

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA GEOLÓGICA**

"EVALUACIÓN GEOMECÁNICA – GEOTÉCNICA PARA EL  
DISEÑO Y ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA CANTERA  
EL GAVILAN – CAJAMARCA 2023"

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero Geólogo**

**Autores:**

Marco Antonio Santa Maria Infante

Jose Luis Chegne Muñoz

**Asesor:**

Lic. Miguel Ricardo Portilla Castañeda

<https://orcid.org/0000-0002-3676-7137>

Cajamarca - Perú

2023

**JURADO EVALUADOR**

Jurado 1 Presidente(a)	<b>Daniel Alejandro Alva Huamán</b>	<b>43006890</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	<b>Rafael Napoleón Ocas Boñón</b>	<b>42811302</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	<b>Ronald Smith Mayta Rodas</b>	<b>42319154</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

## INFORME DE SIMILITUD

### EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DE UNA CANTERA

#### INFORME DE ORIGINALIDAD



#### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>Submitted to Universidad Privada del Norte</b> Trabajo del estudiante	<b>8%</b>
<b>2</b>	<b>1library.co</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.unap.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>Submitted to ucol</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.uandina.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>www.minem.gob.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>Submitted to Universidad Cesar Vallejo</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>docplayer.es</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>9</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>

## DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a nuestras familias quienes han sido la fuerza y motivación en el camino hacia la culminación de esta tesis. Ustedes quienes han estado siempre en los momentos difíciles y felices de nuestra vida, brindándonos todo el apoyo y amor que se puede recibir; comparto este logro con ustedes con una profunda gratitud y alegría.

## AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a nuestra amada familia, docentes  
y a Dios, quienes fueron pilares fundamentales en nuestro camino académico  
y hacia la conclusión de esta tesis.

A nuestra familia, por su constante apoyo, paciencia y amor incondicional. Sus  
palabras de aliento y su apoyo constante fueron la fuerza para superar  
los desafíos y seguir adelante.

A nuestros docentes, por su dedicación, conocimientos y valiosas enseñanzas a lo  
largo de nuestra educación. Sus orientaciones y comentarios han sido  
fundamentales para el desarrollo de este trabajo y crecimiento  
como estudiantes e investigadores.

A Dios, fuente de fortaleza y guía, por su amor infinito, protección y presencia  
constante en este camino. Su inspiración divina y bendiciones  
han sido esenciales para lograr este éxito.

**TABLA DE CONTENIDO**

<b>JURADO EVALUADOR</b>	<b>2</b>
<b>INFORME DE SIMILITUD</b>	<b>3</b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b>4</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>5</b>
<b>TABLA DE CONTENIDO</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>9</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>10</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b>	<b>14</b>
<b>1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b>	<b>20</b>
<b>1.2. OBJETIVOS</b>	<b>21</b>
<b>1.2.1. Objetivo general</b>	<b>21</b>
<b>1.2.2. Objetivos específicos</b>	<b>21</b>
<b>1.3. HIPÓTESIS</b>	<b>21</b>
<b>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA</b>	<b>22</b>
<b>2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>22</b>
<b>2.2. POBLACIÓN Y MUESTRA</b>	<b>22</b>
<b>2.2.1. Población</b>	<b>22</b>
<b>2.2.2. Muestra</b>	<b>23</b>
<b>2.3. TÉCNICAS</b>	<b>23</b>
<b>2.3.1. Observación</b>	<b>23</b>
<b>2.3.2. Análisis documental</b>	<b>24</b>
<b>2.4. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN</b>	<b>24</b>
<b>2.5. MATERIALES</b>	<b>24</b>
<b>2.6. PROCEDIMIENTO</b>	<b>25</b>
<b>2.6.1. Etapa de Gabinete I</b>	<b>25</b>
<b>2.6.2. Etapa de Campo</b>	<b>25</b>
<b>2.6.3. Etapa de Post Campo</b>	<b>25</b>
<b>2.7. ASPECTOS GENERALES</b>	<b>26</b>

2.7.1.	Ubicación	26
2.7.2.	Accesibilidad	27
2.7.3.	Clima	28
2.7.4.	Vegetación	29
2.7.5.	Geomorfología	30
2.7.5.1.	Laderas	30
2.4.1.1.	Terrazas	31
2.7.6.	Geología Local	32
2.7.7.	Formación Chimú (Ki – Chim)	32
2.7.8.	Formación Carhuaz (Ki – Ca)	33
2.7.9.	Formación Farrat (Ki – F)	33
2.7.10.	Formación Santa (Ki – SA)	33
<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS</b>		<b>35</b>
3.1.	<b>ANÁLISIS ESTEREOGRÁFICO EN BASE A DISCONTINUIDADES EN EL TALUD</b>	<b>44</b>
3.1.1.	Falla Planar	44
3.1.2.	Falla en Cuña	46
3.1.3.	Falla en vuelco	48
3.2.	<b>FACTOR DE SISMICIDAD</b>	<b>51</b>
3.3.	<b>ENSAYOS EN ROCA</b>	<b>53</b>
3.3.1.	<b>Rotura Planar</b>	<b>55</b>
3.3.1.1.	Condiciones Estáticas y Secas	56
3.3.1.2.	Condiciones estáticas y saturadas	57
3.3.1.3.	Condiciones Pseudoestáticas y secas	58
3.3.1.4.	Condiciones Pseudoestáticas y Saturadas	59
3.3.2.	<b>Rotura en Cuña</b>	<b>60</b>
3.3.2.1.	<b>Cuña producida por J1 y J3.</b>	<b>61</b>
3.3.2.1.1	Condiciones Estáticas y Secas	61
3.3.2.1.2	Condiciones estáticas y saturadas	62
3.3.2.1.3	Condiciones Pseudoestáticas y secas	63
3.3.2.1.4	Condiciones Pseudoestáticas y Saturadas	64
3.4.	<b>ANÁLISIS DE ROTURA EN VUELCO J4</b>	<b>65</b>
3.4.1.	Condiciones estáticas y secas	65
3.4.2.	Condiciones estáticas y saturadas	66
3.4.3.	Condiciones pseudoestáticas y secas	67
3.4.4.	Condiciones pseudoestáticas y Saturadas	68
3.5.	<b>ANÁLISIS DE TALUD EN CONDICIONES ESTÁTICAS</b>	<b>70</b>

<b>3.6.</b>	<b>ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD EN CONDICIONES PSEUDO ESTÁTICAS</b>	<b>72</b>
<b>3.7.</b>	<b>PASOS DE DISEÑO.</b>	<b>74</b>
<b>3.7.1.</b>	<b>Altura y Berma</b>	<b>75</b>
<b>3.7.2.</b>	<b>Planificación minera a corto plazo</b>	<b>76</b>
<b>3.7.2.1.</b>	<b>Número de Bancos</b>	<b>76</b>
<b>3.7.3.</b>	<b>Análisis sísmico</b>	<b>76</b>
<b>3.7.4.</b>	<b>Maquinaria de arranque y carguío</b>	<b>76</b>
<b>3.8.</b>	<b>PASOS DE EXPLOTACIÓN.</b>	<b>78</b>
<b>CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b>		<b>79</b>
<b>4.1.</b>	<b>DISCUSIÓN</b>	<b>79</b>
<b>4.2.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>82</b>
<b>REFERENCIAS</b>		<b>85</b>
<b>ANEXOS</b>		<b>89</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1: ubicación de cantera</b>	<b>27</b>
<b>Tabla 2: coordenadas utm del área de estudio</b>	<b>27</b>
<b>Tabla 4: calidad del macizo rocoso con relación al índice rmr</b>	<b>37</b>
<b>Tabla 5: mapeo geomecánico de las discontinuidades</b>	<b>43</b>
<b>Tabla 6: mapeo geomecánico de las discontinuidades</b>	<b>52</b>
<b>Tabla 7: numero de rebote del martillo de schmit para cada discontinuidad</b>	<b>53</b>
<b>Tabla 8: condiciones de análisis de la rotura planar del set j3 (estático y pseudoestático)</b>	<b>60</b>
<b>Tabla 9: condiciones de análisis de la rotura en cuña de los sets j1 y j3 (estático y pseudoestático)</b>	<b>65</b>
<b>Tabla 10: condiciones de análisis de la rotura en vuelco de los sets j4 (estático y pseudoestático)</b>	<b>69</b>
<b>Tabla 11: condiciones de análisis para el talud (estático y pseudoestático)</b>	<b>74</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1: Macizos rocosos de la cantera el gavilán</b>	<b>23</b>
<b>Figura 2: Plano de accesibilidad de cantera.</b>	<b>28</b>
<b>Figura 3: Vegetación en la cantera el gavilán.</b>	<b>29</b>
<b>Figura 4: Ladera de la cantera</b>	<b>30</b>
<b>Figura 5: Vista de la terraza de la cantera</b>	<b>31</b>
<b>Figura 6: Mapa geológico de la cantera donde se observan los tipos de materiales de la cantera el gavilán.</b>	<b>34</b>
<b>Figura 7: Ploteo de la valoración en mpa de la resistencia a la compresión uniaxial.</b>	<b>36</b>
<b>Figura 8: Ploteo de la valoración en porcentaje del rqd.</b>	<b>36</b>
<b>Figura 9: Ploteo de valoración del espaciamiento entre discontinuidades en mm.</b>	<b>37</b>
<b>Figura 10: Parámetros de estabilidad según el smr romana, por lo que el talud se comporta estable ante una rotura planar</b>	<b>40</b>
<b>Figura 11: Recomendaciones de soporte, en la cual se puede apreciar de que se recomienda la construcción de cunetas al pie de talud</b>	<b>41</b>
<b>Figura 12: Representación del Índice de Resistencia Geomecánica (GSI) en relación a las discontinuidades, con valor de 48.</b>	<b>42</b>
<b>Figura 13: análisis cinemático de roturas</b>	<b>44</b>
<b>Figura 14: Valores de la orientación del talud, ángulo de fricción, dirección y buzamiento de los planos promedios de las familias de discontinuidades.</b>	<b>45</b>
<b>Figura 15: análisis cinemático de rotura.</b>	<b>46</b>
<b>Figura 16 Valores de la orientación del talud, ángulo de fricción, dirección y buzamiento de los planos promedios de las familias de discontinuidades.</b>	<b>47</b>

