

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA GEOLÓGICA**

**EVALUACIÓN GEOMECANICA Y DISEÑO DE  
SOSTENIMIENTO EN UNA LABOR  
SUBTERRANEA, ALGAMARCA, CAJABAMBA,  
CAJAMARCA 2023**

Tesis para optar al título profesional de:

**Ingeniero Geólogo**

**Autor:**

Kevin Michel Loaiza Julcamoro  
Andre Alexander Rojas Urrutia

**Asesor:**

Mg. Ing. Óscar Arturo Vásquez Mendoza  
<https://orcid.org/0000-0003-4920-2204>

Cajamarca - Perú

2023

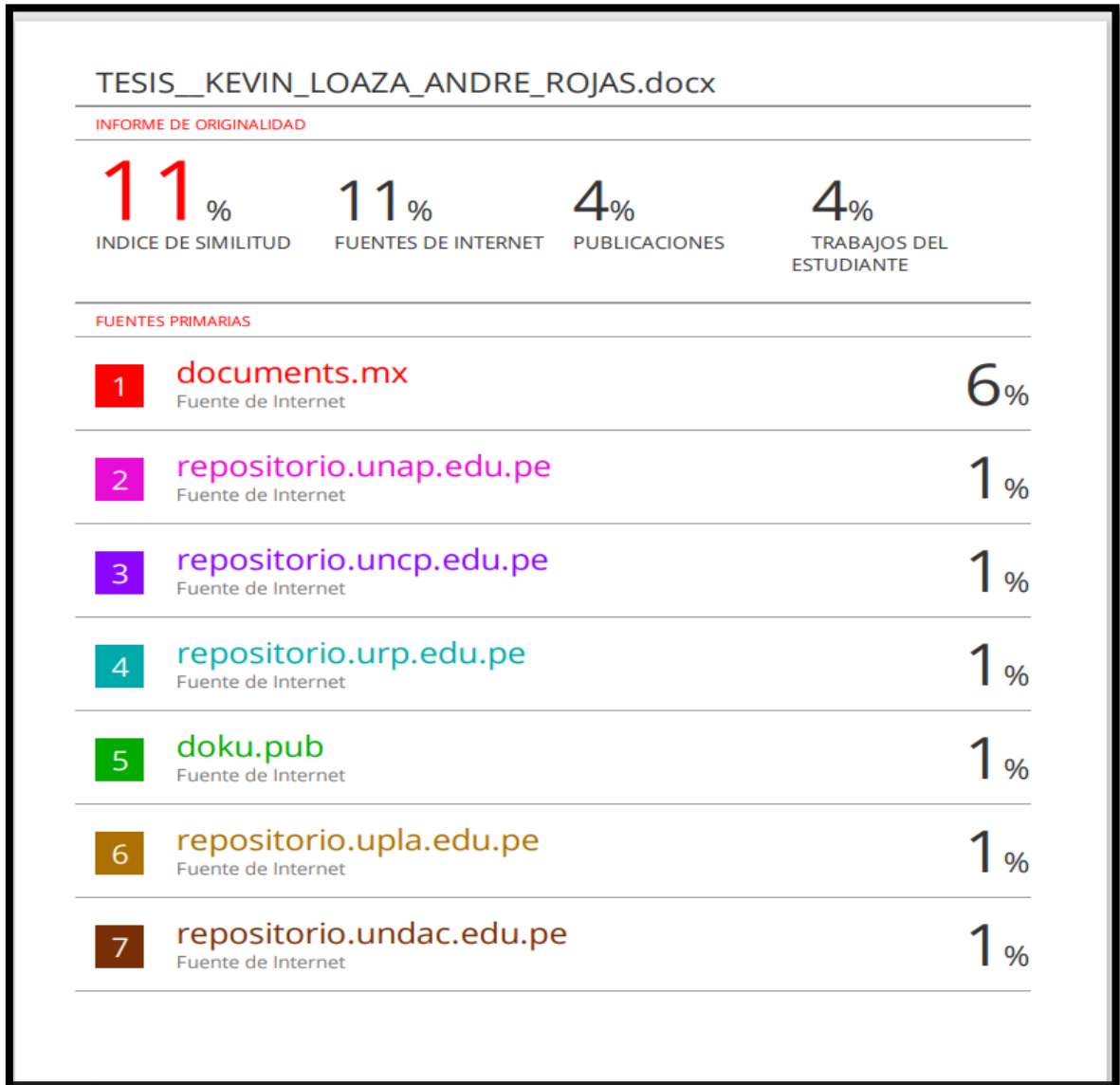
**JURADO EVALUADOR**

|                           |                                 |                 |
|---------------------------|---------------------------------|-----------------|
| Jurado 1<br>Presidente(a) | <b>Wilder Chuquiruna Chávez</b> | <b>41245114</b> |
|                           | Nombre y Apellidos              | Nº DNI          |

|          |                                   |                |
|----------|-----------------------------------|----------------|
| Jurado 2 | <b>Rafael Napoleón Ocas Boñon</b> | <b>4281130</b> |
|          | Nombre y Apellidos                | Nº DNI         |

|          |  |                 |
|----------|--|-----------------|
| Jurado 3 | <b>Miguel Ricardo Portilla Castañeda</b> | <b>45209190</b> |
|          | Nombre y Apellidos                       | Nº DNI          |

INFORME DE SIMILITUD



## DEDICATORIA

Esta tesis esta dedicada a:

Al creador de todas las cosas, el que me ha dado fortaleza y ha sido mi guía en momentos difíciles, dedico este trabajo en primer lugar al Dios Todopoderoso.

A mis padres Carlos y Maritza quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mi el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios esta conmigo siempre.

A mi hermano Eduardo por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mi una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

*Kevin Loaiza*

A mis padres por darme todo el apoyo incondicional a lo largo de mi formación, a mi asesor por brindarme las pautas necesarias que me ayudo a culminar este trabajo de investigación.

*Andre Rojas.*

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, mi gratitud está dirigida a Dios Todopoderoso por las bendiciones a lo largo de mi vida, por su infinito amor, por brindarme la sabiduría y fuerza para alcanzar cada meta trazada a pesar de las adversidades.

A mis progenitores, Carlos y Maritza por estar siempre a mi lado, por confiar en mí, por sus consejos, y su gran amor, gracias por los valores que me han inculcado, les estaré eternamente agradecida.

A mi casa de estudios superiores, la Universidad Privada Del Norte y a todos los docentes que a lo largo de estos años ha compartido sus conocimientos y experiencias profesionales conmigo, sobre todo un reconocimiento especial a mi asesor el Ingeniero Oscar Vásquez quien ha sido guía en la realización de esta tesis que representa un escalón más hacia mi futuro profesional, quien fue participe en la mejora continua del proceso de aprendizaje y enseñanza. Y para concluir a todas y todos quienes de una u otra forma han colocado un granito de arena para el logro de este Trabajo de Grado, agradezco de forma sincera su valiosa colaboración.

*Kevin Loaiza*

En primer lugar, a Dios, por darme la fortaleza y sabiduría para poder concretar este trabajo de investigación, a mis padres por brindarme todo el apoyo moral y económico en mi formación académica.

*Andre Rojas.*

## Tabla de contenido

|                                       |           |
|---------------------------------------|-----------|
| JURADO EVALUADOR                      | 2         |
| INFORME DE SIMILITUD                  | 3         |
| DEDICATORIA                           | 4         |
| AGRADECIMIENTO                        | 5         |
| TABLA DE CONTENIDO                    | 6         |
| ÍNDICE DE TABLAS                      | 7         |
| ÍNDICE DE FIGURAS                     | 8         |
| RESUMEN                               | 10        |
| CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN              | 11        |
| <b>1.1. Realidad problemática</b>     | <b>11</b> |
| <b>1.2. Formulación del problema</b>  | <b>17</b> |
| <b>1.3. Objetivos</b>                 | <b>17</b> |
| 1.3.1. Objetivo Principal             | 17        |
| 1.3.2. Objetivos Específicos          | 17        |
| <b>1.4. Hipótesis</b>                 | <b>17</b> |
| CAPÍTULO II: METODOLOGÍA              | 18        |
| CAPÍTULO III: RESULTADOS              | 37        |
| CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES | 72        |
| REFERENCIAS                           | 77        |
| ANEXOS                                | 79        |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Datos generales de la zona de estudio.....                                    | 22 |
| Tabla 2. Ruta a la zona de estudio.....  | 22 |
| Tabla 3. Cálculo del índice a partir de un mapeo geomecánico.....                      | 37 |
| Tabla 4. Cartografiado Geomecánico.....  | 39 |
| Tabla 5. Ajuste de corrección para la familia J1 .....                                 | 40 |
| Tabla 6. Ajuste de corrección para la familia J2.....                                  | 40 |
| Tabla 7. Ajuste de corrección para la familia J3.....                                  | 41 |
| Tabla 8. Ajuste de corrección para la familia J4.....                                  | 42 |
| Tabla 9. Calidad del macizo rocoso con relación al Índice RMR.....                     | 44 |
| Tabla 10. Mapeo Geomecánico de las discontinuidades.....                               | 46 |
| Tabla 11. Análisis de la rotura planar del Set J1 (Estático y Pseudo-estático).....    | 55 |
| Tabla 12. Análisis de la rotura en vuelco del Set J2 (Estático y Pseudo-estático)..... | 59 |
| Tabla 13. Combinación 4 familias discontinuidades para formación de cuñas Unwedge....  | 61 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Accesibilidad hasta la labor subterránea.....                                   | 23 |
| Figura 2. Temperatura en el lugar de estudio.....   | 24 |
| Figura 3. Temporada de lluvias en el lugar de estudio.....                                | 25 |
| Figura 4. El porcentaje de días que se observan diferentes tipos de precipitación.....    | 25 |
| Figura 5. Clima por mes.....  | 26 |
| Figura. 6. Vegetación de área de estudio.....   | 26 |
| Figura 7. Estimación de la resistencia a la compresión.....                               | 37 |
| Figura 8. Estimación de JRC mediante la superficie amplitud de la rugosidad.....          | 38 |
| Figura 9. Gráfico de Ajuste de corrección de la J1.....                                   | 40 |
| Figura 10. Gráfico de Ajuste de corrección de la J2.....                                  | 41 |
| Figura 11. Gráfico de Ajuste de corrección de la J3.....                                  | 41 |
| Figura 12. Gráfico de Ajuste de corrección de la J4.....                                  | 42 |
| Figura 13: Ploteo de la valoración en MPa de la resistencia a la compresión Uniaxial..... | 43 |
| Figura 14: Ploteo de la valoración en porcentaje del RQD.....                             | 43 |
| Figura 15. ploteo de valoración del espaciamiento entre discontinuidades en mm.....       | 44 |
| Figura16. Valor de GSI, de las estructuras y condiciones de las discontinuidades.....     | 45 |
| Figura 17. Proyección estereográfica de las familias J1, J2, J3, J4.....                  | 44 |
| Figura 18. Diagrama de Rosas de las familias de discontinuidades.....                     | 44 |
| Figura 19. Análisis cinemático de roturas.....  | 49 |
| Figura 20. Valores ángulo de fricción, orientación del talud, dirección y buzamiento..... | 49 |
| Figura 21. Análisis cinemático del área crítica.....                                      | 50 |
| Figura 22. Valores de ángulo de fricción, orientación del talud.....                      | 50 |
| Figura 23. Coordenadas para la obtención del coeficiente de simicidad.....                | 51 |
| Figura 24. espectro de peligro uniforme con un periodo de retorno de 475 años.....        | 52 |
| Figura 25. Perspectiva del posible deslizamiento del Bloque de roca Familia J1.....       | 53 |
| Figura 26. Análisis del Factor de Seguridad en el hastial izquierdo.....                  | 53 |
| Figura 27. Factor de Seguridad falla planar.....  | 54 |
| Figura 28. Factor de Seguridad en el hastial izquierdo de la galería es estable.....      | 54 |
| Figura 29. Factor de Seguridad se aprecia que el hastial izquierdo inestable en.....      | 55 |



Figura 30. Propuesta de estabilidad mediante la instalación de perno..... 56

Figura 31. Análisis del Factor de Seguridad Mohr Coulomb talud no estable.....57

Figura 32. Factor de Seguridad por el modelo de Mohr Coulomb, se aprecia el hastial izquierdo de la galería no es estable.....58

Figura 33. Factor de Seguridad por el modelo de Mohr Coulomb, se aprecia que el hastial izquierdo de la galería es inestable.....58

Figura 34. Factor de Seguridad por el modelo de Mohr Coulomb, hastial izquierdo de la galería es inestable en condiciones saturadas y Pseudo estáticas.....59

Figura 35. Estabilidad mediante la instalación de pernos.....60

Figura 36. Proyección Estereográfica de familias J2, J3, J4 combinación número 1.....62

Figura 37. Cuñas de la combinación 2,3,4 en condiciones estáticas.....63

Figura 38. Cuñas de la combinación 2,3,4 en condiciones Pseudo estáticas.....64

Figura 39. Propuesta de estabilidad para la combinación 2,3,4.....64

Figura 40. Estereográfica de familias J1, J2, J3 de la combinación número 2.....65

Figura 41. Cuñas de la combinación 123 en condiciones estáticas.....66

Figura 42. Cuñas de la combinación 1,2,3 en condiciones Pseudo estáticas.....66

Figura 43. Propuesta de estabilidad para la combinación 2,3,4.....67

Figura 44. Proyección Estereográfica de familias J1, J3, J4 de combinación número 3....67

Figura 45. Cuñas de la combinación 1,3,4 en condiciones estáticas.....68

Figura 46. Cuñas de la combinación 1,3,4 en condiciones Pseudo estáticas.....69

Figura 47. Estereográfica de las familias J1, J2, J4 de la combinación número 4.....69

Figura 48. Cuñas de la combinación 1,3,4 en condiciones estáticas.....70

Figura 49. Cuñas de la combinación 1,3,4 en condiciones Pseudo estáticas.....71

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo realizar la evaluación geomecánica y diseño de sostenimiento en una labor subterránea en Algamarca, Cajabamba, Cajamarca 2023. Para el cumplimiento del objetivo se aplicó las siguientes metodologías, se caracterizó el macizo rocoso mediante los parámetros de Bienawski con el RMR del 89 y considerando el ajuste por orientación obteniendo un RMR básico de 48 teniendo una puntuación de 43.25 considerando el ajuste, clasificándose como Roca regular Tipo B. Se calculó el índice de Q según la clasificación de Barton obteniéndose un índice promedio de 3.29, clasificándose como Tipo de Roca Mala y acercándose a categorizarse como regular, Se determinó las propiedades físicas tales como resistencia obteniéndose un rebote promedio de 52 con el martillo de Schmidt, un JRC de 6 con el peine de Barton para las familias críticas y una resistencia a la compresión Uniaxial promedio de 177, Se realizó el análisis de discontinuidades para las 04 familias reconocidas en el mapeo geomecánicos, además se realizó la evaluación del tipo de rotura e identificándose que se podría producir una rotura planar. Se calculó el factor de seguridad para la rotura planar obteniéndose un valor de 0.74 para condiciones Pseudoestáticas y saturadas, además se hizo la corrida para el cociente de seguridad de la rotura en vuelco con un valor de 0.75 para las condiciones estáticas y saturadas; además se obtuvo los factores de seguridad para las potenciales cuñas deslizantes de las 04 combinaciones, siendo las combinaciones 234 y 123 las que presentan factores de seguridad menores a 1, por lo que se propuso la instalación de obras de drenaje y la instalación de pernos en los hastiales y techo de la galería como medida de sostenimiento a fin de garantizar la estabilidad de la labor.

**PALABRAS CLAVES:** Geomecánica, sostenimiento, diseño, labor, subterránea.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

(Arana, 2019). Presentó su Tesis para la obtención del Título de Ingeniero de Minas, titulada: “Análisis Geomecánico para Seleccionar El Tipo de Sostenimiento en La Mina Apmnac Pulpera Caylloma - Arequipa”. El sostenimiento que se ha elegido es el de cuadros de madera, porque según las diferentes clasificaciones geomecánicas que se han estudiado se ha obtenido valores de RMR entre 38 y 63 en rocas sin mineralización, en cambio en zonas mineralizadas el RMR es menor a 23 por lo cual el sostenimiento es inmediato, así como se ha determinado en la evaluación de labores auto soportadas. (Mamani, 2019). Presentó su Tesis para la obtención del Título de Ingeniero de Minas, titulada: “Diseño de la Construcción Subterránea de la Mina Escuela Carolina Con Fines Académicos Y De Investigación”. A través de la caracterización geomecánica se logra cumplir con los objetivos teniendo como resultado las zonas de estabilidad en las progresivas 3, 6, 12 y 16 con un valor de RMR de Bieniawski de 63 (buena), 55 (regular), 51 (regular) y 50 (regular), y teniendo como tipo de sostenimiento, empernado sistemático con espaciamiento de 2.8m, empernado puntual, empernado sistemático con espaciamiento de 1.5m y, empernado sistemático con espaciamiento de 1.5m, respectivamente.

(Calderon, 2018). Presentó su Tesis para la obtención del Título de Ingeniero de Minas, titulada: “Caracterización geomecánica para la determinación del tipo de sostenimiento en la galería gabilán de oro de la UEA Ana María”. No existe ningún estudio geomecánico preliminar para determinar el tipo de sostenimiento, se desconoce la calidad del macizo rocoso, es por ello que surgió la necesidad del presente estudio que cual tiene como objetivo realizar una caracterización geomecánica y

determinar el tipo de sostenimiento; la metodología usada fue descriptiva - cuantitativa, la misma que nos permitió examinar los datos de manera científica (forma numérica); a través de la caracterización geomecánica se logra cumplir los objetivos teniendo como resultado para la estaciones geomecánicas 1, 2, 3, 4, 5 y 6 un valor RMR de Bieniawski de 53 (regular), 61 (buena), 58 (regular), 69 (buena), 57 (regular) y 63 (buena) respectivamente, de igual forma un valor de índice Q de Barton de 5.4 (regular), 21.1 (buena), 12.7 (buena), 82.0 (muy buena), 10.7 (buena) y 29.7 (buena) para cada estación geomecánica respectivamente; se determina un sostenimiento con pernos Hydrabolt con capacidad de 16 toneladas y el colocado es de manera sistemática, se consideró un factor de seguridad de 2.0, se realizaron dos diseños de sostenimiento.

(Quispe, 2018). Presentó su Tesis para la obtención del Título de Ingeniero de Minas, titulada: “Evaluación geomecánica para la elección del tipo de sostenimiento en el túnel Yauricocha del NV. 720, Sociedad Minera Corona S.A.” Tiene su fundamento en la constante inestabilidad de la masa rocosa, que genera el incremento de costos por falta de control, frente a la caída permanente de las rocas, presenta condiciones desfavorables de trabajo. Esta investigación pretende determinar los lineamientos para obtener un sistema de información geomecánica útil y que permita su procesamiento y consiguiente análisis, con el objetivo de establecer parámetros geomecánicos que permitan tener condiciones de trabajo seguro, garantizando la estabilidad del macizo rocoso mediante la elección del tipo de sostenimiento adecuado, todo esto de acuerdo a la calidad del mismo, disminuyendo los riesgos de accidentes e incidentes por caída de rocas.

(Cruzado, 2017). Presentó su Tesis para la obtención del Título de Ingeniero Geólogo, titulada: “Evaluación Geomecánica del Túnel de la Central Hidroeléctrica Potrero – San Marcos - Cajamarca”. El túnel mencionado está construido sobre rocas areniscosas, la cuales presentan bastantes discontinuidades y flujos debido a las infiltraciones, lo cual define su comportamiento geomecánico y geotécnico para la construcción del túnel. Dichas variables al interactuar en conjunto producen inestabilidad en el túnel.

(Fabian, E & Guerrero , J, 2017). Presentaron su Tesis para la obtención del Título de Ingeniero de Minas, titulada: “Aplicación de la Geomecánica en los Frentes de Avances de Carbón Para Prevenir Accidentes por Desprendimientos de Rocas en la Cia. Minera Reyna Cristina – Ancash”. Esta tesis determina la influencia de la aplicación de la geomecánica en los frentes de avances de carbón para prevenir accidentes por desprendimientos de rocas en la CIA. Minera Reyna Cristina. (Lazaro, 2017). Presentó su Tesis para la obtención del Título de Ingeniero de Minas, titulada: “Geomecánica Aplicada al Diseño del Sostenimiento para Mejorar La Estabilidad de las Labores Mineras En La Mina Caridad de La Compañía Minera Lincuna S.A. – 2017”. Los trabajos se dieron inicio con el acopio de información geomecánica básica en base a mapeos de caracterización geomecánica y estructural; así como también, el seguimiento de los diferentes elementos de sostenimiento utilizados en la mina, evaluando su performance y propiedades mecánicas. Una vez obtenida la información suficiente, se procedió a agrupar y clasificar los datos para obtener valores representativos para los diferentes tipos litológicos de la zona. Para la descripción de la calidad del macizo rocoso se usó el sistema de clasificación geomecánica RMR.

Carhuamaca J. (2019) es su tesis “Evaluación y optimización del sostenimiento con cimbras en mina subterránea” Para poder entender la interacción roca soporte, se ha adjuntado a la presente tesis la simulación en el programa Phases 6.0, del comportamiento de las cimbras más usadas en la mina Rosaura (THN-29, 6H20). Como antecedente más cercano se considera la mina Paredones, que comenzó a producir plata pura ha mediado del siglo XVII estando en manos de unos portugueses judíos asentados en Celendín llegados de Brasil por las rutas de lamas y Chachapoyas luego fue abandonada en el siglo XIX debido a los constantes derrumbes, un último en que murieron muchísimas personas hecho que constituyo una tragedia en toda la zona motivo suficiente para ahuyentar a los propietarios como a los trabajadores. Desde el año 1924 la empresa Northen Perú Mining Corporation tomó posiciones, se convirtió propietario de la empresa cambiando definitiva y legalmente el nombre de Chiquilete por el de Paredones, actualmente es dueña la compañía minera Occidental 2 y que actualmente están efectuando trámites para reactivar el proyecto minero olimetálico, se observó que el sostenimiento que se ha empleado desde hace 45 años, en algunos tramos se utilizó el sostenimiento pasivo (cuadros de madera), y en otros no fue necesario ya que se autosostenía por efectos de la clasificación competente de la roca (andesita), pero de darse esta reactivación de proyecto es necesario recalcar que se necesita de un estudio geomecánico detallado para determinar el tipo de sostenimiento adecuado y evitar posibles derrumbes en las labores considerando la antigüedad de abandono de la misma.

