m (2)              | 10-20m (1)        | >20m (0)            | 4         | 4  |
|   | ABERT.                | Cerrada (6) <b>x</b>  | <0.1mm (5)             | 0.1-1mm (4)            | 1-5mm (1)         | >5mm (0)            | 4         | 5  |
|   | RUGOS.                | Muy Rug. (6)          | Rug. (5)               | Lig. Rug. (3) <b>x</b> | Lisa (1)          | Espej. De Falla (0) | 4         | 1  |
|   | RELLEN.               | Limpia (6)            | Duro <5mm (4) <b>x</b> | Duro >5mm (2)          | Suave <5mm (1)    | Suave >5mm (0)      | 4         | 2  |
|   | ALTER.                | Sana (6)              | Lig. Alt. (5) <b>x</b> | Mod. Alt. (3)          | Muy Alt. (2)      | Descomp. (0)        | 4         | 3  |
| AGUA SUBTERRANEA <b>x</b>                             | Seco (15)             | Humedo (10)           | Mojado (7)             | Goteo (4)              | Flujo (0)         |                     | 5         | 15 |
| AJUSTE ORIENT. DE DISCONTINUIDADES                    | Muy Fav. (0) <b>x</b> | Fav. (-2)             | Regular (-5)           | Desfav. (-10)          | Muy Desfav. (-12) |                     | 6         | -2 |
| <b>VALOR TOTAL RMR (SUMA DE VALORACIÓN DE 1 AL 6)</b> |                       |                       |                        |                        |                   |                     | <b>55</b> |    |
| <b>CLASE DE MACIZO ROCOSO</b>                         |                       |                       |                        |                        |                   |                     |           |    |
| 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        |                     |           |    |

Fuente: Elaboración propia

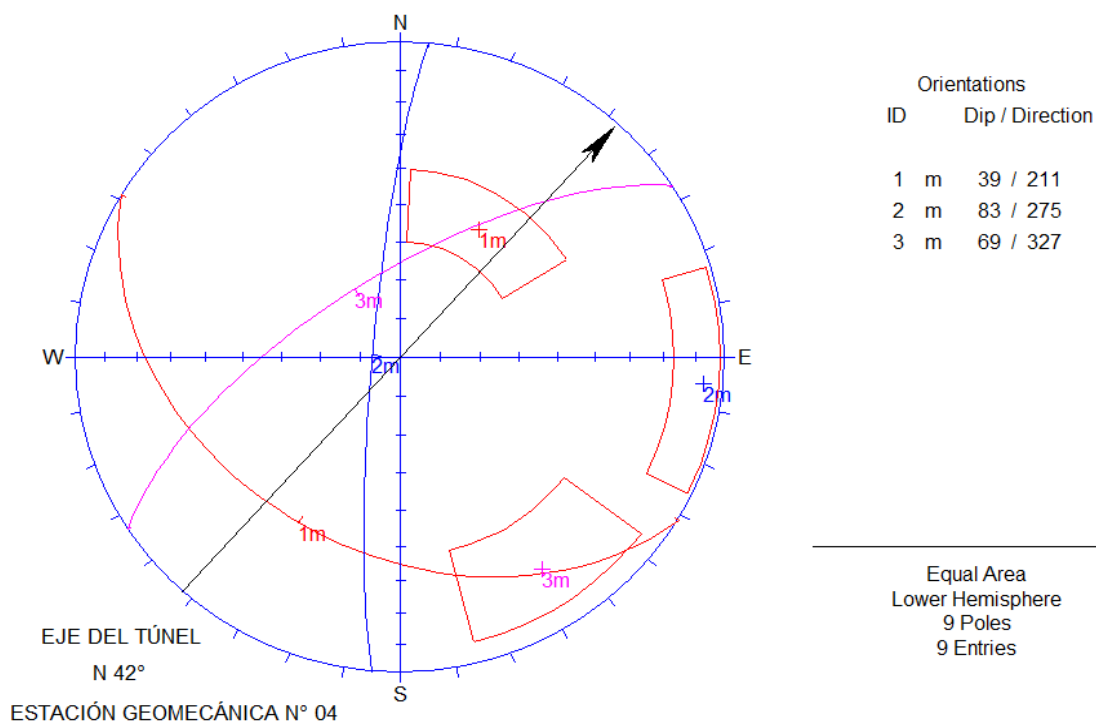


Figura N° 10. Estereograma de la estación geomecánica N° 04. Fuente: Elaboración propia.

### Estación Geomecánica N° 05

Comprendida entre las progresivas: Km 34+050.00 – Km 34+150.00, con una orientación del túnel: N 42°.

El RMR para esta estación geomecánica es de 54, roca tipo III de regular calidad para lo cual se reforzará el sostenimiento según la *Tabla N° 3*, donde nos indica: Bulones de 3 metros de longitud con un espaciamiento de 1.5m x 1.5 m + Concreto proyectado con un espesor de 8 cm + Malla electrosoldada.

Tabla N° 17. Cálculo del Índice RMR y Clase del macizo rocoso – Estación geomecánica N° 05.

| VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)                 |                  |              |             |               |               |                    |                     |        |    |
|---|------------------|--------------|-------------|---------------|---------------|--------------------|---------------------|--------|----|
| PARAMETRO   | RANGO DE VALORES |              |             |               |               |                    | VALOR               |        |    |
| R. COMPRES. UNIAxIAL (Mpa.)                           | >250 (15)        | 100-250 (12) | 50-100 (7)  | x             | 25-50 (4)     | <25(2) <5(1) <1(0) | 1                   | 4      |    |
| 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<br>A | 4  |
|   | ABERT.           | Cerrada (6)  | x           | <0.1mm (5)    | 0.1-1mm (4)   | 1-5mm (1)          | >5mm (0)            | 4<br>B | 5  |
|   | RUGOS.           | Muy Rug. (6) | x           | Rug. (5)      | Lig. Rug. (3) | Lisa (1)           | Espej. De Falla (0) | 4<br>C | 5  |
|   | RELLEN.          | Limpia (6)   |             | Duro <5mm (4) | x             | Duro >5mm (2)      | Suave <5mm (1)      | 4<br>D | 2  |
|   | ALTER.           | Sana (6)     |             | Lig. Alt. (5) | x             | Mod. Alt. (3)      | Muy Alt. (2)        | 4<br>E | 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 |
| <b>VALOR TOTAL RMR (SUMA DE VALORACIÓN DE 1 AL 6)</b> |                  |              |             |               |               |                    | <b>54</b>           |        |    |
| <b>CLASE DE MACIZO ROCOSO</b>                         |                  |              |             |               |               |                    |                     |        |    |
| 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    |                    |                     |        |    |

Fuente: Elaboración propia

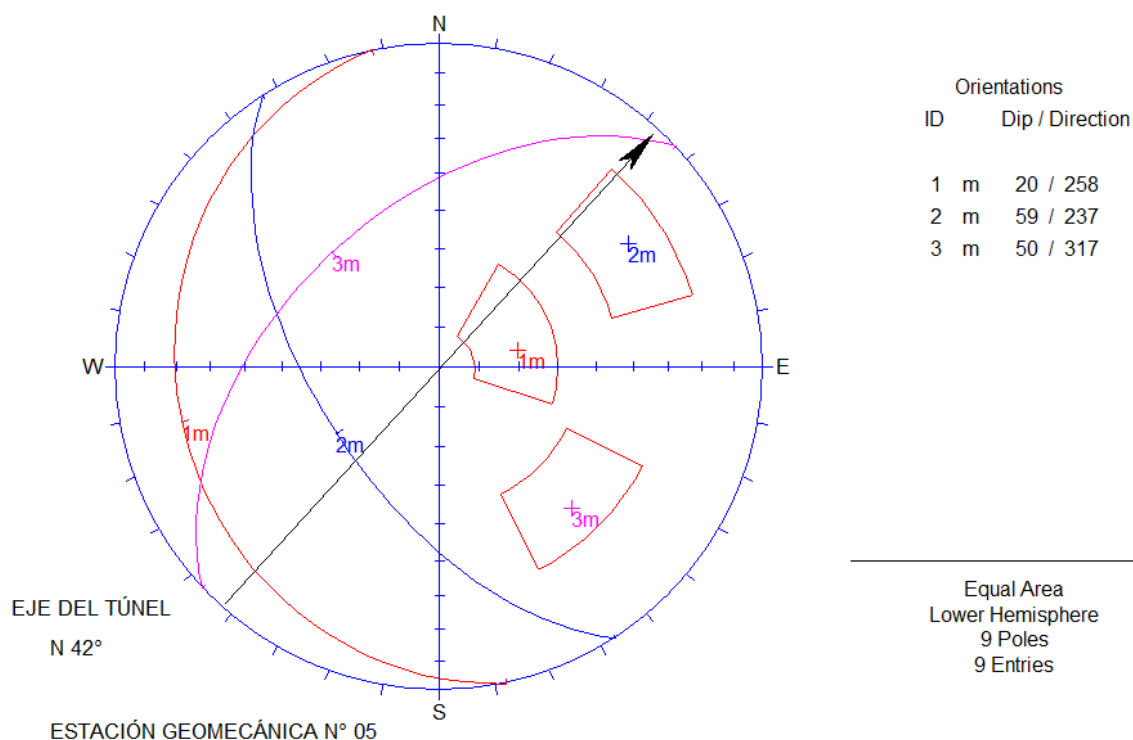


Figura N° 11. *Estereograma de la estación geomecánica N° 05. Fuente: Elaboración propia.*

### Estación Geomecánica N° 06

Comprendida entre las progresivas: Km 35+050.00 – Km 35+150.00, con una orientación del túnel: N 42°.

El RMR para esta estación geomecánica es de 65, roca tipo II de buena calidad para lo cual se reforzará el sostenimiento según la *Tabla N° 3*, donde nos indica: Bulones de 3 metros de longitud con un espaciamiento de 2.5m x 2.5 m + Concreto proyectado con un espesor de 5 cm + Malla electrosoldada ocasional.

Tabla N° 18. Cálculo del Índice RMR y Clase del macizo rocoso – Estación geomecánica N° 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 |  |
| 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         | 4  |  |
|   | ABERT.      | Cerrada (6)      | x           | <0.1mm (5)    |            | 0.1-1mm (4)   |  | 1-5mm (1)      | >5mm (0)            | 4         | 5  |  |
|   | 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 |  |
| <b>VALOR TOTAL RMR (SUMA DE VALORACIÓN DE 1 AL 6)</b> |             |                  |             |               |            |               |  |                |                     | <b>65</b> |    |  |
| <b>CLASE DE MACIZO ROCOSO</b>                         |             |                  |             |               |            |               |  |                |                     | <b>II</b> |    |  |
| RMR   | 100-81      | 80-61            | 60-41       | 40-21         | 20-0       |               |  |                |                     |           |    |  |
| DESCRIPCIÓN   | I MUY BUENA | II BUENA         | III REGULAR | IV MALA       | V MUY MALA |               |  |                |                     |           |    |  |

Fuente: Elaboración propia

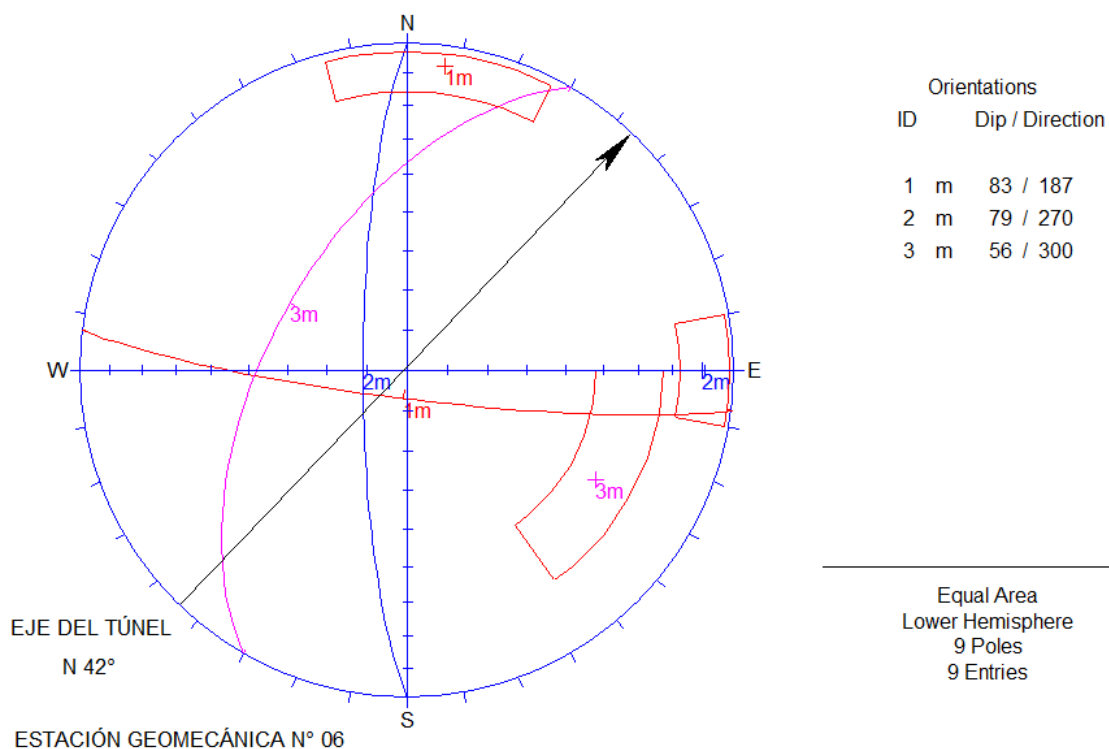


Figura N° 12. *Estereograma de la estación geomecánica N° 06. Fuente: Elaboración propia.*

### Estación Geomecánica N° 07

Comprendida entre las progresivas: Km 36+050.00 – Km 36+150.00, con una orientación del túnel: N 42°.

El RMR para esta estación geomecánica es de 66, roca tipo II de buena calidad para lo cual se reforzará el sostenimiento según la *Tabla N° 3*, donde nos indica: Bulones de 3 metros de longitud con un espaciamiento de 2.5m x 2.5 m + Concreto proyectado con un espesor de 5 cm + Malla electrosoldada ocasional.

Tabla N° 19. Cálculo del Índice RMR y Clase del macizo rocoso – Estación geomecánica N° 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<br>A | 4 |
|   | ABERT.           | Cerrada (6)    | <0.1mm (5) x    | 0.1-1mm (4)   | 1-5mm (1)          | >5mm (0)            | 4<br>B | 4 |
|   | RUGOS.           | Muy Rug. (6) x | Rug. (5)        | Lig. Rug. (3) | Lisa (1)           | Espej. De Falla (0) | 4<br>C | 5 |
|   | RELLEN.          | Limpia (6)     | Duro <5mm (4) x | Duro >5mm (2) | Suave <5mm (1)     | Suave >5mm (0)      | 4<br>D | 2 |
|   | ALTER.           | Sana (6)       | Lig. Alt. (5) x | Mod. Alt. (3) | Muy Alt. (2)       | Descomp. (0)        | 4<br>E | 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     |   |
| <b>VALOR TOTAL RMR (SUMA DE VALORACIÓN DE 1 AL 6)</b> |                  |                |                 |               |                    | <b>66</b>           |        |   |
| <b>CLASE DE MACISO ROCOSO</b>                         |                  |                |                 |               |                    |                     |        |   |
| RMR   | 100-81           | 80-61          | 60-41           | 40-21         | 20-0               | <b>II</b>           |        |   |
| DESCRIPCIÓN   | I MUY BUENA      | II BUENA       | III REGULAR     | IV MALA       | V MUY MALA         |                     |        |   |

Fuente: Elaboración propia



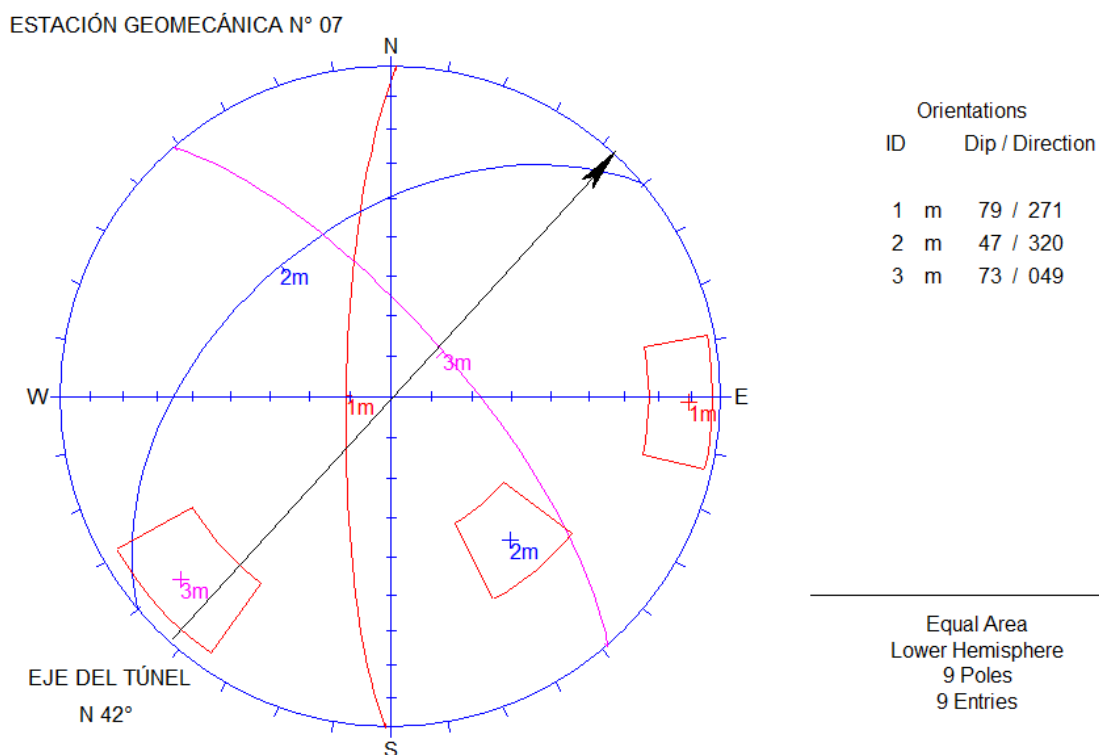


Figura N° 13. *Estereograma de la estación geomecánica N° 07. Fuente: Elaboración propia.*

### Estación Geomecánica N° 08

Comprendida entre las progresivas: Km 37+050.00 – Km 38+150.00, con una orientación del túnel: N 42°.

El RMR para esta estación geomecánica es de 58, roca tipo III de regular calidad para lo cual se reforzará el sostenimiento según la *Tabla N° 3*, donde nos indica: Bulones de 3 metros de longitud con un espaciamiento de 1.5m x 1.5 m + Concreto proyectado con un espesor de 8 cm + Malla electrosoldada.