<b>Figura 17: Análisis cinemático</b>	<b>48</b>
<b>Figura 18: Valores de la orientación del talud, ángulo de fricción, dirección y buzamiento de los planos promedios de las familias de discontinuidades.</b>	<b>49</b>
<b>Figura 19: Zonificación espacial de la sismicidad del territorio nacional del Perú.</b>	<b>50</b>
<b>Figura 20: Determinación de las ubicaciones de las coordenadas necesarias para calcular el coeficiente de sismicidad.</b>	<b>51</b>
<b>Figura 21: Gráfico de espectro de peligro uniforme con un periodo de retorno de 475 años.</b>	<b>52</b>
<b>Figura 22: Estimación de jrc mediante la superficie amplitud de la rugosidad.</b>	<b>54</b>
<b>Figura 23: Estimación de la resistencia a la compresión.</b>	<b>55</b>
<b>Figura 24: Vista en perspectiva del movimiento del bloque deslizante mediante la fractura de la familia j3.</b>	<b>56</b>
<b>Figura 25: Evaluación del factor de seguridad mediante el modelo de Barton Bandis.</b>	<b>56</b>
<b>Figura 26: Evaluación del factor de seguridad mediante el modelo de Barton Bandis.</b>	<b>57</b>
<b>Figura 27: Evaluación del factor de seguridad mediante el modelo de Barton Bandis.</b>	<b>58</b>
<b>Figura 28: Evaluación del factor de seguridad mediante el modelo de Mohr coulomb.</b>	<b>59</b>
<b>Figura 29: Evaluación del factor de seguridad mediante el modelo de Mohr coulomb.</b>	<b>61</b>
<b>Figura 30: Evaluación del factor de seguridad mediante el modelo de Mohr coulomb.</b>	<b>62</b>
<b>Figura 31: Evaluación del factor de seguridad mediante el modelo de Mohr coulomb.</b>	<b>63</b>
<b>Figura 32: Evaluación del factor de seguridad mediante el modelo de Mohr coulomb.</b>	<b>64</b>
<b>Figura 33: Evaluación del factor de seguridad mediante el modelo de Mohr coulomb</b>	<b>65</b>
<b>Figura 34: Evaluación del factor de seguridad mediante el modelo de Mohr coulomb</b>	<b>66</b>
<b>Figura 35: Evaluación del factor de seguridad mediante el modelo de Mohr coulomb.</b>	<b>67</b>

<b>Figura 36: Evaluación del factor de seguridad mediante el modelo de Mohr coulomb.</b>	<b>68</b>
<b>Figura 37: Análisis del factor de seguridad por el método de spencer.</b>	<b>68</b>
<b>Figura 38: Análisis del factor de seguridad por el método de morgenstern – price.</b>	<b>71</b>
<b>Figura 39: Análisis del factor de seguridad por el método de spencer.</b>	<b>72</b>
<b>Figura 40: Análisis del factor de seguridad por el método de morgenstern – price.</b>	<b>73</b>
<b>Figura 41: Especificaciones de excavadora hidráulica komatsu</b>	<b>77</b>
<b>Figura 42: Especificaciones de volquete mercedes</b>	<b>77</b>
<b>Figura 43: Etapas de explotación en función de diseños de bancos</b>	<b>78</b>

## RESUMEN

En la ingeniería y minería se suele encontrar diversos problemas relacionados con la estabilidad de taludes en macizos rocosos o suelos. La identificación de los modos de falla en un talud en roca es primordial para un posterior análisis de estabilidad del talud.

La presente investigación mediante estudios geomecánicos y geotécnicos del macizo rocoso para la estabilidad de taludes en cantera; busca dar una adecuada solución, presentando un análisis detallado sobre la evaluación geomecánica y geotécnica del macizo rocoso, como también los resultados obtenidos de su caracterización y clasificación la cual nos dará la posibilidad de conocer la calidad cuantitativa de la roca.

En este proceso se empleará estudios como base, Mecánica de Rocas y estudios matemáticos; también se usaron RMR, SMR Y GSI y aplicará los softwares Dips y Slide.

Con los datos tomados, recopilados y analizados en campo se pudo determinar los parámetros de la calidad del macizo rocoso y sus diversas clasificaciones geomecánicas; de igual manera, la evaluación geotécnica para la estabilidad de taludes a partir de la cual obtuvo los parámetros requeridos para el factor de seguridad en los macizos rocosos.

**PALABRAS CLAVES:** Evaluación geomecánica, estabilidad de taludes, macizo rocoso, slope stability, geomechanical.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Voss (2019). Cada año hay aproximadamente mil casos de fallas de taludes en todo el mundo. Promediando un número de muertos de personas, así como de pérdidas económicas. Por lo tanto, es evidente que existe una clara necesidad de investigar la causa de las fallas en los taludes. como ha ocurrido en la cimentación de la presa bóveda de Malpasset, en Francia, provocando 450 muertos (Osinermin, 2019). La evaluación geomecánica y la estabilidad de taludes son aspectos fundamentales en numerosos proyectos de construcción y operaciones mineras. Estos estudios implican el análisis detallado de factores geológicos y geotécnicos que afectan la estabilidad de las pendientes. Evaluar adecuadamente estos factores es esencial para predecir y reducir los riesgos asociados con los taludes inestables, minimizando los posibles deslizamientos de tierra y garantizando la seguridad de las personas y las infraestructuras involucradas.

Según Pari, E. (2021). Menciona que en el territorio peruano en su mayoría es atravesado por la Cordillera de los Andes, proporcionando diversidad de climas y pisos naturales, así como una geografía variable; en ocasiones accidentada. Esto llevó al ser humano a que se vea en la obligación de intervenir en las montañas durante los procesos de construcción, generando taludes que requieran una estabilización óptima; ya que, si no se realiza de manera adecuada, la falla o el deslizamiento podría provocar daños materiales e incluso en casos extremos, la pérdida de vidas humanas. (Seguridad y Minería, 2019). En todo el Perú existen estos problemas, se utilizan diversas técnicas de evaluación geomecánica y monitoreo de taludes. Estas incluyen estudios geotécnicos detallados, mapeo geológico, análisis de estabilidad, modelado numérico, monitoreo de deformaciones y

drenaje, entre otros. La combinación de estas técnicas ayuda a comprender los mecanismos de falla de los taludes y permite tomar medidas preventivas y correctivas para garantizar la estabilidad a largo plazo.