Un estudio realizado por (Barraza & Raúl, 2018) en la mina Ana María - Puno, con el objetivo de zonificar el macizo rocoso muestreadas en 54 metros lineales con una sección de 4x5 mts lineales, obteniéndose datos de 11 estaciones subterráneas donde

se determinó la estabilidad y el diseño de sostenimiento a través de la caracterización geomecánica en base a los sistemas de clasificación Bieniawski (RMR89), Barton (Q), Hoek (GSI). Obteniendo como resultado un RMR promedio de 48, que corresponde a una roca regular, con un índice Q promedio de 0.96, también hay presencia de cuñas. El tipo de soporte proporciona pernos en la corona como en los hastiales con diámetro de taladro de 20 mm, longitud de 3 a 4 m, espaciamiento de 1.5 a 2 m y hormigón proyectado de 4 a 10 cm. de espesor, con un factor de seguridad de 1.26. Además, concluye que la aplicación de la geomecánica determina el sistema de sostenimiento adecuado.

Un estudio realizado por (Pérez & Daniel, 2017) en un túnel minero, localizado en España, de 3150 m lineales de diámetro grande, con el objetivo de reconocer, predecir y controlar el comportamiento tanto del macizo rocoso como del sostenimiento ante la presencia de diferentes acciones como esfuerzos, utilizando clasificaciones geomecánicas RMR, Índice Q y GSI para valorar la calidad del macizo rocoso. Además, realizó un análisis de los principales factores geológicos, una caracterización estructural e hidrológica que intervienen en el comportamiento del macizo rocoso. Obteniendo como resultado un macizo rocoso de calidad bueno a regular (II-III). El diseño de sostenimiento consiste en bulones de anclaje con diámetro de 32 mm con longitudes variables de 3 a 5 m; hormigón proyectado reforzado con fibras con espesores de 30mm a los 250 mm; y cerchas metálicas tipo HBE180.

(Villanueva, J. & Rodríguez, J., 2016). Presentaron su Tesis para la obtención del Título de Ingeniero de Minas, titulada: “Caracterización Geomecánica del Macizo Rocosos en la Ampliación del Túnel Exploratorio Karen Milagros, Región Amazonas, 2016”. Se realizó la evaluación geomecánica de los macizos rocosos presentes en la

zona de ampliación del túnel exploratorio Karen Milagros, mediante el logeo y ensayos de carga puntual y peso específico en testigos de rocas de sondajes diamantinos, cuyos datos analizados estadísticamente, ayudaron a identificar los dominios geomecánicos, así como elaborar cuatro secciones geomecánicas claves NW y un plano geomecánicos del nivel 2370, en base al sistema de clasificación RMR (1989) (Rock Mass Rating).

El diseño de sostenimiento y soporte de cuñas o bloques, formadas en las excavaciones, depende básicamente de la condición geomecánica del macizo rocoso, de tal manera salvaguardando vidas humanas y de los equipos utilizados en las labores de preparación y explotación. Además, es importante conocer la interacción entre macizo rocoso y el elemento de soporte en base a mediciones in situ, que pueden ser por refuerzo activos o pasivos (Alanoca & Baylon, 2019).

Según (Ortega, 2018), macizo rocoso hace referencia a un volumen importante de roca que se encuentra intersectado totalmente o parcial por las discontinuidades; definiendo numerosos bloques de roca que, en conjunto, conforman el macizo rocoso. Así mismo, los bloques más pequeños por su geometría y distribución conforman la “roca intacta”, la cual queda definida por las estructuras geológicas.



## 1.2. Formulación del problema

¿La evaluación geomecánica del macizo rocoso influye en el diseño de sostenimiento en una labor subterránea Algamarca, Cajabamba, Cajamarca 2023?

## 1.3. Objetivos

### 1.3.1. Objetivo Principal

Realizar la evaluación geomecánica y diseño de sostenimiento en una labor subterránea en Algamarca, Cajabamba, Cajamarca 2023.

### 1.3.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar el macizo rocoso y calcular el RMR y Q de Barton, para conocer la calidad de la labor subterránea en Algamarca, Cajabamba, Cajamarca 2023.
- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de la roca intacta, a través del martillo de schmid, peine de Barton y ensayo de compresión Uniaxial
- Realizar un análisis de juntas y/o discontinuidades a fin de evaluar los tipos de rotura y las cuñas potenciales en la la labor subterránea en Algamarca, Cajabamba, Cajamarca 2023.
- Calcular el factor de seguridad y proponer el diseño de sostenimiento que se utilizara en la la labor subterránea en Algamarca, Cajabamba, Cajamarca 2023.

## 1.4. Hipótesis

La caracterización geomecánica del macizo rocoso influye significativamente para la elección del tipo de sostenimiento la labor subterránea en Algamarca, Cajabamba, Cajamarca 2023.

## **CAPÍTULO II: METODOLOGÍA**

### **2.1 Tipo de Investigación.**

Según su propósito: La investigación fue descriptiva relacional, ya que se relacionó las condiciones del macizo rocoso así mismo su comportamiento influenciado por los fenómenos geológicos y se define los tipos de sostenimiento a aplicarse de acuerdo con la evaluación geomecánica (Oblitas, 2018).

Según su profundidad: La investigación fue explicativa, porque se dio estudio a las relaciones de influencia entre las dos variables, es decir de la caracterización geomecánica y tipo de sostenimiento (Oblitas, 2018).

Según la naturaleza de sus datos: La investigación fue cuantitativa, ya que se utilizó métodos cuantitativos para determinar la caracterización geomecánica (Oblitas, 2018).

Según la manipulación de sus variables: La investigación fue experimental, ya que se manipuló las variables, se tomaron datos tal y como se presenta en la realidad (Oblitas, 2018).

### **2.2. Población y Muestra.**

#### **Población**

Todo el Macizo Rocosos ubicada en Algamarca, Cajabamba, Cajamarca 2023.

#### **Muestra**

05 estaciones geomecánicas de la galería en Algamarca, Cajabamba, Cajamarca 2023.

## 2.3 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

### 2.3.1. Técnicas.

#### **Observación directa**

La recolección de datos se desarrollará in situ, en la labor subterránea en la cual se recolectará información del macizo rocoso con la ayuda de instrumentos.

De igual forma haremos una evaluación geomecánica con diferentes tablas de sostenimiento Q de Barton, RQD, RMR, GSI. Finalmente clasificaremos a qué clase de roca pertenece para seleccionar el mejor método de sostenimiento.

#### **Revisión documentaria.**

La revisión documentaria está orientada a la obtención de información general de evaluación geomecánica y diseño de sostenimiento en una labor subterránea, además de esto se realizó la búsqueda de bibliografías, informes documentados a fin de aplicar el diseño de sostenimiento en una labor subterránea en Algamarca, Cajabamba, Cajamarca.

### 2.3.2. Instrumentos

Los instrumentos para la recolección de datos para la evaluación geomecánica del macizo rocoso se mencionan a continuación.

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

### **2.3.3. Equipos**

Los equipos para la toma de datos en la evaluación geomecánica del macizo rocoso se muestran a continuación:

- ✓ Brújula brunton azimutal
- ✓ Picota
- ✓ Flexómetro:
- ✓ GPS

## **2.4. Procedimiento.**

### **2.4.1. Etapa pre campo**

En esta fase comprenden las actividades antes de realizar la evaluación y recolección de datos en la zona de estudio.

### **2.4.2. Etapa de campo**

En la etapa de campo se consideró la recopilación de la siguiente información:

- Mapeo geomecánico de las Estaciones: Orientación de las juntas
- Caracterización del Macizo Rocosos
- Medición de las secciones de la Galería para cálculo del FS
- Toma de muestras para Ensayo en laboratorio
- Obtención de datos con martillo de Schmid y peine de Barton para aplicación del criterio de Rotura
- Reconocimiento de la geología de la galería y de unidades litoestratigráficas

### **2.4.3. Post Campo**

Para el procesamiento de la información se presentó ayuda de programas de computación exclusivos para el procesamiento de datos e interpretación de datos. Los datos de la caracterización geomecánica serán almacenados en el software Microsoft Excel, las orientaciones de las discontinuidades serán procesadas men el software Dips, aplicativo Undwedge, Rocplane y Roctople, del grupo RocSince

## **2.5. Generalidades**

### **Ubicación Geográfica**

Geográficamente el área de estudio se encuentra comprendida en la cordillera occidental de los andes, exactamente al Eeste de la ciudad de Cajabamba, entre la Algamarca y San Marcos, en la Provincia de Cajabamba.

### **Ubicación Política**

Políticamente se encuentra ubicada en:

- ❖ Departamento: Cajamarca.
- ❖ Provincia: Cajabamba
- ❖ Distrito: Cachachi.

Los datos generales de la Galería se detallan a continuación.

**Tabla 1:**
*Datos generales de la zona de estudio*

|                            |                             |
|----------------------------|-----------------------------|
| <b>Nombre del túnel</b>    | Galería principal Atahualpa |
| <b>Sección del túnel</b>   | 3.7 x .2.5                  |
| <b>longitud</b>            | 150 m                       |
| <b>Uso del túnel</b>       | Acceso principal            |
| <b>Dirección del túnel</b> | N310°                       |
| <b>Litología</b>           | Areniscas                   |
| <b>Coordenadas</b>         | N: 9157788 E: 805534        |
| <b>Altitud</b>             | 3242m.s.n.m                 |

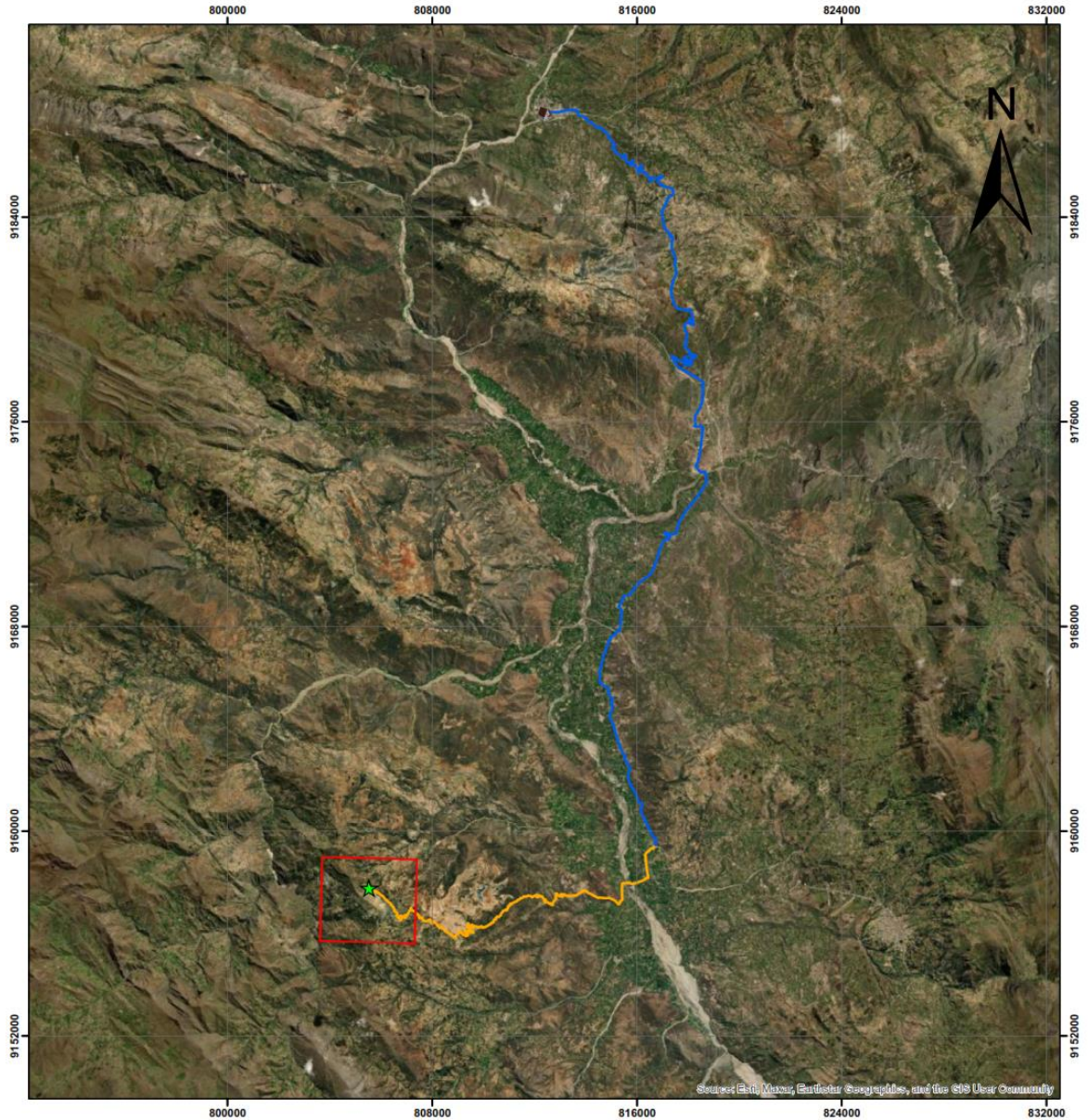
**ACCESIBILIDAD**

Para poder llegar a la zona de estudio tenemos que tener como punto de partida la ciudad de Cajamarca, en el paradero a San Marcos , ubicado en Av. Atahualpa, referencia plazuela Bolognesi; con un tiempo aproximado de viaje de 03 horas en auto mediante vía asfaltada y trocha.

**Tabla 2**
*Ruta a la zona de estudio.*

| <b>RUTA<br/>TERRESTRE</b>       | <b>DISTANCIA<br/>(Km)</b> | <b>TIEMPO<br/>(MIN)</b> | <b>VÍA</b>           |
|---------------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------|
| <b>Lima-Cajamarca</b>           | 859                       | 900                     | Asfaltada            |
| <b>Cajamarca-<br/>Algamarca</b> | 180                       | 180                     | Asfaltada/<br>Trocha |

Nota. En esta tabla podemos apreciar la ruta de accesibilidad para llegar a nuestra zona de estudio, a que distancia se encuentra con respecto a Lima y Cajamarca, tipo de vía y tiempo que tardamos en llegar. Fuente: Google Maps.



*Figura 1.* La figura muestra una imagen satelital de accesibilidad desde la ciudad de San Marcos hasta la labor subterránea Fuente: Google Earth

## Clima

En San Marcos, los veranos son largos, cómodos y nublados y los inviernos son cortos, fríos, secos y parcialmente nublados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de  $6\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $21\text{ }^{\circ}\text{C}$  y rara vez baja a menos de  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  o sube a más de  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

a temporada templada dura 4.0 meses, del 28 de octubre al 28 de febrero, y la temperatura máxima promedio diaria es más de  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El mes más cálido del año en San Marcos es *enero*, con una temperatura máxima promedio de  $21\text{ }^{\circ}\text{C}$  y mínima de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

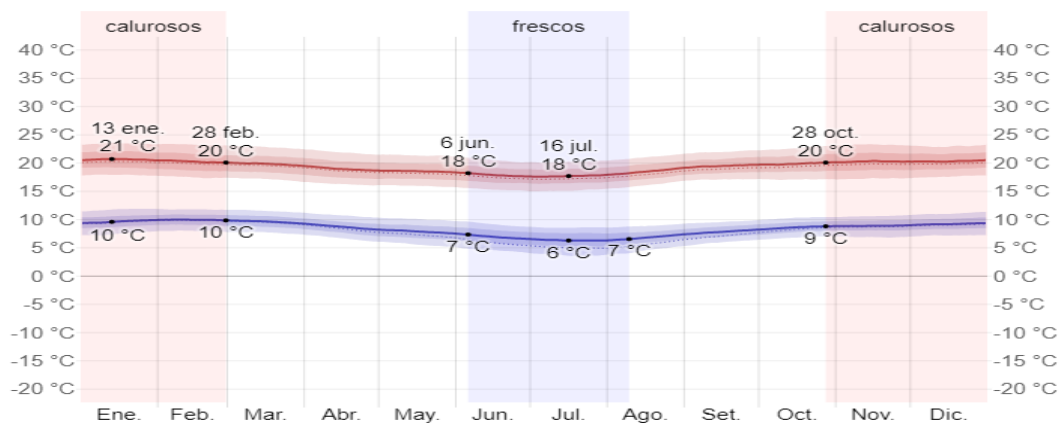


Figura 2. Temperatura en el lugar de estudio.

La temperatura máxima (línea roja) y la temperatura mínima (línea azul) promedio diario

La temporada fresca dura 2.1 meses, del 6 de junio al 9 de agosto, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El mes más frío del año en San Marcos es *Julio*, con una temperatura mínima promedio de  $6\text{ }^{\circ}\text{C}$  y máxima de  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

La temporada de lluvia dura 8.1 meses, del 17 de setiembre al 21 de mayo, con un intervalo móvil de 31 días de lluvia de por lo menos 13 milímetros. El mes con más lluvia en San Marcos es marzo, con un promedio de 56 milímetros de lluvia.

El periodo del año sin lluvia dura 3.9 meses, del 21 de mayo al 17 de setiembre. El mes con menos lluvia en San Marcos es Julio, con un promedio de 2 milímetros de lluvia.



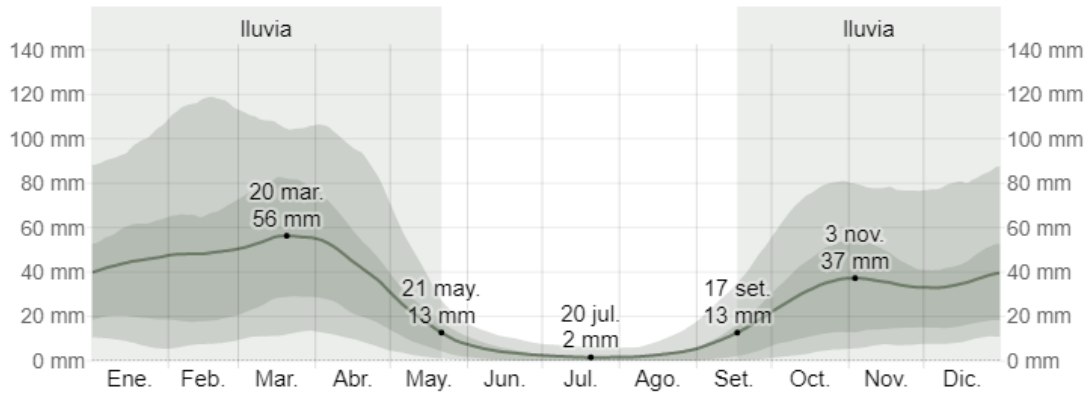


Figura 3. Temporada de lluvias en el lugar de estudio.

La lluvia promedio (línea sólida) acumulada en un periodo de 31 días en una escala móvil, centrado en el día en cuestión, con las bandas de percentiles del 25° al 75° y del 10° al 90°

La precipitación promedio anual es de 730 mm/año; el periodo de lluvias se presenta generalmente desde octubre a mayo y esporádicamente en los otros meses. La temperatura promedio anual de 15°C, la temperatura máxima media mensual oscila entre 22.6 °C y 20.9, valores que corresponden a los meses de agosto y noviembre respectivamente, mientras que la temperatura mínima media mensual, se encuentran entre 6.6 °C y 8.3 °C, para los meses de julio y agosto, respectivamente. La humedad relativa varía entre un máximo de 71.8 % registrado en el mes de febrero, hasta un mínimo de 61 % medido en el mes de agosto.

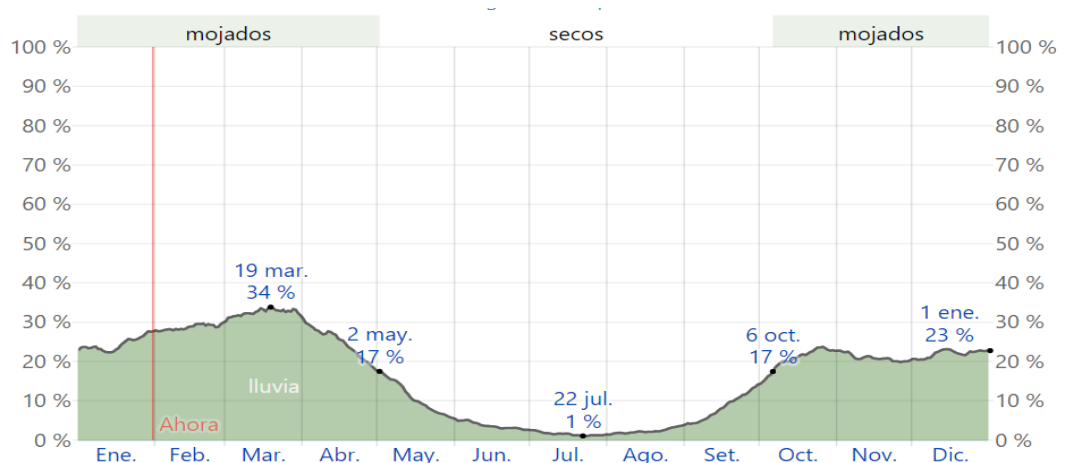


Figura 4. El porcentaje de días en los que se observan diferentes tipos de precipitación

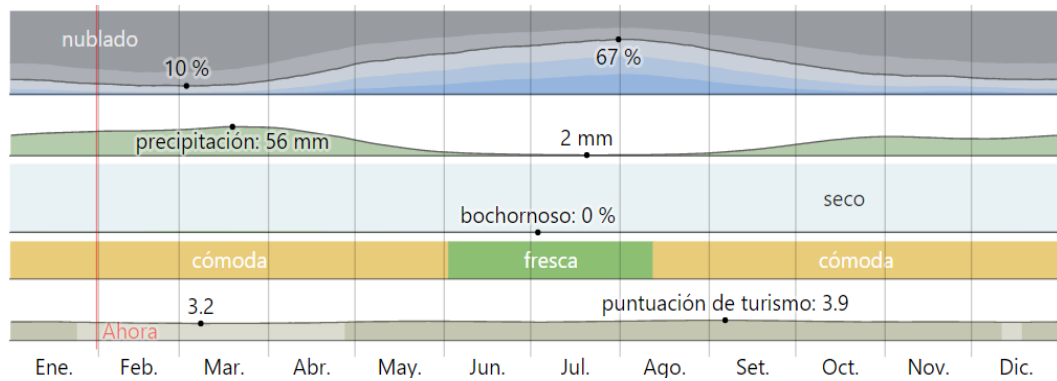


Figura 5. Clima por mes en San Marcos

### Vegetación

Resaltan, especies con exquisitos frutos y variada utilidad (Shirac, Lanche, Pusgay, Pauquillo, Naranja, Higo negro, Huabo, guayabo, Lloque, Quinual, y otras especies de humedales como el aliso, hinea, carrizo, de bosques secos.



Figura 6. Vegetación de área de estudio.