Tabla N° 20. Cálculo del Índice RMR y Clase del macizo rocoso – Estación geomecánica N° 08.

| VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)                 |                  |                |                   |                    |                   |                     |           |    |
|---|------------------|----------------|-------------------|--------------------|-------------------|---------------------|-----------|----|
| PARAMETRO   | RANGO DE VALORES |                |                   |                    |                   |                     | VALOR     |    |
| R. COMPRES. UNIAxIAL (Mpa.)                           | >250 (15)        | 100-250 (12)   | x<br>50-100 (7)   | 25-50 (4)          | <25(2) <5(1)      | <1(0)               | 1         | 7  |
| RQD %   | 90-100 (20)      | 75-90 (17)     | x<br>50-75 (13)   | 25-50 (8)          | <25 (3)           |                     | 2         | 13 |
| ESPACIAM. (m)   | >2 (20)          | 0.6-2 (15)     | x<br>0.2-0.6 (10) | 0.06-0.2 (8)       | <0.06 (5)         |                     | 3         | 10 |
| CONDICIÓN DE JUNTAS                                   | PERSIS.          | <1m (6)        | x<br>1-3m (4)     | 3-10m (2)          | 10-20m (1)        | >20m (0)            | 4         | 4  |
|   | ABERT.           | Cerrada (6)    | <0.1mm (5)        | 0.1-1mm (4)        | x<br>1-5mm (1)    | >5mm (0)            | 4         | 1  |
|   | RUGOS.           | Muy Rug. (6)   | Rug. (5)          | x<br>Lig. Rug. (3) | Lisa (1)          | Espej. De Falla (0) | 4         | 5  |
|   | RELLEN.          | Limpia (6)     | Duro <5mm (4)     | x<br>Duro >5mm (2) | Suave <5mm (1)    | Suave >5mm (0)      | 4         | 2  |
|   | ALTER.           | Sana (6)       | Lig. Alt. (5)     | x<br>Mod. Alt. (3) | Muy Alt. (2)      | Descomp. (0)        | 4         | 3  |
| AGUA SUBTERRANEA                                      | x<br>Seco (15)   | Humedo (10)    | Mojado (7)        | Goteo (4)          | Flujo (0)         |                     | 5         | 15 |
| AJUSTE ORIENT. DE DISCONTINUIDADES                    | Muy Fav. (0)     | x<br>Fav. (-2) | Regular (-5)      | Desfav. (-10)      | Muy Desfav. (-12) |                     | 6         | -2 |
| <b>VALOR TOTAL RMR (SUMA DE VALORACIÓN DE 1 AL 6)</b> |                  |                |                   |                    |                   |                     | <b>58</b> |    |
| <b>CLASE DE MACIZO ROCOSO</b>                         |                  |                |                   |                    |                   |                     |           |    |
| 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        |                     |           |    |

Fuente: Elaboración propia

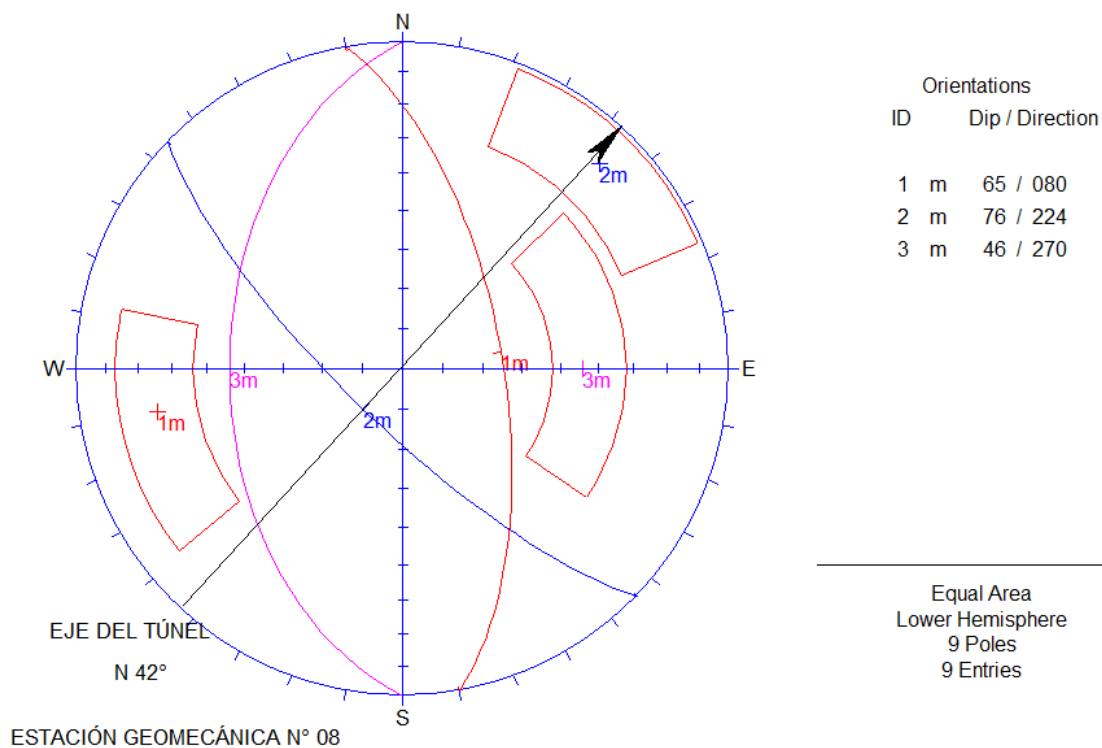


Figura N° 14. *Estereograma de la estación geomecánica N° 08. Fuente: Elaboración propia.*

### Estación Geomecánica N° 09

Comprendida entre las progresivas: Km 38+050.00 – Km 38+150.00, con una orientación del túnel: N 89°.

El RMR para esta estación geomecánica es de 67, roca tipo II de buena calidad para lo cual se reforzará el sostenimiento según la *Tabla N° 3*, donde nos indica: Bulones de 3 metros de longitud con un espaciamiento de 2.5m x 2.5 m + Concreto proyectado con un espesor de 5 cm + Malla electrosoldada ocasional.

Tabla N° 21. Cálculo del Índice RMR y Clase del macizo rocoso – Estación geomecánica N° 09.

| 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     |   |
| RQD %   | 90-100 (20) x    | 75-90 (17)     | 50-75 (13)    | 25-50 (8)       | < 25 (3)          | 2                   | 17     |   |
| 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<br>A | 2 |
|   | ABERT.           | Cerrada (6)    | <0.1mm (5) x  | 0.1-1mm (4)     | 1-5mm (1)         | >5mm (0)            | 4<br>B | 4 |
|   | RUGOS.           | Muy Rug. (6)   | Rug. (5) x    | Lig. Rug. (3)   | Lisa (1)          | Espej. De Falla (0) | 4<br>C | 3 |
|   | RELLEN.          | Limpia (6)     | Duro <5mm (4) | Duro >5mm (2) x | Suave <5mm (1)    | Suave >5mm (0)      | 4<br>D | 1 |
|   | ALTER.           | Sana (6) x     | Lig. Alt. (5) | Mod. Alt. (3)   | Muy Alt. (2)      | Descomp. (0)        | 4<br>E | 5 |
| AGUA SUBTERRANEA                                      | Seco (15) x      | 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     |   |
| <b>VALOR TOTAL RMR (SUMA DE VALORACIÓN DE 1 AL 6)</b> |                  |                |               |                 |                   | <b>67</b>           |        |   |
| <b>CLASE DE MACISO ROCOSO</b>                         |                  |                |               |                 |                   |                     |        |   |
| 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        |                     |        |   |

Fuente: Elaboración propia

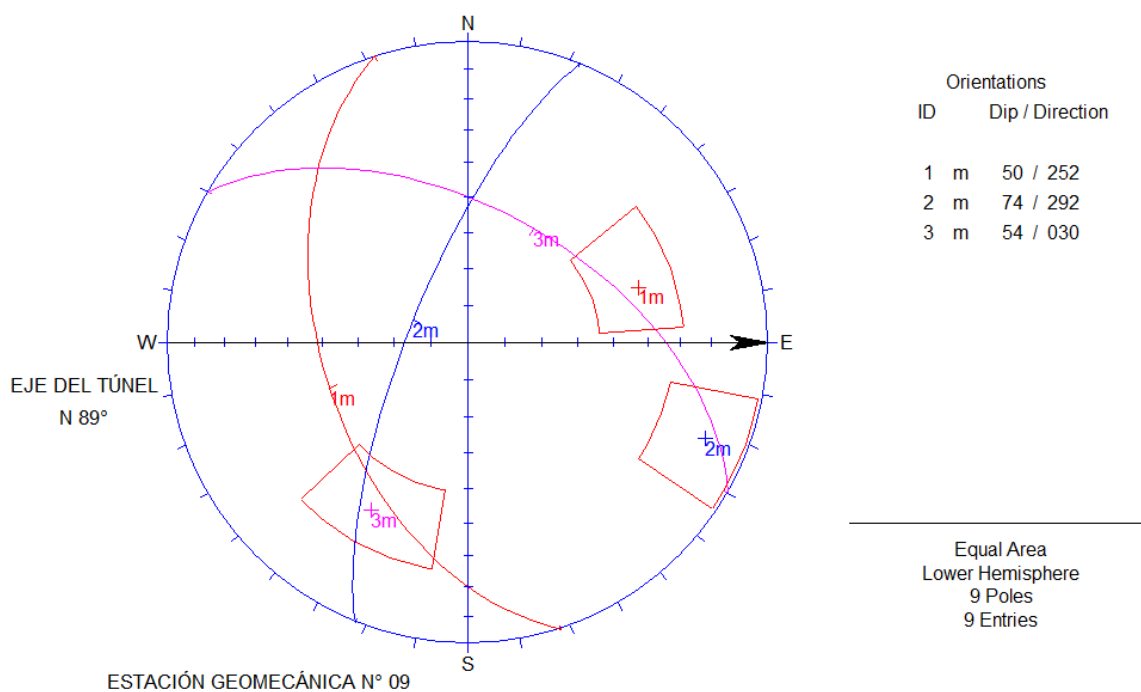


Figura N° 15. *Estereograma de la estación geomecánica N° 09. Fuente: Elaboración propia.*

### Estación Geomecánica N° 10

Comprendida entre las progresivas: Km 39+050.00 – Km 39+150.00, con una orientación del túnel: N 89°.

El RMR para esta estación geomecánica es de 66, roca tipo II de buena calidad para lo cual se reforzará el sostenimiento según la *Tabla N° 3*, donde nos indica: Bulones de 3 metros de longitud con un espaciamiento de 2.5m x 2.5 m + Concreto proyectado con un espesor de 5 cm + Malla electrosoldada ocasional.

Tabla N° 22. Cálculo del Índice RMR y Clase del macizo rocoso – Estación geomecánica N° 10.

| VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)                 |              |                  |              |               |               |               |                     |           |    |
|---|--------------|------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------------|-----------|----|
| PARAMETRO   |              | RANGO DE VALORES |              |               |               |               |                     | VALOR     |    |
| R. COMPRES. UNIAxIAL (Mpa.)                           | >250 (15)    | 100-250 (12)     | x            | 50-100 (7)    | 25-50 (4)     | <25(2) <5(1)  | <1(0)               | 1         | 7  |
|   | 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         | 4  |
|   | ABERT.       | Cerrada (6)      |              | <0.1mm (5)    | x             | 0.1-1mm (4)   | 1-5mm (1)           | 4         | 4  |
|   | RUGOS.       | Muy Rug. (6)     | x            | Rug. (5)      | Lig. Rug. (3) | Lisa (1)      | Espej. De Falla (0) | 4         | 5  |
|   | RELLEN.      | Limpia (6)       |              | Duro <5mm (4) | x             | Duro >5mm (2) | Suave <5mm (1)      | 4         | 2  |
|   | ALTER.       | Sana (6)         |              | Lig. Alt. (5) | x             | Mod. Alt. (3) | Muy Alt. (2)        | 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 |
| <b>VALOR TOTAL RMR (SUMA DE VALORACIÓN DE 1 AL 6)</b> |              |                  |              |               |               |               |                     | <b>66</b> |    |
| <b>CLASE DE MACIZO ROCOSO</b>                         |              |                  |              |               |               |               |                     |           |    |
| 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            |                     |           |    |

Fuente: Elaboración propia

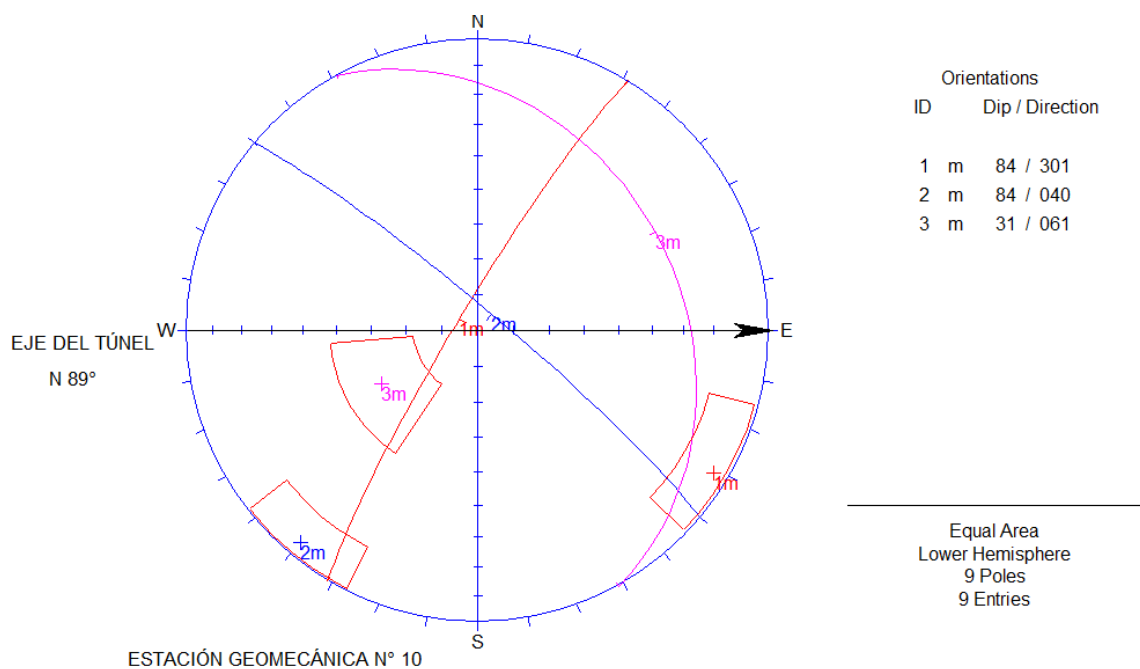


Figura N° 16. *Estereograma de la estación geomecánica N° 10. Fuente: Elaboración propia.*

### Estación Geomecánica N° 11

Comprendida entre las progresivas: Km 40+050.00 – Km 40+150.00, con una orientación del túnel: N 89°.

El RMR para esta estación geomecánica es de 59, roca tipo III de regular calidad para lo cual se reforzará el sostenimiento según la *Tabla N° 3*, donde nos indica: Bulones de 3 metros de longitud con un espaciamiento de 1.5m x 1.5 m + Concreto proyectado con un espesor de 8 cm + Malla electrosoldada.

Tabla N° 23. Cálculo del Índice RMR y Clase del macizo rocoso – Estación geomecánica N° 11.

| VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)          |                  |              |               |              |               |                    |                     |        |   |
|--|------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------------|---------------------|--------|---|
| PARAMETRO                                      | RANGO DE VALORES |              |               |              |               |                    | VALOR               |        |   |
| R. COMPRES. UNIAxIAL (Mpa.)                    | >250 (15)        | 100-250 (12) | x             | 50-100 (7)   | 25-50 (4)     | <25(2) <5(1) <1(0) | 1                   | 7      |   |
| 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<br>A | 2 |
|  | ABERT.           | Cerrada (6)  | <0.1mm (5)    | x            | 0.1-1mm (4)   | 1-5mm (1)          | >5mm (0)            | 4<br>B | 4 |
|  | RUGOS.           | Muy Rug. (6) | Rug. (5)      | x            | Lig. Rug. (3) | Lisa (1)           | Espej. De Falla (0) | 4<br>C | 5 |
|  | RELLEN.          | Limpia (6)   | Duro <5mm (4) | x            | Duro >5mm (2) | Suave <5mm (1)     | Suave >5mm (0)      | 4<br>D | 2 |
|  | ALTER.           | Sana (6)     | Lig. Alt. (5) | x            | Mod. Alt. (3) | Muy Alt. (2)       | Descomp. (0)        | 4<br>E | 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) |                  |              |               |              |               |                    | 59                  |        |   |
| 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    |                    |                     |        |   |

Fuente: Elaboración propia



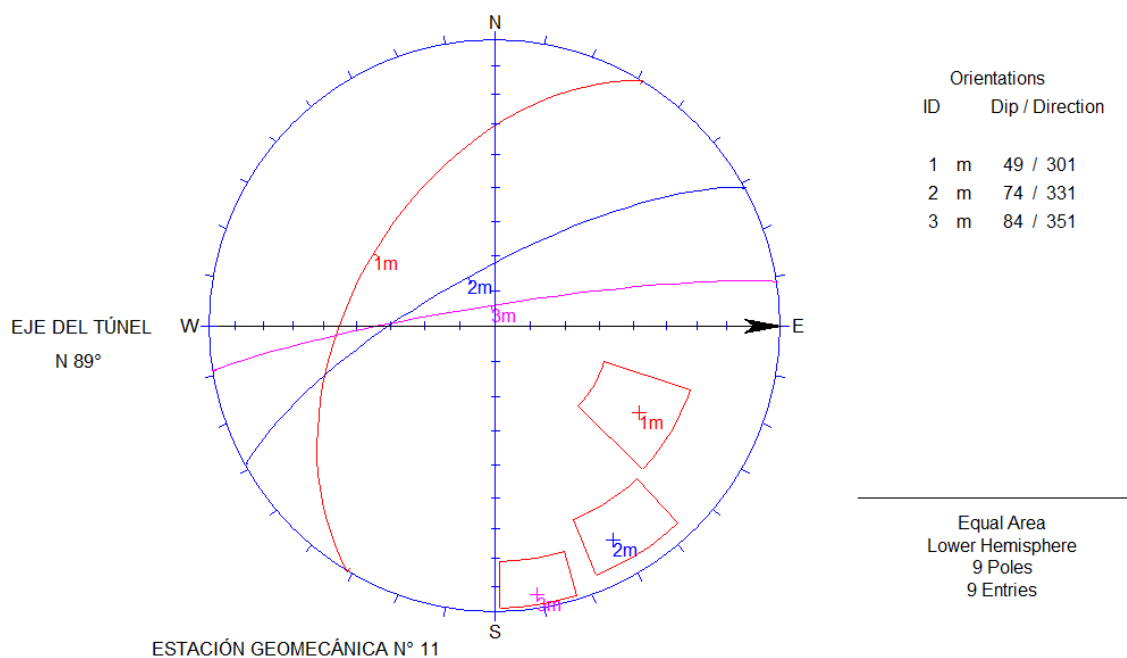


Figura N° 17. *Estereograma de la estación geomecánica N° 11. Fuente: Elaboración propia.*

### Estación Geomecánica N° 12

Comprendida entre las progresivas: Km 41+050.00 – Km 41+150.00, con una orientación del túnel: N 50°.

El RMR para esta estación geomecánica es de 67, roca tipo II de buena calidad para lo cual se reforzará el sostenimiento según la *Tabla N° 3*, donde nos indica: Bulones de 3 metros de longitud con un espaciamiento de 2.5m x 2.5 m + Concreto proyectado con un espesor de 5 cm + Malla electrosoldada ocasional.

Tabla N° 24. Cálculo del Índice RMR y Clase del macizo rocoso – Estación geomecánica N° 12.

| VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)                 |                       |                       |                     |               |                       |                     |        |   |
|---|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------|-----------------------|---------------------|--------|---|
| PARAMETRO   | RANGO DE VALORES      |                       |                     |               |                       | VALOR               |        |   |
| R. COMPRE. UNIAxIAL (Mpa.)                            | >250 (15) <b>x</b>    | 100-250 (12)          | 50-100 (7)          | 25-50 (4)     | <25(2) <5(1) <1(0)    | 1                   | 12     |   |
| RQD %   | 90-100 (20) <b>x</b>  | 75-90 (17)            | 50-75 (13)          | 25-50 (8)     | < 25 (3)              | 2                   | 17     |   |
| ESPACIAM. (m)   | > 2 (20)              | 0.6- 2 (15) <b>x</b>  | 0.2-0.6 (10)        | 0.06-0.2 (8)  | <0.06 (5)             | 3                   | 10     |   |
| CONDICIÓN DE JUNTAS                                   | PERSIS.               | <1m (6)               | 1-3m (4) <b>x</b>   | 3-10m (2)     | 10-20m (1)            | >20m (0)            | 4<br>A | 2 |
|   | ABERT.                | Cerrada (6)           | <0.1mm (5) <b>x</b> | 0.1-1mm (4)   | 1-5mm (1)             | >5mm (0)            | 4<br>B | 4 |
|   | RUGOS.                | Muy Rug. (6) <b>x</b> | Rug. (5)            | Lig. Rug. (3) | Lisa (1)              | Espej. De Falla (0) | 4<br>C | 5 |
|   | RELLEN.               | Limpia (6) <b>x</b>   | Duro <5mm (4)       | Duro >5mm (2) | Suave <5mm (1)        | Suave >5mm (0)      | 4<br>D | 4 |
|   | ALTER.                | Sana (6)              | Lig. Alt. (5)       | Mod. Alt. (3) | Muy Alt. (2) <b>x</b> | Descomp. (0)        | 4<br>E | 0 |
| AGUA SUBTERRANEA <b>x</b>                             | Seco (15)             | Humedo (10)           | Mojado (7)          | Goteo (4)     | Flujo (0)             | 5                   | 15     |   |
| AJUSTE ORIENT. DE DISCONTINUIDADES                    | Muy Fav. (0) <b>x</b> | Fav. (-2)             | Regular (-5)        | Desfav. (-10) | Muy Desfav. (-12)     | 6                   | -2     |   |
| <b>VALOR TOTAL RMR (SUMA DE VALORACIÓN DE 1 AL 6)</b> |                       |                       |                     |               |                       | <b>67</b>           |        |   |
| <b>CLASE DE MACISO ROCOSO</b>                         |                       |                       |                     |               |                       |                     |        |   |
| RMR   | 100-81                | 80-61                 | 60-41               | 40-21         | 20-0                  | <b>II</b>           |        |   |
| DESCRIPCIÓN   | I MUY BUENA           | II BUENA              | III REGULAR         | IV MALA       | V MUY MALA            |                     |        |   |

Fuente: Elaboración propia

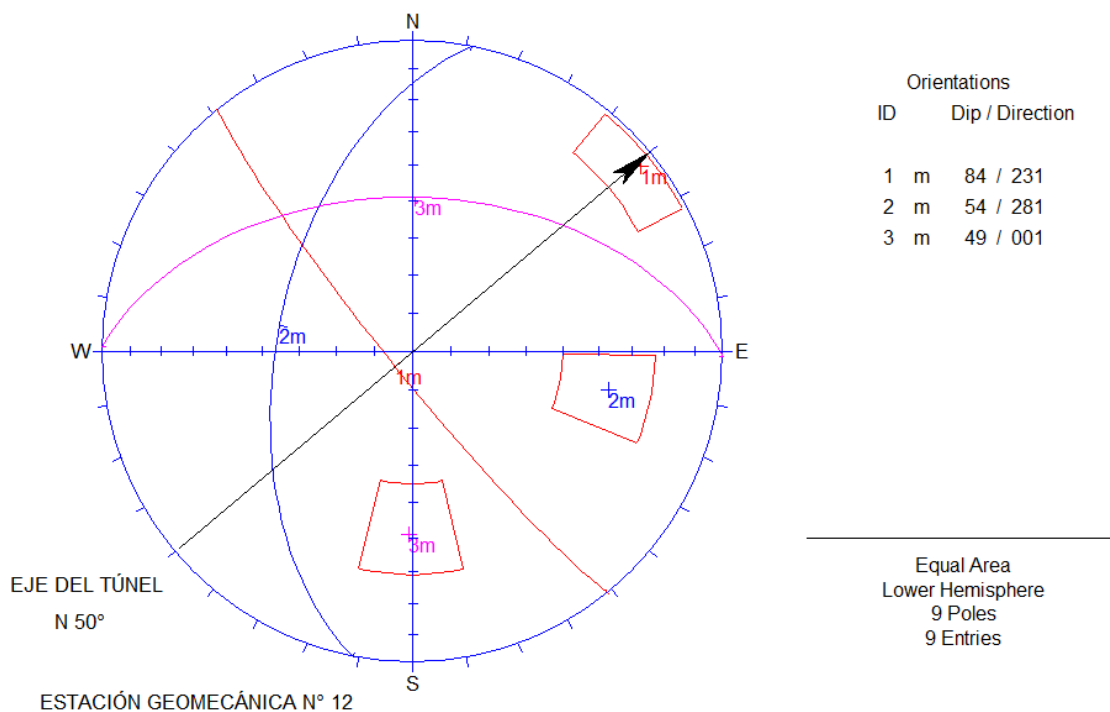


Figura N° 18. *Estereograma de la estación geomecánica N° 12. Fuente: Elaboración propia.*

### Estación Geomecánica N° 13

Comprendida entre las progresivas: Km 42+050.00 – Km 42+150.00, con una orientación del túnel: N 50°.