Aguilar (2019). El presente trabajo de investigación lleva a cabo una evaluación de estabilidad de talud utilizando un análisis geotécnico, con el propósito de mejorar el factor de seguridad de la zona utilizando los resultados de los siguientes parámetros:  $SMR = 32.93$  y  $52.84$  y  $CSMR = 33.85$  y  $54.09$ .  $FS = 0.982$ . Indicando una condición de estabilidad deficiente y resaltando una alta susceptibilidad al desprendimiento. Por lo que se recomienda aplicar un bolunado sistemático, implementar drenes de mechnal y gunitado para su estabilización. (Amit, & Verma, 2023). Estudiaron catorce laderas rocosas con rocas frágiles con múltiples conjuntos de juntas. Las pendientes según RMR básico tuvo valores de 37 a 74. Las laderas con pizarra y filita estaban en el grupo de tipo de roca clara (clase III) y las ubicaciones de gneis graníticos con categoría de tipo de roca buena (clase II).

Arenas-Lope, (2019). La investigación se realizó en la cantera Mucra, la cual está siendo explotada intensivamente sin tomar las precauciones para evitar accidentes. Con el fin de abordar esta situación, se proponen métodos establecidos basados en la caracterización geomecánica y el análisis de la estabilidad del talud. Los resultados de la evaluación geotécnica, utilizando parámetros como  $RQD = 72$ ,  $RMR = 55$ ,  $GSI = 54$ ,  $JCS = 122$  y  $JRC = 10$ , indican que el macizo rocoso pertenece al tipo III y presenta una calidad de regular a buena ya que se obtuvo un factor de seguridad de 1.3. (Palacios, 2020), La investigación nos indica que los valores RQD también pueden servir para identificar problemas potenciales relacionados con el asentamiento, erosión o deslizamiento en cimientos de roca. El RQD

puede proporcionar una indicación de la calidad de la roca en canteras para agregado de concreto, relleno rocoso o relleno de escombros. Es un componente básico de muchos sistemas de clasificación de masa rocosa para fines de ingeniería.

Contreras (2022). El trabajo de investigación se desarrolló para diseñar y seleccionar un tipo de reforzamiento adecuado para el talud del Cerro Tambillo. Se realizó el mapeo geomecánico de la matriz rocosa orientándose a la evaluación de la estabilidad del talud en macizos rocosos a partir de las características de la valoración RMR=60-64, GSI=23-55 y el factor de seguridad. Concluyendo que el tipo de reforzamiento en la parte superior del talud necesito pernos de anclaje de 3m y platina de 3 m., mallas de concreto shotcrete de 0,08 m. con fibra metálica y obteniendo un factor de seguridad 1,8 que indica un talud estable. (Halmat, 2022), Este estudio examina el impacto de la altura (H) y el ángulo del talud ( $\beta$ ) en la estabilidad de pendiente de suelo granular suelto por problemas de estabilidad en represas, túneles, etc. Se ejecutaron doce series de análisis numéricos, con seis ángulos y seis alturas diferentes. Mostrando que a medida que aumenta la altura del talud y el ángulo del talud, el FS del talud disminuye para ambos casos; pendientes con y sin sobrecarga. A medida que la geometría de la pendiente cambia, de una pendiente empinada a una pendiente más suave, el FS aumenta drásticamente.

Breña (2019). Se buscó proponer factores de corrección, para lograr la estabilidad de los taludes que colapsan debido a la infiltración y el factor ambiental extremo de bajas y altas temperaturas que origina contracciones, concreciones o expansiones de los materiales arcillosos. El mapa de Isoaceleraciones con índice de aceleración 0.30 y el F.S en los 10 más importantes análisis pseudo-estático fueron menores que 1 por lo cual colapsaron, Se utilizó

maquinaria pesada para remover el material creando gaviones escalonados bajando el porcentaje de pendiente. (Lambe y Whitman, 1969, p.153), Si el círculo de Mohr es tangente a la envolvente, se habrá alcanzado la resistencia máxima del suelo en un determinado plano a través del mismo. El estado límite de esfuerzos se ha alcanzado en un plano que forma un ángulo  $\theta_{cr}$  con el plano sobre el que actúa el esfuerzo principal mayor.

Leon (2022), El presente trabajo de investigación tiene por realizar la caracterización geotécnica para determinar la calidad del macizo rocoso del Cerro Cruz, para realizar la caracterización geotécnica para un posterior análisis de riesgo, peligro sísmico, análisis de estabilidad de taludes. El valor del RQD roca de arenisca cuarzosa es igual a 33. El RMR de la roca de arenisca cuarzosa es 52 y la resistencia de la compresión uniaxial es 66 Mpa por lo tanto es de tipo III y de calidad regular. (Mamani, 2022), La investigación se llevó a cabo como respuesta a los deslizamientos frecuentes que ocurren en la región, especialmente durante la temporada de lluvias. Como resultado, se realizó un análisis geomecánico para evaluar el comportamiento de los deslizamientos, se determinaron las propiedades geofísicas del área y se realizó un análisis cinemático para calcular los factores de seguridad. Se analizaron tres taludes importantes. En condiciones estáticas, se obtuvieron factores de seguridad estables:  $FS1 = 1.4$ ,  $FS2 = 1.3$ ,  $FS3 = 1.4$ . Sin embargo, durante las fuertes lluvias y en condiciones pseudoestáticas, se encontró que los factores de seguridad eran inestables:  $FS1 = 1.0$ ,  $FS2 = 1.1$ ,  $FS3 = 1.2$ .

Méndez (2020), El objetivo de la investigación es abordar las áreas críticas que presentan dificultades en el tráfico vehicular, con el fin de prevenir desastres causados por deslizamientos y roturas de taludes. Se propusieron métodos de análisis como SMR-RMR y

FELLENIOUS para estabilizar el tramo de carretera. Los resultados obtenidos revelaron la calidad de las rocas en la zona, con RQD = 26 y RMR = 34 para la Roca Mala, y RQD = 9 y RMR = 26 para la Roca Muy Mala. Estos resultados permitieron evaluar la estabilidad de los taludes inestables y aplicar los tratamientos y correcciones necesarios. (Moscoso, 2019), En la investigación de carretera Mariscal Castilla - Huancayo 137 + 260 – 141 + 210, se encontró el problema de desprendimiento de rocas de los taludes naturales; la evaluación del valor del SMR = 65, de acuerdo a este valor el talud es estable mostrando además algunas fallas en algunos bloques, por lo cual se propone realizar un tratamiento puntual haciendo uso del Shotcrete  $e=50\text{mm}$ , Pernos de 3.00 m con espaciado de 2.50m con malla de alambre.

Oliva (2018), Evaluar el riesgo de deslizamiento en una ladera utilizando herramientas geotécnicas y un modelo matemático. Incluyó la caracterización geotécnica del sitio y el análisis de estabilidad de la ladera, que presenta un alto riesgo de deslizamiento debido a las condiciones geológicas y geomorfológicas del sitio. Propuso medidas de mitigación para reducir el riesgo de deslizamiento en la zona. (Prado, 2020), Mediante el desarrollo del análisis de estabilidad de talud mostró estudios donde el mayor porcentaje de suelo es arena. Emplearon 3 métodos: Bishop mediante SLIDE con FS de 0.338, Spencer con FS de 0.460 y por Janbu simplificado con un FS de 0.319. Los resultados muestran valores por debajo de 0.5 que están por debajo del valor estipulado por las normas de estabilidad, con topografía irregular y con alto grado de fracturamiento, indicando que es inestable e inseguro.

Silva (2021), El propósito de este informe de investigación fue analizar la estabilidad de los taludes en los tramos del Km 45 + 940 al Km 46 + 40 utilizando la caracterización

geomecánica SMR. Se emplearon métodos analíticos y sistemáticos, y para la recolección de datos tanto en el campo como en el laboratorio se utilizaron herramientas como Dips v.6, Swedge y QGIS 3.10. El talud estudiado presenta un índice SMR de 47.5 a 61.25 y requiere medidas correctivas como hormigón proyectado, contrafuertes, vigas, muros cribas, redes y/o mallas. (Solórzano, 2019), En la fase preliminar del diseño de condiciones geotécnicas de seguridad de seguridad en relación a la evaluación geomecánica y estabilidad de taludes en área donde se encuentra el Hospital Humberto Molina, ubicado en Zaruma, Ecuador. Evaluó geotécnicamente la zona de estudio para las propuestas de pre-diseño. Los FS indican un terreno estable, el análisis de susceptibilidad es de buena calidad. Se recomienda tomar medidas de control en el drenaje de aguas pluviales y residuales, conservar la vegetación.