## **UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS**

En el departamento de Cajabamba, a partir del procesamiento e interpretación de la imagen satelital Landsat, se delimitaron veintiocho unidades geomorfológicas que forman parte de los cuatro tipos de Paisaje Dominante (Ingemmet, 2007) las que se detalla a continuación:

### **ALTIPLANICIE**

De acuerdo al origen, a la forma del relieve y a la litología, se han delimitado cuatro unidades geomorfológicas.

a) Altiplanicie fuertemente inclinada

Comprende altitudes desde 3,450 hasta 3,850 m.s.n.m. Corresponde a zonas cuya superficie presentan ligeras ondulaciones.

b) Altiplanicie moderadamente inclinada

Comprende altitudes desde 2,900 hasta los 3,950 m.s.n.m. Corresponde a zonas excavadas por las glaciaciones y que han resultado allanadas por la acumulación glacial; además corresponde a zonas con acumulación de sedimentos lagunares y fluviales.

c) Altiplanicie moderadamente empinada

Comprende altitudes desde 2,600 hasta los 4100 m.s.n.m. Corresponde a zonas cuya superficie presentan ondulaciones más pronunciadas.

d) Altiplanicie plana

Se encuentran en altitudes de 2,650 y 3,700 m.s.n.m. Corresponden a superficies planas excavadas por las glaciaciones y que han resultado allanadas por la acumulación glacial; además corresponde a zonas con depósitos de sedimentos aluviales que han sido transportados por agentes geomorfológicos externos como la escorrentía superficial.

## COLINOSO

Según a su origen, a la forma del relieve, a la pendiente, así como a la litología, se han delimitado cinco unidades geomorfológicas.

a) Colina alta empinada

Comprende altitudes que van desde 400 hasta 2,700 m.s.n.m. Presentan ondulaciones que corresponden a procesos denudacionales y de erosión.

b) Colina alta fuertemente empinada

Se ubican en altitudes aproximadas de 300 y 2700 m.s.n.m. Corresponde a zonas estructuralmente plegadas afectadas por procesos de denudación y por procesos erosivos.

c) Colina alta moderadamente empinada

Se ubican en altitudes entre los 500 y los 2,900 m.s.n.m. Corresponde a zonas cuya topografía presentan ondulaciones, debido a procesos ocasionados por escorrentía superficial; su potencial es reducido debido a las limitaciones topográficas y edáficas, que hacen de éstos medios ecológicamente frágiles y de alta susceptibilidad erosiva.

d) Colina baja fuertemente inclinada

Se encuentran en altitudes entre los 500 y los 2950 m.s.n.m, Corresponde a zonas cuya superficie presentan ligeras ondulaciones.

e) Colina baja moderadamente inclinada

Se encuentran en altitudes entre los 450 y los 2900 m.s.n.m. Corresponde a zonas estructuralmente plegadas originadas por procesos erosionales cuya superficie presentan ligeras ondulaciones.

## **MONTAÑOSO**

De acuerdo al origen, a la forma del relieve y a la litología, se han delimitado doce unidades geomorfológicas.

a) Ladera de montaña empinada

Comprenden altitudes de 2,750 hasta a 3,250 m.s.n.m. Son unidades que se localizan de manera dispersa en casi todo el departamento, incluye laderas de montaña estructuralmente plegadas.

b) Ladera de montaña escarpada

Comprenden altitudes de 1000 y 3700 m.s.n.m. Son unidades que se localizan de manera dispersa, incluye laderas de montaña estructuralmente plegadas.

c) Ladera de montaña fuertemente empinada

Comprenden altitudes de 550 a 4100 m.s.n.m. Son sectores de topografía muy accidentada conformada por laderas de montaña medianamente ramificadas y estructuralmente plegadas, con procesos ocasionados por el actuar de los agentes geomorfológicos que produce deslizamientos, asentamientos, reptación de suelos y desplomes.

d) Ladera de montaña moderadamente empinada

Comprenden altitudes de 850 a 3950 m.s.n.m. Corresponde a zonas de topografía poco accidentada conformada por laderas de montaña moderadamente ramificadas y estructuralmente plegadas; los procesos geomorfológicos también corresponden a los de escorrentía superficial, cuya agua a su paso produce erosión en las laderas.

e) Montaña empinada

Se ubican en diferentes pisos altitudinales. Son unidades geomorfológicas con relieves muy accidentados y de gran magnitud, que corresponden a la morfología de la cordillera andina incluyendo también laderas plegadas.

f) Montaña escarpada

Comprenden altitudes de 3800 m.s.n.m, conformada por laderas montañosas, estructuralmente plegadas, donde aún se conservan rasgos de las estructuras originales a pesar de haber sido afectadas por procesos de denudación (anticlinales y sinclinales).

g) Montaña fuertemente disectada

Comprende diferentes pisos altitudinales. Son áreas montañosas de topografía muy accidentada conformada por laderas fuertemente ramificadas, por las cuales fluyen ríos y quebradas como afluentes de los ríos principales, estructuralmente plegados.

h) Montaña fuertemente empinada

Comprenden diferentes pisos altitudinales, la topografía también es muy accidentada, con laderas expuestas a una erosión bastante fuerte.

i) Montaña moderadamente empinada

Comprenden altitudes que superan los 3850 m.s.n.m. Presenta áreas montañosas con laderas cuya topografía es poco accidentada.

j) Vertiente montañosa empinada

Comprende altitudes que van hasta los 3900 m.s.n.m. Son superficies accidentadas, donde se encuentra áreas montañosas que por lo general emergen sobre las altiplanicies y colinas alto andinas, la erosión actual es significativa por acción de la escorrentía superficial.

k) Vertiente montañosa fuertemente disectada

Comprende altitudes de 850 y 2,950 m.s.n.m. Presenta vertientes montañosas fuertemente ramificadas, con drenaje muy denso representado por quebradas y torrenteras afluentes a ríos principales, en su mayoría se constituyen como naciente de ríos.

l) Vertiente montañosa fuertemente empinada

Comprende altitudes de 950 hasta los 3150 m.s.n.m. Presencia de frecuentes escarpes y áreas encañonadas, que están alternadas por sectores relativamente planos a ondulados que son los que soportan la actividad agrícola de estas zonas.

### **PLANICIE**

De acuerdo al origen, a la forma del relieve y a la litología, se han delimitado siete unidades geomorfológicas.

a) Complejo de terrazas inundable y no inundable

Comprenden altitudes de 200 a 2150 m.s.n.m. Corresponde a valles interandinos en los que existe terrazas inundables y no inundables, originados por depósitos aluviales y fluviales como consecuencia del transporte de sedimentos.

b) Llanura o planicie inundable

Comprende altitudes que van desde 450 hasta los 1000 m.s.n.m. Corresponde al lecho de los ríos, es susceptible a inundaciones periódicas. Por su morfología los ríos de la vertiente pacífica son ríos juveniles, con mayor pendiente longitudinal, a diferencia de los ríos de la vertiente oriental.

c) Piedemonte aluvial

Se ubica a una altura de 2100 m.s.n.m. Corresponde a planicies moderadamente inclinadas, están constituidos por depósitos aluviales (conglomerados y areniscas), que

descienden de las colinas y montañas circundantes, como resultado de la erosión de las cordilleras.

d) Piedemonte aluvio lacustre

Comprende altitudes que van desde 2700 hasta 2850 m.s.n.m. Ocupan las partes bajas del relieve montañoso y colinoso adyacentes a las referidas zonas; su origen radica en la acumulación de sedimentos aluviales y fluviales sobre una concavidad vieja de tipo lagunar.

e) Piedemonte aluvio torrencial

Comprende altitudes que van desde 250 hasta los 1050 m.s.n.m. Presenta zonas con planicies ligeramente inclinadas,, coincidente con el lecho y margen de los ríos y quebradas. Su origen está dado por la acumulación de sedimentos transportados por el agua de escorrentía y están asociados al fenómeno de El Niño.

f) Terraza alta en depósitos aluviales

Se ubica en altitudes de 450 y 2500 m.s.n.m. Corresponde a zonas que se encuentran por encima de las terrazas de inundación, son depósitos de sedimentos, producto de la erosión y del transporte del agua de escorrentía que a su vez es impulsado por la gravedad.

g) Terraza inundable en depósitos aluviales

Se ubican en altitudes entre los 1150 y 2600 m.s.n.m. Corresponde a terrazas bajas muy próximas a los ríos, son originadas por depósitos holocénicos transportados por los ríos, producto de procesos externos dinámicos como deslizamientos, flujos y de la erosión.



## **UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS**

Las unidades presentes en el área de estudio son las siguientes (INGEMMET, 2007):

### **Grupo Goyllarisquiza**

Este grupo en su facies de cuenca ha sido diferenciado en las formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat. Litológicamente consiste en cuarcitas blancas masivas y areniscas generalmente de grano medio y color blanquecino, en la parte inferior, con intercalaciones delgadas de lutitas marrones y grises en la parte superior. Su grosor oscila entre los 200 y 500 m.

### **Formación Chimú**

Sus afloramientos se destacan nítidamente en la topografía por su dureza y estructuras, originando grandes farallones. Estructuralmente, tiene perfectos anticlinales y sinclinales. Litológicamente, consiste en una alternancia de areniscas cuarzosas y lutitas en la parte inferior y de una potente secuencia de cuarcitas blancas, en bancos gruesos, en la parte superior. Las areniscas generalmente son de grano mediano a grueso, con ocasionales lentes de granos de cuarzo poco redondeados.

### **Formación Santa**

El área consiste en una intercalación de lutitas, calizas margosas, y areniscas gris oscuras, con un grosor que oscila entre los 100 y 150 m, sus cambios de facies son gradacionales ya que el material calcáreo lateralmente pasa a pelítico. La formación Santa intemperiza generalmente con un tono gris marrón. Localmente contiene nódulos calcáreos y están cubiertos mayormente por suelo, son observables en los cortes de quebradas y carreteras.

### **Formación Carhuaz**

El área tiene aproximadamente un grosor de 500 m. Consta de una alternancia de areniscas con lutitas grises, las primeras con matices rojizos, violetas y verdosos. Hacia la parte superior contiene bancos de cuarcitas blancas que se intercalan con lutitas y areniscas.

### **Formación Farrat**

Esta formación presenta areniscas cuarzosas blancas de grano medio a grueso, tiene un grosor promedio de 500 m. En algunos lugares se observa estratificación cruzada y marcas de oleaje. Por sus características litológicas, está conformado por escarpas y altas cumbres agudas y largas.

### **Formación Inca**

En esta formación se ha observado que gradualmente se intercalan areniscas calcáreas, lutitas ferruginosas y lechos de cuarcitas, dando en superficie un matiz amarillento. En algunos alrededores es de coloración rojiza, pero en el resto del área, el color predominante es amarillo-anaranjado, con evidente acción de limonitización. Su grosor no pasa de los 100 m.

### **Formación Chulec**

Esta formación Litológicamente consta de una secuencia bastante fosilífera de calizas arenosas, lutitas calcáreas y margas, las que por intemperismo adquieren un color crema-amarillento. Generalmente, los bancos de margas se presentan muy nodulosos y las calizas frescas muestran colores gris-parduzcos algo azulados. Sus grosores varían de 200 a 250 m.

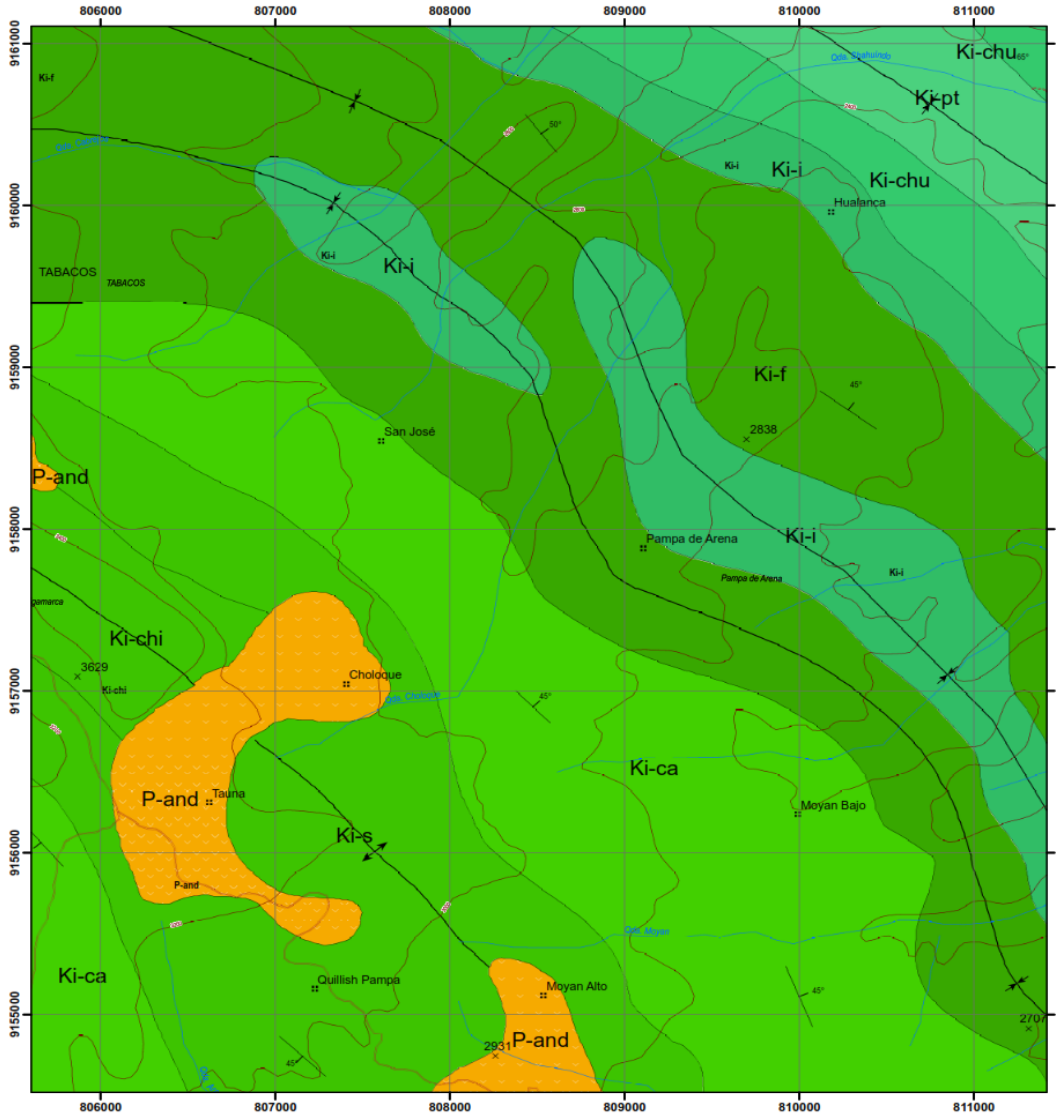
## **Formación Pariatambo**

Esta unidad consiste en una alternancia de lutitas con lechos delgados de calizas bituminosas negruzcas, estratos calcáreos con nódulos silíceos y dolomíticos, con un característico olor fétido al fracturarlas. Generalmente, su espesor oscila entre los 150 a 200 m.

### **Subvolcánica andesita**

Roca volcánica de textura porfídica con cristales de cuarzo, feldespatos y plagioclasas.

# MAPA GEOLÓGICO DEL ÁREA DE ESTUDIO



## LEYENDA

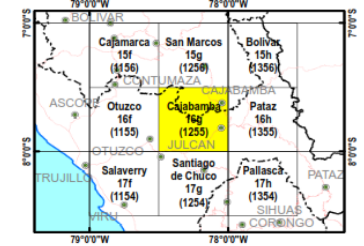
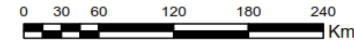
| ERA       | PERIODO     | SERIE       | EDAD (Ma) | UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS                              |
|-----------|-------------|-------------|-----------|---|
| CENOZOICO | CUATERNARIO | HOLOCENO    |           | <b>ROCAS INTRUSIVAS Y SUBVOLCÁNICAS</b><br>P-and Andesita |
|           |             | PLEISTOCENO |           |   |
|           |             | PLIOCENO    |           |   |
|           | PALEOGENO   | MIOCENO     | 5.01      |   |
|           |             | OLIGOCENO   | 23.03     |   |
|           |             | EOCENO      | 66.0      |   |
| MESOZOICO | CRETÁCICO   | PALEOCENO   | 23.03     |   |
|           |             | SUPERIOR    | 9.35      |   |
|           |             | INFERIOR    | 66.0      |   |

| Formación           | Color  | Descripción   |
|---------------------|--------|---|
| Formación Panatambo | Ki-pt  | Calizas negras, bituminosas, con clor férido intercaladas con delgadas niveles de lutitas negras.   |
| Formación Chulec    | Ki-chu | Lutitas grises, margas amarillentas y calizas lutáceas delgadas y nodulares marrón crema.   |
| Formación Inca      | Ki-i   | Caliza masiva arenosa, brechas calcáreas, areniscas y lutitas ferruginosas en capas delgadas intercaladas con caliza impura.                                |
| Formación Farrat    | Ki-f   | Areniscas, cuarcitas blanquecinas y mármoles bien estratificados en capas medias y finas intercaladas con horizontes de lutitas grises, marrones y rosadas. |
| Formación Carhuaz   | Ki-ca  | Intercalación de areniscas con lutitas grises, en matriz roja, violácea y verdeza.  |
| Formación Santa     | Ki-s   | Intercalación de lutitas y calizas margosas, areniscas gris oscuras.  |
| Formación Chimú     | Ki-chi | Areniscas, cuarcitas, lutitas y niveles de carbón en la parte inferior, y cuarcitas en la parte superior.   |

## SÍMBOLOS

|  |                                   |
|--|-----------------------------------|
|  | × Cota comprobada                 |
|  | — Carretera afirmada, transitable |
|  | - - - Camino carrozable           |
|  | ~ Curva de Nivel Primaria         |
|  | ~ Río principal                   |
|  | ~ Río secundario                  |



## UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE

### FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Geológica

Bach. Kevin Michel Loaiza Julcamoro

Bach. Andre Alexander Rojas Urrutia

EVALUACION GEOMECANICA Y DISEÑO DE SOSTENIMIENTO EN UNA LABOR SUBTERRANEA, ALGAMARCA, CAJABAMBA, CAJAMARCA 2023.

| PLANO: GEOLÓGICO |           |            | PLANO N° 02                       |
|------------------|-----------|------------|-----------------------------------|
| DPTO             | PROV.     | C. POBLADO | Sistema de coordenadas: UTM-WGS84 |
| Cajamarca        | Cajabamba | Algamarca  | ESCALA: 1:25000                   |



### CAPÍTULO III: RESULTADOS

Se realizó el cálculo de los valores de índice de Q, tal como se muestra en la figura

**Tabla 3**

*Cálculo del índice a partir de un mapeo geomecánico.*

| EST. | RQD  | J <sub>n</sub> | J <sub>r</sub> | J <sub>a</sub> | J <sub>w</sub> | SRF | Q     |
|------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----|-------|
| 1    | (60) | 15             | 1.5            | 2              | 1              | 1   | 3     |
| 2    | (62) | 15             | 1.5            | 2              | 0.66           | 1   | 2.046 |
| 3    | (63) | 15             | 1.5            | 1              | 1              | 1   | 6.3   |
| 4    | (59) | 15             | 1.5            | 2              | 1              | 1   | 2.95  |
| 5    | (65) | 15             | 1.5            | 2              | 0.66           | 1   | 2.145 |

Nota:

Para obtener el Parámetro UCS, se utilizó el martillo de schmid en el plano de la discontinuidad, la cual registro un número de rebote de 52, obteniéndose un valor de UCS de 177 MPa

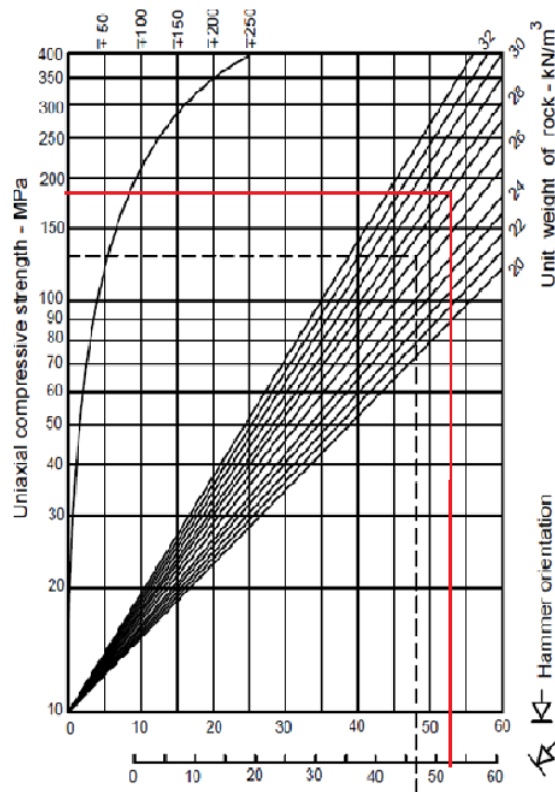


Figura 7: Estimación de la resistencia a la compresión.

En el caso del parámetro JRC se utilizó el peine de Barton, presentando una amplitud de 4 mm, abatiéndose así un valor del parámetro JRC de 6

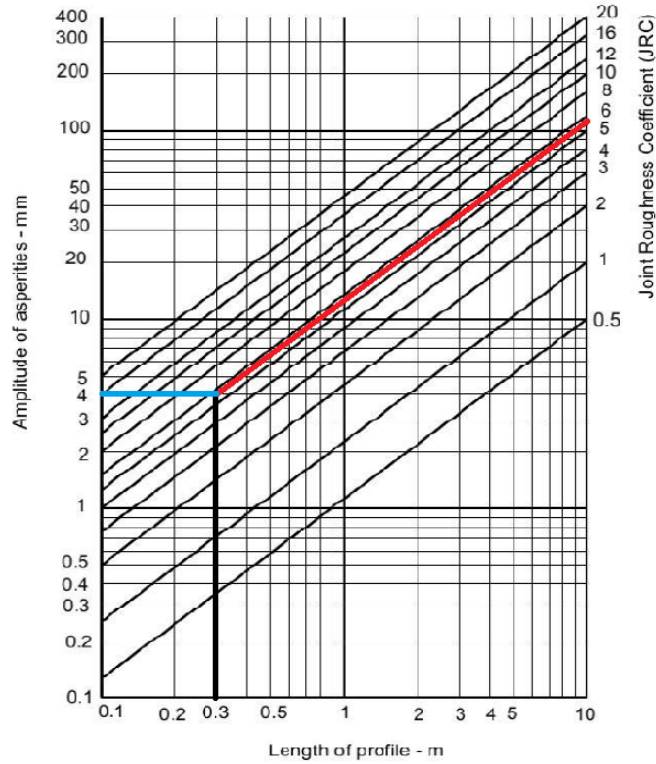


Figura 8 Estimación de JRC mediante la superficie amplitud de la rugosidad.