El RMR para esta estación geomecánica es de 69, roca tipo II de buena calidad para lo cual se reforzará el sostenimiento según la *Tabla N° 3*, donde nos indica: Bulones de 3 metros de longitud con un espaciamiento de 2.5m x 2.5 m + Concreto proyectado con un espesor de 5 cm + Malla electrosoldada ocasional.

Tabla N° 25. Cálculo del Índice RMR y Clase del macizo rocoso – Estación geomecánica N° 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) x    | 75-90 (17)     | 50-75 (13)      | 25-50 (8)     | < 25 (3)           | 2                   | 17     |   |
| 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<br>A | 4 |
|   | ABERT.           | Cerrada (6)    | <0.1mm (5)      | 0.1-1mm (4) x | 1-5mm (1)          | >5mm (0)            | 4<br>B | 1 |
|   | RUGOS.           | Muy Rug. (6) x | Rug. (5)        | Lig. Rug. (3) | Lisa (1)           | Espej. De Falla (0) | 4<br>C | 5 |
|   | RELLEN.          | Limpia (6)     | Duro <5mm (4) x | Duro >5mm (2) | Suave <5mm (1)     | Suave >5mm (0)      | 4<br>D | 2 |
|   | ALTER.           | Sana (6) x     | Lig. Alt. (5)   | Mod. Alt. (3) | Muy Alt. (2)       | Descomp. (0)        | 4<br>E | 5 |
| AGUA SUBTERRANEA                                      | Seco (15) x      | 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     |   |
| <b>VALOR TOTAL RMR (SUMA DE VALORACIÓN DE 1 AL 6)</b> |                  |                |                 |               |                    | <b>69</b>           |        |   |
| <b>CLASE DE MACIZO ROCOSO</b>                         |                  |                |                 |               |                    |                     |        |   |
| RMR   | 100-81           | 80-61          | 60-41           | 40-21         | 20-0               | <b>II</b>           |        |   |
| DESCRIPCIÓN   | I MUY BUENA      | II BUENA       | III REGULAR     | IV MALA       | V MUY MALA         |                     |        |   |

Fuente: Elaboración propia

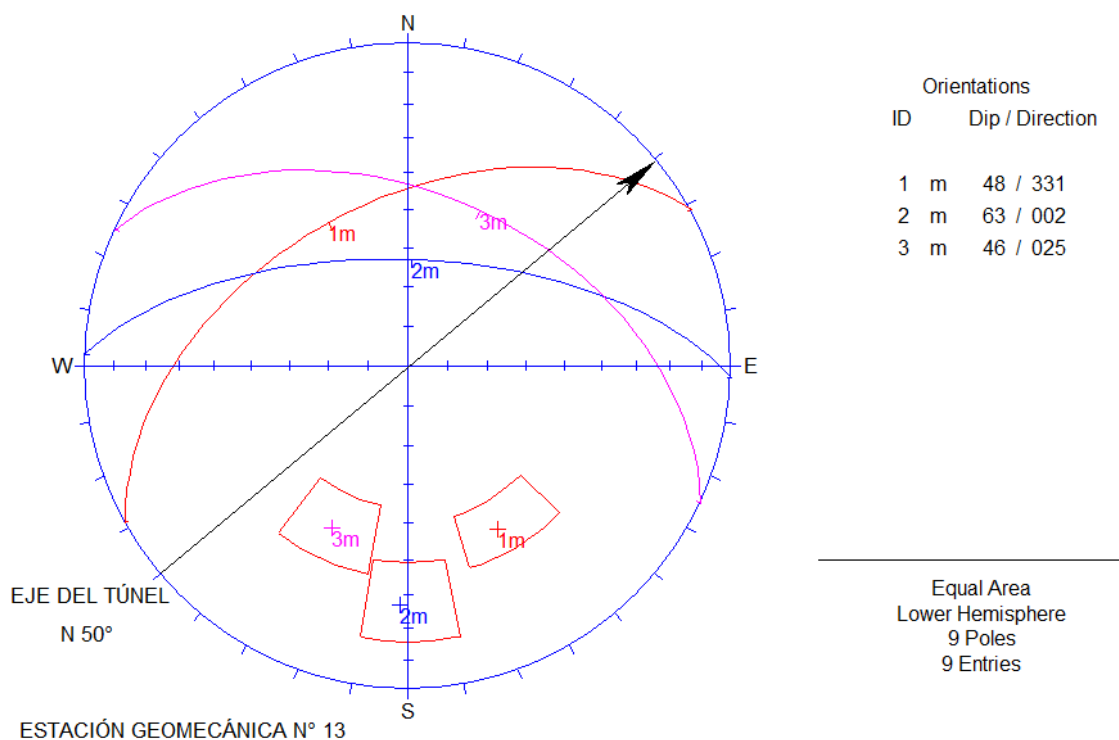


Figura N° 19. *Estereograma de la estación geomecánica N° 13. Fuente: Elaboración propia.*

## 5.2.7 Determinación del tipo de Sostenimiento según la Clasificación Geomecánica de

### Bieniawski (1989)

Una vez determinado el tipo de roca, se recurre a la *Tabla N° 3*, para obtener el tipo de sostenimiento, tal como se mencionó en el ítem anterior. A continuación, se muestra los sostenimientos recomendados:

Tabla N° 26. *Tipo de sostenimiento para los túneles según la Clasificación geomecánica de Bieniawski (1989).*

| TIPO DE ROCA | ESTACIONES GEOMECAICAS    | TIPO DE SOSTENIMIENTO  |
|--------------|---------------------------|--|
| II           | 2, 3, 6, 7, 9, 10, 12, 13 | Bulones de 3 metros de longitud con un espaciamento de 2.5m x 2.5 m + Concreto proyectado con un espesor de 5 cm + Malla electrosoldada ocasional. |
| III          | 1, 4, 5, 8, 11            | Bulones de 3 metros de longitud con un espaciamento de 1.5m x 1.5 m + Concreto proyectado con un espesor de 8 cm + Malla electrosoldada.           |

*Fuente: Elaboración propia*

### 5.2.8 Cálculo del índice Q según la Clasificación Geomecánica de Barton (1974)

Para calcular el índice Q, usaremos la ecuación de correlación entre los índices Q y RMR, la cual fue mencionada en el ítem 2.2.1.1.5 *Correlación entre el índice RMR de Bieniawski y el índice Q de Barton.*

$$Q = e^{\frac{RMR-44}{9}}$$

Tabla N° 27. *Cálculo del Índice Q y Clase del macizo rocoso por estación geomecánica.*

| ESTACIONES GEOMECAICAS     | Índice Q | Clase de Macizo Rocos |
|----------------------------|----------|-----------------------|
| Estación geomecánica N° 01 | 3,04     | ROCA MALA             |
| Estación geomecánica N° 02 | 11.52    | ROCA BUENA            |
| Estación geomecánica N° 03 | 10,31    | ROCA BUENA            |
| Estación geomecánica N° 04 | 3,39     | ROCA MALA             |
| Estación geomecánica N° 05 | 3.04     | ROCA MALA             |
| Estación geomecánica N° 06 | 10,31    | ROCA BUENA            |
| Estación geomecánica N° 07 | 11,52    | ROCA BUENA            |
| Estación geomecánica N° 08 | 4,74     | ROCA MEDIA            |

|                                   |       |            |
|-----------------------------------|-------|------------|
| <b>Estación geomecánica N° 09</b> | 12,88 | ROCA BUENA |
| <b>Estación geomecánica N° 10</b> | 11,52 | ROCA BUENA |
| <b>Estación geomecánica N° 11</b> | 5,29  | ROCA MEDIA |
| <b>Estación geomecánica N° 12</b> | 12,88 | ROCA BUENA |
| <b>Estación geomecánica N° 13</b> | 16,08 | ROCA BUENA |

*Fuente: Elaboración propia*

Asimismo, se calculó el ESR (Relación de sostenimiento de excavación) el cual se encuentra en la Tabla N° 4. *Coefficiente de soporte para el tipo de excavación, ESR*. Posteriormente se procedió a calcular la Dimensión Equivalente de la Excavación (De), parámetro definido por Barton (1974). Ambos parámetros servirán para determinar el tipo de sostenimiento a emplear. (Índice Q y De). Según la Tabla N° 04, nos indica que para túneles carreteros el valor de ESR es de 1.3. Además, se sabe que el ancho promedio del túnel es de 13.20m, por lo tanto, el valor de la Dimensión Equivalente de la Excavación (De) será el siguiente:

$$De = \text{Ancho del túnel} / \text{ESR} = 13.20 / 1.3 = \mathbf{10.15}$$

### **5.2.9 Determinación del tipo de Sostenimiento según la Clasificación Geomecánica de Barton (1974)**

Luego de haber obtenido los valores de la Dimensión Equivalente de la Excavación (De) y el Índice Q, se hizo uso del Ábaco de sostenimiento del macizo rocoso según Barton (Ver Figura N° 2), obteniéndose el siguiente resultado:

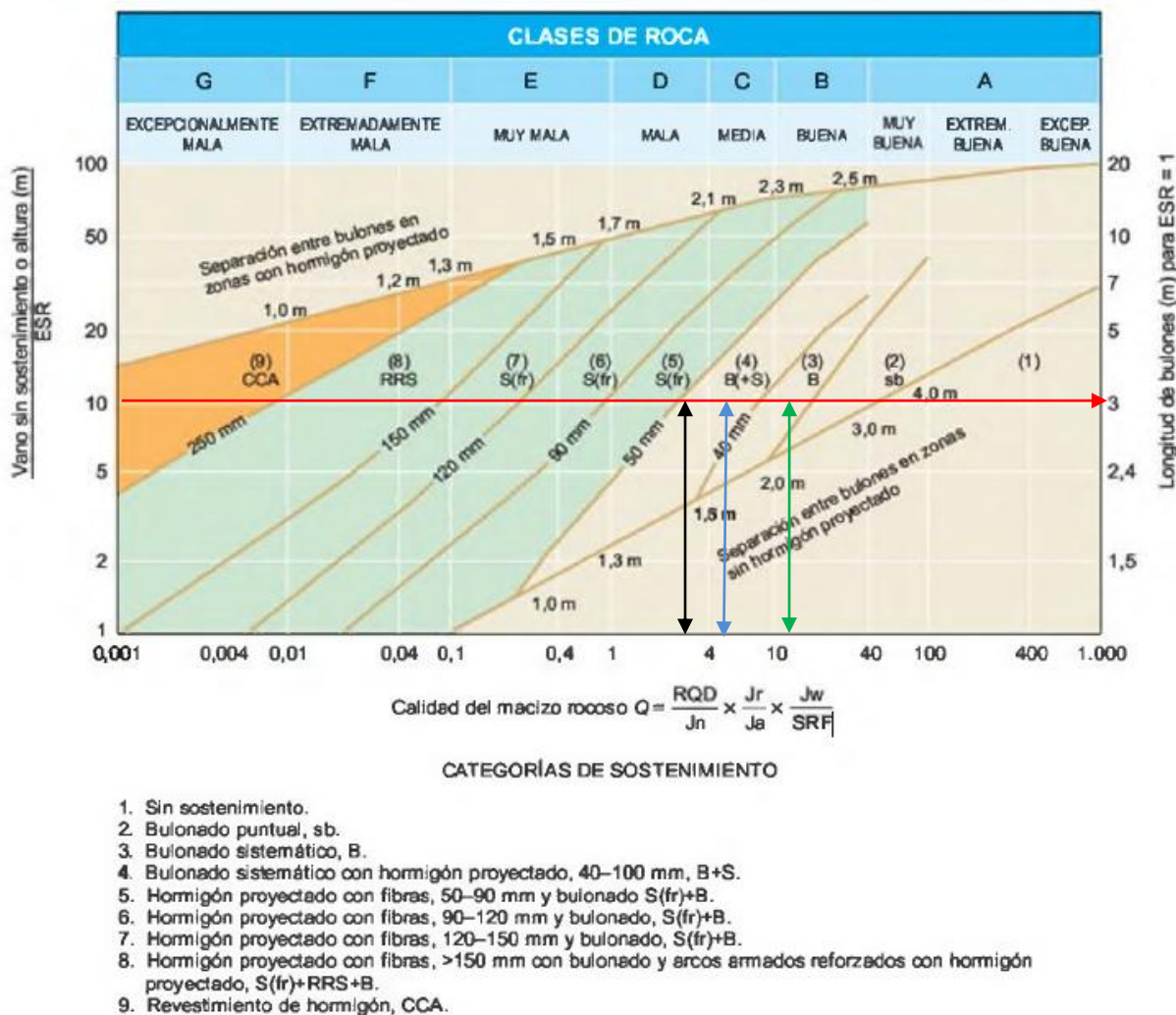


Figura N° 2. *Ábaco de sostenimiento para túneles en roca. Fuente: (Barton, 2000).*

Según el cálculo del índice Q se determinó que existe roca: mala, media y buena, y al momento de hacer uso del ábaco (Figura N° 2) se concluyó que el sostenimiento aplicado para la roca mala es la misma para la roca media, por lo tanto, el sostenimiento a emplear será el siguiente:



Tabla N° 28. Tipo de sostenimiento según la Clasificación geomecánica de Barton (1974).

| CLASE DE ROCA | ESTACIONES GEOMECAICAS    | TIPO DE SOSTENIMIENTO   |
|---------------|---------------------------|---|
| BUENA         | 2, 3, 6, 7, 9, 10, 12, 13 | Bulones de 3.00 metros de longitud con un espaciamiento de 2.5m x 2.5m  |
| MEDIA         | 1, 4, 5, 8, 11            | Bulones de 3.00 metros de longitud con un espaciamiento de 1.5m x 1.5 m + Concreto proyectado con un espesor de 5 cm. |

*Fuente: Elaboración propia*

### 5.2.10 Clasificación del tipo de roca según progresivas y ejes de la vía

Luego de clasificar al macizo rocoso, se optó por considerar a criterio al resto de las progresivas donde la cobertura era mayor, como roca tipo II (Roca buena), y a las de menos cobertura, en quebradas como roca tipo III (Roca media), ya que a mayor cobertura el esfuerzo natural del macizo rocoso es mayor y viceversa, quedando la clasificación de la siguiente manera:

Tabla N° 29. Clasificación del tipo de roca según progresiva – Eje 01.

| EJE 01          |                  |
|-----------------|------------------|
| PROGRESIVA      | RMR - Q          |
| 29+640 - 30+000 | III - ROCA MEDIA |
| 30+020 - 30+900 | II - ROCA BUENA  |
| 30+920 - 31+100 | III - ROCA MEDIA |
| 31+120 - 32+000 | II - ROCA BUENA  |
| 32+320 - 32+300 | III - ROCA MEDIA |
| 32+320 - 33+550 | II - ROCA BUENA  |
| 33+560 - 33+850 | III - ROCA MEDIA |
| 33+860 - 34+150 | II - ROCA BUENA  |
| 34+160 - 34+300 | III - ROCA MEDIA |
| 34+320 - 35+100 | II - ROCA BUENA  |
| 35+120 - 35+200 | III - ROCA MEDIA |
| 35+220 - 36+500 | II - ROCA BUENA  |
| 36+520 - 36+650 | III - ROCA MEDIA |
| 36+660 - 37+450 | II - ROCA BUENA  |
| 37+460 - 37+700 | III - ROCA MEDIA |
| 37+720 - 38+800 | II - ROCA BUENA  |
| 38+820 - 39+200 | III - ROCA MEDIA |
| 39+220 - 39+750 | II - ROCA BUENA  |
| 39+760 - 39+950 | III - ROCA MEDIA |
| 39+960 - 41+300 | II - ROCA BUENA  |
| 41+320 - 41+700 | III - ROCA MEDIA |
| 41+720 - 42+500 | II - ROCA BUENA  |
| 42+520 - 42+600 | III - ROCA MEDIA |

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 30. Clasificación del tipo de roca según progresiva – Eje 02.

| EJE 02          |                  |
|-----------------|------------------|
| PROGRESIVA      | RMR - Q          |
| 29+600 - 30+000 | III - ROCA MEDIA |
| 30+020 - 30+900 | II - ROCA BUENA  |
| 30+920 - 31+100 | III - ROCA MEDIA |
| 31+120 - 32+000 | II - ROCA BUENA  |
| 32+320 - 32+300 | III - ROCA MEDIA |
| 32+320 - 33+550 | II - ROCA BUENA  |
| 33+560 - 33+850 | III - ROCA MEDIA |
| 33+860 - 34+150 | II - ROCA BUENA  |
| 34+160 - 34+300 | III - ROCA MEDIA |
| 34+320 - 35+100 | II - ROCA BUENA  |
| 35+120 - 35+200 | III - ROCA MEDIA |
| 35+220 - 36+500 | II - ROCA BUENA  |
| 36+520 - 36+650 | III - ROCA MEDIA |
| 36+660 - 37+450 | II - ROCA BUENA  |
| 37+460 - 37+700 | III - ROCA MEDIA |
| 37+720 - 38+800 | II - ROCA BUENA  |
| 38+820 - 39+200 | III - ROCA MEDIA |
| 39+220 - 39+750 | II - ROCA BUENA  |
| 39+760 - 39+950 | III - ROCA MEDIA |
| 39+960 - 42+500 | II - ROCA BUENA  |
| 42+520 - 42+600 | III - ROCA MEDIA |

*Fuente: Elaboración propia*

### 5.2.11 Cálculo del Factor de Seguridad (F.S.)

Para el cálculo del factor de seguridad se hizo uso del software Phase 2 en su versión 8.0. Phase 2 es un programa de elementos finitos 2D que analiza el estrés para excavaciones subterráneas o de superficie en suelo o roca.

Se determinaron los factores de seguridad de las secciones críticas de los túneles según el tipo de roca y con los sostenimientos según las recomendaciones de Bieniawski y Barton.

Para esto se crearon las secciones de los túneles y un cuadro que representa el material externo, a continuación, se dieron las propiedades al macizo rocoso las cuales se encuentran en el ítem 5.2.1.1 *Toma de muestras de rocas* (Módulo de Young, coeficiente de poisson, resistencia a la compresión uniaxial, etc.), para este caso se eligió el criterio de rotura de Hoek – Brown al tratarse de roca. Las tensiones son provocadas por la propia gravedad, teniendo los túneles una cobertura máxima de 410m en roca tipo II (Roca buena) en la progresiva Km 32+900.00 y 220m en roca tipo III (Roca media) en la progresiva 39+100.00.