Según Raghuvanshi (2017), los métodos de equilibrio límite son muy populares debido a su capacidad para simular condiciones reales en taludes. No obstante, estos métodos numéricos son exigentes en términos de tiempo y recursos, y requieren habilidades especializadas para su implementación. Para evaluar de manera rápida la estabilidad de pendientes extensas, resulta más conveniente utilizar técnicas empíricas, como la clasificación de masas rocosas, las cuales suelen arrojar resultados satisfactorios. (Yeh, 2022) El análisis cinemático de los efectos de las orientaciones de planos débiles en la estabilidad de las laderas rocosas. Las rocas con alta resistencia evolucionan a una pendiente pronunciada, mientras que aquellas con baja resistencia evolucionan a una pendiente suave. En comparación con el mismo factor de seguridad y que el área envolvente de la pendiente

pronunciada tiene un rango similar en el ángulo de  $\alpha$  y un rango mayor en el ángulo  $\theta$  en comparación con la de pendiente suave.

Herrera (2018), llevó a cabo una investigación en el túnel de Exploración Evaluación geomecánica del túnel Chaquicocha. Se encontraron diferentes tipos de macizo rocoso a lo largo del túnel: tipo II (buena), tipo IIIA y tipo IIIB (regular). de macizo rocoso a lo largo del túnel: tipo II (buena), tipo IIIA y tipo IIIB (regular). aplicaron pernos con una longitud de 1.2 m. El sostenimiento implementado demostró un factor de seguridad de 1.5, esto garantiza su estabilidad. (Montoya, 2019), En este estudio, se llevó a cabo una evaluación geomecánica para analizar la estabilidad de los taludes en la cantera de Aylambo. Los parámetros como un GSI de 32 y un RMR de 46. A través del análisis cinemático, se determinó que había un deslizamiento por vuelco del 28,57%. Los factores de seguridad obtenidos fueron de 1,010 y 0,650. Se diseñaron los taludes con tres bancos, una altura de 17 m, un ancho de berma de 20 m y un ángulo de banco de 60°. El ángulo global del talud fue de 37°. Como resultado, se obtuvo un Factor de Seguridad de 1,513, indicando el talud estable.

### **1.1. Formulación del problema**

De esta manera se formula la siguiente pregunta ¿Cuál es el diseño de estabilidad al realizar la evaluación geomecánica y geotécnica en los taludes de la cantera el Gavilán – Cajamarca 2023?

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo general

Realizar la evaluación geomecánica y geotécnica para el diseño de la estabilidad de taludes de la cantera el Gavilán – Cajamarca, 2023.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Realizar el reconocimiento de unidades litoestratigráficas presentes en la cantera el Gavilán – Cajamarca, 2023.
- Calcular el RMR, GSI y SMR de la cantera y proponer su medida de estabilidad en la cantera el Gavilán – Cajamarca, 2023.
- Evaluar los tipos de rotura según las familias de discontinuidades mediante el software DIPS en la cantera el Gavilán – Cajamarca, 2023.
- Determinar el factor de seguridad de los distintos tipos de rotura antes y después del diseño de estabilidad del talud en la cantera el Gavilán – Cajamarca, 2023.

## 1.3. Hipótesis

Al realizar la evaluación geomecánica y geotécnica de los macizos rocosos se podrá, diseñar la estabilidad de taludes en la cantera el Gavilán – Cajamarca 2023

## **CAPÍTULO II: METODOLOGÍA**

### **2.1. Tipo de investigación**

para el desarrollo de la presente investigación se utilizó según su propósito un estudio aplicado, por la razón se tiene la intención de aplicar los conocimientos recién adquiridos en la investigación. El alcance del estudio es de naturaleza correlacional, ya que el objetivo del investigador es describir las relaciones existentes entre las variables. en observaciones de los comportamientos de las facturas, tipo de deslizamientos y tipo de rotura de los taludes de la cantera esto es, decir cómo se caracteriza un macizo rocoso. se utiliza un enfoque cuantitativo, basado en la recopilación y análisis de datos para evaluar, confirmar o descartar la hipótesis propuesta. en caso del diseño de la investigación es no experimental, pues no se manipulan ni se controlan las variables. además, el diseño es de corte transversal, ya que todos los eventos son observados directamente en un momento específico para su posterior análisis.

### **2.2. Población y Muestra**

#### **2.2.1. Población**

Está conformada por el macizo rocoso de la cantera El Gavilán – Cajamarca, 2023.

### 2.2.2. Muestra

La muestra se basa en las 05 estaciones geomecánicas de la cantera del Gavilán – Cajamarca, 2023

### Figura 1

*Formaciones rocosas presentes en la cantera El Gavilán.*



### 2.3. Técnicas

#### 2.3.1. Observación

La recolección de información se hizo mediante observación directa al talud en campo, donde se analizó el comportamiento del macizo rocoso en la cantera el Gavilán-Cajamarca, 2023.

### **2.3.2. Análisis documental**

La investigación del estudio tiene como principal instrumento, la recolección de información a través de investigaciones anteriores relacionadas a nuestro tema de estudio, las cuales fueron seleccionadas en diversas bases de datos con fecha no menor a 5 años tanto a nivel internacional, nacional y local que nos ayuden a comprender las bases para realizar dicho estudio.

### **2.4. Instrumentos de recolección**

Se dará en función a la guía de análisis documental donde se proporcionará diversos criterios para examinar la estructura, las características, el propósito y la metodología en la elaboración del estudio, ayudando a identificar la información de manera relevante. Además, se realizará una toma de datos geoestructurales en el cuaderno de campo y mediante la ficha de observación geomecánica se tomará datos acerca de la condición del macizo rocoso.

### **2.5. Materiales**

Se utilizaron los siguientes materiales geológicos en campo.

- Brújula
- Picota
- GPS
- Wincha
- libreta de campo
- mapa geológico

- protactor

## **2.6. Procedimiento**

### **2.6.1. Etapa de Gabinete I**

En esta parte de búsqueda de información, Se consulto la base de datos de scopus, ebosco, Science Direct, scielo, redaly, Google académico y las tesis de la base de datos de Alicia springer link fueron las más consultadas, donde aparecieron 720 artículos científicos publicados, por lo que 510, estaban relacionados directamente a lo que buscábamos y los otros no se relacionaba nada a nuestro tema de búsqueda, en lo que concierne solo 20 están bien relacionados directamente a lo que es geomecánica, geotécnica y estabilidad de taludes.

### **2.6.2. Etapa de Campo**

Se visita a la zona de estudios, en primer lugar, se ubican las estaciones, para la toma de datos con el martillo de Smith, peine de Barton y también realizar la toma datos de la evaluación geomecánica y geotécnica, en función al RMR, GSI y SMR.

### **2.6.3. Etapa de Post Campo**

A' continuación, Después de haber realizado el trabajo se procedió a procesar los datos, mediante los siguientes softwares.

1. ROCADATA: el cual es un software para la determinar parámetros de resistencia del suelo y la masa rocosa mediante el análisis de laboratorio, prueba triaxial o prueba de corte.

2. ROCPLANE Y SWEDGE: se utilizaron para realizar un análisis de estabilidad en deslizamientos planares y una estabilidad de cuñas superficiales para taludes de roca a partir de su factor de seguridad
3. DIPS: se utilizó para realizar el análisis de ruptura del macizo rocoso. Los datos tomados de Dip y Dip Direction en campo se pasaron al programa dips, el cual no ayudará para obtener los principales esfuerzos que fueron causantes de las diferentes fallas geológicas de la zona.
4. ROCTOPPLE y SLIDE: Para el análisis del factor de seguridad del talud global
5. ARCGIS: Estos softwares se utilizarán para todas las tareas basada en mapas ya sean geológico o geomecánicas, en el plano empleando ArcGis, se detallan los datos de campo.

Los datos tomados de Dip y Dip Direction en campo se pasaron al programa DIPS, el cual no ayudará para obtener los principales esfuerzos que fueron causantes de las diferentes fallas geológicas de la zona.

## **2.7. Aspectos Generales**

### **2.7.1. Ubicación**

La cantera El Gavilán se encuentra ubicado en el Distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, Departamento de Cajamarca, a 10.13 Km del centro de Cajamarca en dirección Sur - este, las coordenadas de ubicación son las siguientes:

**Tabla 1**

*Ubicación de Cantera*

DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	CASERÍO
CAJAMARCA	Cajamarca	Cajamarca	Abra el Gavilán

**Tabla 2**

*Coordenadas UTM del área de Estudio*

Coordenadas UTM			
Vértice	Este	Norte	Altitud (m.s.n.m)
V1	779029	9199223	3211
V2	778942	9199145	3274
V3	779051	9199039	3266
V4	779107	9199146	3216

**2.7.2. Accesibilidad**

La zona de estudio es de fácil acceso, pues, está ubicada al costado de la carretera que la conecta con Cajamarca, la cual está construida de asfalto, el tiempo estimado de llegada es de 15 – 20 minutos, tramo que lleva desde la Avenida Independencia – Cajamarca hasta llegar a la cantera el Gavilán tiene un aproximado de 19 km.