**Tabla 4**

*Cartografiado Geomecánico*

| MAPEO GEOMECANICO RMR MAPEO LINEAL  |          |      |        | Coordenadas: E 805534 N 9157788 cota 3242 msnm.                    |       |   |   | Labor: Galería  |   |       |  | CLASIFICACION DEL MACIZO   |  |  |  |  |             |                              |  |  |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |           |  |
|---|----------|------|--------|--|-------|---|---|---|---|-------|--|--|--|--|--|--|-------------|------------------------------|--|--|--|--|--|---|--|--|--|---|--|--|--|---|--|--|--|---|--|--|--|-----------|--|
| Registro N.º  |          |      |        | 01   |       |   |   | Ubicación: Algamarca  |   |       |  | Fecha: 07-05-2022.   |  | ROCO SO RMR                                |  |  |             |                              |  |  |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |           |  |
|   |          |      |        |  |       |   |   | Litología: Areniscas  |   |       |  | Elaborado mediante- estaciones geomecánicas                      |  |  |  | RMR  | DESCRIPCION |                              |  |  |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |           |  |
| ESTACIÓN 1  |          |      |        | CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES                                  |       |   |   | Rumbo perpendicular al eje de la excavación                               |   |       |  | Rumbo paralelo al eje de la excavación                           |  | Buzamiento 0°-20° independient e del rumbo |  | RMR  |             |                              |  |  |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |           |  |
|   |          |      |        |  |       |   |   |   |   |       |  |  |  |  |  | RMR  | DESCRIPCION |                              |  |  |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |           |  |
| σc  |          |      |        | RQD  |       |   |   | Espaciamiento entre Discontinuidad  |   |       |  | CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES                                |  |  |  | Agua Subterránea   |             | Orientación Discontinuidades |  |  |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |           |  |
| Resistencia a la Compresión   |          |      |        |  |       |   |   | Persistencia  |   |       |  | Apertura   |  |  |  | Rugosidad  |             |                              |  | Relleno  |  |  |  | Alteración  |  |  |  | Agua Subterránea  |  |  |  | Orientación Discontinuidades  |  |  |  |   |  |  |  |           |  |
| 15<br>12<br>7<br>4<br>2   |          |      |        | 20<br>17<br>13<br>8<br>3   |       |   |   | 20<br>15<br>10<br>8<br>5  |   |       |  | 6<br>4<br>2<br>1<br>0  |  |  |  | 6<br>5<br>3<br>1<br>0  |             |                              |  | 6<br>4<br>2<br>1<br>0  |  |  |  | 6<br>5<br>3<br>1<br>0   |  |  |  | 15<br>10<br>7<br>4<br>0   |  |  |  | 0<br>-2<br>-5<br>-10<br>-12   |  |  |  |   |  |  |  |           |  |
| 1.- > 250 MPa<br>2.- 100-250 MPa<br>3.- 50-100 MPa<br>4.- 25-50 MPa<br>5.- < 25 MPa |          |      |        | 1.- 90-100%<br>2.- 75-90%<br>3.- 50-75%<br>4.- 25-50%<br>5.- < 25% |       |   |   | 1.- >2 m<br>2.- 0.6-2 m<br>3.- 200-600 mm<br>4.- 60-200 mm<br>5.- < 60 mm |   |       |  | 1.- < 1m<br>2.- 1-3 m<br>3.- 3-10 m<br>4.- 10-20 m<br>5.- > 20 m |  |  |  | 1.- Cerrada 0<br>2.- Muy Angosta < 0.1mm<br>3.- Angosta 0.1 - 1.0 mm<br>4.- Abierta 1.0 - 5.0 mm<br>5.- Muy abierta > 5.0 mm |             |                              |  | 1.- Muy rugoso<br>2.- Rugoso<br>3.- Ligeramente rugosa<br>4.- Lisa<br>5.- Muy lisa |  |  |  | 1.- Ninguna<br>2.- Relleno duro <5mm<br>3.- Relleno duro >5mm<br>4.- Relleno blando <5mm<br>5.- Relleno blando >5mm |  |  |  | 1.- No meteorizada<br>2.- Ligeramente<br>3.- Moderadamente<br>4.- Altamente meteorizada<br>5.- Descompuesta |  |  |  | 1.- Completamente seco<br>2.- Húmedo<br>3.- Mojado<br>4.- Goteo<br>5.-Flujo |  |  |  | 1.- Muy favorable<br>2.- Favorable<br>3.- Regular<br>4.- Desfavorable<br>5.- Muy desfavorable |  |  |  |           |  |
| 1   | (180MPa) | (60) | (22cm) | (16m)  | (2mm) | 2 | 4 | 3   | 2 | -4.75 |  |  |  |  |  |  |             |                              |  |  |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |           |  |
| 2   | (185MPa) | (62) | (25cm) | (15m)  | (3mm) | 3 | 4 | 3   | 4 | -4.75 |  |  |  |  |  |  |             |                              |  |  |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |           |  |
| 3   | (188MPa) | (63) | (27cm) | (15m)  | (2mm) | 3 | 4 | 3   | 4 | -4.75 |  |  |  |  |  |  |             |                              |  |  |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |           |  |
| 4   | (183MPa) | (59) | (24cm) | (14m)  | (3mm) | 3 | 4 | 3   | 4 | -4.75 |  |  |  |  |  |  |             |                              |  |  |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |           |  |
| 5   | (178MPa) | (65) | (26cm) | (13m)  | (1mm) | 3 | 4 | 3   | 4 | -4.75 |  |  |  |  |  |  |             |                              |  |  |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |           |  |
| <b>PROMEDIO:</b>  |          |      |        |  |       |   |   |   |   |       |  |  |  |  |  |  |             |                              |  |  |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |   |  |  |  |           |  |
| 182.8 (14)  |          |      |        | 61.8 (12)  |       |   |   | 24.8 (9)  |   |       |  | 14.6 (1)   |  |  |  | 2.2 (1)  |             |                              |  | 3 (3)  |  |  |  | 4 (1)   |  |  |  | 3 (3)   |  |  |  | 4   |  |  |  | -4.75   |  |  |  | REGULAR B |  |

Observamos que en esta estación el RMR Básico es 48, y el tipo de roca es Regular B. Fuente: Bieniawski.

Tabla 5.

*Ajuste de corrección para la familia J1*

| <b>Datos de la junta</b>   |      |
|----------------------------|------|
| Dip Direction              | N306 |
| Dip                        | 35   |
| Azimut                     | N275 |
| <b>Datos de la galería</b> |      |
| <i>Dirección</i>           | N320 |

Figura 9. Gráfico de Ajuste de corrección de la J1

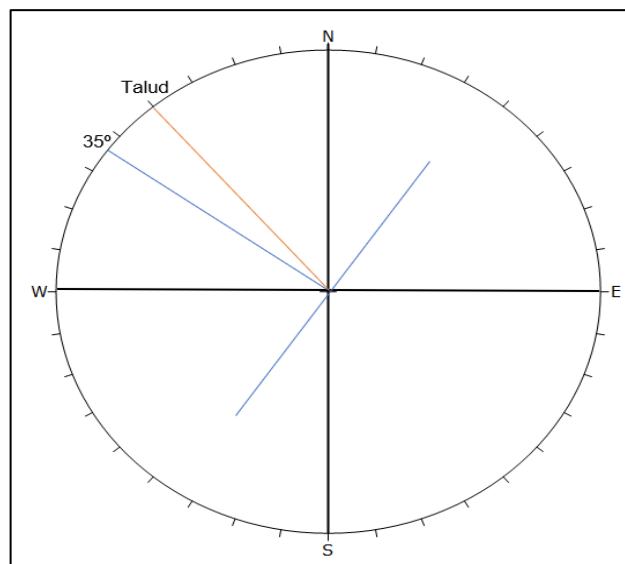


Tabla 6.

*Ajuste de corrección para la familia J2*

| <b>Datos de la junta</b>   |      |
|----------------------------|------|
| Dip Direction              | N138 |
| Dip                        | 64   |
| Azimut                     | N48  |
| <b>Datos de la galería</b> |      |
| <i>Dirección</i>           | N320 |



Figura 10. Gráfico de Ajuste de corrección de la J2

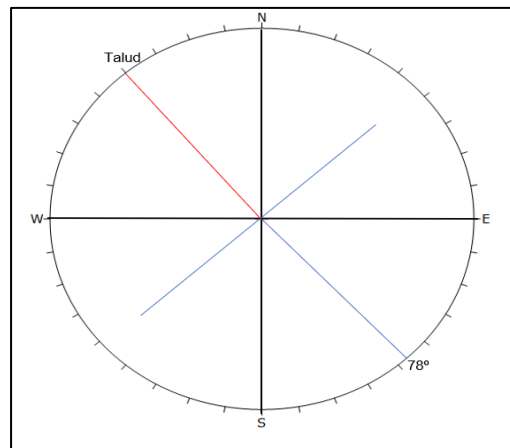


Tabla 7

*Ajuste de corrección para la familia J3*

| <b>Datos de la junta</b>   |      |
|----------------------------|------|
| Dip Direction              | N202 |
| Dip                        | 78   |
| Azimut                     | N112 |
| <b>Datos de la galería</b> |      |
| <i>Dirección</i>           | N320 |

Figura 11. Gráfico de Ajuste de corrección de la J3

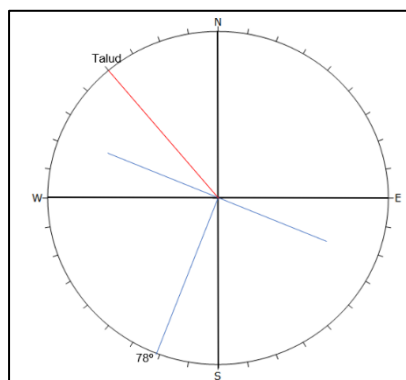
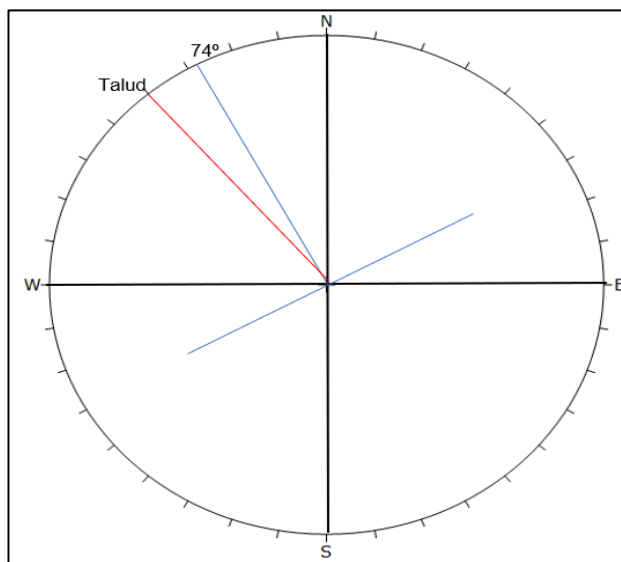


Tabla 8

*Ajuste de corrección para la familia J4*

| <b>Datos de la junta</b>   |      |
|----------------------------|------|
| Dip Direction              | N306 |
| Dip                        | 74   |
| Azimut                     | N242 |
| <b>Datos de la galería</b> |      |
| <i>Dirección</i>           | N320 |

*Figura 12. Gráfico de Ajuste de corrección de la J4*



Para la obtención de la puntuación de los parámetros de la resistencia la compresión simple se utilizó la siguiente figura:

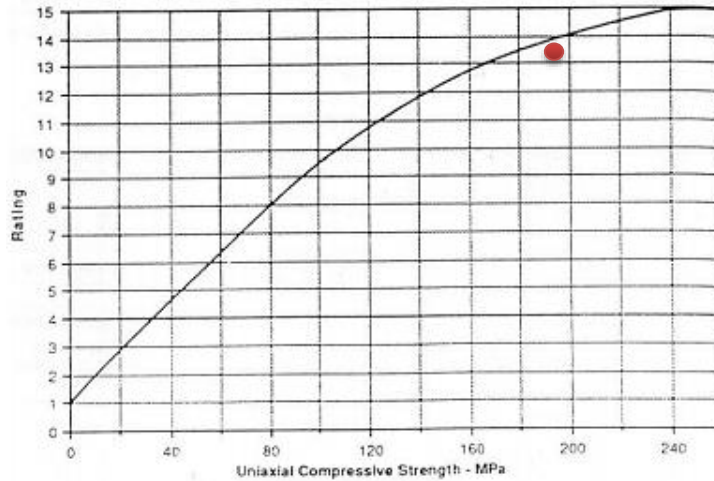
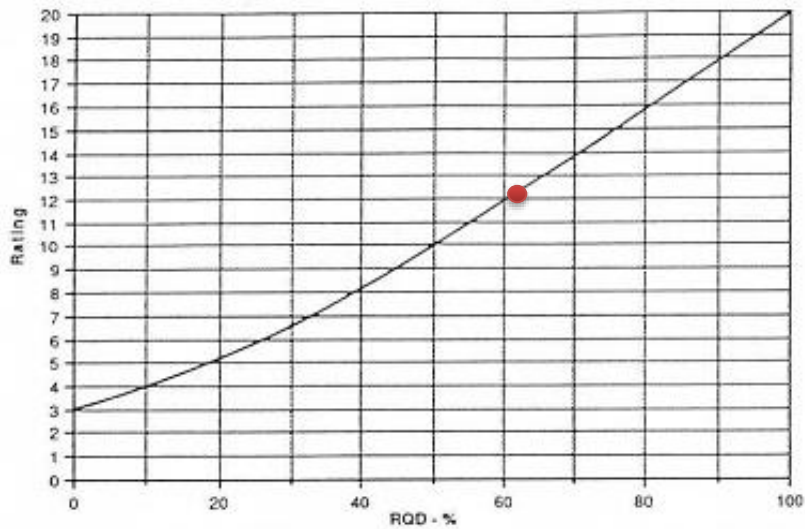


Figura 13: Ploteo de la valoración en MPa de la resistencia a la compresión Uniaxial.

Fuente: Gavilanes (2002).

Asimismo, para la puntuación de los parámetros de RQD se empleó la siguiente figura

Figura 14: Ploteo de la valoración en porcentaje del RQD. Fuente: Gavilanes (2002).



Además, para la puntuación del parámetro del espaciado se utilizó la siguiente figura

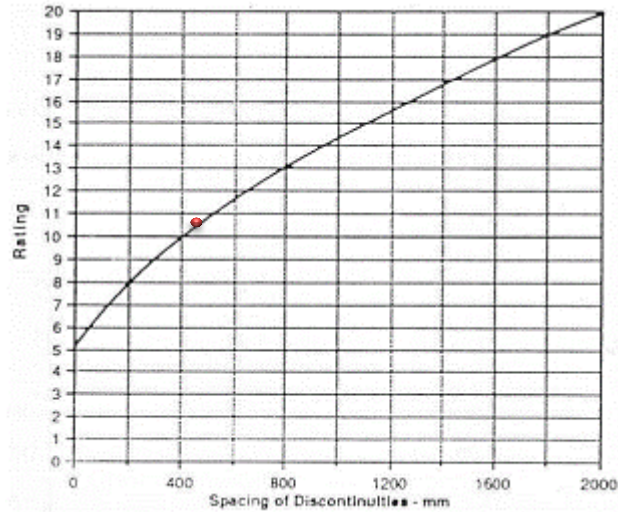


Figura 15. ploteo de valoración del espaciamiento entre discontinuidades en mm.

Fuente: Gavilanes (2002).

Con el ajuste el RMR se obtiene un resultado de 43

Tabla 9.

Calidad del macizo rocoso con relación al Índice RMR

| CLASIFICACIÓN DEL MACIZO |               |
|--------------------------|---------------|
| ROCOSO RMR               |               |
| RMR                      | DESCRIPCIÓN   |
| 91-100                   | MUY BUENA "A" |
| 81-90                    | MUY BUENO "B" |
| 71-80                    | BUENA "A"     |
| 61-70                    | BUENA "B"     |
| 51-60                    | REGULAR "A"   |
| 41-50                    | REGULAR "B"   |
| 31-40                    | MALA "A"      |

21-30

MALA "B"

0-20

MUY MALA "A"

Nota\_: RMR básico obtenido a partir de la sumatoria de los 05 parámetros en el cual el Ploteo la roca es del Tipo Regular "B" Fuente: Gavilanes (2002)

Se utilizará el índice de resistencia geológica (GSI) o método de clasificación GSI para la caracterización de las propiedades **geomecánicas** de los macizos rocosos, a través de la identificación por evaluación visual de las propiedades geológicas en el campo



Figura16. Ploteo del Valor de GSI, en función de las estructuras y condiciones de las discontinuidades; en el cual se aprecia que el valor de GSI es 55

Fuente: Gavilanes (2002)

*Mapeo Geomecánico de las discontinuidades*

**GALERÍA** DIP DIRECTION: 320

| ESTACIÓN 1 |     |        | ESTACIÓN 2 |     |        | ESTACIÓN 3 |     |        |
|------------|-----|--------|------------|-----|--------|------------|-----|--------|
| FAM        | BUZ | AZIMUT | FAM        | BUZ | AZIMUT | FAM        | BUZ | AZIMUT |
| 1          | 35  | N305   | 1          | 36  | N306   | 1          | 38  | N308   |
| 1          | 37  | N307   | 1          | 31  | N304   | 1          | 32  | N302   |
| 1          | 33  | N303   | 1          | 38  | N308   | 1          | 39  | N309   |
| 1          | 36  | N306   | 1          | 32  | N302   | 1          | 35  | N305   |
| 1          | 31  | N304   | 1          | 39  | N309   | 1          | 37  | N307   |
| 1          | 38  | N308   | 1          | 35  | N305   | 1          | 33  | N303   |
| 1          | 32  | N302   | 1          | 37  | N307   | 1          | 36  | N306   |
| 1          | 39  | N309   | 1          | 33  | N303   | 1          | 31  | N304   |
| 2          | 65  | N139   | 2          | 62  | N136   | 2          | 61  | N35    |
| 2          | 63  | N137   | 2          | 68  | N141   | 2          | 64  | N138   |
| 2          | 66  | N140   | 2          | 61  | N35    | 2          | 67  | N141   |
| 2          | 62  | N136   | 2          | 64  | N138   | 2          | 65  | N139   |
| 2          | 68  | N141   | 2          | 67  | N141   | 2          | 63  | N137   |
| 2          | 61  | N135   | 2          | 65  | N139   | 2          | 66  | N140   |
| 2          | 64  | N138   | 2          | 63  | N137   | 2          | 62  | N136   |
| 2          | 67  | N141   | 2          | 66  | N140   | 2          | 68  | N141   |
| 3          | 78  | N202   | 3          | 73  | N197   | 3          | 80  | N204   |
| 3          | 75  | N199   | 3          | 80  | N204   | 3          | 78  | N202   |
| 3          | 73  | N197   | 3          | 75  | N199   | 3          | 76  | N200   |
| 3          | 84  | N208   | 3          | 82  | N206   | 3          | 73  | N197   |
| 3          | 80  | N204   | 3          | 84  | N208   | 3          | 75  | N199   |
| 3          | 82  | N206   | 3          | 76  | N200   | 3          | 82  | N206   |
| 3          | 76  | N200   | 3          | 78  | N202   | 3          | 84  | N208   |
| 4          | 74  | N332   | 4          | 70  | N329   | 4          | 72  | N330   |
| 4          | 71  | N329   | 4          | 73  | N331   | 4          | 79  | N337   |
| 4          | 77  | N335   | 4          | 74  | N332   | 4          | 70  | N329   |
| 4          | 72  | N330   | 4          | 71  | N329   | 4          | 73  | N331   |
| 4          | 79  | N337   | 4          | 77  | N335   | 4          | 74  | N332   |
| 4          | 70  | N329   | 4          | 72  | N330   | 4          | 71  | N329   |
| 4          | 73  | N331   | 4          | 79  | N337   | 4          | 77  | N335   |

Nota : Las discontinuidades fueron tomadas con una brújula Brunton Azimutal, considerando la regla de la mano derecha

**GALERÍA** DIP DIRECTION: 320

| ESTACIÓN 4 |     |        | ESTACIÓN 5 |     |        | ESTACIÓN 6 |     |        |
|------------|-----|--------|------------|-----|--------|------------|-----|--------|
| FAM        | BUZ | AZIMUT | FAM        | BUZ | AZIMUT | FAM        | BUZ | AZIMUT |
| 1          | 30  | N300   | 1          | 38  | N308   | 1          | 35  | N305   |
| 1          | 28  | N298   | 1          | 32  | N302   | 1          | 31  | N304   |
| 1          | 33  | N303   | 1          | 25  | N295   | 1          | 30  | N300   |
| 1          | 35  | N305   | 1          | 30  | N300   | 1          | 28  | N298   |
| 1          | 31  | N304   | 1          | 28  | N298   | 1          | 33  | N303   |
| 1          | 38  | N308   | 1          | 33  | N303   | 1          | 38  | N308   |
| 1          | 32  | N302   | 1          | 35  | N305   | 1          | 32  | N302   |
| 1          | 25  | N295   | 1          | 31  | N304   | 1          | 25  | N295   |
| 2          | 63  | N137   | 2          | 62  | N136   | 2          | 64  | N138   |
| 2          | 65  | N139   | 2          | 68  | N141   | 2          | 61  | N135   |
| 2          | 69  | N143   | 2          | 60  | N134   | 2          | 63  | N137   |
| 2          | 62  | N136   | 2          | 64  | N138   | 2          | 65  | N139   |
| 2          | 68  | N141   | 2          | 61  | N135   | 2          | 69  | N143   |
| 2          | 60  | N134   | 2          | 63  | N137   | 2          | 62  | N136   |
| 2          | 64  | N138   | 2          | 65  | N139   | 2          | 68  | N141   |
| 2          | 61  | N135   | 2          | 69  | N143   | 2          | 60  | N134   |
| 3          | 80  | N204   | 3          | 76  | N200   | 3          | 80  | N204   |
| 3          | 83  | N207   | 3          | 78  | N202   | 3          | 83  | N207   |
| 3          | 76  | N200   | 3          | 86  | N210   | 3          | 86  | 210    |
| 3          | 78  | N202   | 3          | 75  | N199   | 3          | 75  | N199   |
| 3          | 86  | 210    | 3          | 84  | N208   | 3          | 84  | N208   |
| 3          | 75  | N199   | 3          | 80  | N204   | 3          | 76  | N200   |
| 3          | 84  | N208   | 3          | 83  | N207   | 3          | 78  | N202   |
| 4          | 70  | N329   | 4          | 74  | N332   | 4          | 73  | N331   |
| 4          | 67  | N326   | 4          | 72  | N330   | 4          | 71  | N329   |
| 4          | 73  | N331   | 4          | 77  | N335   | 4          | 74  | N332   |
| 4          | 71  | N329   | 4          | 70  | N329   | 4          | 72  | N330   |
| 4          | 74  | N332   | 4          | 67  | N326   | 4          | 77  | N335   |
| 4          | 72  | N330   | 4          | 73  | N331   | 4          | 70  | N329   |
| 4          | 77  | N335   | 4          | 71  | N329   | 4          | 67  | N326   |

A continuación se presente el análisis estereográfico de las posibles cuñas que se formarían en la Galeria

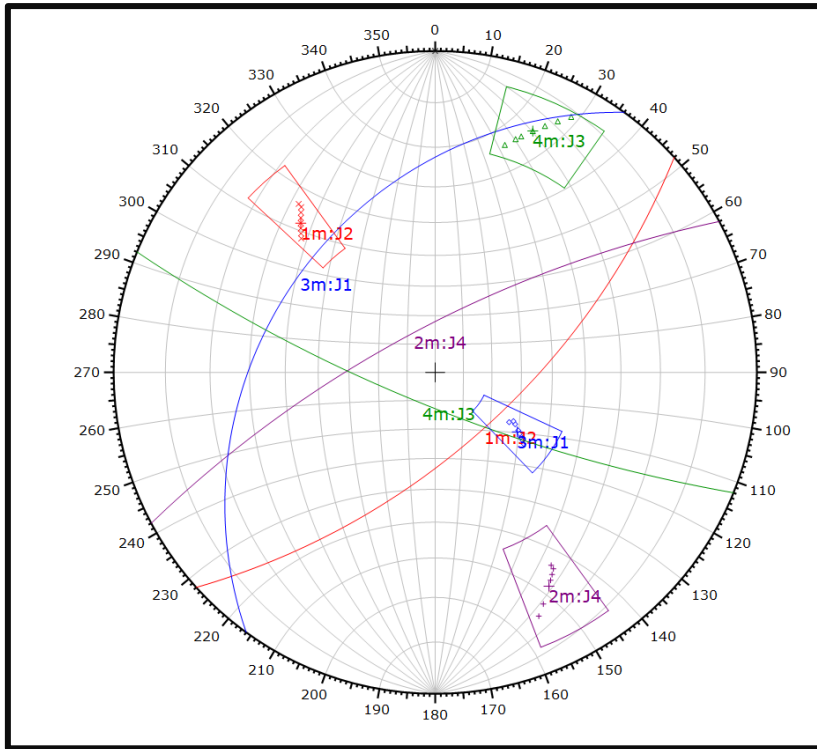


Figura 17. Proyección estereográfica de las familias de las discontinuidades J1, J2, J3, J4 producir una rotura planar.