Una vez definido el material se procede a la excavación, luego se añaden los sostenimientos (bulones, shotcrete) según lo determinado para cada situación, posteriormente se procede a darle propiedades a los elementos de sostenimiento. Para los bulones usamos pernos de anclaje pasivos de 25mm de diámetro que admiten una tracción de 0.1 MN, módulo de elasticidad de 200 000MPa. Los bulones se han pretensado al 70% de su capacidad.

El shotcrete tiene un módulo de Young de 30 000 MPa y un coeficiente de poisson de 0.2, el espesor fue de 0.10m (5cm preventivo y 5cm definitivo).

Se creó una malla al que se dio graduación de 0.1 y 500 nodos.

A continuación, se le asignan cargas en la superficie en contra del material y se configura con valores de 0 a 1 siendo 0 la cifra cuando el sostenimiento no soporta ningún peso y 1 cuando soporta todo el peso del material. Finalmente se procede a calcular y presentar los resultados.

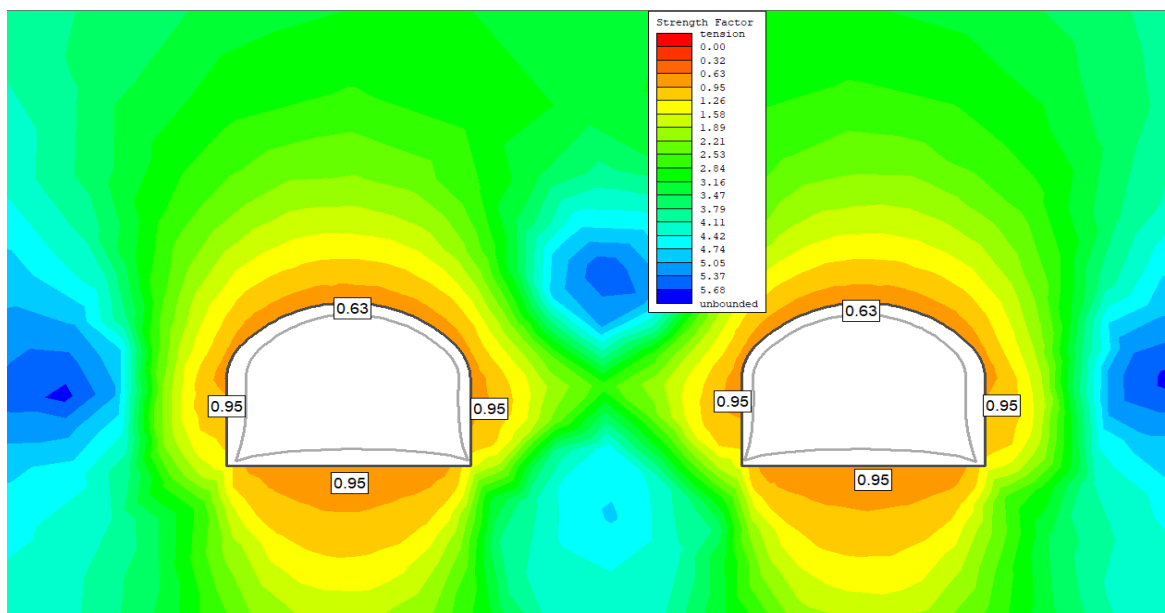


Figura N° 20. Factor de seguridad sin sostenimiento, luego de la excavación a sección completa.

*Fuente: Elaboración propia.*

Como se puede apreciar en la Figura N° 20, el factor de seguridad mínimo sin sostenimiento es de 0.63, el cual se encuentra en el clave (bóveda), dicha estructura es inestable según lo que nos indica la teoría ubicada en el ítem 2.2.2 Factor de Seguridad, por lo que se procedió a calcular el factor con los sostenimientos recomendados.

## ROCA TIPO II - BIENIAWSKI

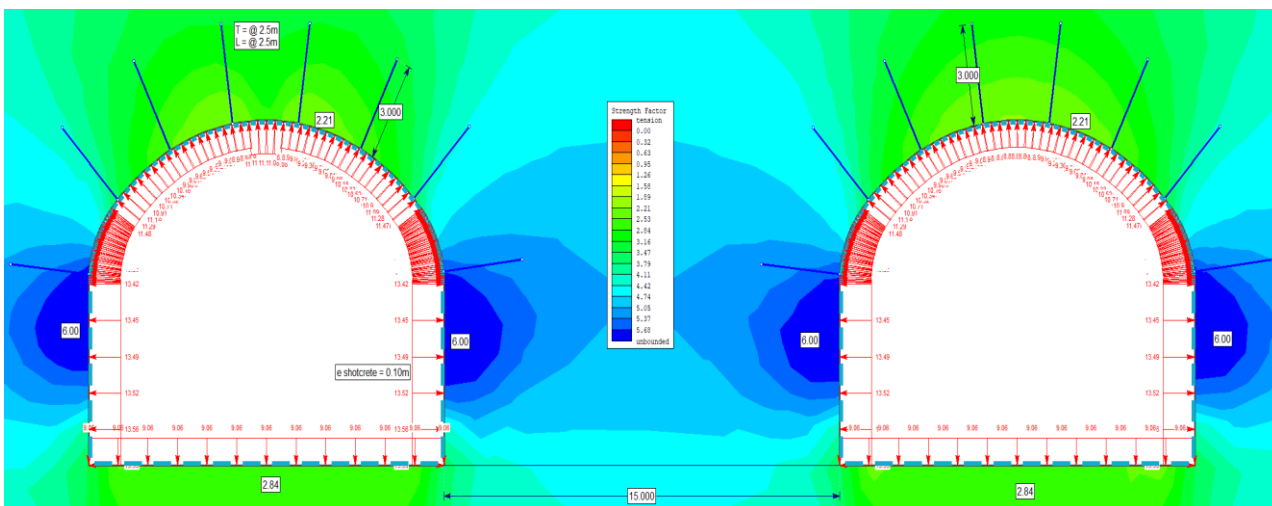


Figura N° 21. Factor de seguridad con sostenimiento para roca tipo II (RMR: 61 - 80).

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa, las secciones de los túneles carreteros tienen un factor de seguridad mínimo de 2.21 en las bóvedas, 2.84 en las contrabóvedas y 6.00 en los hastiales, los cuales superan al establecido por norma (1.5 estático). La cobertura máxima respecto a los ejes fue de 410m. Se emplearon pernos de anclaje pasivos de 25mm x 3 metros de longitud con un espaciamiento de 2.5m x 2.5 m + Concreto proyectado con un espesor de 10 cm (5cm preventivo + 5cm definitivo).

### ROCA TIPO III - BIENIAWSKI

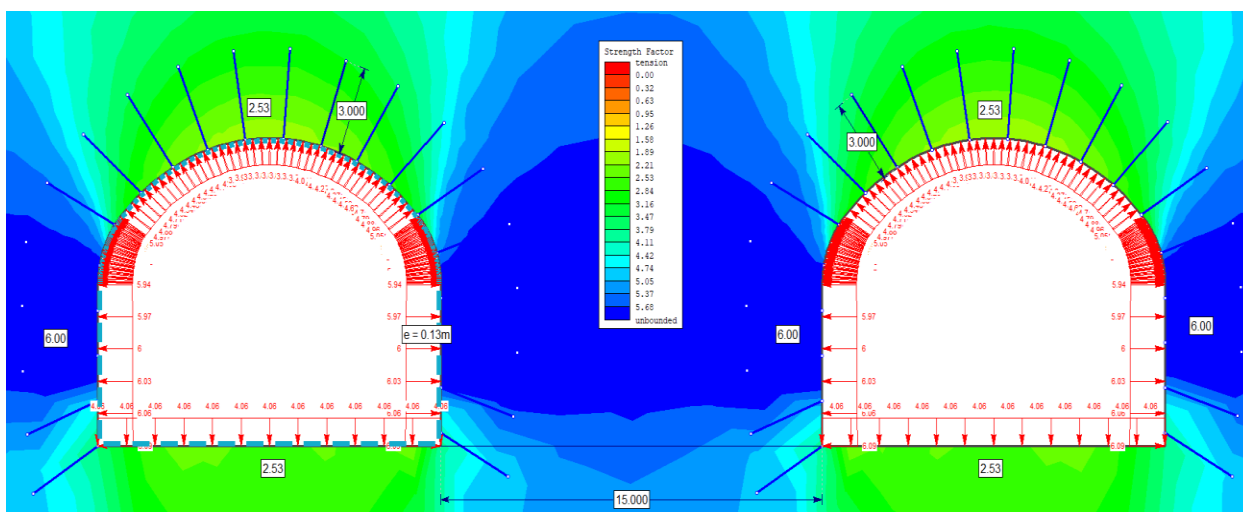


Figura N° 22. Factor de seguridad con sostenimiento para roca tipo III (RMR: 41-60).

*Fuente: Elaboración propia.*

Como se observa, las secciones de los túneles carreteros tienen un factor de seguridad mínimo de 2.53 en las bóvedas y contrabóvedas; y 6.00 en los hastiales, los cuales superan al establecido por norma (1.5 estático). La cobertura máxima respecto a los ejes fue de 220m. Se emplearon pernos de anclaje pasivos de 25mm x 3 metros de longitud con un espaciamiento de 1.5m x 1.5 m + Concreto proyectado con un espesor de 13cm (5cm preventivo + 8cm definitivo) + Malla electrosoldada de 4" x 4".

## ROCA BUENA - BARTON

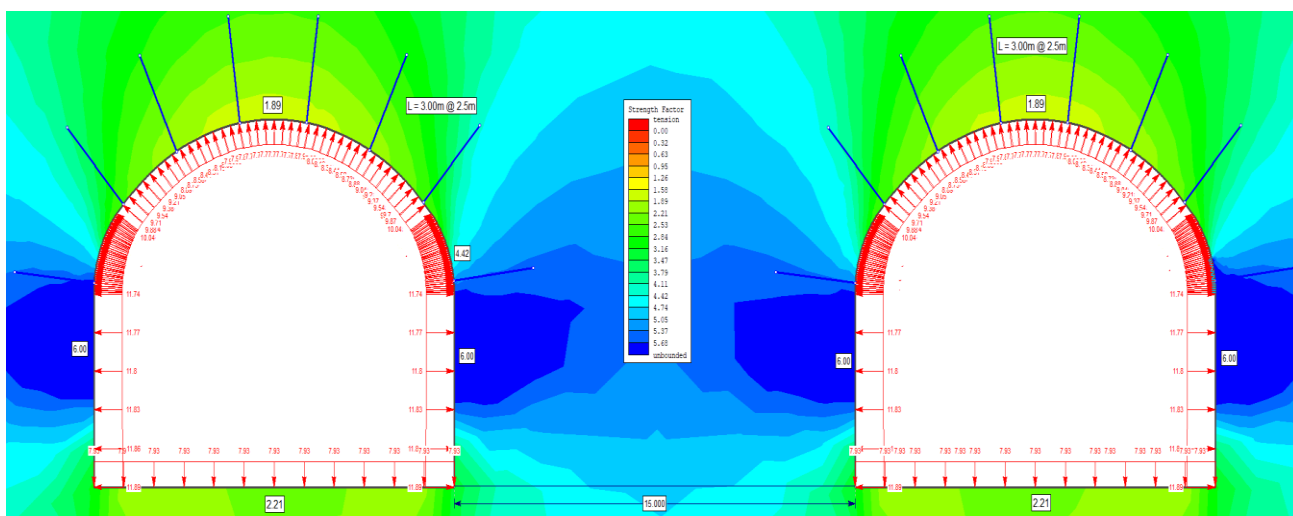


Figura N° 23. Factor de seguridad con sostenimiento para roca buena ( $Q$ : 10 - 40).

*Fuente: Elaboración propia.*

Como se observa, las secciones de los túneles carreteros tienen un factor de seguridad mínimo de 1.89 en las bóvedas, 2.21 en las contrabóvedas y 6.00 en los hastiales, los cuales superan al establecido por norma (1.5 estático). La cobertura máxima respecto a los ejes fue de 410m. Se emplearon pernos de anclaje pasivos de 25mm x 3 metros de longitud con un espaciamiento de 2.5m x 2.5 m.



## ROCA MEDIA - BARTON

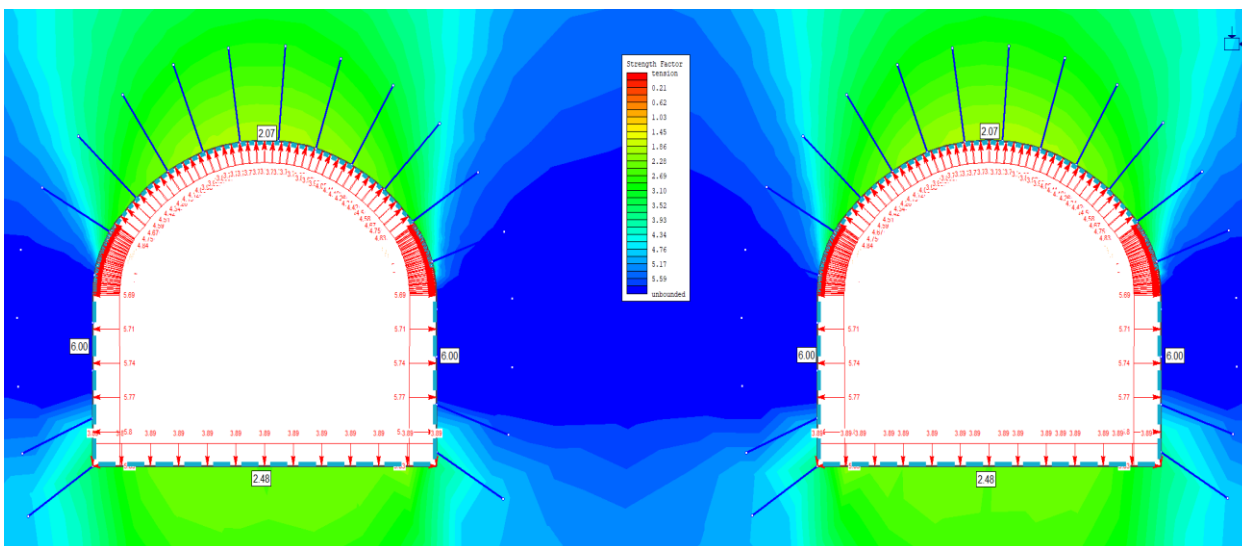


Figura N° 24. Factor de seguridad con sostenimiento para roca media ( $Q$ : 4 - 10).

*Fuente: Elaboración propia.*

Como se observa, las secciones de los túneles carreteros tienen un factor de seguridad mínimo de 2.07 en las bóvedas, 2.48 en las contrabóvedas y 6.00 en los hastiales, los cuales superan al establecido por norma (1.5 estático). La cobertura máxima respecto a los ejes fue de 220m. Se emplearon pernos de anclaje pasivos de 25mm x 3 metros de longitud con un espaciamiento de 1.5m x 1.5 m + Concreto proyectado con un espesor de 10cm (5cm preventivo + 5cm definitivo).

## 5.2.12 Cálculo de Costos Unitarios de Sostenimiento

A continuación, se adjunta la tabla resumen de los costos por tipo de sostenimiento con su respectivo análisis de precios unitarios.

### Perno de anclaje pasivo de 25mm x 3.00m

| Partida             | PERNO DE ANCLAJE PASIVO DE 25 MM X 3.00 M                             |             |             |                                  |             |              |        |
|---------------------|---|-------------|-------------|----------------------------------|-------------|--------------|--------|
| Rendimiento         | und/DIA   | MO. 50.0000 | EQ. 50.0000 | Costo unitario directo por : und |             |              | 170.75 |
| Código              | Descripción Recurso   | Unidad      | Cuadrilla   | Cantidad                         | Precio \$/. | Parcial \$/. |        |
| <b>Mano de Obra</b> |   |             |             |                                  |             |              |        |
| 0147010001          | CAPATAZ   | hh          | 1.0000      | 0.1600                           | 26.59       | 4.25         |        |
| 0147010002          | OPERARIO  | hh          | 1.0000      | 0.1600                           | 20.45       | 3.27         |        |
| 0147010003          | OFICIAL   | hh          | 1.0000      | 0.1600                           | 16.60       | 2.66         |        |
| 0147010004          | PEON  | hh          | 2.0000      | 0.3200                           | 14.95       | 4.78         |        |
|                     |   |             |             |                                  |             | <b>14.96</b> |        |
| <b>Materiales</b>   |   |             |             |                                  |             |              |        |
| 0203030105          | BARRA DE ACOPLA DE 15'  | und         |             | 0.0075                           | 1,081.42    | 8.11         |        |
| 0228040002          | BROCA DE 50 MM  | und         |             | 0.0033                           | 132.77      | 0.44         |        |
| 0228040004          | ACOPLES   | pza         |             | 0.0040                           | 85.21       | 0.34         |        |
| 0228040006          | MANGUERA DE 1/2"  | ml          |             | 0.0100                           | 2.35        | 0.02         |        |
| 0228040007          | MANGUERA DE 1"  | ml          |             | 0.0100                           | 2.79        | 0.03         |        |
| 0251130069          | PERNO DE ANCLAJE PASIVO DE 25 MM X 3.00 M                             | und         |             | 1.0000                           | 56.09       | 56.09        |        |
|                     |   |             |             |                                  |             | <b>65.03</b> |        |
| <b>Equipos</b>      |   |             |             |                                  |             |              |        |
| 0337010011          | HERRAMIENTAS MANUALES   | %MO         |             | 5.0000                           | 14.96       | 0.75         |        |
| 0349010093          | JUMBO ELECTRO HIDRAULICO  | hm          | 0.5000      | 0.0800                           | 807.50      | 64.60        |        |
| 0349270097          | GRUPO ELECTROGENO DE 380HP, 250 KW.                                   | hm          | 0.5000      | 0.0800                           | 164.76      | 13.18        |        |
| 0349610062          | PLATAFORMA DE TRABAJO EN ALTURA (ANDAMIO)                             | hm          | 0.5000      | 0.0800                           | 109.59      | 8.77         |        |
| 0349610065          | BOMBA DE INYECCION MANUAL DE 3 LT/MIN                                 | hm          | 1.0000      | 0.1600                           | 6.25        | 1.00         |        |
|                     |   |             |             |                                  |             | <b>88.30</b> |        |
| <b>Subpartidas</b>  |   |             |             |                                  |             |              |        |
| 930101900546        | LECHADA DE CEMENTO PARA PROTECCION DE PERNOS DE ANCLAJES (A/C = 0.45) | m3          |             | 0.0019                           | 405.75      | 0.77         |        |
| 930101900542        | SUMINISTRO DE AGUA EN OBRA  | m3          |             | 0.1000                           | 16.93       | 1.69         |        |
|                     |   |             |             |                                  |             | <b>2.46</b>  |        |

Figura N° 25. APU pernos de anclaje. Fuente: Consorcio Los Ángeles.

### Shotcrete clase C ( $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ )

| Partida      | 1010.B CONCRETO CLASE C ( $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ ). SHOTCRETE SIN FIBRA METALICA |            |            |                                 |             |              |               |
|--------------|---|------------|------------|---------------------------------|-------------|--------------|---------------|
| Rendimiento  | m3/DIA  | MO. 8.0000 | EQ. 8.0000 | Costo unitario directo por : m3 |             |              | 1,369.54      |
| Código       | Descripción Recurso   | Unidad     | Cuadrilla  | Cantidad                        | Precio \$/. | Parcial \$/. |               |
|              | <b>Mano de Obra</b>   |            |            |                                 |             |              |               |
| 0147010001   | CAPATAZ   | hh         | 0.1000     | 0.1000                          | 26.59       | 2.66         |               |
| 0147010002   | OPERARIO  | hh         | 1.0000     | 1.0000                          | 20.45       | 20.45        |               |
| 0147010003   | OFICIAL   | hh         | 1.0000     | 1.0000                          | 16.60       | 16.60        |               |
| 0147010004   | PEON  | hh         | 1.0000     | 1.0000                          | 14.95       | 14.95        |               |
|              |   |            |            |                                 |             |              | <b>54.66</b>  |
|              | <b>Equipos</b>  |            |            |                                 |             |              |               |
| 0337010011   | HERRAMIENTAS MANUALES   | %MO        |            | 5.0000                          | 54.66       | 2.73         |               |
| 0349010102   | COMPRESORA NEUMATICA 240 HP, 700-800 PCM  | hm         | 0.5000     | 0.5000                          | 192.59      | 96.30        |               |
| 0349010103   | SHOTCRETERA 5.5 HP 1-4 CUM/HR 1 1/2" - 2"   | hm         | 1.0000     | 1.0000                          | 582.57      | 582.57       |               |
| 0349270097   | GRUPO ELECTROGENO DE 380HP, 250 KW.   | hm         | 0.4500     | 0.4500                          | 164.76      | 74.14        |               |
| 0349610062   | PLATAFORMA DE TRABAJO EN ALTURA (ANDAMIO)   | hm         | 1.0000     | 1.0000                          | 109.59      | 109.59       |               |
|              |   |            |            |                                 |             |              | <b>865.33</b> |
|              | <b>Subpartidas</b>  |            |            |                                 |             |              |               |
| 930101900528 | PRODUCCION DE CONCRETO CLASE C ( $f'c=280 \text{ KG/CM}^2$ ) PARA SHOTCRETE         | m3         |            | 1.1000                          | 408.68      | 449.55       |               |
|              |   |            |            |                                 |             |              | <b>449.55</b> |

Figura N° 26. APU Shotcrete clase C ( $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ ). Fuente: Consorcio Los Ángeles.