**Figura 2**

*Plano de accesibilidad de cantera.*



### 2.7.3. Clima

El clima de Cajamarca es muy variado con épocas donde hay lluvias intensas y temporadas secas. La temperatura varía entre los 6° y 16 °C, presentes generalmente en días templados, soleados o lluviosos. Entre los meses de: diciembre, enero, febrero y marzo se presenta generalmente la temporada de lluvia a nivel regional; ocasionando un aumento de humedad y saturación en las tierras subterráneas y superficiales.

El estudio se realizó en el mes de enero y febrero donde se presentó un alto porcentaje en humedad y saturación a causa de las lluvias en la zona.

### 2.7.4. Vegetación

En la zona de El Gavilán, es común encontrar una gran cantidad de eucaliptos. Estas especies se caracterizan por su estructura vertical, capaz de alcanzar alturas superiores a los 60 metros. En la actualidad, los eucaliptos se distribuyen ampliamente en diferentes partes del mundo debido a su rápido crecimiento. Son ampliamente utilizados en la industria papelera, maderera y química, ya que brindan una valiosa fuente de materia prima. Además de su utilidad industrial, es relevante mencionar que los eucaliptos poseen propiedades medicinales.

#### Figura 3

*Vegetación en la cantera El Gavilán.*



## 2.7.5. Geomorfología

Las unidades geomorfológicas de la zona estudio se presentan de manera denudacional y fluvial; adquiriendo geoformas por proceso de desgaste y erosión como resultado de remoción de materiales debido a la acción de agentes meteorológicos y por gravedad.

### 2.7.5.1. Laderas

Formada a causa de procesos de erosión a lo largo del tiempo y constituida por inclinaciones presentes en cerros cuyo comportamiento es empinado y presenta diversas características en su formación morfológica debido a agentes erosivos, su estructura litológica ante las deformaciones estructurales que han ocurrido durante su periodo de tiempo del mesozoico y cenozoico.

#### Figura 4

*Ladera de la cantera*



### 2.4.1.1. Terrazas

Son plataformas recortadas por el curso de agua y por la acumulación de sedimentos y rocas como: bloques, gravas, arenas, depósitos coluviales y aluviales; se sitúan sobre las pendientes, cause de los ríos y márgenes de las carreteras. Las terrazas más antiguas son más elevadas, con materiales generados por varios procesos erosivos y definidos por una matriz heterogénea e irregular donde estos sedimentos consisten en materiales como arena, limo y grava desarrollando una plataforma elevada a causa agentes erosionantes con el tiempo desarrollando una plataforma elevada.

#### Figura 5

*Vista de la terraza de la cantera*



## 2.7.6. Geología Local

La carretera que va de Cruz Blanca a El Gavilán está construida sobre un sistema de pliegues (sinclinales y anticlinales) que se orientan en dirección SE - NW. Esta zona también presenta fallas estructurales que se extienden de NE-SW a E-W. Estas características geológicas corresponden al período cretáceo inferior y están representadas por las Formaciones Chimú, Carhuaz y Farrat, que forman parte del Grupo Goyllarisquizga. Por encima de estas formaciones se encuentran las Formaciones Inca, Chulee, Pariatambo y la Formación Yumagual, que representan el cretáceo superior. Estas formaciones exhiben distintas secuencias estratigráficas, como areniscas, areniscas cuarzosas, lutitas calcáreas y calizas nodulares que varían en tonalidades de gris claro a oscuro. También se observan variaciones de calizas arenosas y margas de color gris oscuro, con estratos que varían en grosor, desde muy delgados hasta muy gruesos. En la zona se han identificado estas unidades litoestratigráficas que abarcan desde el Valanginiano hasta el Cenomaniano. Además, se han encontrado depósitos aluviales cuaternarios con diferentes patrones de distribución, algunos con una disposición estratiforme y otros más heterogéneos y desordenados..Reyes, L. (1980).

## 2.7.7. Formación Chimú (Ki – Chim)

La formación Chimú se encuentra principalmente en una posición concordante sobre la formación Chicama y se sitúa de manera similar a la formación Santa en términos de su posición subyacente. Esta formación está compuesta por una secuencia de capas alternantes de areniscas, areniscas cuarzosas y lutitas.

### **2.7.8. Formación Carhuaz (Ki – Ca)**

Subreyace La Formación Carhuaz y se caracteriza por su origen lacustre, compuesta principalmente por limoarcillitas. Esta formación está compuesta por una sucesión de capas alternadas de areniscas y lutitas de tonalidades grises, presentando tonos rojizos, violetas y verdosos en las areniscas. En la parte superior de la formación, se observan bancos de arenisca cuarzosa blanca que se intercalan con lutitas y areniscas. Se estima que tiene un espesor aproximado de 500 metros. Características principales para diferenciación en campo); presentando en el tope bancos de arenisca cuarzosa con algo de lutitas y areniscas.

### **2.7.9. Formación Farrat (Ki – F)**

Esta Formación ocupa el segundo lugar en cuanto a su potencia, conformado por las areniscas cuarzosas estas presentan un espesor promedio de 500 metros. Estas se sitúan por encima de la Formación Chimú en una disposición aparentemente concordante, lo cual evidencia de manera clara el cambio de características facies entre Carhuaz y Farrat.

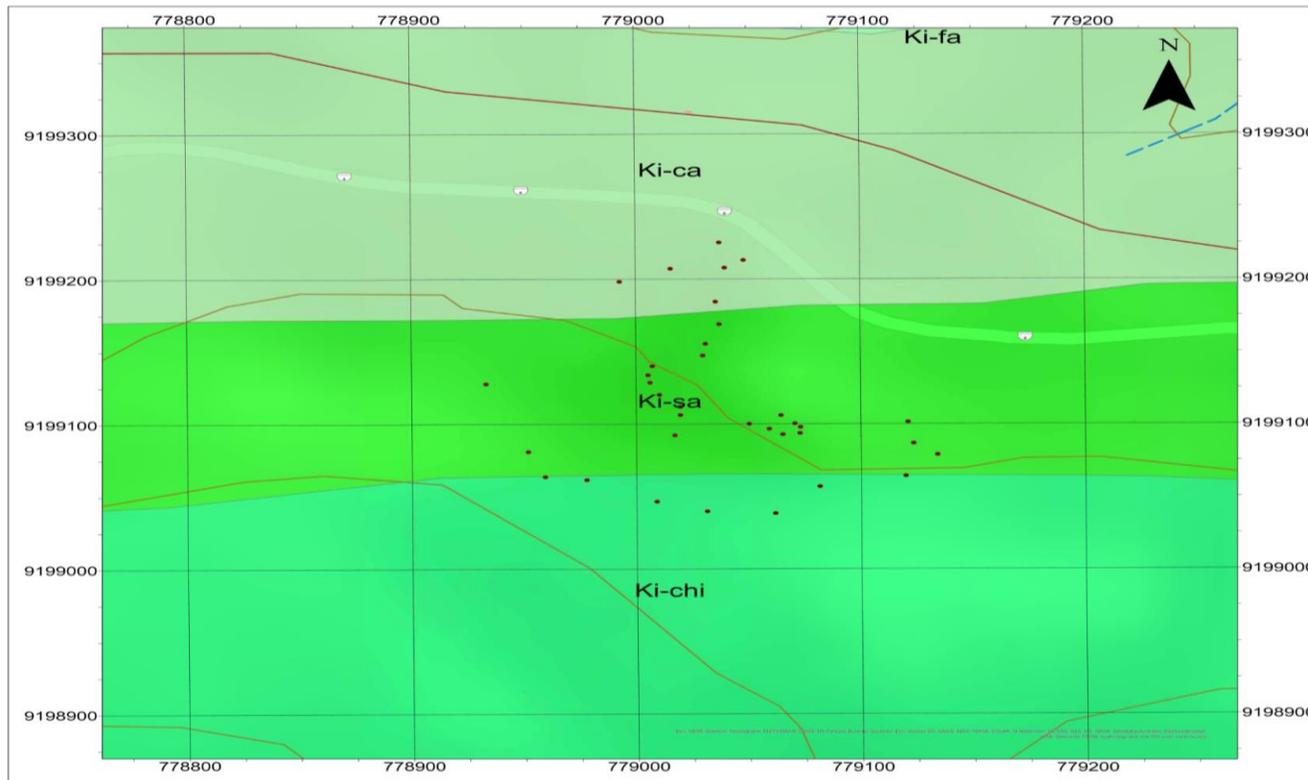
### **2.7.10. Formación Santa (Ki – SA)**

La formación Santa localmente contiene nódulos calcáreos y como sus afloramientos topográficamente conforman depresiones, están cubiertos mayormente por suelo, razón por la que sólo son observables en los cortes de quebradas y carreteras. Siempre da terrenos blancos, deleznales y fangosos. Ocasionalmente tiene horizontes fosilíferos en el área consiste en una intercalación de lutitas y calizas margosas, y areniscas gris oscuras, con un grosor que oscila entre los 100 y 150 m. Sobreyace a la formación Chimú e infrayace a la formación Carhuaz, aparentemente con discordancia paralela en ambos casos.