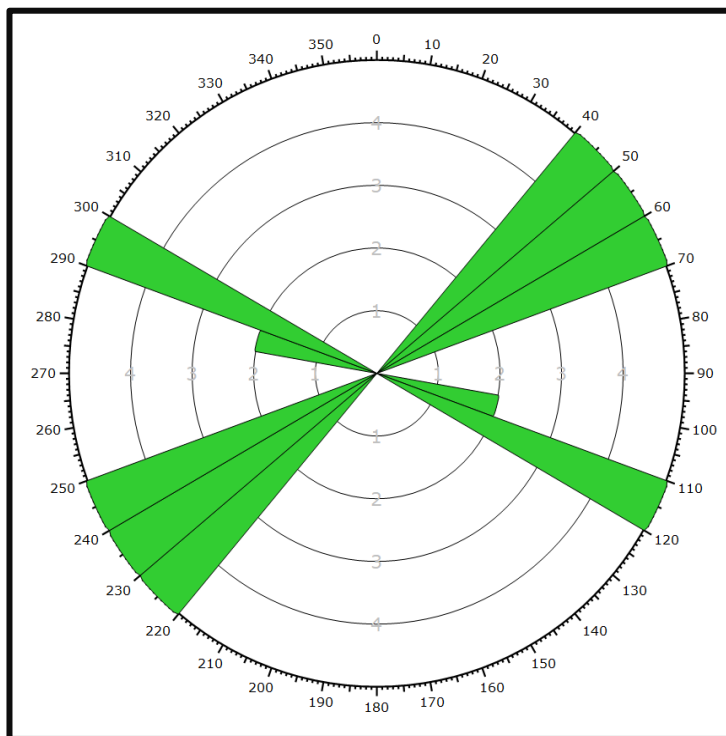


Figura 18. Diagrama de Rosas de las familias de discontinuidades



**Análisis estereográfico de las discontinuidades para rotura en cuña y vuelco**  
**Falla Planar**

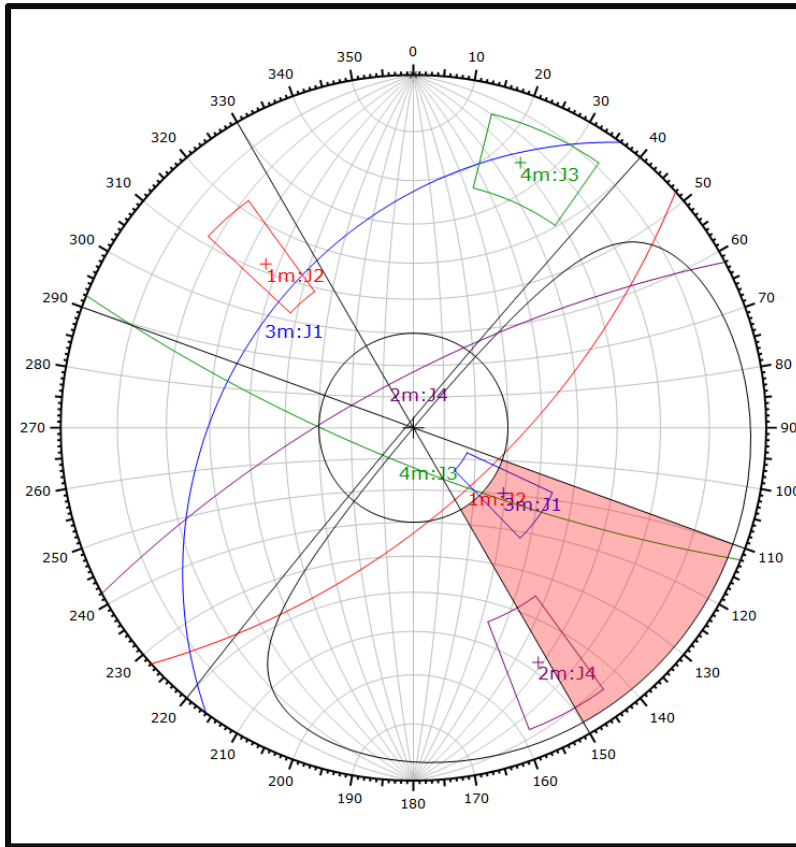


Figura 19. Análisis cinemático de roturas utilizando como criterio para establecer el área crítica el cono de fricción, la envolvente del talud y límites laterales de +/-20. Se aprecia que el sistema de discontinuidades J1 reúne las condiciones geométricas y de fricción para producir una rotura planar

|                            |                 |              |               |
|----------------------------|-----------------|--------------|---------------|
| <b>Kinematic Analysis</b>  | Planar Sliding  |              |               |
| <b>Slope Dip</b>           | 88              |              |               |
| <b>Slope Dip Direction</b> | 310             |              |               |
| <b>Friction Angle</b>      | 30°             |              |               |
| <b>Lateral Limits</b>      | 20°             |              |               |
|                            | <b>Critical</b> | <b>Total</b> | <b>%</b>      |
| Planar Sliding (All)       | 11              | 30           | 36.67%        |
| Planar Sliding (Set 4)     | 3               | 7            | 42.86%        |
| Planar Sliding (Set 1)     | 8               | 8            | 100.00%       |
|                            | <b>Color</b>    | <b>Trend</b> | <b>Plunge</b> |
| <b>Mean Set Planes</b>     |                 |              |               |
| 1m                         | ■               | 318          | 26            |
| 2m                         | ■               | 152          | 16            |
| 3m                         | ■               | 126          | 55            |
| 4m                         | ■               | 22           | 12            |

Figura 20. Valores de ángulo de fricción, orientación del talud, dirección y buzamiento de los planos promedio de las familias de discontinuidades. Con probabilidad de condiciones geométricas y de fricción del 100 % de los planos de la familia J1, para producir una rotura planar.

**Falla en vuelco**

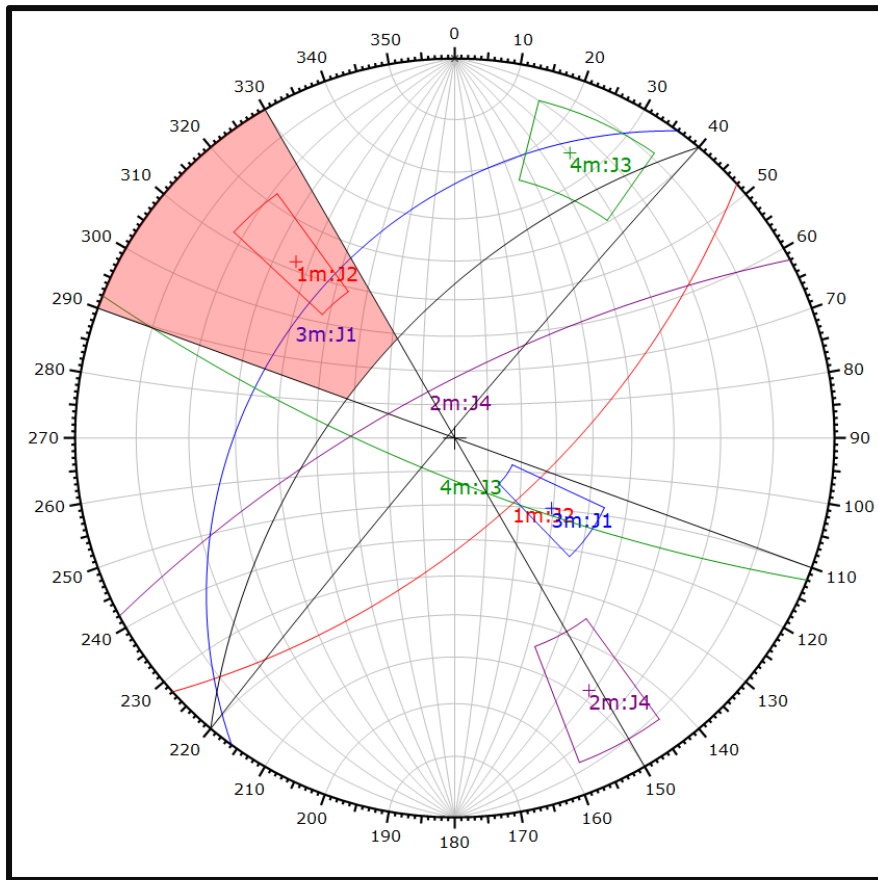


Figura 21. Análisis cinemático utilizando como criterio para definir el área crítica límites laterales de  $\pm 20^\circ$ , y un plano auxiliar relacionado al hastial izquierdo de la galería y al ángulo de fricción. Se puede apreciar que se Produce la rotura en vuelco por el sistema de discontinuidades J2 según las características de orientación de las juntas del macizo rocoso.

|                            |                   |              |               |
|----------------------------|-------------------|--------------|---------------|
| <b>Kinematic Analysis</b>  | Flexural Toppling |              |               |
| <b>Slope Dip</b>           | 88                |              |               |
| <b>Slope Dip Direction</b> | 310               |              |               |
| <b>Friction Angle</b>      | 30°               |              |               |
| <b>Lateral Limits</b>      | 20°               |              |               |
|                            | <b>Critical</b>   | <b>Total</b> | <b>%</b>      |
| Flexural Toppling (All)    | 8                 | 30           | 26.67%        |
| Flexural Toppling (Set 1)  | 8                 | 8            | 100.00%       |
|                            | <b>Color</b>      | <b>Trend</b> | <b>Plunge</b> |
| <b>Mean Set Planes</b>     |                   |              |               |
| 1m                         | ■                 | 318          | 26            |
| 2m                         | ■                 | 152          | 16            |
| 3m                         | ■                 | 126          | 55            |
| 4m                         | ■                 | 22           | 12            |

Figura 22. Valores de ángulo de fricción, orientación del talud, dirección y buzamiento de los planos promedios de las familias de discontinuidades. Con probabilidad de condiciones geométricas y de fricción del 0 % para producir una falla por vuelco.

## Cálculo del Factor de Seguridad

A continuación, calcularemos el factor de seguridad en el talud para los distintos tipos de rotura que se ha evidenciado en el Software Dips. Para lo cual se analizará la sección del talud condiciones estáticas y pseudoestáticas.

## Sismicidad



Figura 23. Ubicación de las coordenadas para la obtención del coeficiente de simicidad

## Coefficiente de sismicidad

El coeficiente de Sismicidad fue calculado para un tiempo de operación de obra de 50 años y un periodo de retorno de 475 años, según la ubicación del talud con las siguientes coordenadas Geográficas:

| Ubicación             | Latitud | Longitud |
|-----------------------|---------|----------|
| Galería – La encañada | -7.8    | -78.2    |

PE = Probabilidad de Excedencia.

PO = Periodo de Operación en años.

TO = Tiempo de Retorno en años.

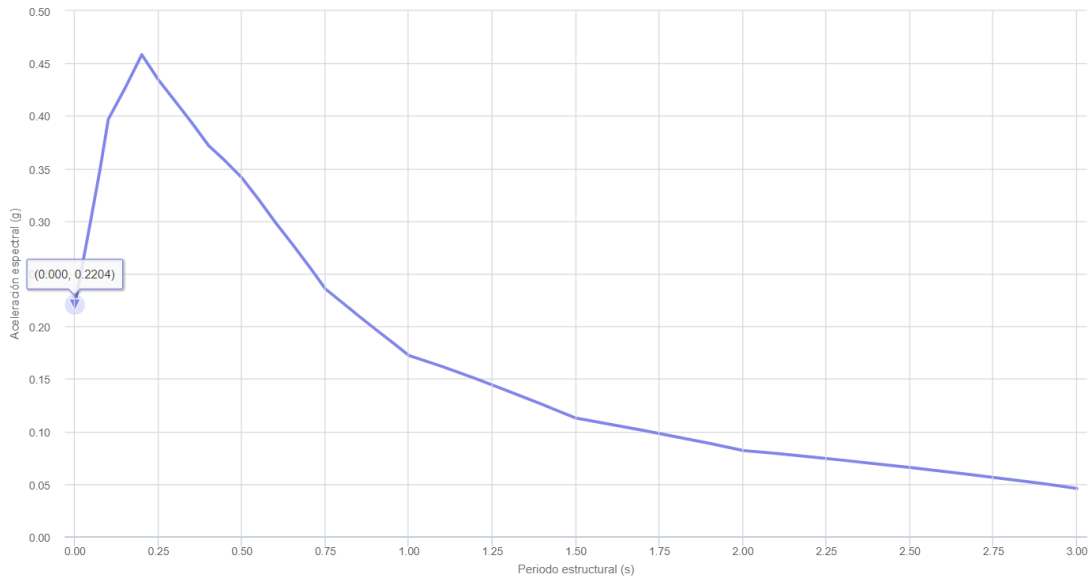


Figura 24. Gráfico de espectro de peligro uniforme con un periodo de retorno de 475 años

Para la sección de análisis se utilizaron los datos de peso específico, cohesión y fricción

Para las Calizas presente en el talud, y un coeficiente de sismicidad de 0.2204, teniendo en consideración la estaciones geomecánicas.

### Rotura Planar

Para evaluar la rotura Planar producida por el Sistema de discontinuidades de la Familia J01 se evaluará el factor de seguridad en condiciones secas y Saturadas para las condiciones estáticas Pseudoestáticas, además de realizar un análisis de sensibilidad para las correspondientes recomendaciones

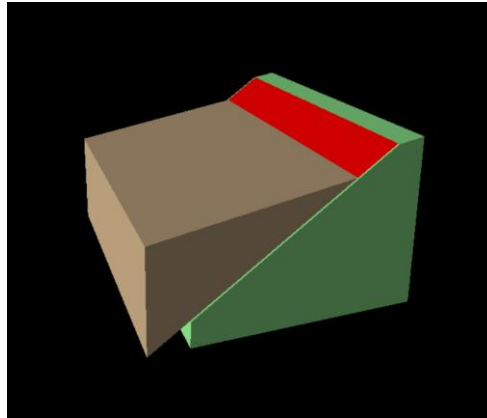


Figura 25. Vista en Perspectiva del posible deslizamiento del Bloque de roca formado por la discontinuidad crítica de la Familia J1.

### Condiciones Estáticas y Secas

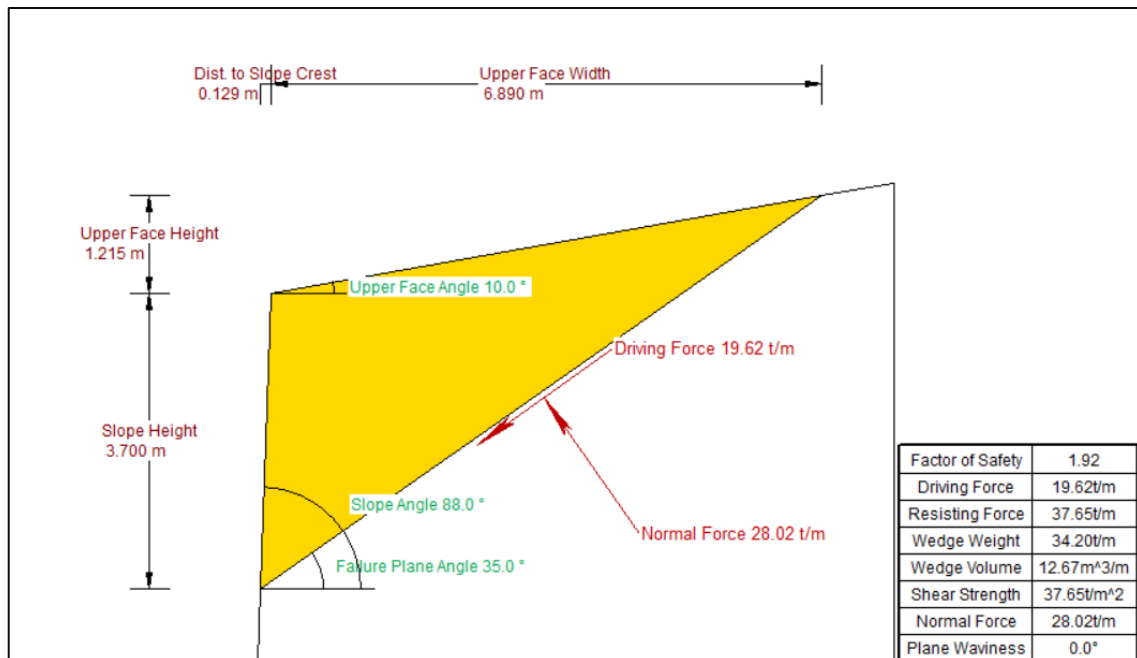


Figura 26. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Barton Bandis, en la que se aprecia que el hastial izquierdo de la galería cumple las condiciones de estabilidad según la Norma, en condiciones secas y estáticas con un Factor de seguridad de 1.92, por lo cual nos indica que el talud es completamente estable ante una falla planar en estas condiciones.

**Condiciones estáticas y saturadas**

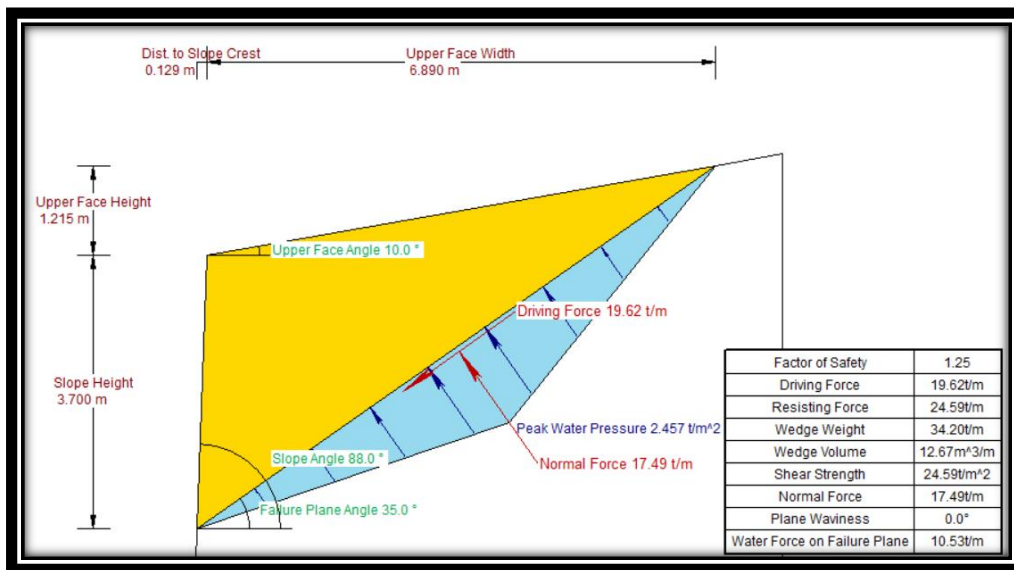


Figura 27. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Barton Bandis, en la que se aprecia que el hastial izquierdo de la galería es estable en condiciones saturadas y estáticas con un Factor de seguridad de 1.25 por lo cual no se produce la falla planar en estas condiciones.