### Malla electrosoldada de 4" x 4"

| Partida     | 1010.F MALLA ELECTROSOLDADA DE 4" X 4" |             |             |                                 |             |              |              |
|-------------|--|-------------|-------------|---------------------------------|-------------|--------------|--------------|
| Rendimiento | m2/DIA                                 | MO. 45.0000 | EQ. 45.0000 | Costo unitario directo por : m2 |             |              | 79.06        |
| Código      | Descripción Recurso                    | Unidad      | Cuadrilla   | Cantidad                        | Precio \$/. | Parcial \$/. |              |
|             | <b>Mano de Obra</b>                    |             |             |                                 |             |              |              |
| 0147010001  | CAPATAZ                                | hh          | 0.5000      | 0.0889                          | 26.59       | 2.36         |              |
| 0147010003  | OFICIAL                                | hh          | 2.0000      | 0.3556                          | 16.60       | 5.90         |              |
| 0147010004  | PEON                                   | hh          | 2.0000      | 0.3556                          | 14.95       | 5.32         |              |
|             |  |             |             |                                 |             |              | <b>13.58</b> |
|             | <b>Materiales</b>                      |             |             |                                 |             |              |              |
| 0202040092  | ALAMBRE NEGRO # 8                      | kg          |             | 0.5000                          | 2.96        | 1.48         |              |
| 0202040093  | ALAMBRE NEGRO # 16                     | kg          |             | 0.2000                          | 2.96        | 0.59         |              |
| 0203030092  | MALLA ELECTROSOLDADA DE 4" X 4"        | m2          |             | 1.1000                          | 39.31       | 43.24        |              |
|             |  |             |             |                                 |             |              | <b>45.31</b> |
|             | <b>Equipos</b>                         |             |             |                                 |             |              |              |
| 0337010011  | HERRAMIENTAS MANUALES                  | %MO         |             | 5.0000                          | 13.58       | 0.68         |              |
| 0348130052  | ELEVADOR PORTATIL Hmax= 5.00 m         | hm          | 1.0000      | 0.1778                          | 109.59      | 19.49        |              |
|             |  |             |             |                                 |             |              | <b>20.17</b> |

Figura N° 27. APU Malla electrosoldada de 4" x 4". Fuente: Consorcio Los Ángeles.

Tabla N° 31. *Costos unitarios por tipo de sostenimiento.*

| <b>COSTOS UNITARIOS POR TIPO DE SOSTENIMIENTO</b>                      |                            |                |
|--|----------------------------|----------------|
| <b>TIPO DE SOSTENIMIENTO</b>   | <b>COSTO TOTAL (SOLES)</b> | <b>UNIDAD</b>  |
| INSTALACIÓN PERNO DE ANCLAJE PASIVO DE 25mm x 3.00m                    | 170.75                     | und            |
| LANZADO DE SHOTCRETE CLASE C (f <sub>c</sub> =280 kg/cm <sup>2</sup> ) | 1369.54                    | m <sup>3</sup> |
| INSTALACIÓN MALLA ELECTROSOLDADA DE 4"x 4"                             | 79.06                      | m <sup>2</sup> |

*Fuente: Consorcio Los Ángeles*

### **5.2.13 Cálculo del Costo Total del Sostenimiento por eje de Túnel según las recomendaciones de Bieniawski y Barton**

Una vez obtenido los costos unitarios, se procedió a la obtención de los metrados de los sostenimientos según las recomendaciones y eje de la vía, los cuales fueron brindados por el Consorcio Los Ángeles. A continuación, se muestran los metrados y costo total por tipo de roca y eje:

**EJE 01**

Tabla N° 32. Cantidad total de pernos de anclaje por tipo de roca en el túnel eje 01 – Bieniawski.

| <b>SOSTENIMIENTO PARA ROCA<br/>TIPO</b>   | <b>II</b>            | <b>SOSTENIMIENTO PARA ROCA<br/>TIPO</b>   | <b>III</b>           |
|---|----------------------|---|----------------------|
| <b>PERNOS DE ANCLAJE 25mm x<br/>3.00m</b> |                      | <b>PERNOS DE ANCLAJE<br/>25mm x 3.00m</b> |                      |
| Longitud de pernos:                       | 3.00m                | Longitud de pernos:                       | 3.00m                |
| Separación longitudinal entre pernos:     | 2.5m                 | Separación longitudinal entre pernos:     | 1.50m                |
| Progresiva inicial:                       |                      | Progresiva inicial:                       |                      |
| Progresiva final:                         |                      | Progresiva final:                         |                      |
| <b>Longitud de tramo:</b>                 | <b>10,050.00 m</b>   | <b>Longitud de tramo:</b>                 | <b>2,910.00 m</b>    |
| <b>CANTIDAD DE PERNOS</b>                 | <b>30,158.00 und</b> | <b>CANTIDAD DE PERNOS</b>                 | <b>37,850.00 und</b> |

Fuente: Consorcio Los Ángeles

Tabla N° 33. Volumen total de shotcrete en el túnel eje 01 - Bieniawski.

| <b>TIPO DE<br/>ROCA</b> | <b>LONGITUD<br/>(m)</b> | <b>A1 -<br/>SECCION<br/>PRIMERA<br/>CAPA</b> | <b>A2 -<br/>SECCION<br/>SEGUNDA<br/>CAPA</b> | <b>VOLUMEN DE<br/>SHOTCRETE<br/>PRIMERA CAPA</b> | <b>VOLUMEN DE<br/>SHOTCRETE<br/>SEGUNDA<br/>CAPA</b> | <b>VOLUMEN<br/>TOTAL DE<br/>SHOTCRETE</b> |
|-------------------------|-------------------------|--|--|--|--|---|
| <b>II</b>               | 10,050.00               | 1.43   | 1.43   | 14,371.50  | 14,371.50  | 28,743.00                                 |
| <b>III</b>              | 2,910.00                | 1.45   | 2.29   | 4,219.50   | 6,663.90   | 10,883.40                                 |
| <b>TOTAL</b>            | <b>12,960.00</b>        |  |  |  |  | <b>39,626.40</b>                          |

Fuente: Consorcio Los Ángeles

Tabla N° 34. Cantidad de Malla electrosoldada en el túnel eje 01 - Bieniawski.

| TIPO DE ROCA | LONGITUD (m) | PERIMETRO ARCO (m) | MALLA ELECTROSOLDADA 4" x 4" (m2) |
|--------------|--------------|--------------------|-----------------------------------|
| II           | 10,050.00    | -                  | -                                 |
| III          | 2,910.00     | 28.61              | 83,255.10                         |
| <b>TOTAL</b> | 12,960.00    |                    | <b>83,255.10</b>                  |

Fuente: Consorcio Los Angeles

Una vez obtenido los metrados y costos unitarios, se procedió a calcular el costo total – eje 01:

Tabla N° 35. Costo total del sostenimiento del túnel eje 01. L = 12 960m - Bieniawski.

| SOSTENIMIENTO                               | UNIDAD | METRADO   | Costo Unitario | COSTO TOTAL             |
|---|--------|-----------|----------------|-------------------------|
|   |        |           | (Soles)        | (Soles)                 |
| PERNO DE ANCLAJE PASIVO DE 25mm x 3.00m     | und    | 68,008.00 | 170.75         | 11,612,366.00           |
| SHOTCRETE CONCRETO CLASE C (f'c=280 kg/cm2) | m3     | 39,626.40 | 1,369.54       | 54,269,939.85           |
| MALLA ELECTROSOLDADA 4" x 4"                | m2     | 83,255.10 | 79.06          | 6,582,148.21            |
|   |        |           |                | <b>S/ 72,464,454.06</b> |

Fuente: Consorcio Los Angeles

**EJE 02**

De igual manera, se procedió con el cálculo para el eje 02:

*Tabla N° 36. Cantidad total de pernos de anclaje por tipo de roca en el túnel eje 02 – Bieniawski.*

| <b>SOSTENIMIENTO PARA ROCA<br/>TIPO</b>   | <b>II</b>            | <b>SOSTENIMIENTO PARA ROCA<br/>TIPO</b>   | <b>III</b>           |
|---|----------------------|---|----------------------|
| <b>PERNOS DE ANCLAJE 25mm x<br/>3.00m</b> |                      | <b>PERNOS DE ANCLAJE<br/>25mm x 3.00m</b> |                      |
| Longitud de pernos:                       | 3.00m                | Longitud de pernos:                       | 3.00m                |
| Separación longitudinal entre pernos:     | 2.5m                 | Separación longitudinal entre pernos:     | 1.50m                |
| Progresiva inicial:                       |                      | Progresiva inicial:                       |                      |
| Progresiva final:                         |                      | Progresiva final:                         |                      |
| <b>Longitud de tramo:</b>                 | <b>10,450.00 m</b>   | <b>Longitud de tramo:</b>                 | <b>2,550.00 m</b>    |
| <b>CANTIDAD DE PERNOS</b>                 | <b>31,358.00 und</b> | <b>CANTIDAD DE PERNOS</b>                 | <b>33,170.00 und</b> |

*Fuente: Consorcio Los Ángeles*

*Tabla N° 37. Volumen total de shotcrete en el túnel eje 02 - Bieniawski.*

| <b>TIPO DE<br/>ROCA</b> | <b>LONGITUD<br/>(m)</b> | <b>A1 -<br/>SECCION<br/>PRIMERA<br/>CAPA</b> | <b>A2 -<br/>SECCION<br/>SEGUNDA<br/>CAPA</b> | <b>VOLUMEN DE<br/>SHOTCRETE<br/>PRIMERA CAPA</b> | <b>VOLUMEN DE<br/>SHOTCRETE<br/>SEGUNDA<br/>CAPA</b> | <b>VOLUMEN<br/>TOTAL DE<br/>SHOTCRETE</b> |
|-------------------------|-------------------------|--|--|--|--|---|
| <b>II</b>               | 10,450.00               | 1.43   | 1.43   | 14,943.50  | 14,943.50  | 29,887.00                                 |
| <b>III</b>              | 2,550.00                | 1.45   | 2.29   | 3,697.50   | 5,839.50   | 9,537.00                                  |
| <b>TOTAL</b>            | <b>13,000.00</b>        |  |  |  |  | <b>39,424.00</b>                          |

*Fuente: Consorcio Los Ángeles*

Tabla N° 38. Cantidad de Malla electrosoldada en el túnel eje 02 - Bieniawski.

| TIPO DE ROCA | LONGITUD (m) | PERIMETRO ARCO (m) | MALLA ELECTROSOLDADA 4" x 4" (m2) |
|--------------|--------------|--------------------|-----------------------------------|
| II           | 10,450.00    | -                  | -                                 |
| III          | 2,550.00     | 28.61              | 72,955.50                         |
| <b>TOTAL</b> | 13,000.00    |                    | <b>72,955.50</b>                  |

Fuente: Consorcio Los Ángeles

Una vez obtenido los metrados y costos unitarios, se procedió a calcular el costo total – eje 2:

Tabla N° 39. Costo total del sostenimiento del túnel eje 2. L = 13 000m - Bieniawski.

| SOSTENIMIENTO                               | UNIDAD | METRADO   | Costo Unitario | COSTO TOTAL             |
|---|--------|-----------|----------------|-------------------------|
|   |        |           | (Soles)        | (Soles)                 |
| PERNO DE ANCLAJE PASIVO DE 25mm x 3.00m     | und    | 64,528.00 | 170.75         | 11,018,156.00           |
| SHOTCRETE CONCRETO CLASE C (f'c=280 kg/cm2) | m3     | 39,424.00 | 1,369.54       | 53,992,744.96           |
| MALLA ELECTROSOLDADA 4" x 4"                | m2     | 72,955.50 | 79.06          | 5,767,861.83            |
|   |        |           |                | <b>S/ 70,778,762.79</b> |

Fuente: Consorcio Los Ángeles



De igual manera se muestra el costo total debido al sostenimiento empleado según las recomendaciones de Barton tanto para el Eje 1 y Eje 2. Los metrados de pernos de anclaje son los mismos en ambas recomendaciones, solo varía el de shotcrete.

Recordar que Barton recomienda que no es necesario usar mallas electrosoldadas.

Tabla N° 40. Volumen total de shotcrete en el túnel eje 01 – Barton.

| TIPO DE ROCA | LONGITUD (m)     | A1 - SECCION PRIMERA CAPA | A2 - SECCION SEGUNDA CAPA | VOLUMEN DE SHOTCRETE PRIMERA CAPA | VOLUMEN DE SHOTCRETE SEGUNDA CAPA | VOLUMEN TOTAL DE SHOTCRETE |
|--------------|------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| BUENA        | 10,050.00        | -                         | -                         | -                                 | -                                 | -                          |
| MEDIA        | 2,910.00         | 1.45                      | 1.43                      | 4,219.50                          | 4,161.30                          | 8,380.80                   |
| <b>TOTAL</b> | <b>13,000.00</b> |                           |                           |                                   |                                   | <b>8,380.30</b>            |

Fuente: Consorcio Los Ángeles

Tabla N° 41. Volumen total de shotcrete en el túnel eje 02 - Barton.

| TIPO DE ROCA | LONGITUD (m)     | A1 - SECCION PRIMERA CAPA | A2 - SECCION SEGUNDA CAPA | VOLUMEN DE SHOTCRETE PRIMERA CAPA | VOLUMEN DE SHOTCRETE SEGUNDA CAPA | VOLUMEN TOTAL DE SHOTCRETE |
|--------------|------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| BUENA        | 10,450.00        | -                         | -                         | -                                 | -                                 | -                          |
| MEDIA        | 2,550.00         | 1.45                      | 1.43                      | 3,697.50                          | 3,646.50                          | 7,344.00                   |
| <b>TOTAL</b> | <b>13,000.00</b> |                           |                           |                                   |                                   | <b>7,344.00</b>            |

Fuente: Consorcio Los Ángeles

Tabla N° 42. Costo total del sostenimiento del túnel eje 1. L = 12 960m - Barton.

| SOSTENIMIENTO   | UNIDAD         | METRADO   | Costo Unitario | COSTO TOTAL             |
|---|----------------|-----------|----------------|-------------------------|
|   |                |           | (Soles)        | (Soles)                 |
| PERNO DE ANCLAJE PASIVO<br>DE 25mm x 3.00m                                  | und            | 68,008.00 | 170.75         | 11,612,366.00           |
| SHOTCRETE.<br>CONCRETO CLASE C (f <sub>c</sub> =280<br>kg/cm <sup>2</sup> ) | m <sup>3</sup> | 8,380.80  | 1,369.54       | 11,477,840.83           |
|   |                |           |                | <b>S/ 23,090,206.83</b> |

Fuente: Consorcio Los Ángeles

Tabla N° 43. Costo total del sostenimiento del túnel eje 2. L = 13 000m - Barton.

| SOSTENIMIENTO   | UNIDAD         | METRADO   | Costo Unitario | COSTO TOTAL             |
|---|----------------|-----------|----------------|-------------------------|
|   |                |           | (Soles)        | (Soles)                 |
| PERNO DE ANCLAJE PASIVO<br>DE 25mm x 3.00m                                  | und            | 64,528.00 | 170.75         | 11,018,156.00           |
| SHOTCRETE.<br>CONCRETO CLASE C (f <sub>c</sub> =280<br>kg/cm <sup>2</sup> ) | m <sup>3</sup> | 7,344.00  | 1,369.54       | 10,057,901.76           |
|   |                |           |                | <b>S/ 21,076,057.76</b> |

Fuente: Consorcio Los Ángeles

## CAPÍTULO VI

### RESULTADOS

#### 6.1 Descripción de resultados

##### 6.1.1 Evaluación geomecánica

En la evaluación geomecánica para la determinación del tipo de sostenimiento del macizo rocoso en los túneles carreteros “Los Ángeles”, se hizo uso de los sistemas de clasificación del macizo rocoso (RMR de Bieniawski y Q de Barton), así como de sus recomendaciones sobre los tipos de sostenimientos a emplear (Ver Tabla N° 3. *Recomendaciones para la excavación y sostenimiento de túneles en roca* y Figura N° 2. *Ábaco de sostenimiento del macizo rocoso según Barton*). La recolección de datos se realizó a partir de 13 estaciones geomecánicas, las cuales están ubicadas a lo largo de los ejes proyectados, dando como resultado el siguiente cuadro:

Tabla N° 44. Resumen del Cálculo de RMR y Q por estaciones geomecánicas.

| PÁRAMETROS   | E.G. 01              | E.G. 02           | E.G. 03           | E.G. 04              | E.G. 05              | E.G. 06           | E.G. 07           | E.G. 08              | E.G. 09           | E.G. 10           | E.G. 11              | E.G. 12           | E.G. 13           |
|--|----------------------|-------------------|-------------------|----------------------|----------------------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|-------------------|
| 1 Resistencia a la Compresión Uniaxial de roca intacta | 7                    | 12                | 12                | 4                    | 4                    | 12                | 12                | 7                    | 12                | 7                 | 7                    | 12                | 12                |
| 2 RQD  | 13                   | 13                | 13                | 13                   | 8                    | 13                | 13                | 13                   | 17                | 13                | 13                   | 17                | 17                |
| 3 Espaciamiento de las Discontinuidades                | 10                   | 10                | 15                | 10                   | 10                   | 15                | 10                | 10                   | 10                | 15                | 10                   | 10                | 10                |
| 4 Condición de Discontinuidades                        |                      |                   |                   |                      |                      |                   |                   |                      |                   |                   |                      |                   |                   |
| * Persistencia   | 4                    | 4                 | 4                 | 4                    | 4                    | 4                 | 4                 | 4                    | 2                 | 4                 | 2                    | 2                 | 4                 |
| * Apertura   | 1                    | 4                 | 5                 | 5                    | 5                    | 5                 | 4                 | 1                    | 4                 | 4                 | 4                    | 4                 | 1                 |
| * Rugosidad  | 5                    | 5                 | 3                 | 1                    | 5                    | 3                 | 5                 | 5                    | 3                 | 5                 | 5                    | 5                 | 5                 |
| * Relleno  | 1                    | 4                 | 2                 | 2                    | 2                    | 2                 | 2                 | 2                    | 1                 | 2                 | 2                    | 4                 | 2                 |
| * Alteración   | 5                    | 6                 | 3                 | 3                    | 3                    | 3                 | 3                 | 3                    | 5                 | 3                 | 3                    | 0                 | 5                 |
| 5 Agua subterránea                                     | 10                   | 10                | 10                | 15                   | 15                   | 10                | 15                | 15                   | 15                | 15                | 15                   | 15                | 15                |
| 6 Ajuste por Orientación                               | -2                   | -2                | -2                | -2                   | -2                   | -2                | -2                | -2                   | -2                | -2                | -2                   | -2                | -2                |
| <b>RMR</b>   | <b>54</b>            | <b>66</b>         | <b>65</b>         | <b>55</b>            | <b>54</b>            | <b>65</b>         | <b>66</b>         | <b>58</b>            | <b>67</b>         | <b>66</b>         | <b>59</b>            | <b>67</b>         | <b>69</b>         |
| <b>TIPO ROCA RMR</b>                                   | <b>III - REGULAR</b> | <b>II - BUENA</b> | <b>II - BUENA</b> | <b>III - REGULAR</b> | <b>III - REGULAR</b> | <b>II - BUENA</b> | <b>II - BUENA</b> | <b>III - REGULAR</b> | <b>II - BUENA</b> | <b>II - BUENA</b> | <b>III - REGULAR</b> | <b>II - BUENA</b> | <b>II - BUENA</b> |
| <b>Q</b>   | <b>3.04</b>          | <b>11.52</b>      | <b>10.31</b>      | <b>3.39</b>          | <b>3.04</b>          | <b>10.31</b>      | <b>11.52</b>      | <b>4.74</b>          | <b>12.88</b>      | <b>11.52</b>      | <b>5.29</b>          | <b>12.88</b>      | <b>16.08</b>      |
| <b>TIPO ROCA Q</b>                                     | <b>MALA</b>          | <b>BUENA</b>      | <b>BUENA</b>      | <b>MALA</b>          | <b>MALA</b>          | <b>BUENA</b>      | <b>BUENA</b>      | <b>MEDIA</b>         | <b>BUENA</b>      | <b>BUENA</b>      | <b>MEDIA</b>         | <b>BUENA</b>      | <b>BUENA</b>      |

Fuente: Elaboración propia

Los resultados expuestos en la Tabla N° 44, acompañados de la Tabla N° 3 y Figura N° 2, se interpretan de la siguiente manera:

### ***Estación geomecánica N° 01***

Se hizo la evaluación geomecánica en la estación N° 01, ubicada en la Progresiva Km 29+900.00 – Km 30+000.00 de los túneles carreteros “Los Ángeles”, se obtuvo un RMR de 54 y según las recomendaciones de Bieniawski, el tipo de sostenimiento recomendado para roca tipo III - REGULAR son bulones de 3m con un espaciamiento de 1.5m x 1.5m + Concreto proyectado con un espesor de 8cm + Malla electrosoldada.