Figura 6

Mapa geológico de la cantera donde se observan los tipos de materiales de la cantera El Gavilán.

MAPA GEOLOGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO



**LOCALIZACION**

**LEYENDA**

- WAYPOINTS: Red dot
- DRENAJE: Blue dashed line
- FORMACIÓN:
  - Ki-ca: Light green box
  - Ki-chi: Medium green box
  - Ki-fa: Darker green box
  - Ki-sa: Bright green box
- TOPOGRAFIA:
  - Line 1: Brown line
  - Line 5: Brown line

0 0.016 0.03 0.06 0.09 0.12 KILOMETROS

**REALIZADO POR**

CHEGNE MUÑOZ JOSE LUIS  
SANTA MARIA INFANTE MARCO ANTONIO

**ESCALA**  
Scale: 1:1,000

**CAPÍTULO III: RESULTADOS**

**Tabla 3**

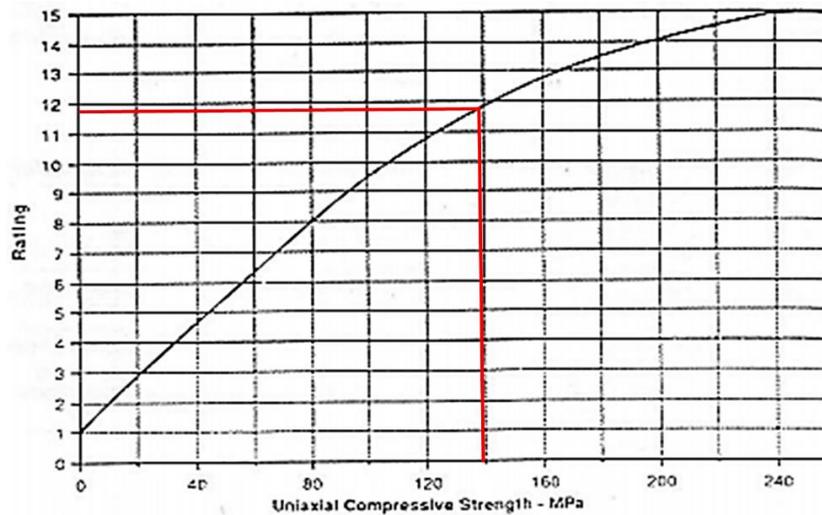
*Cartografiado Geomecánico*

MAPEO GEOMECANICO RMR MAPEO LINEAL										Coordenadas: E 739694 N 9205782 2409 msnm.		Talud Carretera- El Gavilán-Cajamarca		Fecha: 10-04-2023.		CLASIFICACION DEL MACIZO							
Ubicación: Abra el Gavilán-Cajamarca										Elaborado mediante- estaciones geomecánicas		ROCOSO RMR											
Registro N° 01										Rumbo perpendicular al eje de la excavacion		Rumbo paralelo al eje de la excavacion		Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo		RMR		DESCRIPCION					
										Direccion con el buzamiento		Direccion contra el buzamiento		Buzamiento									
										Bz 45°-90°		Bz 20°-45°		Bz 45°-90°		Bz 20°-45°							
										Muy Favorable		Favorable		Muy Desfavorable		Regular							
										0		-2		-12		-5							
										CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES													
										Apertura		Rugosidad		Relleno		Alteración		Agua		Orientación			
										Espaciamiento entre Discontinuidad		Persistencia						Subterránea		Discontinuidades			
										1.- >2 m		1.- < 1m		1.- Cerrada		1.- No meteorizad		1.- seco		1.- Muy favorable			
										2.- 0.6-2 m		2.- 1-3 m		2.- Muy Angosta		2.- Ligeramente		2.- Húmedo		2.- Favorable			
										3.- 200-600 mm		3.- 3-10 m		3.- Angosta		3.- Rugoso		3.- Mojado		3.- Regular			
										4.- 60-200 mm		4.- 10-20 m		4.- Lisa		4.- Ligeramente		4.- Goteo		4.- Desfavorable			
										5.- < 60 mm		5.- > 20 m		5.- Muy rugosa		5.- No meteorizad		5.- Muy favorable		5.- Muy Desfavorable			
										6.- < 1mm		6.- Lisa		6.- Ninguna		6.- Completamente		6.- Muy favorable					
										7.- 0.1 - 1 mm		7.- Rugosa		7.- Relleno duro		7.- Ligeramente		7.- Húmedo		7.- Regular			
										8.- 1.0 mm		8.- Lisa		8.- Relleno duro		8.- Ligeramente		8.- Mojado		8.- Desfavorable			
										9.- < 25%		9.- > 25%		9.- Lisa		9.- Completamente		9.- Goteo		9.- Muy favorable			
										10.- > 25%		10.- > 25%		10.- Lisa		10.- Completamente		10.- Goteo		10.- Muy favorable			
										11.- > 25%		11.- > 25%		11.- Lisa		11.- Completamente		11.- Goteo		11.- Muy favorable			
										12.- > 25%		12.- > 25%		12.- Lisa		12.- Completamente		12.- Goteo		12.- Muy favorable			
										13.- > 25%		13.- > 25%		13.- Lisa		13.- Completamente		13.- Goteo		13.- Muy favorable			
										14.- > 25%		14.- > 25%		14.- Lisa		14.- Completamente		14.- Goteo		14.- Muy favorable			
										15.- > 25%		15.- > 25%		15.- Lisa		15.- Completamente		15.- Goteo		15.- Muy favorable			
										16.- > 25%		16.- > 25%		16.- Lisa		16.- Completamente		16.- Goteo		16.- Muy favorable			
										17.- > 25%		17.- > 25%		17.- Lisa		17.- Completamente		17.- Goteo		17.- Muy favorable			
										18.- > 25%		18.- > 25%		18.- Lisa		18.- Completamente		18.- Goteo		18.- Muy favorable			
										19.- > 25%		19.- > 25%		19.- Lisa		19.- Completamente		19.- Goteo		19.- Muy favorable			
										20.- > 25%		20.- > 25%		20.- Lisa		20.- Completamente		20.- Goteo		20.- Muy favorable			
										21.- > 25%		21.- > 25%		21.- Lisa		21.- Completamente		21.- Goteo		21.- Muy favorable			
										22.- > 25%		22.- > 25%		22.- Lisa		22.- Completamente		22.- Goteo		22.- Muy favorable			
										23.- > 25%		23.- > 25%		23.- Lisa		23.- Completamente		23.- Goteo		23.- Muy favorable			
										24.- > 25%		24.- > 25%		24.- Lisa		24.- Completamente		24.- Goteo		24.- Muy favorable			
										25.- > 25%		25.- > 25%		25.- Lisa		25.- Completamente		25.- Goteo		25.- Muy favorable			
										26.- > 25%		26.- > 25%		26.- Lisa		26.- Completamente		26.- Goteo		26.- Muy favorable			
										27.- > 25%		27.- > 25%		27.- Lisa		27.- Completamente		27.- Goteo		27.- Muy favorable			
										28.- > 25%		28.- > 25%		28.- Lisa		28.- Completamente		28.- Goteo		28.- Muy favorable			
										29.- > 25%		29.- > 25%		29.- Lisa		29.- Completamente		29.- Goteo		29.- Muy favorable			
										30.- > 25%		30.- > 25%		30.- Lisa		30.- Completamente		30.- Goteo		30.- Muy favorable			
										31.- > 25%		31.- > 25%		31.- Lisa		31.- Completamente		31.- Goteo		31.- Muy favorable			
										32.- > 25%		32.- > 25%		32.- Lisa		32.- Completamente		32.- Goteo		32.- Muy favorable			
										33.- > 25%		33.- > 25%		33.- Lisa		33.- Completamente		33.- Goteo		33.- Muy favorable			
										34.- > 25%		34.- > 25%		34.- Lisa		34.- Completamente		34.- Goteo		34.- Muy favorable			
										35.- > 25%		35.- > 25%		35.- Lisa		35.- Completamente		35.- Goteo		35.- Muy favorable			
										36.- > 25%		36.- > 25%		36.- Lisa		36.- Completamente		36.- Goteo		36.- Muy favorable			
										37.- > 25%		37.- > 25%		37.- Lisa		37.- Completamente		37.- Goteo		37.- Muy favorable			
										38.- > 25%		38.- > 25%		38.- Lisa		38.- Completamente		38.- Goteo		38.- Muy favorable			
										39.- > 25%		39.- > 25%		39.- Lisa		39.- Completamente		39.- Goteo		39.- Muy favorable			
										40.- > 25%		40.- > 25%		40.- Lisa		40.- Completamente		40.- Goteo		40.- Muy favorable			
										41.- > 25%		41.- > 25%		41.- Lisa		41.- Completamente		41.- Goteo		41.- Muy favorable			