**Condiciones Pseudoestáticas y secas**

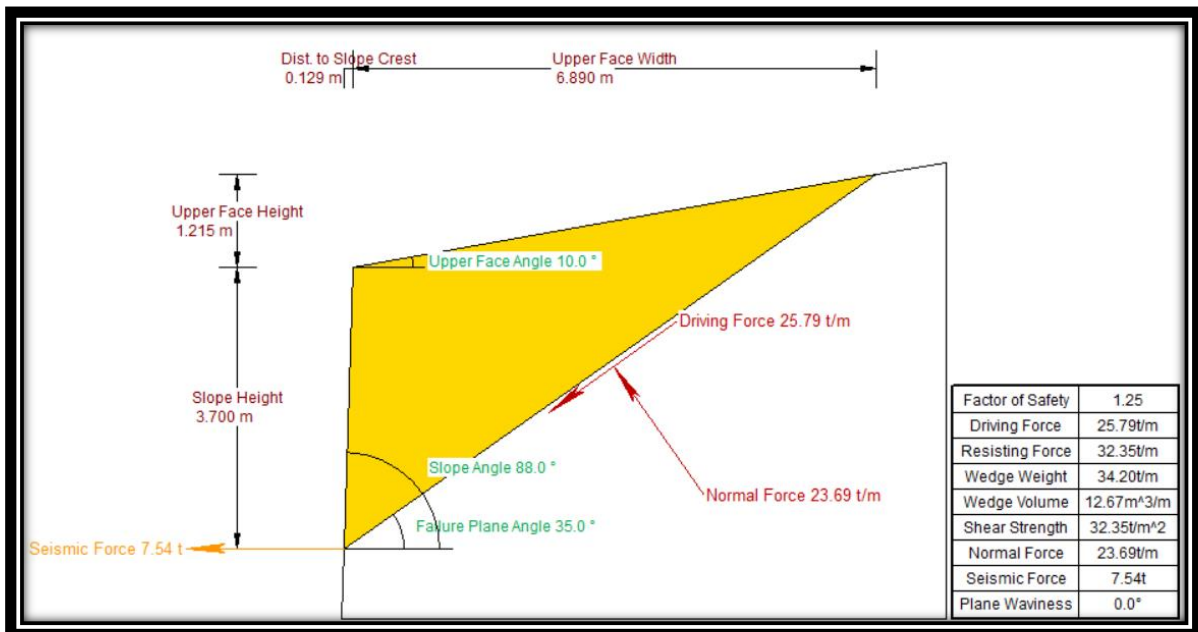


Figura 28. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Barton Bandis, en la que se aprecia que el hastial izquierdo de la galería es estable en condiciones secas y Pseudoestáticas, con un coeficiente de sismicidad de 0.2204se obtiene un Factor de seguridad de 1.25 por lo cual no se produce la falla planar en estas condiciones.



### Condiciones Pseudoestáticas y Saturadas

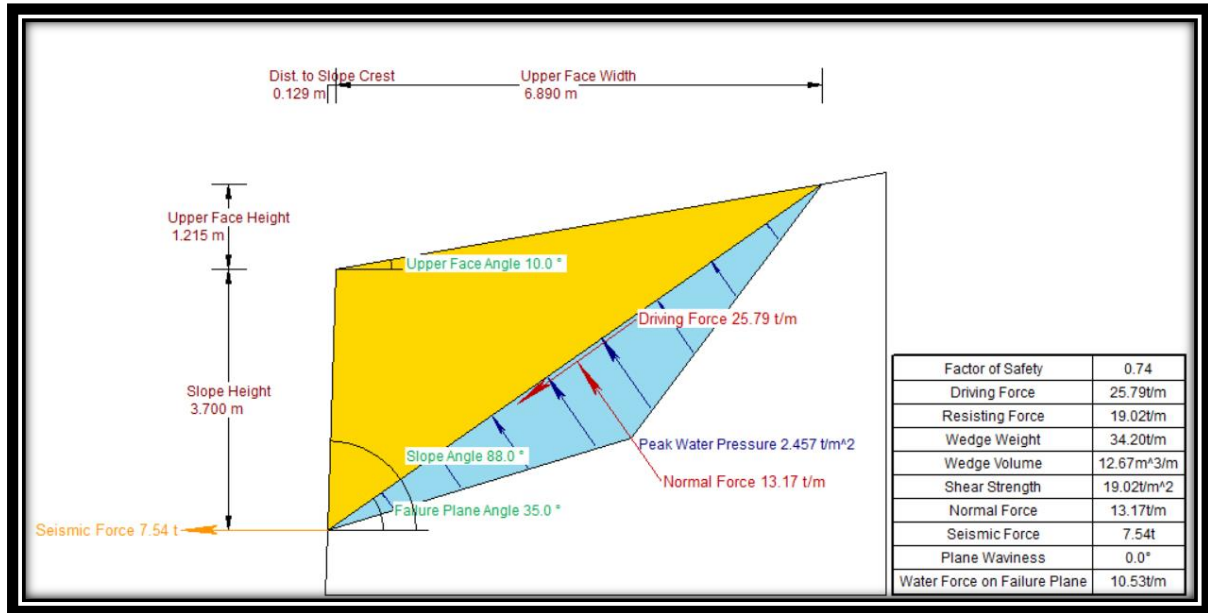


Figura 29. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Barton Bandis, en la que se aprecia que el hastial izquierdo de la galería es inestable en condiciones saturadas y Pseudo estáticas, con un coeficiente de sismicidad de 0.2204 se obtiene un Factor de seguridad de 0.74 por lo cual no se produce la falla planar en estas condiciones.

A continuación, se muestra un cuadro resumen del factor de seguridad para las distintas condiciones para rotura planar del Set J1

Tabla 11.

*Condiciones de Análisis de la rotura planar del Set J1 (Estático y Pseudo-estático)*

| Condiciones de Análisis |           |                 |           |
|-------------------------|-----------|-----------------|-----------|
| Estático                |           | Pseudo-estático |           |
| Secas                   | Saturadas | Secas           | Saturadas |
| 1.92                    | 1.25      | 1.25            | 0.74      |

Nota: Análisis del Factor de Seguridad en las distintas condiciones.

**Propuesta de estabilidad**

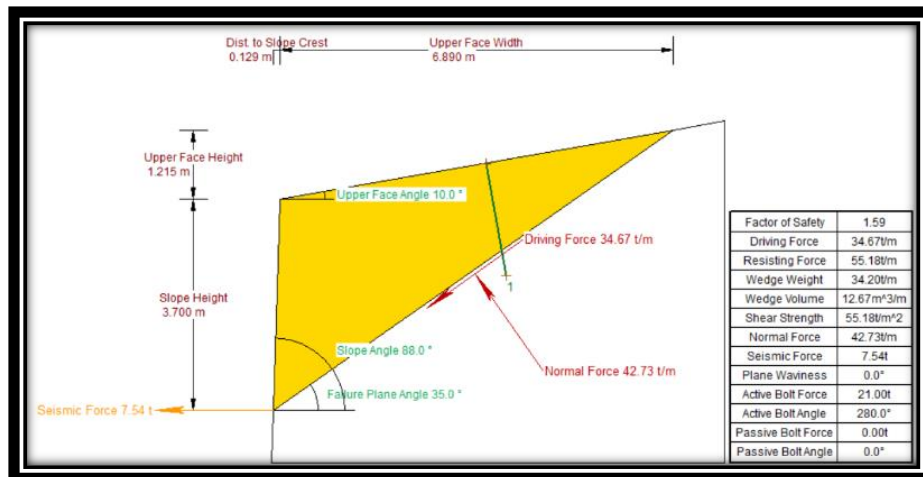


Figura 30. propuesta de estabilidad mediante la instalación de pernos, en la que se aprecia que el hastial izquierdo es estable en condiciones saturadas y Pseudo estáticas, con un coeficiente de sismicidad de 0.2204 se obtiene un Factor de seguridad de 1.59 por lo cual no se produce la falla planar en estas condiciones.

A fin de evitar la saturación de las discontinuidades del macizo rocoso y el fallamiento por rotura planar se recomienda realizar obras de drenaje a fin de mantener el grado de saturación por debajo del 50% , además de la instalación de Pernos en los hastiales del Talud



### Rotura En Vuelco

Para evaluar la rotura en vuelco producida por el Sistema de discontinuidades de la Familia J2 se evaluará el factor de seguridad en condiciones secas y Saturadas para las condiciones estáticas Pseudoestáticas, además de realizar las recomendaciones de sostenimiento a fin de garantizar la estabilidad.

### Condiciones Estáticas y Secas

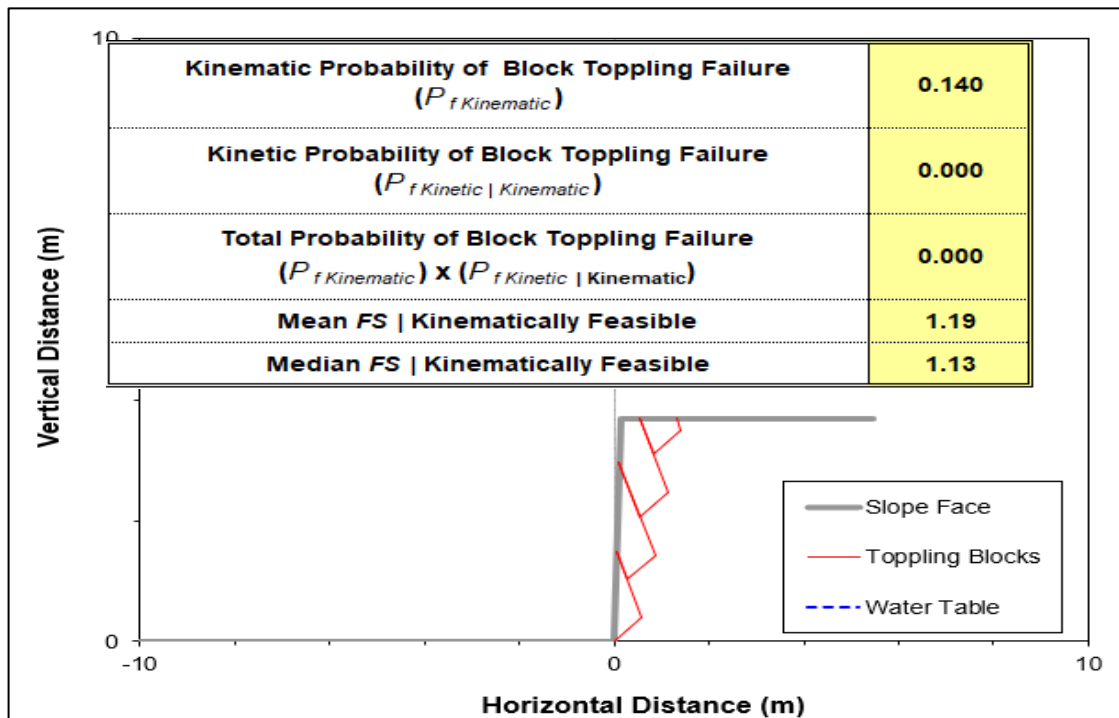


Figura 31. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr Coulomb, en la que se aprecia que el hastial izquierdo de la galería no cumple las condiciones de completa estabilidad según la Norma, en condiciones secas y estáticas con un Factor de seguridad de 1.19, por lo cual nos indica que el talud no es completamente estable ante una falla en vuelco en estas condiciones.

**Condiciones estáticas y saturada**

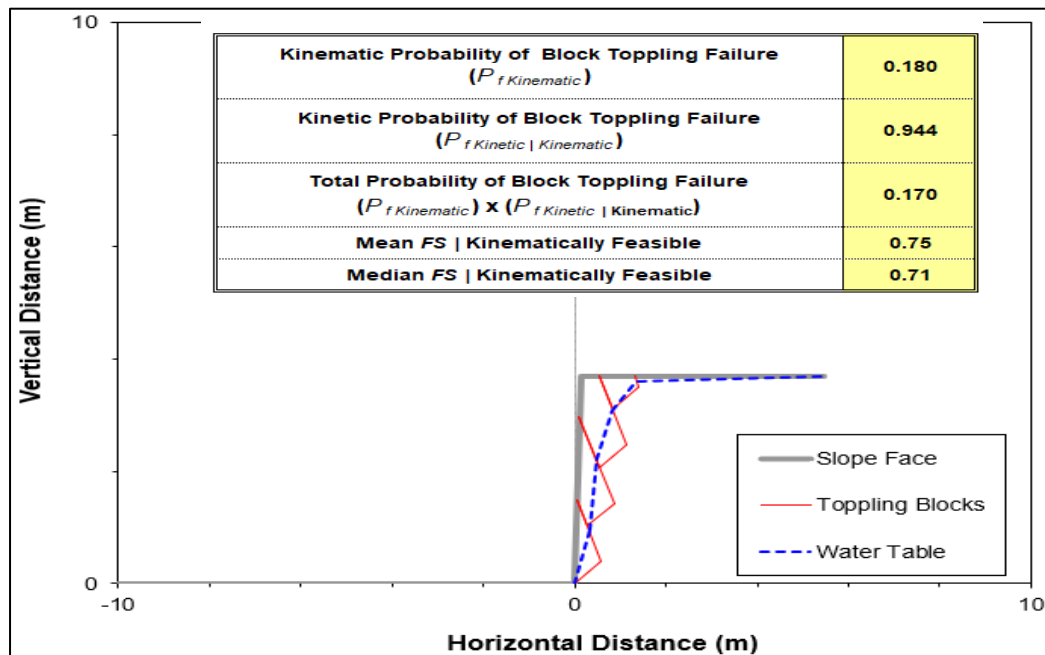


Figura 32. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr Coulomb, en la que se aprecia que el hastial izquierdo de la galería no es estable en condiciones saturadas y estáticas con un Factor de seguridad de 0.75 por lo cual se produce la falla en vuelco en estas condiciones.

**Condiciones Pseudoestáticas y secas**

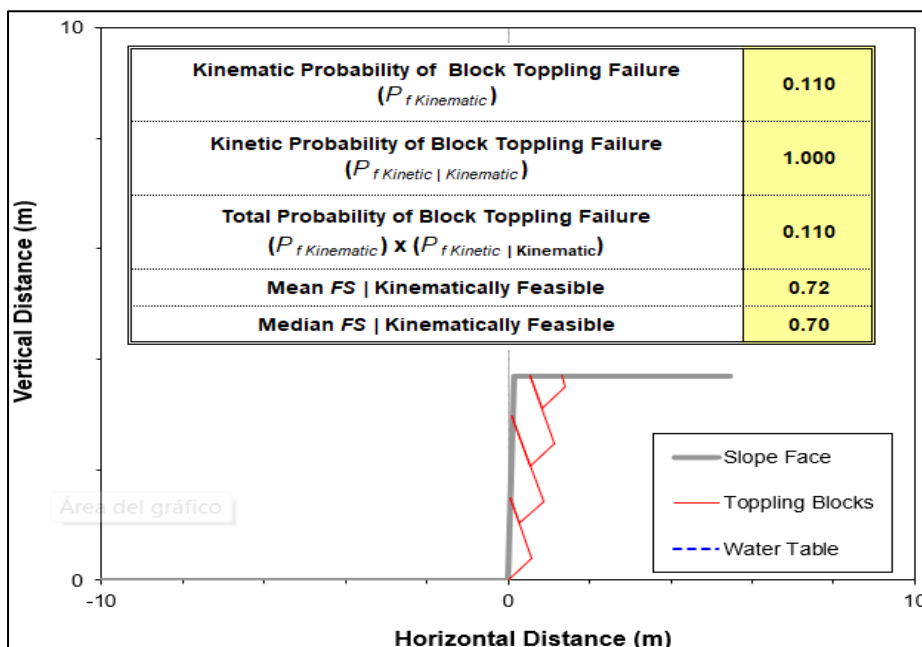


Figura 33. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr Coulomb, en la que se aprecia que el hastial izquierdo de la galería es inestable en condiciones secas y Pseudo estáticas, con un coeficiente de sismicidad de 0.2204 se obtiene un Factor de seguridad de 0.72 por lo cual se puede producir la falla en vuelco en estas condiciones.

### Condiciones Pseudoestáticas y Saturadas

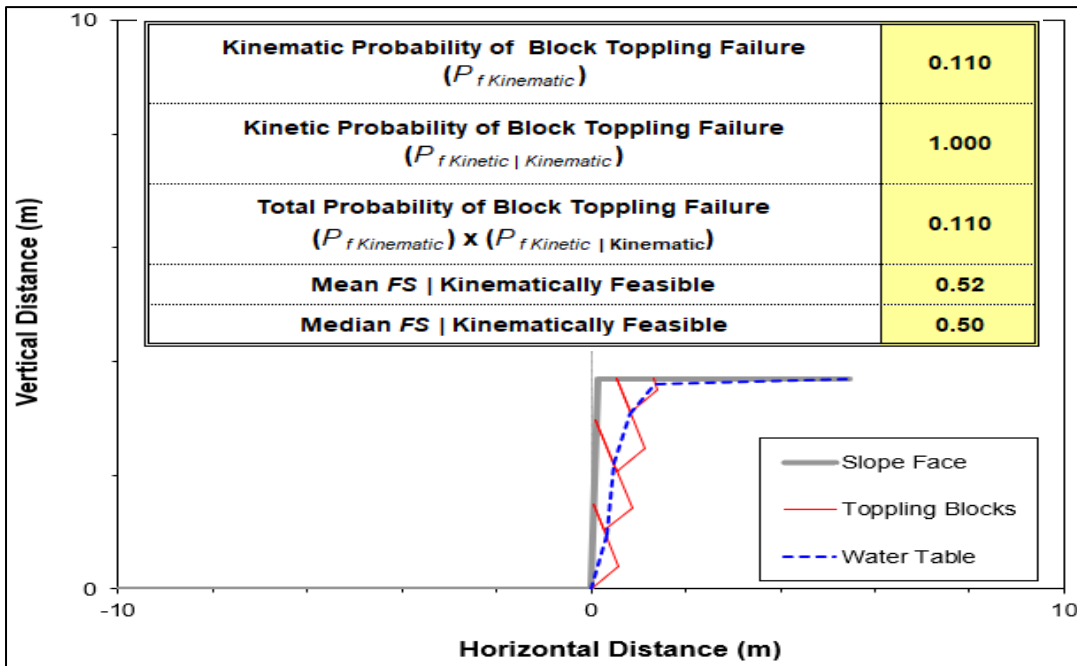


Figura 34. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr Coulomb, en la que se aprecia que el hastial izquierdo de la galería es inestable en condiciones saturadas y Pseudo estáticas, con un coeficiente de sismicidad de 0.2204 se obtiene un Factor de seguridad de 0.52 por lo cual se produce la falla en vuelco en estas condiciones.

A continuación, se muestra un cuadro resumen del factor de seguridad para las distintas condiciones para falla en vuelco del Set J2

Tabla 12

*Condiciones de Análisis de la rotura en vuelco del Set J2 (Estático y Pseudo-estático)*

| Condiciones de Análisis |           |                 |           |
|-------------------------|-----------|-----------------|-----------|
| Estático                |           | Pseudo-estático |           |
| Secas                   | Saturadas | Secas           | Saturadas |
| 1.19                    | 0.75      | 0.72            | 0.52      |

Nota: Análisis del Factor de Seguridad en las distintas condiciones.

**Propuesta de estabilidad**

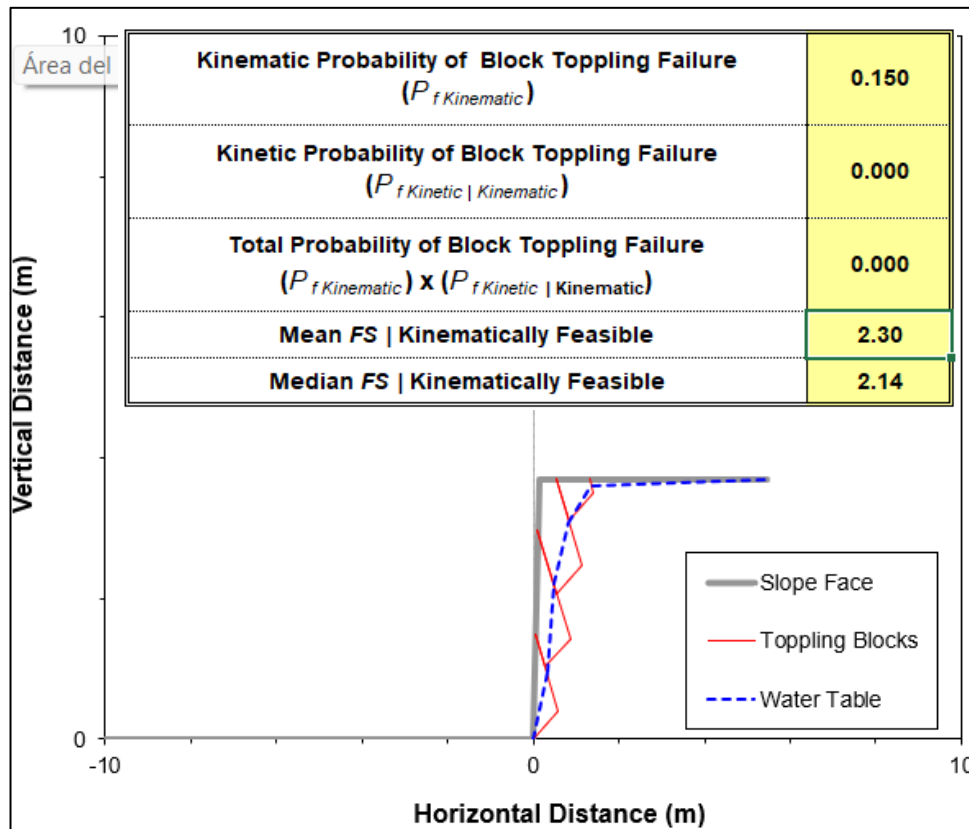


Figura 35. Propuesta de estabilidad mediante la instalación de pernos, en la que se aprecia que el hastial izquierdo es estable en condiciones saturadas y Pseudo estáticas, con un coeficiente de sismicidad de 0.2204 se obtiene un Factor de seguridad de 2.30 por lo cual no se produce la falla en vuelco en estas condiciones.