Asimismo, su homólogo Barton con un índice Q de 3.04, recomienda un sostenimiento para roca MALA el uso de bulones de 3m de longitud con un espaciamiento de 1.5m x 1.5m + Concreto proyectado con un espesor de 5cm.

### ***Estación geomecánica N° 02***

Se hizo la evaluación geomecánica en la estación N° 02, ubicada en la Progresiva Km 31+120.00 – Km 31+220.00 de los túneles carreteros “Los Ángeles”, se obtuvo un RMR de 66 y según las recomendaciones de Bieniawski, el tipo de sostenimiento recomendado para roca tipo II - BUENA son bulones de 3m con un espaciamiento de 2.5m x 2.5m + Concreto proyectado con un espesor de 5cm.

Asimismo, su homólogo Barton con un índice Q de 11.52, recomienda un sostenimiento para roca BUENA el uso de bulones de 3m de longitud con un espaciamiento de 2.5m x 2.5m.

### ***Estación geomecánica N° 03***

Se hizo la evaluación geomecánica en la estación N° 03, ubicada en la Progresiva Km 32+350.00 – Km 32+450.00 de los túneles carreteros “Los Ángeles”, se obtuvo un RMR de 65 y según las recomendaciones de Bieniawski, el tipo de sostenimiento recomendado para roca tipo II - BUENA son bulones de 3m con un espaciamiento de 2.5m x 2.5m + Concreto proyectado con un espesor de 5cm.

Asimismo, su homólogo Barton con un índice Q de 10.31, recomienda un sostenimiento para roca BUENA el uso de bulones de 3m de longitud con un espaciamiento de 2.5m x 2.5m.

### ***Estación geomecánica N° 04***

Se hizo la evaluación geomecánica en la estación N° 04, ubicada en la Progresiva Km 33+600.00 – Km 33+700.00 de los túneles carreteros “Los Ángeles”, se obtuvo un RMR de 55 y según las recomendaciones de Bieniawski, el tipo de sostenimiento recomendado para roca tipo III - REGULAR son bulones de 3m con un espaciamiento de 1.5m x 1.5m + Concreto proyectado con un espesor de 8cm + Malla electrosoldada.

Asimismo, su homólogo Barton con un índice Q de 3.39, recomienda un sostenimiento para roca MALA el uso de bulones de 3m de longitud con un espaciamiento de 1.5m x 1.5m + Concreto proyectado con un espesor de 5cm.

***Estación geomecánica N° 05***

Se hizo la evaluación geomecánica en la estación N° 05, ubicada en la Progresiva Km 34+200.00 – Km 34+300.00 de los túneles carreteros “Los Ángeles”, se obtuvo un RMR de 54 y según las recomendaciones de Bieniawski, el tipo de sostenimiento recomendado para roca tipo III - REGULAR son bulones de 3m con un espaciamiento de 1.5m x 1.5m + Concreto proyectado con un espesor de 8cm + Malla electrosoldada.

Asimismo, su homólogo Barton con un índice Q de 3.04, recomienda un sostenimiento para roca MALA el uso de bulones de 3m de longitud con un espaciamiento de 1.5m x 1.5m + Concreto proyectado con un espesor de 5cm.

***Estación geomecánica N° 06***

Se hizo la evaluación geomecánica en la estación N° 06, ubicada en la Progresiva Km 35+250.00 – Km 35+350.00 de los túneles carreteros “Los Ángeles”, se obtuvo un RMR de 65 y según las recomendaciones de Bieniawski, el tipo de sostenimiento recomendado para roca tipo II - BUENA son bulones de 3m con un espaciamiento de 2.5m x 2.5m + Concreto proyectado con un espesor de 5cm.

Asimismo, su homólogo Barton con un índice Q de 10.31, recomienda un sostenimiento para roca BUENA el uso de bulones de 3m de longitud con un espaciamiento de 2.5m x 2.5m.

***Estación geomecánica N° 07***

Se hizo la evaluación geomecánica en la estación N° 07, ubicada en la Progresiva Km 36+700.00 – Km 36+800.00 de los túneles carreteros “Los Ángeles”, se obtuvo un RMR de 66 y según las recomendaciones de Bieniawski, el tipo de sostenimiento recomendado para roca tipo II - BUENA son bulones de 3m con un espaciamiento de 2.5m x 2.5m + Concreto proyectado con un espesor de 5cm.

Asimismo, su homólogo Barton con un índice Q de 11.52, recomienda un sostenimiento para roca BUENA el uso de bulones de 3m de longitud con un espaciamiento de 2.5m x 2.5m.

***Estación geomecánica N° 08***

Se hizo la evaluación geomecánica en la estación N° 08, ubicada en la Progresiva Km 37+500.00 – Km 37+600.00 de los túneles carreteros “Los Ángeles”, se obtuvo un RMR de 58 y según las recomendaciones de Bieniawski, el tipo de sostenimiento recomendado para roca tipo III - REGULAR son bulones de 3m con un espaciamiento de 1.5m x 1.5m + Concreto proyectado con un espesor de 8cm + Malla electrosoldada.

Asimismo, su homólogo Barton con un índice Q de 4.74, recomienda un sostenimiento para roca MEDIA el uso de bulones de 3m de longitud con un espaciamiento de 1.5m x 1.5m + Concreto proyectado con un espesor de 5cm.



***Estación geomecánica N° 09***

Se hizo la evaluación geomecánica en la estación N° 09, ubicada en la Progresiva Km 38+450.00 – Km 38+550.00 de los túneles carreteros “Los Ángeles”, se obtuvo un RMR de 67 y según las recomendaciones de Bieniawski, el tipo de sostenimiento recomendado para roca tipo II - BUENA son bulones de 3m con un espaciamiento de 2.5m x 2.5m + Concreto proyectado con un espesor de 5cm.

Asimismo, su homólogo Barton con un índice Q de 12.88, recomienda un sostenimiento para roca BUENA el uso de bulones de 3m de longitud con un espaciamiento de 2.5m x 2.5m.

***Estación geomecánica N° 10***

Se hizo la evaluación geomecánica en la estación N° 10, ubicada en la Progresiva Km 39+250.00 – Km 39+350.00 de los túneles carreteros “Los Ángeles”, se obtuvo un RMR de 66 y según las recomendaciones de Bieniawski, el tipo de sostenimiento recomendado para roca tipo II - BUENA son bulones de 3m con un espaciamiento de 2.5m x 2.5m + Concreto proyectado con un espesor de 5cm.

Asimismo, su homólogo Barton con un índice Q de 11.52, recomienda un sostenimiento para roca BUENA el uso de bulones de 3m de longitud con un espaciamiento de 2.5m x 2.5m.

***Estación geomecánica N° 11***

Se hizo la evaluación geomecánica en la estación N° 11, ubicada en la Progresiva Km 39+800.00 – Km 39+900.00 de los túneles carreteros “Los Ángeles”, se obtuvo un RMR de 59 y según las recomendaciones de Bieniawski, el tipo de sostenimiento recomendado para roca tipo III - REGULAR son bulones de 3m con un espaciamiento de 1.5m x 1.5m + Concreto proyectado con un espesor de 8cm + Malla electrosoldada.

Asimismo, su homólogo Barton con un índice Q de 5.29, recomienda un sostenimiento para roca MEDIA el uso de bulones de 3m de longitud con un espaciamiento de 1.5m x 1.5m + Concreto proyectado con un espesor de 5cm.

***Estación geomecánica N° 12***

Se hizo la evaluación geomecánica en la estación N° 12, ubicada en la Progresiva Km 41+050.00 – Km 41+150.00 de los túneles carreteros “Los Ángeles”, se obtuvo un RMR de 67 y según las recomendaciones de Bieniawski, el tipo de sostenimiento recomendado para roca tipo II - BUENA son bulones de 3m con un espaciamiento de 2.5m x 2.5m + Concreto proyectado con un espesor de 5cm.

Asimismo, su homólogo Barton con un índice Q de 12.88, recomienda un sostenimiento para roca BUENA el uso de bulones de 3m de longitud con un espaciamiento de 2.5m x 2.5m.

### ***Estación geomecánica N° 13***

Se hizo la evaluación geomecánica en la estación N° 13, ubicada en la Progresiva Km 42+250.00 – Km 42+350.00 de los túneles carreteros “Los Ángeles”, se obtuvo un RMR de 69 y según las recomendaciones de Bieniawski, el tipo de sostenimiento recomendado para roca tipo II - BUENA son bulones de 3m con un espaciamiento de 2.5m x 2.5m + Concreto proyectado con un espesor de 5cm.

Asimismo, su homólogo Barton con un índice Q de 16.08, recomienda un sostenimiento para roca BUENA el uso de bulones de 3m de longitud con un espaciamiento de 2.5m x 2.5m.

Se observa que al realizar la evaluación por cada estación geomecánica, nos encontramos que el sostenimiento varía de acuerdo al valor del índice de calidad de la roca encontrada.

Por lo tanto, se valida la hipótesis principal la cual menciona que la evaluación geomecánica influye significativamente en la determinación del tipo de sostenimiento del macizo rocoso en los túneles carreteros "Los Ángeles".

### 6.1.2 Factor de seguridad

Se analizó el factor de seguridad con el objetivo de evaluar cómo influye en la determinación del tipo de sostenimiento a emplear para la estabilización de los túneles, para cumplir con este objetivo el factor de seguridad debe ser mayor de 1.5 (**F.S. > 1.5**) que es el factor mínimo de seguridad que se requiere en obras permanentes como es el caso de los túneles carreteros “Los Ángeles”.

Como ya se ha visto en la Figura N° 20. *Factor de seguridad sin sostenimiento, luego de la excavación a sección completa*, el factor de seguridad mínimo sin sostenimiento es de 0.63 en las bóvedas.

#### **Roca tipo II (Bieniawski) vs Roca buena (Barton)**

Mientras que al emplear sostenimientos recomendados por Bieniawski, según la *Figura N° 21. Factor de seguridad con sostenimiento para roca tipo II (RMR: 61 – 80)*; y Barton según la *Figura N° 23. Factor de seguridad con sostenimiento para roca buena (Q: 10 - 40)*, se llegó a obtener como resultado los siguientes factores de seguridad:

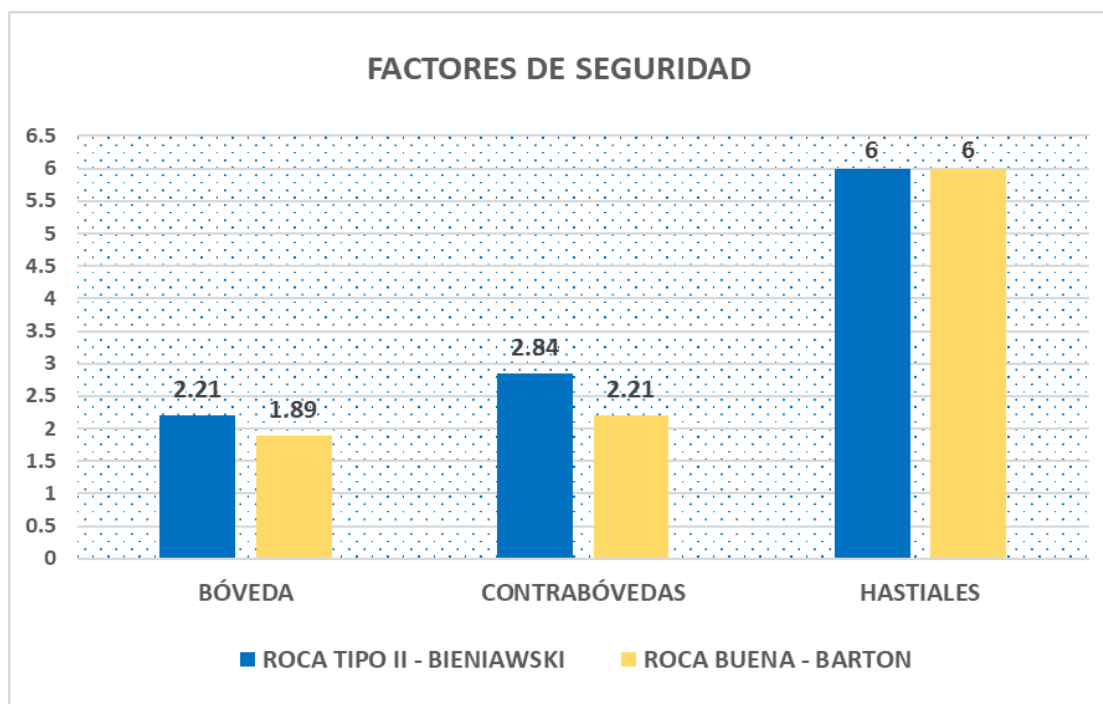


Figura N° 28. *Resumen de factores de seguridad con sostenimiento – Resultado I.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Los resultados nos muestran que los factores de seguridad varían a lo largo de las secciones de los túneles carreteros, por el sostenimiento recomendado por Bieniawski las bóvedas tienen un factor de seguridad mínimo de 2.21, las contrabóvedas 2.84 y los hastiales 6.00.

Mientras que por Barton las secciones de los túneles carreteros tienen un factor de seguridad mínimo de 1.89 en las bóvedas, 2.21 en las contrabóvedas y 6.00 en los hastiales.

Por lo tanto, al hacer una comparación entre ambos métodos y para el mismo tipo de roca, se observa que Bieniawski, nos ofrece factores de seguridad mayores que el de Barton. Además, se puede observar que por ambos métodos el factor de seguridad mínimo es mayor que 1.5.

### Roca tipo III (Bieniawski) vs Roca media (Barton)

Continuando con la metodología, al emplear los sostenimientos por las recomendaciones de Bieniawski, según la Figura N° 22. *Factor de seguridad con sostenimiento para roca tipo III (RMR: 41-60*, y las de Barton, como se indica en la *Figura N° 24. Factor de seguridad con sostenimiento para roca media (Q: 4 - 10)*, se llegó a obtener como resultado los siguientes factores de seguridad:

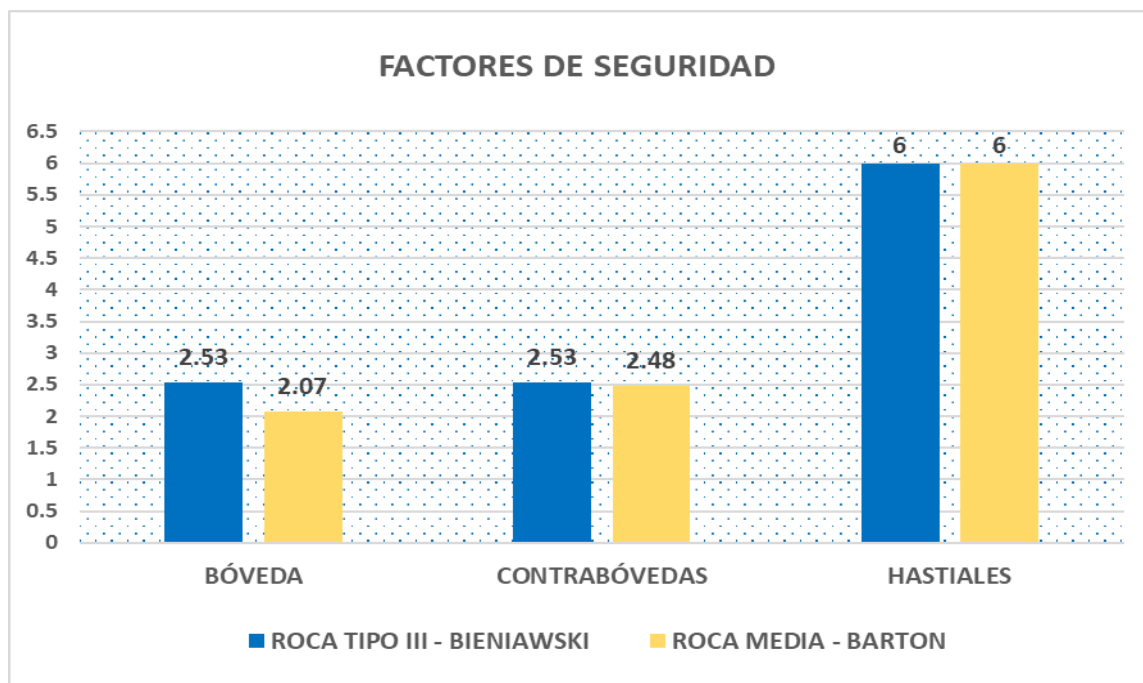


Figura N° 29. *Resumen de factores de seguridad con sostenimiento – Resultado II.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Los resultados nos muestran que los factores de seguridad varían a lo largo de las secciones de los túneles carreteros, por el sostenimiento recomendado por Bieniawski las bóvedas tienen un factor de seguridad mínimo de 2.53, las contrabóvedas 2.53 y los hastiales 6.00.

Mientras que por Barton las secciones de los túneles carreteros tienen un factor de seguridad mínimo de 2.07 en las bóvedas, 2.48 en las contrabóvedas y 6.00 en los hastiales.

Por lo tanto, al hacer una comparación entre ambos métodos y para el mismo tipo de roca, se observa que Bieniawski, nos ofrece factores de seguridad mayores que el de Barton. Además, se puede observar que por ambos métodos el factor de seguridad mínimo es mayor que 1.5.

Ante lo expuesto, como resumen se adjunta la siguiente tabla, donde se muestran los factores de seguridad mínimos según las recomendaciones de sostenimientos dadas por Bieniawski y Barton.

Tabla N° 45. *Resumen de factores de seguridad mínimo con sostenimientos recomendados.*

| TIPO DE ROCA |       | FACTOR DE SEGURIDAD      |                      |
|--------------|-------|--------------------------|----------------------|
| RMR          | Q     | Recomendación Bieniawski | Recomendación Barton |
| II           | BUENA | 2.21                     | 1.89                 |
| III          | MEDIA | 2.53                     | 2.07                 |

*Fuente: Elaboración propia*

Se observa que, dependiendo del tipo de sostenimiento y la cantidad de este a emplear en el macizo rocoso, encontramos que el factor de seguridad varía de manera directa.

Por lo tanto, se valida la primera hipótesis secundaria la cual menciona que efectivamente el factor de seguridad influye directamente en la determinación del tipo de sostenimiento del macizo rocoso en los túneles carreteros “Los Ángeles”.

### **6.1.3 Costos Unitarios**

Luego de conocer los tipos de sostenimientos a emplear por cada método, se procedió a calcular la cantidad de materiales que se necesitarán para sostener los túneles carreteros “Los Ángeles”. Como se explicó anteriormente, existen 02 túneles (ejes paralelos), el primero de 12 960m y el segundo de 13 000m.