										42.- > 25%		42.- > 25%		42.- Lisa		42.- Completamente		42.- Goteo		42.- Muy favorable			
										43.- > 25%		43.- > 25%		43.- Lisa		43.- Completamente		43.- Goteo		43.- Muy favorable			
										44.- > 25%		44.- > 25%		44.- Lisa		44.- Completamente		44.- Goteo		44.- Muy favorable			
										45.- > 25%		45.- > 25%		45.- Lisa		45.- Completamente		45.- Goteo		45.- Muy favorable			
										46.- > 25%		46.- > 25%		46.- Lisa		46.- Completamente		46.- Goteo		46.- Muy favorable			
										47.- > 25%		47.- > 25%		47.- Lisa		47.- Completamente		47.- Goteo		47.- Muy favorable			
										48.- > 25%		48.- > 25%		48.- Lisa		48.- Completamente		48.- Goteo		48.- Muy favorable			
										49.- > 25%		49.- > 25%		49.- Lisa		49.- Completamente		49.- Goteo		49.- Muy favorable			
										50.- > 25%		50.- > 25%		50.- Lisa		50.- Completamente		50.- Goteo		50.- Muy favorable			
										51.- > 25%		51.- > 25%		51.- Lisa		51.- Completamente		51.- Goteo		51.- Muy favorable			
										52.- > 25%		52.- > 25%		52.- Lisa		52.- Completamente		52.- Goteo		52.- Muy favorable			
										53.- > 25%		53.- > 25%		53.- Lisa		53.- Completamente		53.- Goteo		53.- Muy favorable			
										54.- > 25%		54.- > 25%		54.- Lisa		54.- Completamente		54.- Goteo		54.- Muy favorable			
										55.- > 25%		55.- > 25%		55.- Lisa		55.- Completamente		55.- Goteo		55.- Muy favorable			
										56.- > 25%		56.- > 25%		56.- Lisa		56.- Completamente		56.- Goteo		56.- Muy favorable			
										57.- > 25%		57.- > 25%		57.- Lisa		57.- Completamente		57.- Goteo		57.- Muy favorable			
										58.- > 25%		58.- > 25%		58.- Lisa		58.- Completamente		58.- Goteo		58.- Muy favorable			
										59.- > 25%		59.- > 25%		59.- Lisa		59.- Completamente		59.- Goteo		59.- Muy favorable			
										60.- > 25%		60.- > 25%		60.- Lisa		60.- Completamente		60.- Goteo		60.- Muy favorable			
										61.- > 25%		61.- > 25%		61.- Lisa		61.- Completamente		61.- Goteo		61.- Muy favorable			
										62.- > 25%		62.- > 25%		62.- Lisa		62.- Completamente		62.- Goteo		62.- Muy favorable			
										63.- > 25%		63.- > 25%		63.- Lisa		63.- Completamente		63.- Goteo		63.- Muy favorable			
										64.- > 25%		64.- > 25%		64.- Lisa		64.- Completamente		64.- Goteo		64.- Muy favorable			
										65.- > 25%		65.- > 25%		65.- Lisa		65.- Completamente		65.- Goteo		65.- Muy favorable			
										66.- > 25%		66.- > 25%		66.- Lisa		66.- Completamente		66.- Goteo		66.- Muy favorable			
										67.- > 25%		67.- > 25%		67.- Lisa		67.- Completamente		67.- Goteo		67.- Muy favorable			
										68.- > 25%		68.- > 25%		68.- Lisa		68.- Completamente		68.- Goteo		68.- Muy favorable			
										69.- > 25%		69.- > 25%		69.- Lisa		69.- Completamente		69.- Goteo		69.- Muy favorable			
										70.- > 25%		70.- > 25%		70.- Lisa		70.- Completamente		70.- Goteo		70.- Muy favorable			
										71.- > 25%		71.- > 25%		71.- Lisa		71.- Completamente		71.- Goteo		71.- Muy favorable			
										72.- > 25%		72.- > 25%		72.- Lisa		72.- Completamente		72.- Goteo		72.- Muy favorable			
										73.- > 25%		73.- > 25%		73.- Lisa		73.- Completamente		73.- Goteo		73.- Muy favorable			
										74.- > 25%		74.- > 25%		74.- Lisa		74.- Completamente		74.- Goteo		74.- Muy favorable			
										75.- > 25%		75.- > 25%		75.- Lisa		75.- Completamente		75.- Goteo		75.- Muy favorable			
										76.- > 25%		76.- > 25%		76.- Lisa		76.- Completamente		76.- Goteo		76.- Muy favorable			
										77.- > 25%		77.- > 25%		77.- Lisa		77.- Completamente		77.- Goteo		77.- Muy favorable			
										78.- > 25%		78.- > 25%		78.- Lisa		78.- Completamente		78.- Goteo		78.- Muy favorable			
										79.- > 25%		79.- > 25%		79.- Lisa		79.- Completamente		79.- Goteo		79.- Muy favorable			
										80.- > 25%		80.- > 25%		80.- Lisa		80.- Completamente		80.- Goteo		80.- Muy favorable			
										81.- > 25%		81.- > 25%		81.- Lisa		81.- Completamente		81.- Goteo		81.- Muy favorable			
										82.- > 25%		82.- > 25%		82.- Lisa		82.- Completamente		82.- Goteo		82.- Muy favorable			
										83.- > 25%		83.- > 25%		83.- Lisa		83.- Completamente		83.- Goteo		83.- Muy favorable			
										84.- > 25%		84.- > 25%		84.- Lisa		84.- Completamente		84.- Goteo		84.- Muy favorable			
										85.- > 25%		85.- > 25%		85.- Lisa		85.- Completamente		85.- Goteo		85.- Muy favorable			
										86.- > 25%		86.- > 25%		86.- Lisa		86.- Completamente		86.- Goteo		86.- Muy favorable			
										87.- > 25%		87.- > 25%		87.- Lisa		87.- Completamente		87.- Goteo		87.- Muy favorable			
										88.- > 25%		88.- > 25%		88.- Lisa		88.- Completamente		88.- Goteo		88.- Muy favorable			
										89.- > 25%		89.- > 25%		89.- Lisa		89.- Completamente		89.- Goteo		89.- Muy favorable			
										90.- > 25%		90.- > 25%		90.- Lisa		90.- Completamente		90.- Goteo		90.- Muy favorable			
										91.- > 25%		91.- > 25%		91.- Lisa		91.- Completamente		91.- Goteo		91.- Muy favorable			
										92.- > 25%		92.- > 25%		92.- Lisa		92.- Completamente		92.- Goteo		92.- Muy favorable			
										93.- > 25%		93.- > 25%		93.- Lisa		93.- Completamente		93.- Goteo		93.- Muy favorable			
										94.- > 25%		94.- > 25%		94.- Lisa		94.- Completamente		94.- Goteo		94.- Muy favorable			
										95.- > 25%		95.- > 25%		95.- Lisa		95.- Completamente		95.- Goteo		95.- Muy favorable			
										96.- > 25%		96.- > 25%		96.- Lisa		96.- Completamente		96.- Goteo		96.- Muy favorable			

Se empleó la siguiente figura para determinar los valores de resistencia a la compresión simple en función de los parámetros:

**Figura 7**

*Ploteo de la valoración en MPa de la resistencia a la compresión Uniaxial.*

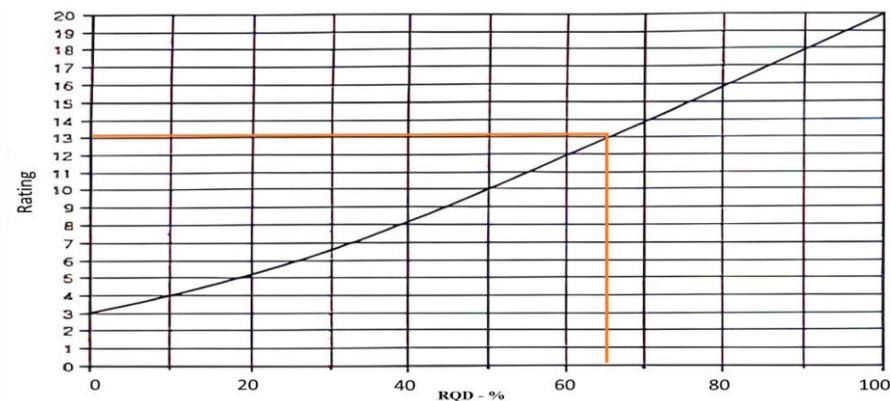


Fuente: Gavilanes (2002).