A fin de evitar la saturación de las discontinuidades del macizo rocoso y el fallamiento por rotura planar se recomienda realizar obras de drenaje a fin de mantener el grado de saturación por debajo del 50% además de la instalación de pernos en los hastiales del Talud°

## Rortura en cuña

Para el cálculo del factor de seguridad de los deslizamiento en cuña se obtuvo las siguientes combinaciones empleando el software -Undwedge

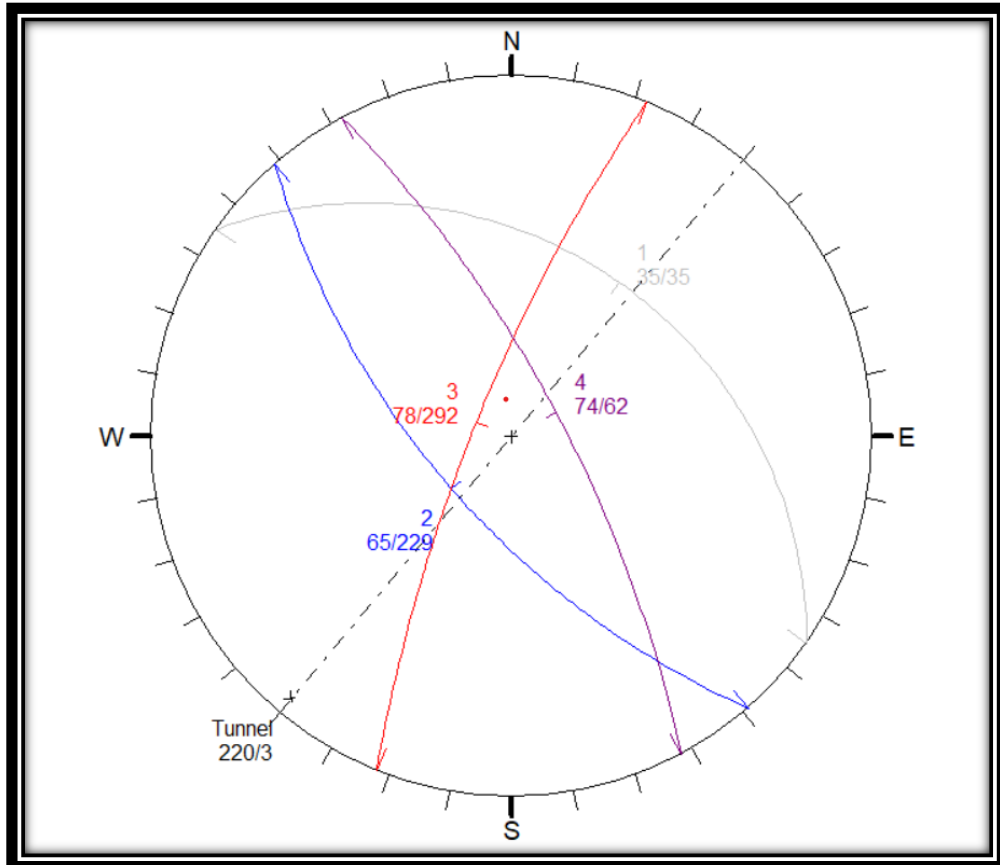
Tabla 13

*Combinación de las 4 familias de discontinuidades para la formación de cuñas Unwedge.*

|   |             | <b>Set A</b> | <b>Set B</b> | <b>Set C</b> |
|---|-------------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | Combinación | Set 2        | Set 3        | Set 4        |
| 2 | Combinación | Set 1        | Set 2        | Set 3        |
| 3 | Combinación | Set 1        | Set 3        | Set 4        |
| 4 | Combinación | Set 1        | Set 2        | Set 4        |

### Combinación 2, 3, 4

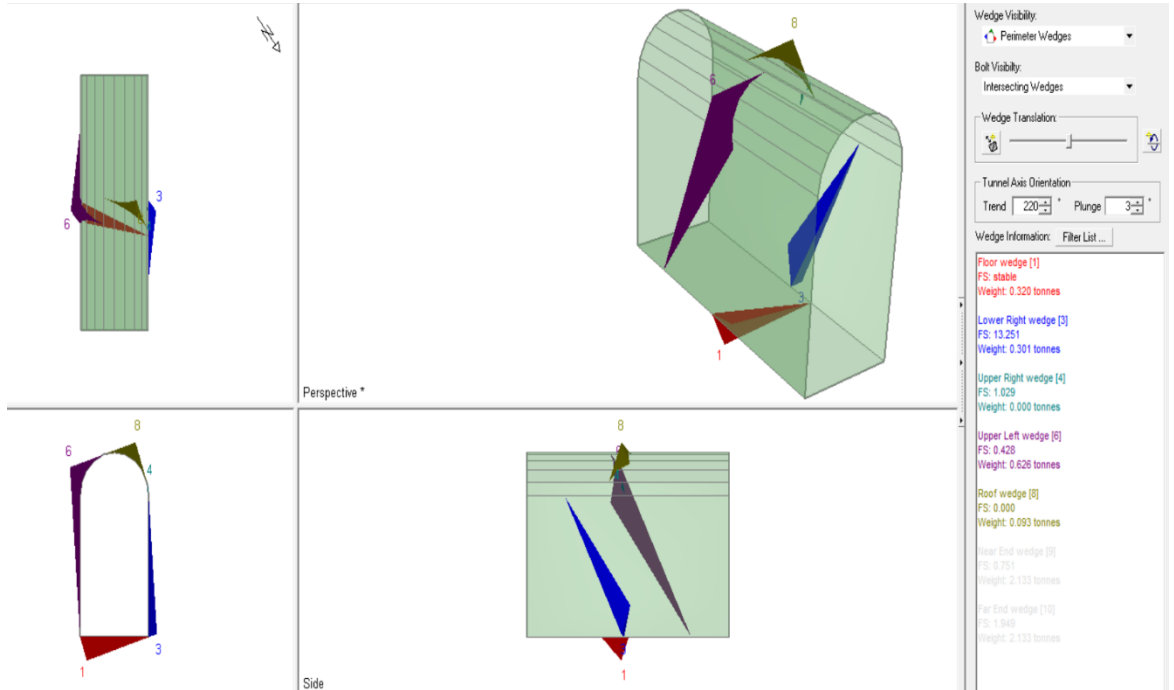
Figura 36. *Proyección Estereográfica de las familias J2, J3, J4 de la combinación número 1.*



### Condiciones Estáticas

Según el análisis estático de posibles cuñas deslizantes para la combinación 2,3,4 se identificado las siguientes cuñas: La cuña 1 inferior, su factor de seguridad es estable, la cuña 3 inferior derecha, su factor de seguridad es 13.251; siendo inestables la cuña 4 superior derecha, su factor de seguridad es 1.029 con un peso de 0.093 toneladas la cuña 6 superior izquierda, su factor de seguridad es 0.428 con un peso de 0.093 toneladas la cuña 8 superior, tiene un factor de seguridad de 0.000 con un peso de 0.093 toneladas.

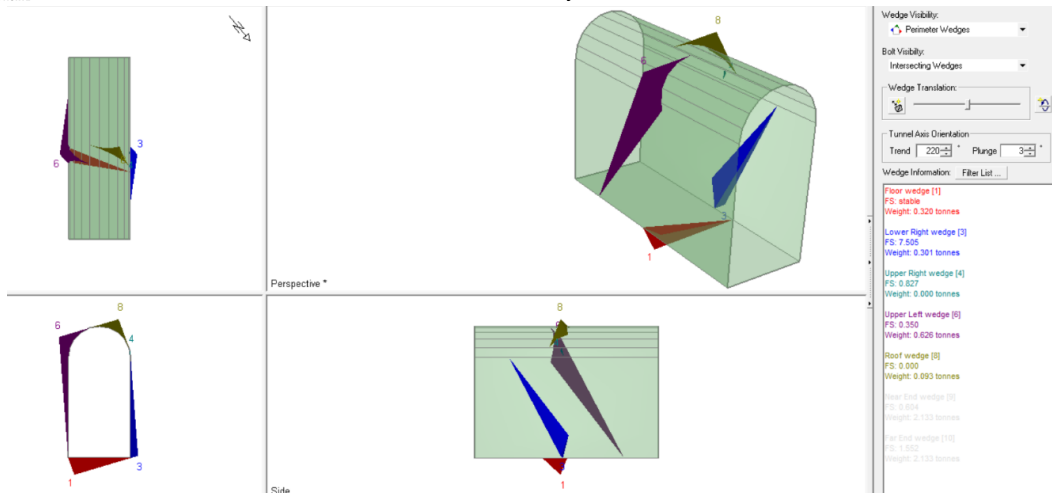
*Figura 37. Cuñas de la combinación 2,3,4 en condiciones estáticas*



### Condiciones Pseudoestáticas

Según el análisis Pseudoestático combinación 2,3,4 se identificado las siguientes cuñas: la cuña 1 inferior, su factor de seguridad es estable, la cuña 3 inferior derecha, su factor de seguridad es 7.505, siendo inestables la cuña 4 superior derecha, su factor de seguridad es 0.827 con un peso de 0.093 toneladas la cuña 6 superior izquierda, su factor de seguridad es 0.350 con un peso de 0.093 toneladas la cuña 8 superior, tiene un factor de seguridad de 0.000 con un peso de 0.093 toneladas.

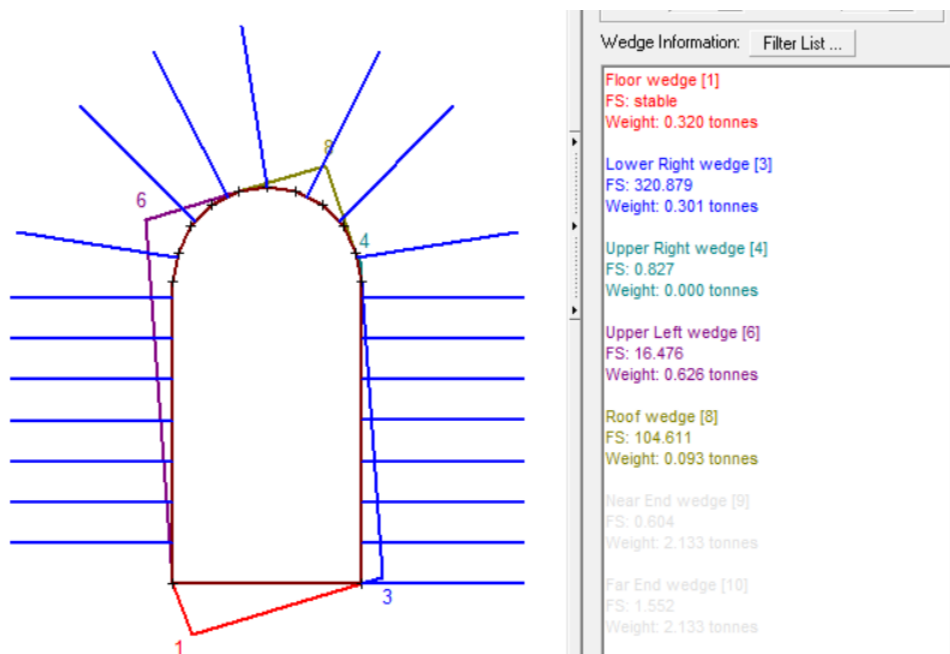
*Figura 38. Cuñas de la combinación 2,3,4 en condiciones Pseudo estáticas*



### Propuesta de Estabilidad

Para que la galería sea estable se recomienda la instalación de pernos de 1.5 metros y espaciadas cada 0.5 metros para la cuña 4, cuña 6, cuña 8.

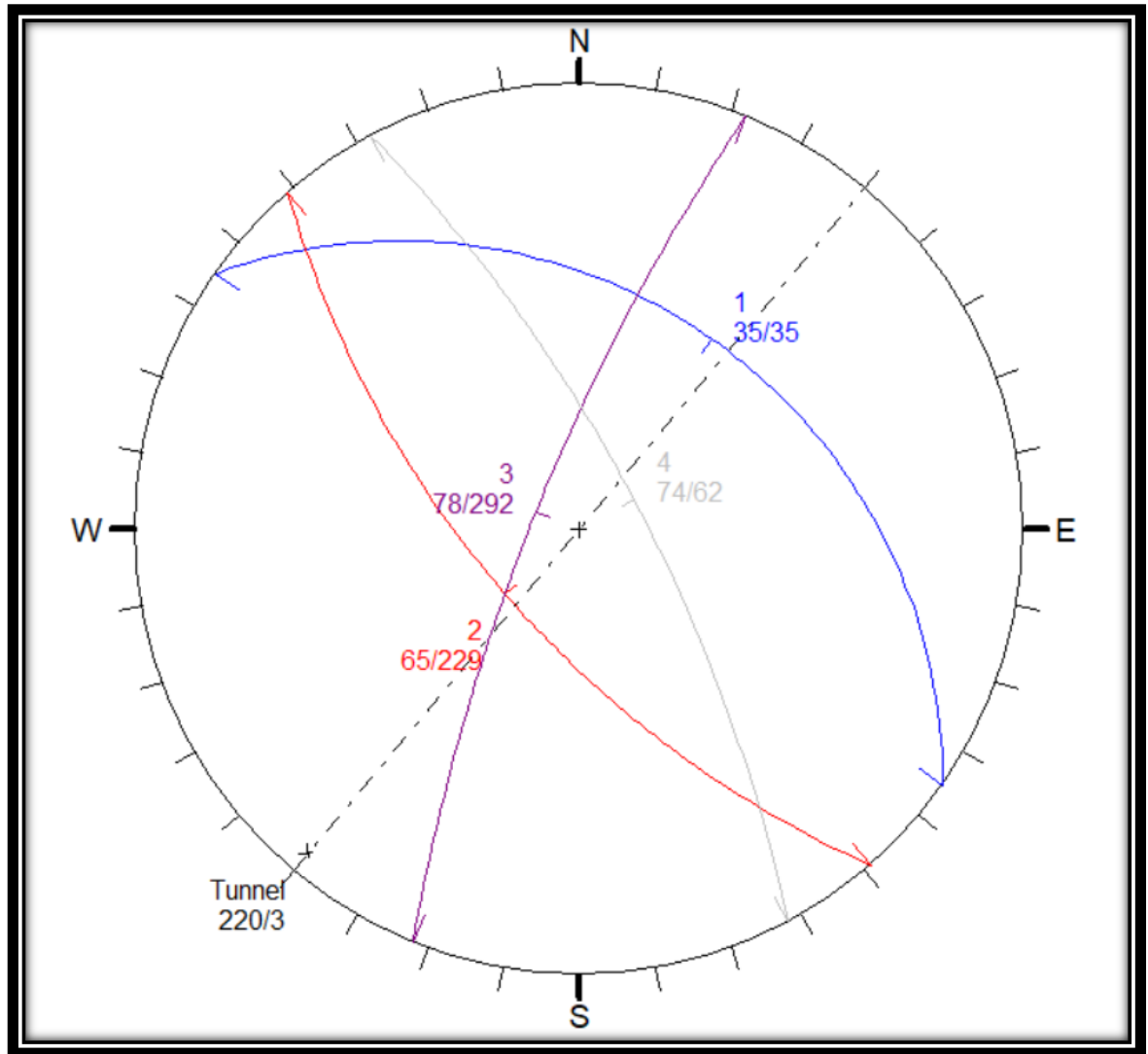
Figura 39. Propuesta de estabilidad para la combinación 2,3,4



Combinación 1,2,3



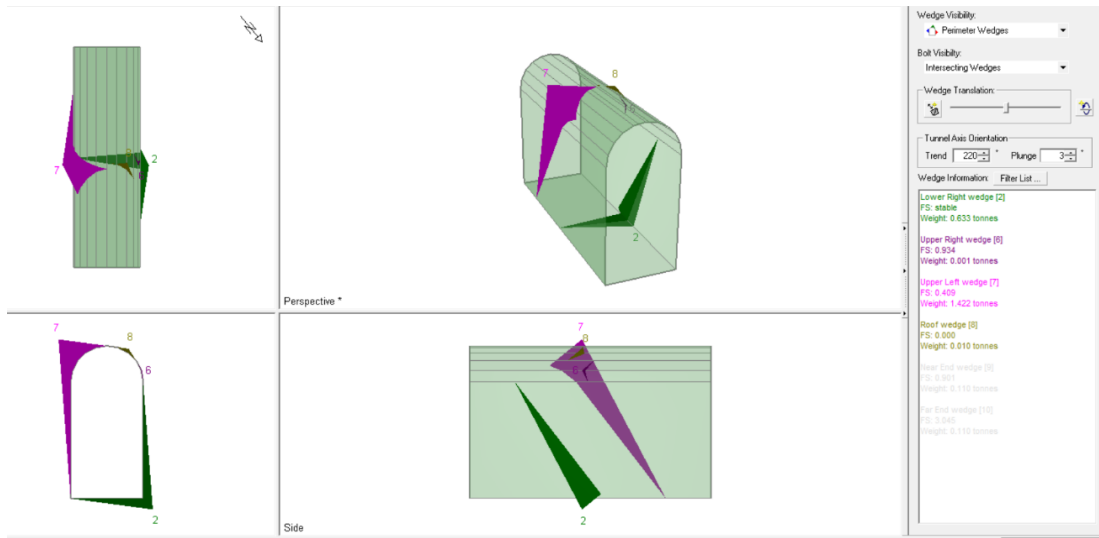
Figura 40. Proyección Estereográfica de las familias J1, J2, J3 de la combinación número 2.



### Condiciones Estáticas

Según el análisis estático de posibles cuñas deslizantes para la combinación 1,2,3 se identificado las siguientes cuñas: la cuña 2 inferior derecha, su factor de seguridad es estable, siendo inestables la cuña 6 superior derecha, su factor de seguridad es 0.934 con un peso de 0.010 toneladas la cuña 7 superior izquierda, su factor de seguridad es 0.409 con un peso de 0.010 toneladas la cuña 8 superior, tiene un factor de seguridad de 0.000 con un peso de 0.010 toneladas.

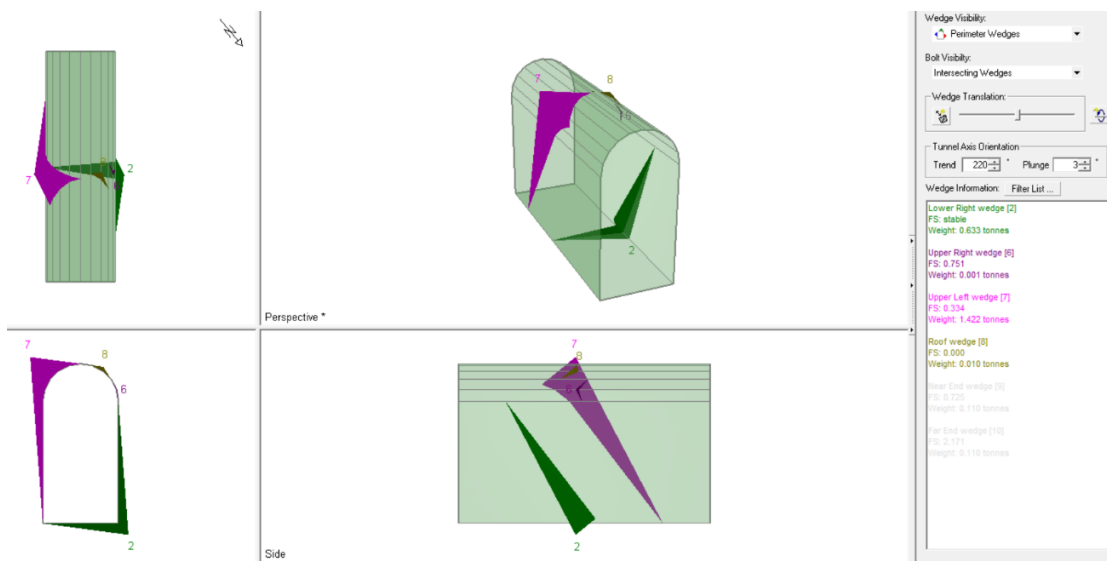
Figura 41. Cuñas de la combinación 123 en condiciones estáticas



### Condiciones Pseudoestáticas

Según el análisis Pseudoestático combinación 1,2,3 se identificado las siguientes cuñas: la cuña 2 inferior derecha, su factor de seguridad es estable, siendo inestables la cuña 6 superior derecha, su factor de seguridad es 0.751 con un peso de 0.010 toneladas la cuña 7 superior izquierda, su factor de seguridad es 0.334 con un peso de 0.010 toneladas la cuña 8 superior, tiene un factor de seguridad de 0.000 con un peso de 0.010 toneladas

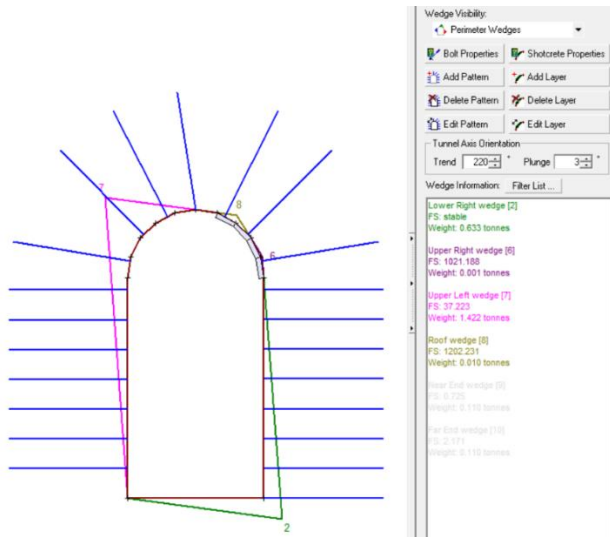
Figura 42. Cuñas de la combinación 1,2,3 en condiciones Pseudo estáticas



### Propuesta de estabilidad

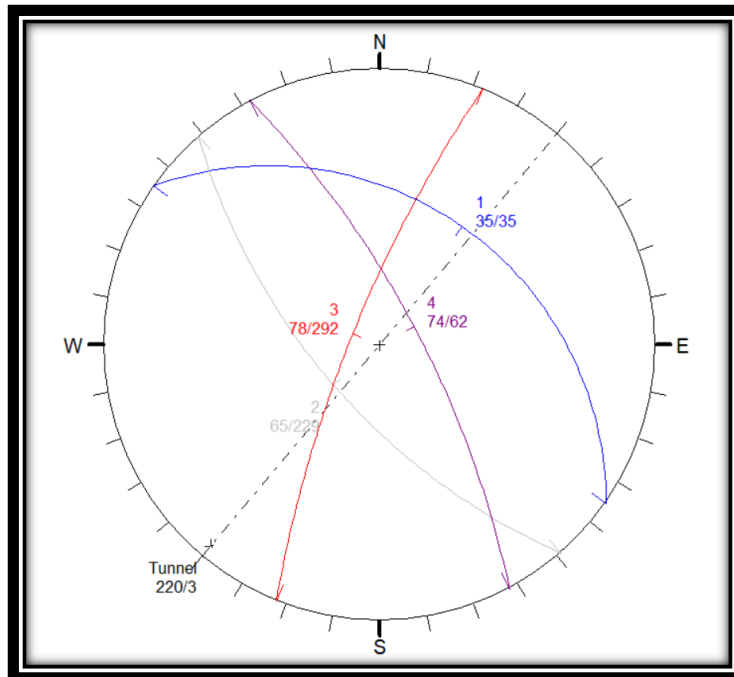
Para que la galería sea estable se recomienda la instalación de pernos de 1.5 metros y espaciadas cada 0.5 metros para la cuña 6, cuña 7, cuña 8.