#### **Roca II (Bieniawski) / Roca Buena(Barton)**

A continuación, se muestran los resultados del primer tipo de roca (Roca tipo II / Roca buena) luego de los cálculos realizados por método y eje como lo indican las Tablas N° 32, 33, 34, 36, 37, 38, 40 y 41:



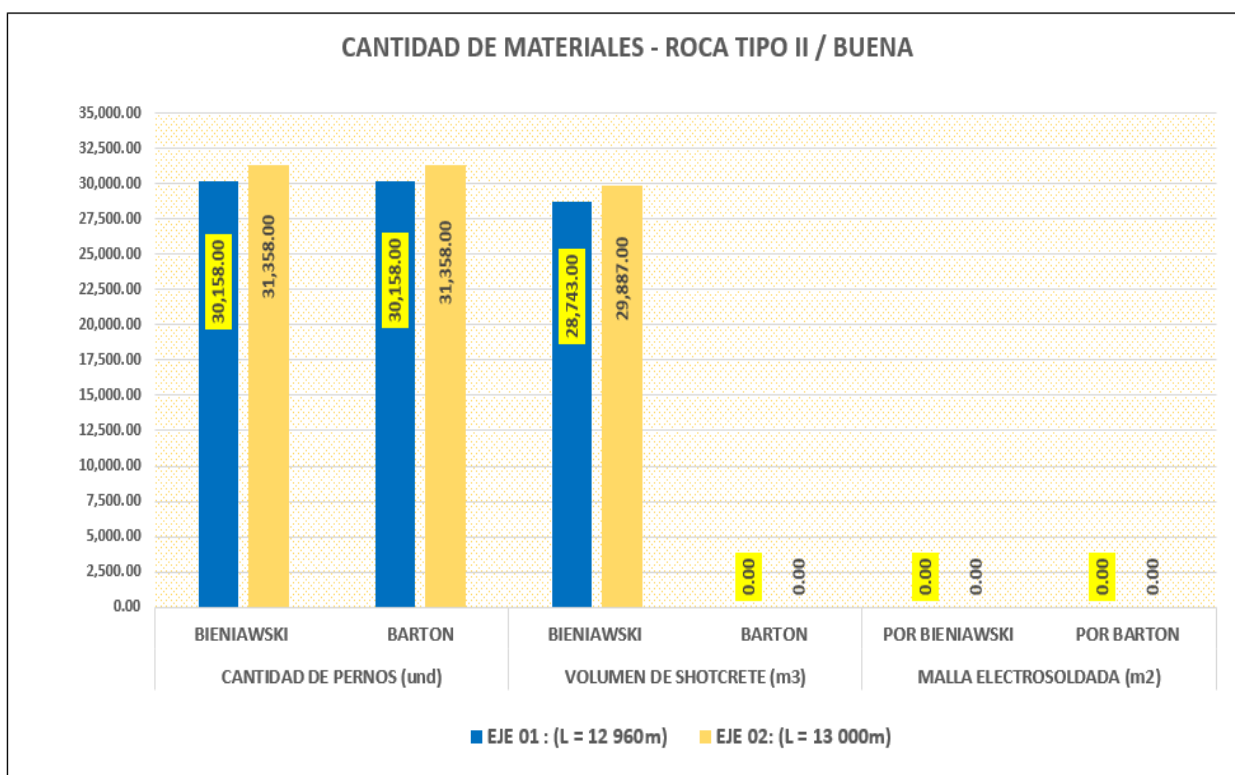


Figura N° 30. Resumen de Cantidad de Materiales por Ejes y métodos. Resultado I.

*Fuente: Elaboración propia.*

Como se muestra en la Figura N° 30, tanto para Bieniawski como para Barton, la cantidad de pernos de anclaje a emplear es la misma: en el eje 01 y eje 02 es de 30,158.00 y 31,358.00, respectivamente. La diferencia la notamos en el volumen de shotcrete, ya que para este tipo de roca Bieniawski recomienda este tipo de sostenimiento y Barton no, se muestra un total de 28,743.00 m<sup>3</sup> para el eje 01 y 29,887.00 m<sup>3</sup> para el eje 02. También se observa que ninguno de los métodos emplea malla electrosoldada para este tipo de roca.

### Roca III (Bieniawski) / Roca Media(Barton)

A continuación, se muestran los resultados del segundo tipo de roca (Roca tipo III / Roca media) luego de los cálculos realizados por método y eje como lo indican las Tablas N° 32, 33, 34, 36, 37, 38, 40 y 41:

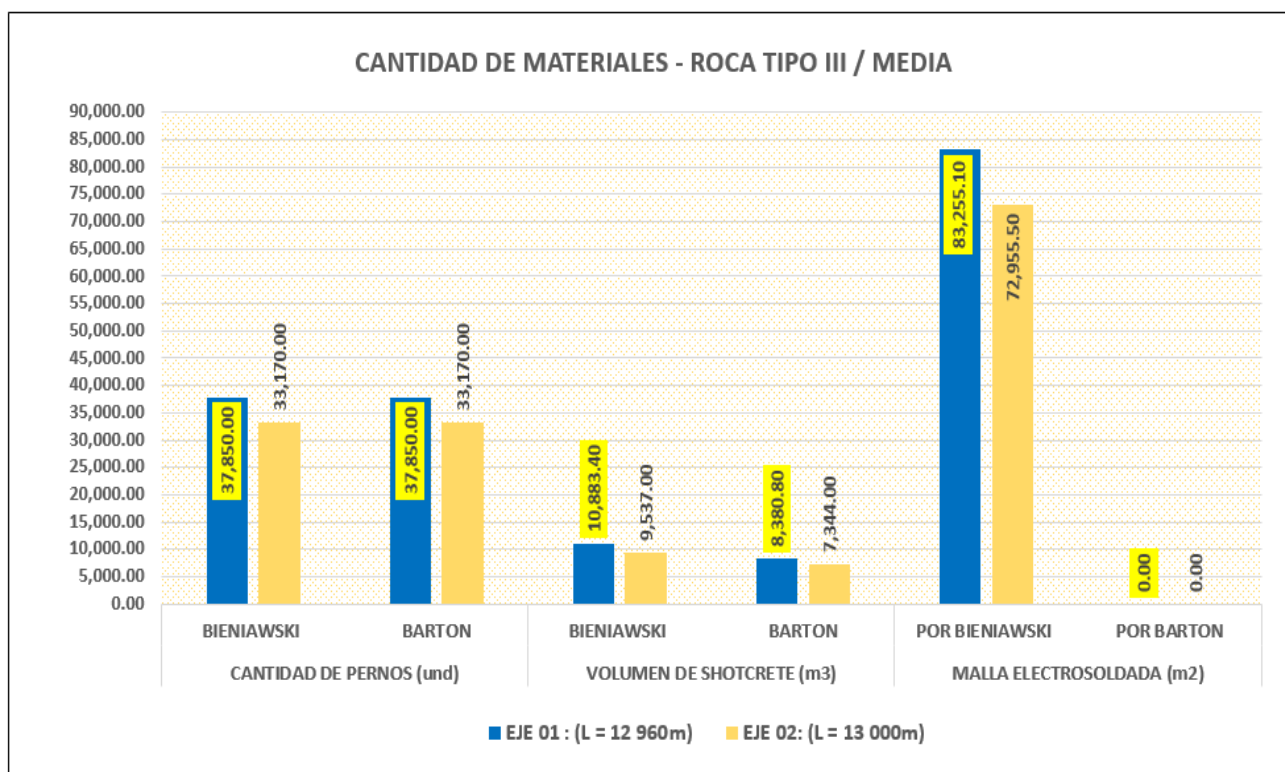


Figura N° 31. Resumen de Cantidad de Materiales por Ejes y métodos. Resultado II.

Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la Figura N° 31, tanto para Bieniawski como para Barton, la cantidad de pernos de anclaje (unidades) a emplear es la misma: en el eje 01 y eje 02 es de 37,850.00 y 33,170.00, respectivamente.

Del mismo modo para el volumen de shotcrete a utilizar con Bieniawski en el eje 01 es de 10,883.40 m<sup>3</sup> contra los 8,380.80 m<sup>3</sup> de Barton. Mientras que en el eje 02 con Bieniawski el volumen es de 9,537.00 m<sup>3</sup> contra los 7,344.00 m<sup>3</sup> de Barton.

Para lo que es la malla electrosoldada notamos que solo Bieniawski recomienda este sostenimiento para el tipo de roca III, el resultado fue que para el eje 01 y eje 02 la cantidad de malla en metros cuadrados(m<sup>2</sup>) sea de 83,255.10 y 72,955.50, respectivamente.

Una vez obtenida las cantidades de materiales a utilizar por eje y método se procedió a calcular los precios unitarios por tipo de sostenimiento, tal y como se muestran en las Figuras N° 25, 26, 27 y en la Tabla N° 31. *Costos unitarios por tipo de sostenimiento*, con el fin de obtener los costos totales.

Tabla N° 31. *Costos unitarios por tipo de sostenimiento*

| <b>COSTOS UNITARIOS POR TIPO DE SOSTENIMIENTO</b>                      |                            |                |
|--|----------------------------|----------------|
| <b>TIPO DE SOSTENIMIENTO</b>   | <b>COSTO TOTAL (SOLES)</b> | <b>UNIDAD</b>  |
| INSTALACIÓN PERNO DE ANCLAJE PASIVO DE 25mm x 3.00m                    | 170.75                     | und            |
| LANZADO DE SHOTCRETE CLASE C (f <sub>c</sub> =280 kg/cm <sup>2</sup> ) | 1369.54                    | m <sup>3</sup> |
| INSTALACIÓN MALLA ELECTROSOLDADA DE 4"x 4"                             | 79.06                      | m <sup>2</sup> |

*Fuente: Consorcio Los Ángeles*

Finalmente, obteniendo las cantidades totales y precios unitarios, se calcularon los costos totales por los métodos y ejes tal como se muestran en las Tablas N° 35 y 39 para Bieniawski. Dichos resultados se detallan a continuación:

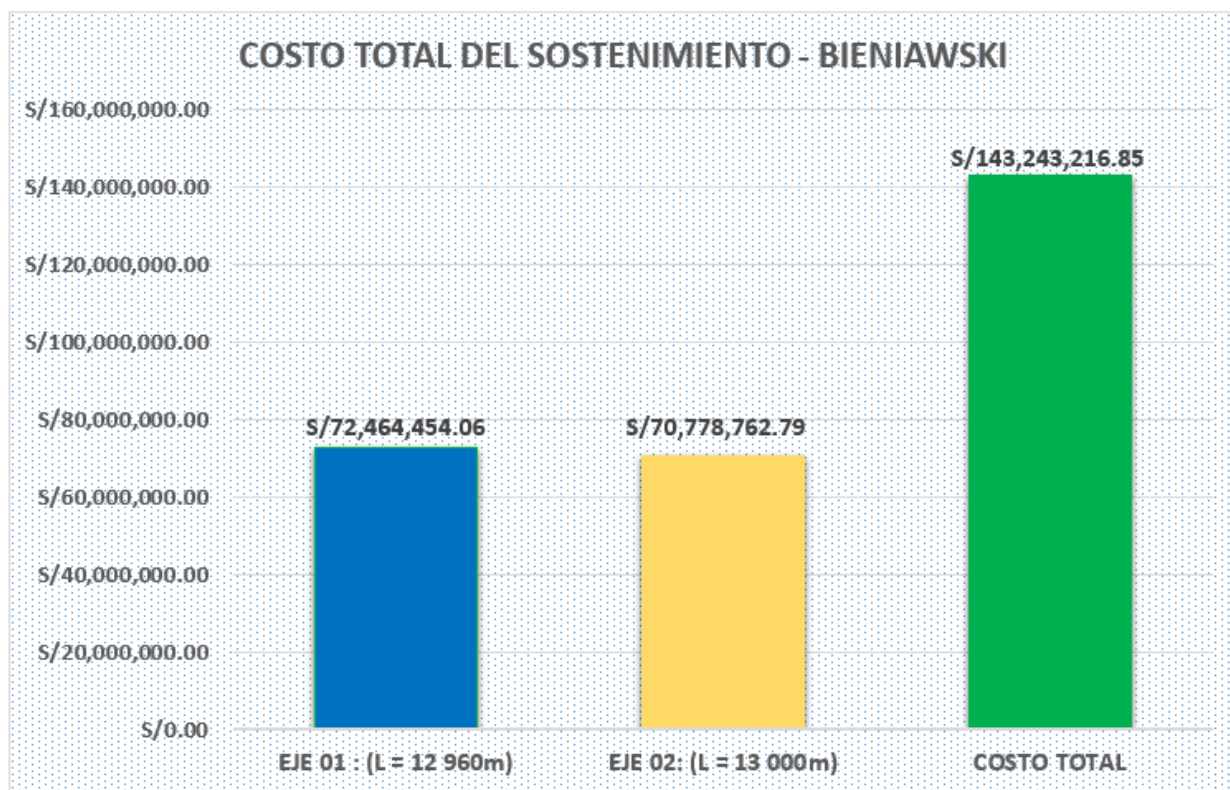


Figura N° 32. Costo total del sostenimiento recomendado por Bieniawski.

*Fuente: Elaboración propia.*

En la figura podemos apreciar, que el costo total por los sostenimientos recomendados por Bieniawski en el eje 01 es de S/ 72,464,454,06 soles y que para el eje 02 la suma asciende a S/ 70,778,762.79, dando un total de S/ 143,243,216.85 soles.

Del mismo modo para Barton tal y como se muestran en las Tablas N° 42 y 43. Dichos resultados se detallan a continuación:

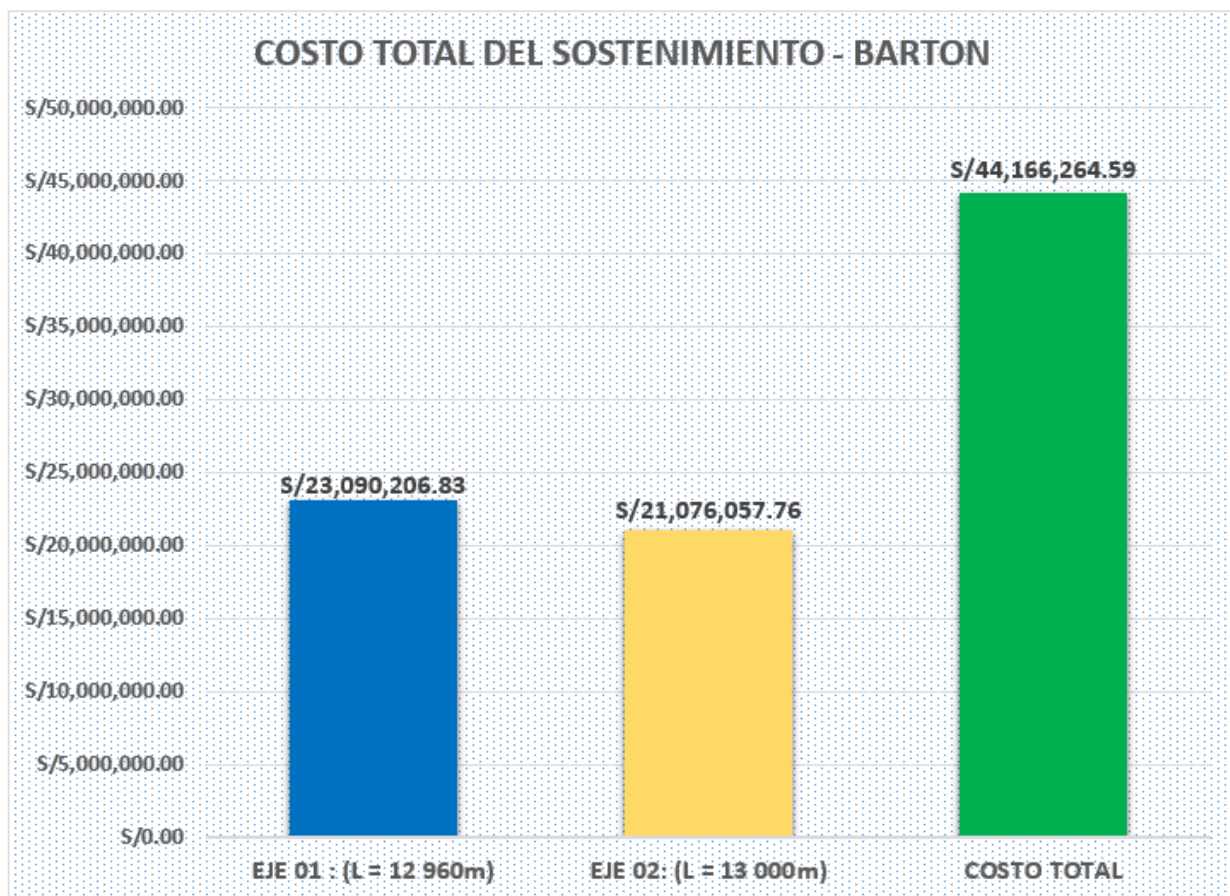


Figura N° 33. *Costo total del sostenimiento recomendado por Barton.*

*Fuente: Elaboración propia.*

En la figura podemos apreciar, que el costo total por los sostenimientos recomendados por Barton en el eje 01 es de S/ 23,090,206.83 soles y que para el eje 02 la suma asciende a S/ 21,076,057.76, dando un total de S/ 44,166,264.59 soles.

A modo de resumen de mencionado se adjunta la siguiente Tabla:

Tabla N° 46. *Resumen de Costos totales de los sostenimientos empleados por eje y método.*

| EJE TÚNEL                     | COSTO TOTAL DE SOSTENIMIENTO |                        |
|-------------------------------|------------------------------|------------------------|
|                               | Bieniawski                   | Barton                 |
| <b>EJE 01 : (L = 12 960m)</b> | S/72,464,454.06              | S/23,090,206.83        |
| <b>EJE 02: (L = 13 000m)</b>  | S/70,778,762.79              | S/21,076,057.76        |
| <b>TOTAL</b>                  | <b>S/143,243,216.85</b>      | <b>S/44,166,264.59</b> |

*Fuente: Elaboración propia*

Como se aprecia, el costo total de sostenimiento recomendado por Bieniawski, representa el 324% del costo total por Barton.

Por lo tanto, se valida la segunda hipótesis secundaria la cual menciona que la determinación de los costos unitarios de sostenimiento para los túneles carreteros “Los Ángeles” es factible.

## CONCLUSIONES

- Se determinó que la evaluación geomecánica influyó en la determinación del tipo de sostenimiento del macizo rocoso en los túneles carreteros “Los Ángeles”, ya que de acuerdo a la Clasificación Geomecánica de Bieniawski (1989) y la Clasificación Geomecánica de Barton (1974) realizadas en esta investigación según las Tablas N° 12 y 26, para ROCA TIPO II – BUENA, se necesitará como sostenimiento, bulones de 3 metros de longitud con un espaciamiento de 2.5m x 2.5 m + Concreto proyectado con un espesor de 5 cm y para ROCA TIPO III – REGULAR, bulones de 3 metros de longitud con un espaciamiento de 1.5m x 1.5 m + Concreto proyectado con un espesor de 8 cm + Malla electrosoldada. Asimismo, según las Tablas N° 27 y 28, para ROCA BUENA, se necesitará bulones de 3.00 metros de longitud con un espaciamiento de 2.5m x 2.5m y para ROCA MEDIA, bulones de 3.00 metros de longitud con un espaciamiento de 1.5m x 1.5 m + Concreto proyectado con un espesor de 5 cm.
- De la evaluación de los resultados se terminó que el factor de seguridad influye directamente en la determinación del tipo de sostenimiento de los túneles carreteros “Los Ángeles”, ya que según los resultados podemos ver en la Figura N° 20, que la sección del túnel al no contar con sostenimiento, el valor del factor de seguridad mínimo fue de 0.63, lo cual implica un colapso inminente del frente; mientras que en las Figuras N° 21, 22, 23, 24, 28 y 29; y en la Tabla N° 45, al aplicar los sostenimientos según las recomendaciones de Bieniawski y Barton, los factores de seguridad mínimos sobrepasan el establecido por norma (F.S. > 1.5), asimismo, se

demonstró que de emplearse cualquiera de los métodos se garantizará la estabilidad del macizo rocoso, con lo cual se cumple el objetivo de brindar una mayor protección, seguridad y nivel de servicio, evitando de esta manera futuros accidentes.

- Se determinó la factibilidad de los costos unitarios de sostenimiento del macizo rocoso en los túneles carreteros “Los Ángeles”, tal como se muestra en la Tabla N°46. *Resumen de Costos totales de los sostenimientos empleados por eje y método*, donde nos muestra que el costo total de sostenimiento recomendado por Bieniawski representa el 324% del costo total por Barton, y esto se ve reflejado por el uso adicional de las mallas electrosoldadas y mayores espesores de shotcrete por parte de Bieniawski. Finalmente, ambos métodos son factibles, pero por acomodarse mejor a nuestra realidad y al gasto público que el estado destina para este tipo de obras, la mejor opción de sostenimiento a emplear es la brindada por Barton, con un costo total de S/44,166,264.59 soles.



## RECOMENDACIONES

Considerando que los túneles carreteros “Los Ángeles” serán de uso vehicular permanente se recomienda lo siguiente.

- Realizar periódicamente evaluaciones geomecánicas así como pruebas de arranque (pull test) para los pernos de anclaje y pruebas de cargas puntuales para el shotcrete. Asimismo, se recomienda utilizar el sostenimiento en función del índice Q según la Clasificación Geomecánica de Barton, por ser la que se adapta mejor a la realidad peruana, además de cumplir con el parámetro del factor de seguridad mínimo según norma y por ser menos costosa.
  
- Se obtuvieron valores de factores de seguridad superiores a 1.5, lo que indica que es posible y recomendable disminuir la cantidad de elementos de sostenimiento recomendados por ambos métodos, con lo cual se determinará un menor costo en la construcción de los túneles.
  
- Se recomienda calcular los factores de seguridad dinámicos, empleando el coeficiente sísmico, para obtener a mayor detalle y precisión el comportamiento de los túneles proyectados ante un sismo, ya que al tratarse de una evaluación geomecánica el campo de aplicación no abarca lo recomendado.

- Se recomienda que se realice la evaluación geotécnica de los túneles mediante la utilización de mediciones de esfuerzos in situ (tectónico y gravitacional) como lo indica el Manual de Carreteras: Túneles, Muros y Obras Complementarias del MTC publicado en octubre del 2016.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Biraj, G. (2011). *Wedge stability analysis and rock squeezing prediction of headrace tunnel, Lower Balephi Hydroelectric Project, Sindhupalchock District, central Nepal. Revista de la Sociedad Geológica de Nepal, 42(1), 125-136.*

Cáceres, E. (2017). *Evaluación geomecánica del macizo rocoso para el sostenimiento de las labores de explotación en mina San Cristóbal – Compañía Minera Volcán S.A.A. – 2015- 2016. (Tesis de pregrado).* Universidad Nacional San Luis Gonzaga, Ica, Perú.

Castresana, L. (2016). *Análisis comparativo de metodología de sostenimiento de túneles. (Tesis de maestría).* Universidad de Oviedo, Oviedo, España.

Ceras, F. (2015). *Influencia del sostenimiento en el estrés de roca en el Túnel DR 09 en la empresa de generación eléctrica Cheves S.A. (Tesis de pregrado).* Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.

Chura, W. (2016). *Caracterización geomecánica del macizo rocoso y su aplicación en el diseño de sostenimiento en labores de desarrollo de la unidad económica administrativa Ana María – La Rinconada. (Tesis de pregrado).* Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.

Cruzado, P. (2017). *Evaluación geomecánica del Túnel de la Central Hidroeléctrica Potrero – San Marcos – Cajamarca. (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.

Derek, M. (2005). *Preliminary assessment of potential underground stability (wedge and spalling) at Forsmark, Simpevarp and Laxemar sites. (Tesis de grado)*. Universidad of Alberta, Alberta, Canadá.

Espinoza, J. (2011). *Sostenimiento mecanizado en labores mineras, en la compañía de minas Volcan S.A.A – Unidad de producción Andaychagua. (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Junín, Perú.

Figuroa, M., y Chimoven, J. (2014). *Determinación del sostenimiento adecuado en labores lineales convencionales en roca tipo II y III en la unidad minera San Antonio III - Sánchez Carrión. (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.

Palacios, S. (2015). *Estudio comparativo de métodos de excavación de túneles en suelo mediante el método de los elementos finitos. (Tesis de pregrado)*. Universidad de Extremadura, España.

Gonzáles, A. (2018). *Caracterización geomecánica del macizo rocoso, para su aplicación en geotecnia, en el sector Lucarqui, Loja – Ecuador. (Tesis de pregrado)*. Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador.

Gonzáles de Vallejo, L. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid, España: Pearson Educación.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Carreteras: Túneles, Muros y Obras Complementarias*. Recuperado de:

[http://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/manuales.html](http://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html)

Mullo, F. (2012). *Empleo de las clasificaciones geomecánicas, para la investigación del comportamiento geotécnico de las excavaciones subterráneas en la Central la Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair 1500 mw. (Tesis de pregrado)*. Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.

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

Recuperado de:

[https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Guia-Criterios-Geomecanicos.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Guia-Criterios-Geomecanicos.pdf)

Rincón, B. (2016). *Caracterización geomecánica del macizo rocoso del área del contrato 01-068-96 “Cooperativa Cooprocabon Sugamuxi” Municipio de Gámeza Boyacá. (Tesis de pregrado)*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Boyacá, Colombia.

Soto, A. (2016). *Diseño de sostenimiento en el túnel Wayrasencca - Ollachea. (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.

## ANEXOS

*ANEXO I: Matriz de Consistencia*

*ANEXO II: Validación de los instrumentos por juicio de expertos.*


**EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA DETERMINACIÓN DEL TIPO DE SOSTENIMIENTO DEL MACIZO ROCOSO EN LOS TÚNELES CARRETEROS "LOS ANGELES"**

**MATRIZ DE CONSISTENCIA**

| PROBLEMA  | OBJETIVOS  | HIPOTESIS   | VARIABLES  |
|---|--|---|--|
| <p><b>Problema General</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cuál es la influencia de la evaluación geomecánica en la determinación del tipo de sostenimiento del macizo rocoso en los túneles carreteros "Los Angeles"?</li> </ul> <p><b>Problemas Específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cómo influye el factor de seguridad en el sostenimiento del macizo rocoso en los túneles carreteros "Los Angeles"?</li> <li>¿Será factible determinar los costos unitarios de sostenimiento del macizo rocoso en los túneles carreteros "Los Angeles"?</li> </ul> | <p><b>Objetivos Generales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar la influencia de la evaluación geomecánica en la determinación del tipo de sostenimiento del macizo rocoso en los túneles carreteros "Los Angeles".</li> </ul> <p><b>Objetivos Específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Evaluar cómo influye el factor de seguridad en el sostenimiento del macizo rocoso en los túneles carreteros "Los Angeles"</li> <li>Determinar la factibilidad de los costos unitarios de sostenimiento del macizo rocoso en los túneles carreteros "Los Angeles".</li> </ul> | <p><b>Hipótesis General</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>La evaluación geomecánica influye significativamente en la determinación del tipo de sostenimiento del macizo rocoso en los túneles carreteros "Los Angeles".</li> </ul> <p><b>Hipótesis Específicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>El factor de seguridad influye directamente en la determinación del tipo de sostenimiento del macizo rocoso en los túneles carreteros "Los Angeles".</li> <li>La determinación de los costos unitarios de sostenimiento del macizo rocoso en los túneles carreteros "Los Angeles", es factible.</li> </ul> | <p><b>Variable Independiente:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Evaluación geomecánica</li> </ul> <p><b>Variables Dependientes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tipo de sostenimiento</li> </ul> |

**OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES**

| Variable                                     | Definición Conceptual   | Definición Operacional      |  |
|--|---|-----------------------------|--|
|  |   | Dimensiones                 | Indicadores  |
| <p><b>VI:</b><br/>Evaluación geomecánica</p> | <p>Es aquella que evalúa las propiedades físicas y mecánicas de la roca, tratando directamente con la respuesta de la roca y del macizo rocoso al campo de fuerzas de su entorno físico, cuyos resultados permiten obtener una visión realista del estado actual del macizo rocoso.</p> | <p><b>Seguridad</b></p>     | <p>a) Clasificación geomecánica RQD.<br/>b) Clasificación geomecánica RMR.<br/>c) Clasificación geomecánica Q.</p> |
| <p><b>VD:</b><br/>Tipos de Sostenimiento</p> | <p>Son un conjunto de elementos resistentes que proporcionan al terreno excavado el suficiente confinamiento para conseguir la estabilización de la excavación con una deformación aceptable.</p>   | <p><b>Costo directo</b></p> | <p>a) Cantidad de materiales<br/>b) Costos de materiales.</p>  |

|  |  |  |
|--|--|--|
| <b>TÍTULO DE TESIS:</b> EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA DETERMINACIÓN DEL TIPO DE SOSTENIMIENTO DEL MACIZO ROCOSO EN LOS TÚNELES CARRETEROS "LOS ÁNGELES"   |  |  |
| <b>CALIFICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS POR JUICIO DE EXPERTOS</b>   |  |  |
| <b>TESISTA:</b> BACH. RICARDO RÍOS BARTOLO   | <b>AÑO:</b> 2018                             |  |
| <b>NOMBRE DEL EXPERTO:</b><br>MARIA BOISAN GONZÁLEZ  | <b>ESPECIALIDAD:</b><br>GEOLOGÍA Y GEOTECNIA |  |
| Clasifique los instrumentos con la siguiente escala de clasificación:<br>Evalúe de 0 (malo) a 100 (excelente).   |  |  |
| <b>FECHA DE REVISION:</b> 22/10/18   |  |  |
| <b>INSTRUMENTOS:</b>   | <b>CALIFICACIÓN:</b>                         | <b>COMENTARIOS:</b>  |
| FICHAS TECNICAS  |  |  |
| CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RQD  | 90   | LOS DATOS CONTENIDOS EN LOS INSTRUMENTOS SON ADECUADOS PARA EL CASO DE ESTUDIO |
| CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR  | 90   |  |
| CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA Q  | 90   |  |
| CANTIDADES Y COSTOS DE MATERIALES  | 90   |  |
| <b>PROMEDIO</b>  | 90   |  |
| <br>María Boisan González<br>Especialista en Geología y Geotecnia<br>Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos<br>CIP N° 1394 - T |  |  |







DATOS DE MAPEO GEOMECANICO

Obra: MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CENTRAL  
Lugar: Tramo Puente Los Ángeles - Ricardo Palma  
Estación: Estación geomecánica N°  
Progresivas: Km - Km

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

*ly*  
-----  
María Boisañ González  
Especialista en Geología y Geotecnia  
Ingeniera de Carreteras, Canales y Puertos  
CIP N° 1394 - T

*90*



## A) PERNOS DE ANCLAJE

| SOSTENIMIENTO PARA ROCA TIPO                                   | II | SOSTENIMIENTO PARA ROCA TIPO                                   | III |
|--|----|--|-----|
| PERNOS DE ANCLAJE 25mm x 3.00m                                 |    | PERNOS DE ANCLAJE 25mm x 3.00m                                 |     |
| Longitud de pernos:<br>Separación longitudinal entre pernos:   |    | Longitud de pernos:<br>Separación longitudinal entre pernos:   |     |
| Progresiva inicial:<br>Progresiva final:<br>Longitud de tramo: |    | Progresiva inicial:<br>Progresiva final:<br>Longitud de tramo: |     |
| CANTIDAD DE PERNOS   |    | CANTIDAD DE PERNOS   |     |

## B) SHOTCRETE

| TIPO DE ROCA | LONGITUD (m) | A1 - SECCION PRIMERA CAPA | A2 - SECCION SEGUNDA CAPA | VOLUMEN DE SHOTCRETE PRIMERA CAPA | VOLUMEN DE SHOTCRETE SEGUNDA CAPA | VOLUMEN TOTAL DE SHOTCRETE |
|--------------|--------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| II           |              |                           |                           |                                   |                                   |                            |
| III          |              |                           |                           |                                   |                                   |                            |
| TOTAL        |              |                           |                           |                                   |                                   |                            |

## C) MALLA ELECTROSOLDADA

| TIPO DE ROCA | LONGITUD (m) | PERIMETRO ARCO (m) | MALLA ELECTROSOLDADA 4" x 4" (m2) |
|--------------|--------------|--------------------|-----------------------------------|
| II           |              |                    |                                   |
| III          |              |                    |                                   |
| TOTAL        |              |                    |                                   |

  
 María Boisa González  
 Especialista en Geotecnia y Geología  
 Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos  
 CIP N° 1394 - T

## D) COSTO TOTAL

| SOSTENIMIENTO   | UNIDAD         | METRADO | Costo Unitario (Soles) | COSTO TOTAL (Soles) |
|---|----------------|---------|------------------------|---------------------|
| PERNO DE ANCLAJE PASIVO DE 25mm x 3.00m                     | und            |         |                        |                     |
| SHOTCRETE CONCRETO CLASE C ( $f_c=280$ kg/cm <sup>2</sup> ) | m <sup>3</sup> |         |                        |                     |
| MALLA ELECTROSOLDADA 4" x 4"                                | m <sup>2</sup> |         |                        |                     |
| TOTAL   |                |         |                        |                     |

**TÍTULO DE TESIS:** EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA DETERMINACIÓN DEL TIPO DE SOSTENIMIENTO DEL MACIZO ROCOSO EN LOS TÚNELES CARRETEROS "LOS ÁNGELES"

**CALIFICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS POR JUICIO DE EXPERTOS**

**TESISTA:** BACH. RICARDO RÍOS BARTOLO      **AÑO:** 2018  
**NOMBRE DEL EXPERTO:** Modesto José Pérez      **ESPECIALIDAD:** Geología y Geotecnia

Clasifique los instrumentos con la siguiente escala de clasificación:  
 Evalúe de 0 (malo) a 100 (excelente).

**FECHA DE REVISION:** 22 / 10 / 2018

| INSTRUMENTOS:                     | CALIFICACIÓN: | COMENTARIOS:  |
|-----------------------------------|---------------|---|
| FICHAS TÉCNICAS                   |               |   |
| CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RQD     | 85            | Los instrumentos son válidos y confiables para la presente tesis. |
| CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR     | 85            |   |
| CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA Q       | 85            |   |
| CANTIDADES Y COSTOS DE MATERIALES | 85            |   |
| PROMEDIO                          | 85            |   |

  
 Modesto José Pérez Salinas  
 Especialista en Geología y Geotecnia  
 Ingeniero Geólogo  
 CIP. 35782



Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

**FICHA TÉCNICA N°01 - INDICE RQD**

DATOS DE MAPEO GEOMECANICO

OBRA: \_\_\_\_\_  
LUGAR: \_\_\_\_\_  
LABOR: \_\_\_\_\_

POR: \_\_\_\_\_  
FECHA: \_\_\_\_\_  
HOJA: \_\_\_\_\_

$RQD = 115 - 3.3 J_v$  , Donde  $J_v$  = número total de discontinuidades por  $m^3$   
( $0 < RQD < 100$  para  $35 > J_v > 4.5$ ).

| ESTACION<br>GEOMECÁNICA | LONGITUD DE<br>MUESTRA | N° DE FRACTURAS | Jv | ÍNDICE R.Q.D. | COMENTARIO |
|-------------------------|------------------------|-----------------|----|---------------|------------|
| 85                      |                        |                 |    |               |            |
|                         |                        |                 |    |               |            |
|                         |                        |                 |    |               |            |
|                         |                        |                 |    |               |            |
|                         |                        |                 |    |               |            |
|                         |                        |                 |    |               |            |
|                         |                        |                 |    |               |            |
|                         |                        |                 |    |               |            |
|                         |                        |                 |    |               |            |
|                         |                        |                 |    |               |            |
|                         |                        |                 |    |               |            |
|                         | <b>PROMEDIO:</b>       |                 |    |               |            |

A

Modesto José Pérez Salinas  
Especialista en Geología y Geotecnia  
Ingeniero Geólogo  
C.I.P. 35782

85



**DATOS DE MAPEO GEOMECANICO**


**Obra:** MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CENTRAL

**Lugar:** Tramo Puente Los Ángeles - Ricardo Palma

**Estación:** Estación geomecánica N°

**Progresivas:** Km - Km

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

  
 Modesto José Pérez Salinas  
 Especialista en Geología y Geotecnia  
 Ingeniero Geólogo  
 CIP. 35702

85







## A) PERNOS DE ANCLAJE


| SOSTENIMIENTO PARA<br>ROCA TIPO                                 | II | SOSTENIMIENTO PARA ROCA<br>TIPO                                 | III |
|---|----|---|-----|
| PERNOS DE ANCLAJE 25mm x<br>3.00m                               |    | PERNOS DE ANCLAJE<br>25mm x 3.00m                               |     |
| Longitud de pernos:<br>Separación longitudinal entre<br>pernos: |    | Longitud de pernos:<br>Separación longitudinal entre<br>pernos: |     |
| Progresiva inicial:<br>Progresiva final:<br>Longitud de tramo:  |    | Progresiva inicial:<br>Progresiva final:<br>Longitud de tramo:  |     |
| CANTIDAD DE PERNOS  |    | CANTIDAD DE PERNOS  |     |

## B) SHOTCRETE

| TIPO DE<br>ROCA | LONGITUD<br>(m) | A1 -<br>SECCION<br>PRIMERA<br>CAPA | A2 -<br>SECCION<br>SEGUNDA<br>CAPA | VOLUMEN DE<br>SHOTCRETE<br>PRIMERA<br>CAPA | VOLUMEN DE<br>SHOTCRETE<br>SEGUNDA<br>CAPA | VOLUMEN<br>TOTAL DE<br>SHOTCRETE |
|-----------------|-----------------|------------------------------------|------------------------------------|--|--|----------------------------------|
| II              |                 |                                    |                                    |  |  |                                  |
| III             |                 |                                    |                                    |  |  |                                  |
| TOTAL           |                 |                                    |                                    |  |  |                                  |

## C) MALLA ELECTROSOLDADA

| TIPO DE ROCA | LONGITUD (m) | PERIMETRO<br>ARCO (m) | MALLA<br>ELECTROSOLDADA<br>4" x 4" (m2) |
|--------------|--------------|-----------------------|---|
| II           |              |                       |   |
| III          |              |                       |   |
| TOTAL        |              |                       |   |

  
 Modesto José Pérez Salmeán  
 Especialista en Geología y Geotecnia  
 Ingeniero Geólogo  
 CIP. 35777

## D) COSTO TOTAL

| SOSTENIMIENTO  | UNIDAD         | METRADO | Costo<br>Unitario | COSTO TOTAL |
|--|----------------|---------|-------------------|-------------|
|  |                |         | (Soles)           | (Soles)     |
| PERNO DE ANCLAJE<br>PASIVO DE 25mm x 3.00m                 | und            |         |                   |             |
| SHOTCRETE CONCRETO<br>CLASE C (fc=280 kg/cm <sup>2</sup> ) | m <sup>3</sup> |         |                   |             |
| MALLA<br>ELECTROSOLDADA 4" x 4"                            | m <sup>2</sup> |         |                   |             |
| <b>TOTAL</b>   |                |         |                   |             |

**TÍTULO DE TESIS:** EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA DETERMINACIÓN DEL TIPO DE SOSTENIMIENTO DEL MACIZO ROCOSO EN LOS TÚNELES CARRETEROS "LOS ÁNGELES"

**CALIFICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS POR JUICIO DE EXPERTOS**

**TESISTA:** BACH. RICARDO RÍOS BARTOLO

**AÑO:** 2018

**NOMBRE DEL EXPERTO:**

*Luis Oscategui*

**ESPECIALIDAD:**

*Geología y Geotecnia*

Clasifique los instrumentos con la siguiente escala de clasificación:  
 Evalúe de 0 (malo) a 100 (excelente).

**FECHA DE REVISION:** 19-10-18

| INSTRUMENTOS:                     | CALIFICACIÓN: | COMENTARIOS:  |
|-----------------------------------|---------------|---|
| FICHAS TECNICAS                   |               |   |
| CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RQD     | 85            | <i>Los elementos contenidos en los instrumentos son pertinentes, para la obtención de la información correspondiente.</i> |
| CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR     | 85            |   |
| CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA Q       | 85            |   |
| CANTIDADES Y COSTOS DE MATERIALES | 85            |   |
| PROMEDIO                          | 85            |   |

*Luis Alberto Oscategui Salazar*  
 Especialista en Geología y Geotecnia  
 Ingeniero Geólogo  
 CIP 54201





DATOS DE MAPEO GEOMECANICO

Obra: MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CENTRAL  
Lugar: Tramo Puente Los Ángeles - Ricardo Palma  
Estación: Estación geomecánica N°  
Progresivas: Km - Km

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

  
Luis Alberto Oscategui Salazar  
Especialista en Geología y Geotecnia  
Ingeniero Geólogo  
CIP. 54201





## A) PERNOS DE ANCLAJE

| SOSTENIMIENTO PARA ROCA TIPO                                   | II | SOSTENIMIENTO PARA ROCA TIPO                                   | III |
|--|----|--|-----|
| PERNOS DE ANCLAJE 25mm x 3.00m                                 |    | PERNOS DE ANCLAJE 25mm x 3.00m                                 |     |
| Longitud de pernos:<br>Separación longitudinal entre pernos:   |    | Longitud de pernos:<br>Separación longitudinal entre pernos:   |     |
| Progresiva inicial:<br>Progresiva final:<br>Longitud de tramo: |    | Progresiva inicial:<br>Progresiva final:<br>Longitud de tramo: |     |
| CANTIDAD DE PERNOS   |    | CANTIDAD DE PERNOS   |     |

## B) SHOTCRETE

| TIPO DE ROCA | LONGITUD (m) | A1 - SECCION PRIMERA CAPA | A2 - SECCION SEGUNDA CAPA | VOLUMEN DE SHOTCRETE PRIMERA CAPA | VOLUMEN DE SHOTCRETE SEGUNDA CAPA | VOLUMEN TOTAL DE SHOTCRETE |
|--------------|--------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| II           |              |                           |                           |                                   |                                   |                            |
| III          |              |                           |                           |                                   |                                   |                            |
| TOTAL        |              |                           |                           |                                   |                                   |                            |

## C) MALLA ELECTROSOLDADA

| TIPO DE ROCA | LONGITUD (m) | PERIMETRO ARCO (m) | MALLA ELECTROSOLDADA 4" x 4" (m2) |
|--------------|--------------|--------------------|-----------------------------------|
| II           |              |                    |                                   |
| III          |              |                    |                                   |
| TOTAL        |              |                    |                                   |

## D) COSTO TOTAL

| SOSTENIMIENTO                              | UNIDAD | METRADO | Costo Unitario (Soles) | COSTO TOTAL (Soles) |
|--|--------|---------|------------------------|---------------------|
| PERNO DE ANCLAJE PASIVO DE 25mm x 3.00m    | und    |         |                        |                     |
| SHOTCRETE CONCRETO CLASE C (fc=280 kg/cm2) | m3     |         |                        |                     |
| MALLA ELECTROSOLDADA 4" x 4"               | m2     |         |                        |                     |
| <b>TOTAL</b>                               |        |         |                        |                     |

  
 Luis Alberto Ocategui Salazar  
 Especialista en Geología y Geotecnia  
 Ingeniero Geólogo

CIP: 54201