Figura 43. Propuesta de estabilidad para la combinación 2,3,4



### Combinación 1,3,4

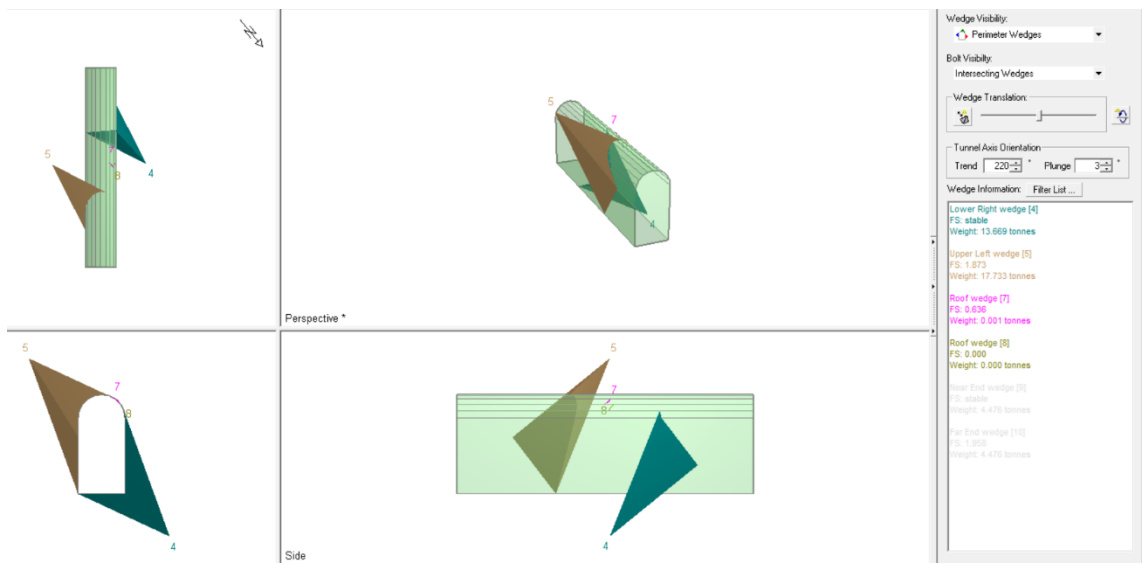
Figura 44. Proyección Estereográfica de las familias J1, J3, J4 de la combinación número 3.



### Condiciones Estáticas

Según el análisis estático de posibles cuñas deslizantes para la combinación 1,3,4 se identificado las siguientes cuñas: la cuña 4 inferior derecha, su factor de seguridad es estable la cuña 5 superior izquierda, su factor de seguridad es 1.873, siendo inestables la cuña 7 superior, tiene un factor de seguridad de 0.636 con un peso de 0.000 toneladas la cuña 8 superior, tiene un factor de seguridad de 0.000 con un peso de 0.000 toneladas.

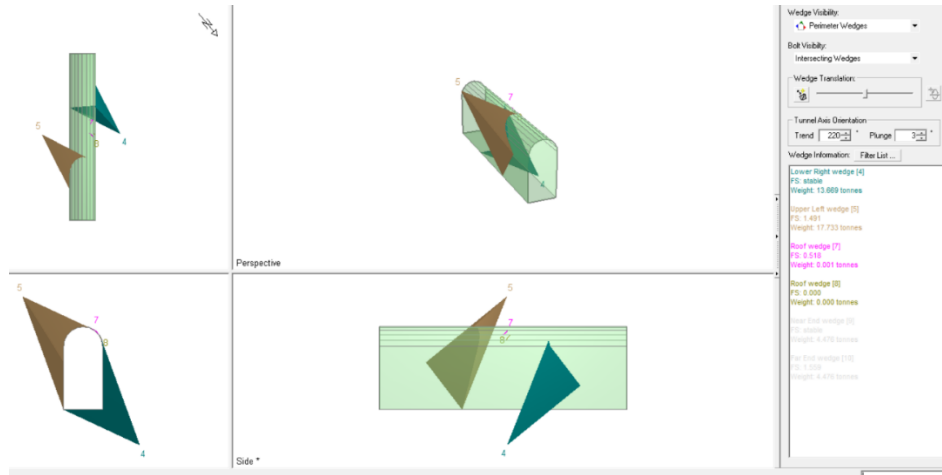
Figura 45. Cuñas de la combinación 1,3,4 en condiciones estáticas



### Condiciones Pseudoestática

Según el análisis Pseudoestático combinación 1,3,4 se identificado las siguientes cuñas: la cuña 4 inferior derecha, su factor de seguridad es estable, siendo inestables la cuña 5 superior izquierda, su factor de seguridad es 1.491 con un peso de 0.000 toneladas la cuña 7 superior, tiene un factor de seguridad de 0.518 con un peso de 0.000 toneladas la cuña 8 superior, tiene un factor de seguridad de 0.000 con un peso de 0.000 toneladas.

Figura 46. Cuñas de la combinación 1,3,4 en condiciones Pseudo estáticas

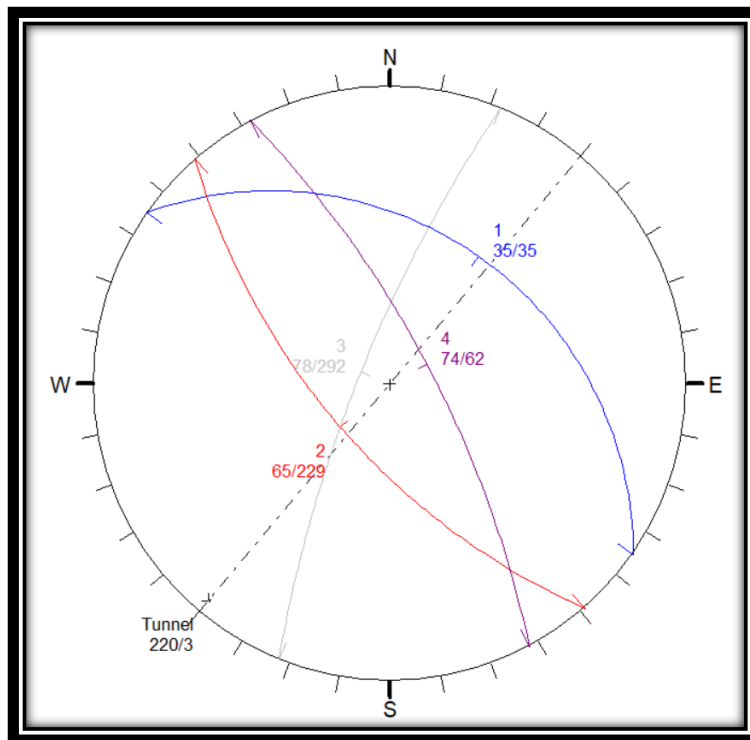


### Propuesta de estabilidad

Para que la galería sea estable no es necesario la instalación de pernos ya que las cuñas con factor de seguridad inestables tienen un peso de 0.000 toneladas.

### Combinación 1,2,4

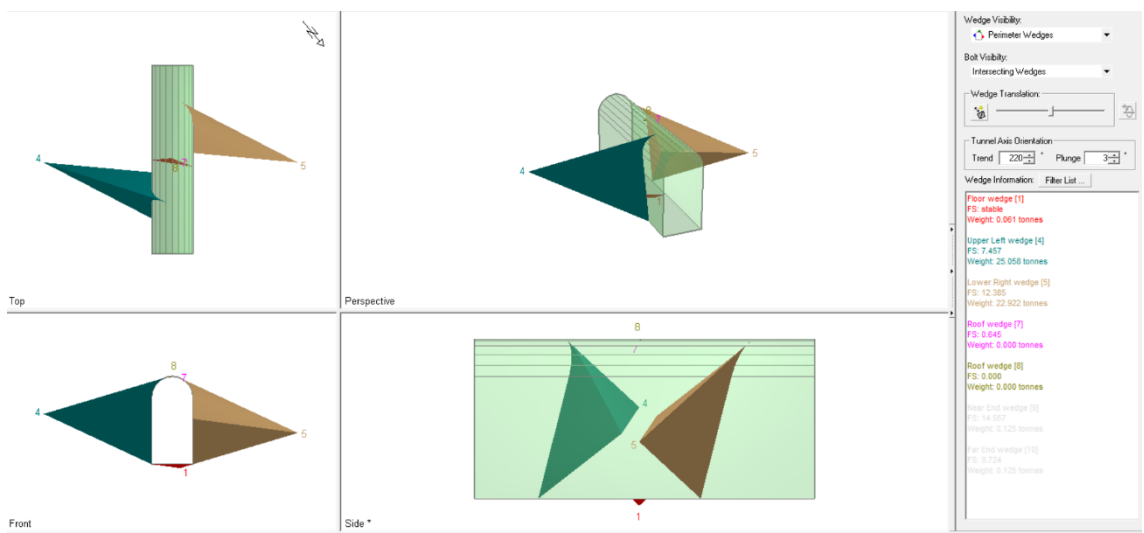
Figura 47. Proyección Estereográfica de las familias J1, J2, J4 de la combinación número 4.



### Condiciones Estáticas

Según el análisis estático de posibles cuñas deslizantes para la combinación 1,2,4 se identificado las siguientes cuñas: la cuña 1 inferior, su factor de seguridad es estable la cuña 4 superior izquierda, su factor de seguridad es 7.457 la cuña 5 inferior derecha, su factor de seguridad es 12.385, siendo inestables la cuña 7 superior, tiene un factor de seguridad de 0.645 con un peso de 0.000 toneladas la cuña 8 superior, tiene un factor de seguridad de 0.000 con un peso de 0.000 toneladas.

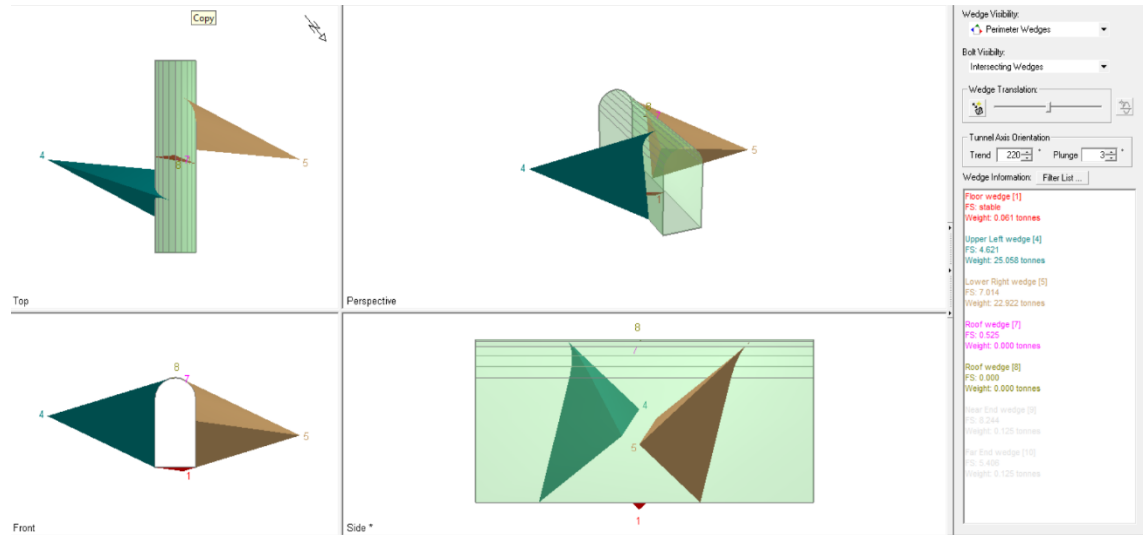
Figura 48. Cuñas de la combinación 1,3,4 en condiciones estáticas



### Condiciones Pseudoestática

Según el análisis Pseudoestático combinación 1,2,4 se identificado las siguientes cuñas: la cuña 1 inferior, su factor de seguridad es estable la cuña 4 superior izquierda, su factor de seguridad es 4.621 la cuña 5 inferior derecha, su factor de seguridad es 7.014, siendo inestables la cuña 7 superior, tiene un factor de seguridad de 0.525 con un peso de 0.000 toneladas la cuña 8 superior, tiene un factor de seguridad de 0.000 con un peso de 0.000 toneladas.

Figura 49. Cuñas de la combinación 1,3,4 en condiciones Pseudo estáticas



### Propuesta de estabilidad

Para que la galería sea estable no es necesario la instalación de pernos ya que las cuñas con factor de seguridad inestables tienen un peso de 0.000 toneladas.

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los parámetros y la evaluación realizada fue determinante para lograr la estabilidad de la galería, teniendo en cuenta las discontinuidades que afectaron a la labor y el adecuado procesamiento, por lo que se acepta la hipótesis de que la caracterización geomecánica del macizo rocoso influye significativamente para la elección del tipo de sostenimiento la labor subterránea en Algamarca, Cajabamba, Cajamarca 2023.

Cortes y Cotrina (2022) en su estudio tuvo como resultados un RMR promedio de 41 según la clasificación de Benawski, que correspondería a un macizo rocoso (tipo Regular de clase III), se puede notar que hasta el metro 60 el RMR es más bajo con relación a las siguientes estaciones (60-110m) y un valor de índice de "Q" de 0.1 clasificándose como macizo rocoso muy malo. la galería principal presenta 4 familias de discontinuidades las cuales, en combinación, forman cuñas de diferente geometría y pesos ubicadas tanto en el techo y en los hastiales de la excavación y en su mayoría son inestables. Por ello, es necesario aumentar su factor de seguridad ( $FS > 1.4$ ) y estabilizar las cuñas con un sostenimiento que corresponde a pernos sistemáticos, el cual coincide con la presente investigación en la cual se obtuvo un RMR promedio de 43, además 02 de las combinaciones fueron inestables por lo que fue necesario instalar pernos para elevar el factor de seguridad.

Orellana (2020) en su tesis obtuvo que: el espaciamiento está entre 30 cm y 50 cm, la resistencia entre 1 y 3 m, una abertura menor de 0,1 cm, presentando una mediana rugosidad, y que el relleno característico de las diaclasas es por cuarzo, presentando una ondulación lineal, con lo que se logró determinar un RQD de 83,3%, calculando un RMR del macizo rocoso con un valor de 71, valor que está dentro del rango de 61 a 50, clasificando al macizo rocoso clase II, clasificándole como bueno, ósea que presenta pequeñas fracturaciones, sin filtraciones de agua significativas, el cual difiere de la presente investigación en donde se



obtuvo un espaciado de 27cm, una abertura de 2.5 cm, un RQD de 62 y un valor de RMR básico de 48.

Hinostroza (2019) obtuvo como resultados que en cuanto al sistema de clasificación Geomecánica, dentro de los diferentes dominios litológicos, se tiene un rango de valores de calidad de roca que van desde roca buena a roca muy mala. Las condiciones de roca mala se han producido por fallamientos y alteraciones dentro del halo de alteración de la mineralización con un RMR promedio de 46, es posible la ocurrencia de bloques clave o bloques críticos en corona con Factores de seguridad debajo de 0.5, el tamaño y peso de dichos bloques será proporcional con el tamaño de la excavación, el cual es acorde con el presente trabajo en donde se obtuvo un RMR de 48 y fue necesario implementar medidas de sostenimiento para la estabilidad de la labor.

Liza (2017) tuvo como hallazgos que en algunas labores con tipo de rocas MF/MP (RMR: 30- 40) y MF/P (RMR: 40-50) no se coloca ningún tipo de sostenimiento, específicamente en los techos de las galerías (galerías consuelo II y Mayra) sobrepasando el tiempo de sostenimiento y en consecuencia degradando la calidad de la roca y su aflojamiento, además señala las condiciones geomecánicas más críticas para la estabilización del macizo rocoso se encuentran en las labores mineras subterráneas de desarrollo. Por lo cual se ha diseñado un sistema de sostenimiento mediante la determinación de la calidad del macizo rocoso; por cual coincide con nuestro trabajo en donde también se tuvo un RMR con Rango de 40 – 50 y donde se tuvo que instalar pernos para mantener estable el macizo rocoso de la galería.

Espinoza (2019) en sus resultados señala que en la zona mineralizada existen 2 tipos de roca, la longitud total del tajeo de 100 m. aproximadamente de un promedio de 1,8 m. de potencia y el tipo de roca predominante es el que tiene el valor de RMR 40, este tipo de roca

(MF/P o RMR 40) se presenta en una longitud de tajeo de 100 m. aproximadamente, los parámetros geomecánicos en los que se encuentran el tajeo es de 0.4 - 3.0 en el índice Q, se realizaron el reemplazo de tipo de sostenimiento de convencional a mecanizado, estos datos se tomaron del Tajeo 10-E en este tajeo se realizó el cambio del tipo de sostenimiento y aplicando los pernos Split Set y malla electrosoldada se mejorará el sistema de sostenimiento con madera en labores de explotación y desarrollo de la mina, el cual es acordeal presente trabajo en donde se tiene un RMR 89 similar difiriendo de 3 unidades y un valor de índice de Q dentro de ese rango, además de un sostenimiento mecánico.

Las limitaciones de la presente investigación se considera que en el caso de ampliar la labro ya sea de la galería, o alguna rampa, chimenea entre otras, las conclusiones del presente estudio no aplicarán a dichas labores, por lo que se deberá realizar un nuevo estudio para las mismas. Otras limitaciones que se tuvo es que debido al periodo de precipitaciones la presencia de agua dificulto el acceso a la labor, además de los permisos por parte de los pobladores de la zona

Se recomienda que se realice las medidas correctivas para controlar la saturación de agua en las discontinuidades del macizo rocoso presente en la galería , además de implementar la instalación de pernos en los hastiales y el techo de la galería, además de que los trabajadores, utilizando el equipo de protección personal de forma estricta a fin de evitar el suceso de algun siniestro y/o pérdidas humanas

## CONCLUSIONES

### PRIMERA

Se realizó la evaluación geomecánica utilizando los sistemas de clasificación geomecánica, análisis de juntas y cálculo del cociente de seguridad, la cual permitió establecer el adecuado diseño de sostenimiento en la galería en Algamarca, Cajabamba, Cajamarca 2023.

### SEGUNDA

Se caracterizó el macizo rocoso mediante los parámetros de Bienawski con el RMR del 89 y considerando el ajuste por orientación obteniendo un RMR básico de 48 y una puntuación de 43.25 considerando el ajuste, clasificándose como Roca regular Tipo B. Además se calculó el índice de Q según la clasificación de Barton obteniéndose un índice promedio de 3.29, clasificándose como Tipo de Roca Mala y acercándose a categorizarse como regular.

### TERCERA

Se determinó las propiedades físicas tales como resistencia obteniéndose un rebote promedio de 52 con el martillo de schmid, un JRC de 6 con el peine de Barton para las familias críticas y una resistencia a la compresión Uniaxial promedio de 177 según el ensayo, la roca encojante es una arenisca de la formación farrat siendo un R5 según las pruebas de índices Manuales y disminuyendo ligeramente su resistencia debido al goteo de agua que existe en la labor

Se realizó el análisis de discontinuidades para las 04 familias reconocidas en el mapeo geomecánico, además se realizó la evaluación del tipo de rotura e identificándose que se podría producir una rotura planar por el sistema de juntas J1 y una rotura por vuelco por el sistema de discontinuidades J2. Asimismo se obtuvo 04 combinaciones en el software Undwege para las cuñas subterráneas siendo estas las combinaciones J2 J3 J4, J1J2J3, J1J3J4 y J1J2J4; por lo que se calculó el factor de seguridad para las mismas.

## QUINTA

Se calculó el factor de seguridad para la rotura planar obteniéndose un valor de calcular el factor de seguridad de 0.74 para condiciones Pseudoestáticas y saturadas, además se hizo la corrida para el cociente de seguridad de la rotura en vuelco con un valor de 0.75 para las condiciones estáticas y saturadas; además se obtuvo los factores de seguridad para las potenciales cuñas deslizantes de las 04 combinaciones, siendo las combinaciones 234 y 123 las que presentan factores de seguridad menores a 1, por lo que se propuso la instalación de obras de drenaje y la instalación de pernos en los hastiales y techo de la galería como medida de sostenimiento a fin de garantizar la estabilidad de la labor.

**REFERENCIAS**

- Alvarado Márquez, M. I & Villanueva Huatay, L. (2019). *Evaluación geomecánica y geotécnica para el diseño de estabilidad de taludes de la cantera Agocucho*, Cajamarca 2018.
- Barton, N., Lien, R., & Lunde, J. (1974). *Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support*. Springer Verlag.
- Bieniawski, Z. (1989). *Engineering Rock Mass Classification*. New York: John Wiley & Sons
- Caceres, E. (2017). *Evaluación geomecánica del macizo rocoso para el sostenimiento de las labores de explotación en la mina San Cristóbal – Compañía Minera Volcan*, Nazca, Ica, Perú.
- Calderón Mena, M. A. (2018). *Caracterización Geomecánica para la Determinación del tipo de sostenimiento en la galería Gavilán de Oro de la UEA Ana María*. UNAP, Puno.
- Chura Lope, W. (2006). *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*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Cartaya, M. (2016). *Caracterización Geomecánica de macizos rocosos en obras subterráneas de la región oriental de país*. Minería y Geología, 17, 1 - 54.
- Cipriano Chudan, R., & Marín Cabrera, E. (2018). *Propuesta de sostenimiento en base a la caracterización geomecánica de la galería Nv. 9, de la unidad minera Colquirrumi, Cajamarca 218*. Universidad Privada del Norte, Perú.

- González Maldonado, A. G. (2018). *Caracterización geomecánica del macizo rocoso, para su aplicación en geotecnia, en el sector Lucarqui, Loja-Ecuador.*
- Huamán, V.E. y Mendieta, F.A. (2013). *Evaluación geomecánica del macizo rocoso en la cantera de materiales de construcción Las Victorias.* (Tesis de grado). Universidad de Cuenca – Ecuador.
- López, E. (2016). *Estudio Geotécnico y Diseño del Talud Final de una Mina a Cielo Abierto Aplicando Modelos Numéricos.* Tesis Profesional para Optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Pire, M. C. (2006). *Caracterización geomecánica de macizos rocosos en obras subterráneas de la región oriental de país.* minería & geología, 54.
- Pérez, H. (2017). *Consideraciones geomecánicas en el diseño de secciones tipo para un túnel minero.* <http://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/43716>
- Quispe Matos, A. (2018). *Evaluación geomecánica para la elección del tipo de sostenimiento en el túnel Yauricocha.* Huancayo: Universidad Continental.
- Rincón Silva, B. C. (2016). *Caracterización geomecánica del macizo rocoso del área del contrato 01-068-96 “cooperativa cooprocarbon sugamuxi” municipio de Gámeza Boyacá.* Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, Combia.
- Salvador Vara, G. (2017). *Geomecánica aplicada al diseño de minado por el método sub level stoping para cuerpos mineralizados irregulares de la unidad minera cerro lindo – milpo.* Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

**ANEXOS**