Asimismo, en la siguiente figura se emplea la puntuación del parámetro de RQD.

**Figura 8**

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 9**

*Ploteo de valoración del espaciamiento entre discontinuidades en mm*



Fuente: Gavilanes (2002).

**Tabla 4**

*Calidad del macizo rocoso con relación al Índice RMR*

CLASIFICACIÓN DEL MACIZO	
<b>ROCOSO RMR</b>	
RMR	DESCRIPCIÓN

<b>91-100</b>	<b>MUY BUENA “A”</b>
<b>81-90</b>	<b>MUY BUENO “B”</b>
<b>71-80</b>	<b>BUENA “A”</b>
<b>61-70</b>	<b>BUENA “B”</b>
<b>51-60</b>	<b>REGULAR “A”</b>
<b>41-50</b>	<b>REGULAR “B”</b>
<b>31-40</b>	<b>MALA “A”</b>
<b>21-30</b>	<b>MALA “B”</b>
<b>0-20</b>	<b>MUY MALA “A”</b>

*Nota:* RMR básico obtenido a partir de la sumatoria de los 05 parámetros en el cual el Plote la roca es del Tipo Buena “B”

Fuente: Gavilanes (2002)

Se procederá a calcular los factores de ajuste F1, F2, F3 y F4, necesarios para determinar el SMR en una fractura de tipo planar, siguiendo la clasificación de la Romana.

$$F1 = [ 1 - \sin (\alpha_j - \alpha_s) ]^2$$

$$F1 = [ 1 - \sin (353^\circ - 340^\circ) ]^2$$

$$F1 = [ 1 - \sin (5^\circ) ]^2$$

$$F1 = 0.60$$

$$F2 = tg (bj)2$$

$$F2 = tg (45) 2$$

$$F2 = 1$$

$F3 = bj - bs = 45 - 60 = 15^\circ$  por lo que la puntuación será de

$$F3 = -25$$

$$SMR = RMR + (F1 X F2 X F3) + F4$$

$$SMR = 53 + (0.60 x 1 x -25) + 8$$

$$SMR = 53 - 15 + 8$$

$$SMR = 46$$

Luego describimos el grado de estabilidad en función del valor obtenido de SMR

**Figura 10**

*Parámetros de estabilidad según el SMR Romana, por lo que el talud se comporta estable ante una rotura planar*

<b>SMR</b>	<b>Estabilidad</b>
100 - 81	Totalmente Estable
80 - 61	Estable
60 - 41	Parcialmente Estable
40 - 21	Inestable
< 20	Totalmente Inestable

Fuente: Gavilanes (2002).

Según la el sistema de clasificación SMR se sugiera las siguientes recomendaciones y/o medidas de sostenimiento o soporte.

**Figura 11**

*Recomendaciones de soporte, en la cual se puede apreciar de que se recomienda la construcción de Cunetas al pie de talud*

MEDIDAS DE SOSTENIMIENTO RECOMENDADAS PARA CADA CLASE DE ESTABILIDAD		
Clase	SMR	Soporte
I a	91 – 100	Ninguno
I b	81 – 90	Ninguno/Saneos
II a	71 – 80	(Ninguno/Cunetas) Pernos puntuales
II b	60 – 70	Cunetas al pie del talud/malla Pernos puntuales o sistemáticos
III a	51 – 60	Cuneta y/o malla Pernos puntuales o sistemáticos Hormigón lanzado localizado
III b	41 – 60	(Cunetas al pie del talud y/o malla) Pernos sistemáticos/Anclajes Hormigón lanzado localizado Muro de pie
IV a	31 – 40	Anclaje Hormigón lanzado sistemático Muro de pie y/o concreto (Reexcavación). Drenaje
IV b	21 – 30	Hormigón lanzado reforzado sistemático Muro de pie y/o concreto (Reexcavación). Drenaje profundo
V a	nov-20	Muros de contención Reexcavación

Fuente: (Gavilanes & Andrade, 2004)

Fuente: Gavilanes (2002)

Se aplicará el método de clasificación GSI (índice de resistencia geológica) para caracterizar las propiedades geomecánicas de los macizos rocosos. Este método se basa en la evaluación visual de las propiedades geológicas en el campo para determinar dicha resistencia.

**Figura 12**

*Representación del Índice de Resistencia Geomecánica (GSI) en relación a las discontinuidades, con valor de 48.*



Fuente: Gavilanes (2002).

Tabla 5

*Mapeo Geomecánico de las discontinuidades*

<b>TALUD</b> <b>DIP: 39</b> <b>DIP DIRECTION: 130</b> <b>AZIMUT 350°</b>								
ESTACIÓN 1			ESTACIÓN 2			ESTACIÓN 3		
FAM	BUZ	AZIMUT	FAM	BUZ	AZIMUT	FAM	BUZ	AZIMUT
1	53	N277	1	49	N273	1	55	N274
1	49	N280	1	55	N282	1	50	N277
1	50	N273	1	53	N277	1	49	N278
1	48	N278	1	59	N278	1	53	N273
1	59	N282	1	50	N276	1	48	N282
1	50	N276	1	50	N274	1	49	N277
1	49	N277	1	48	N277	1	59	N280
1	55	N274	1	49	N280	1	50	N276
2	63	N100	2	58	N102	2	63	N102
2	59	N98	2	60	N94	2	60	N105
2	66	N106	2	60	N99	2	60	N96
2	58	N102	2	57	N105	2	59	N94
2	60	N94	2	63	N96	2	58	N100
2	57	N99	2	59	N100	2	63	N106
2	61	N105	2	66	N98	2	66	N99
2	69	N96	2	63	N106	2	57	N98
3	41	N350	3	45	N37	3	46	N37
3	45	N353	3	41	N34	3	44	N34
3	47	N347	3	43	N32	3	45	N32
3	43	N354	3	47	N29	3	41	N29
3	44	N352	3	46	N36	3	73	N36
3	42	N247	3	44	N30	3	43	N30
3	46	N356	3	42	N33	3	47	N33
4	62	N161	4	60	N164	4	65	N158
4	58	N165	4	66	N158	4	59	N161
4	60	N157	4	67	N166	4	60	N164
4	66	N159	4	59	N164	4	62	N164
4	67	N166	4	65	N158	4	67	N165
4	59	N164	4	62	N161	4	58	N158
4	65	N158	4	58	N165	4	66	N166

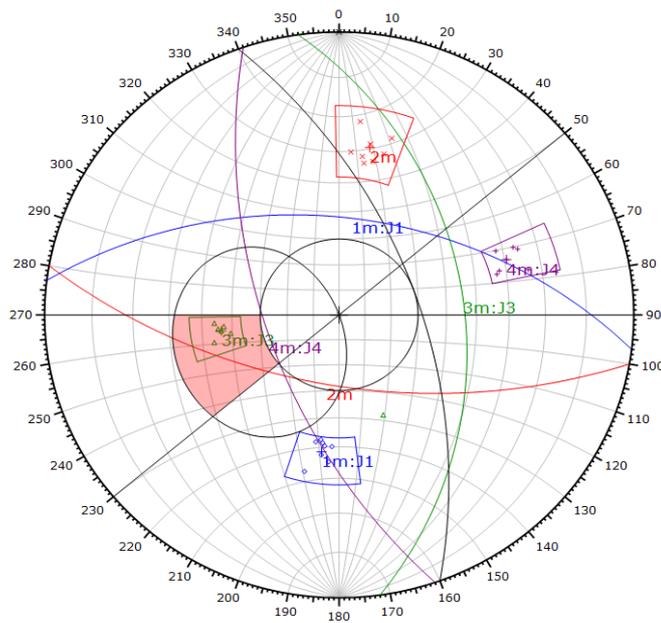
*Nota:* Se registraron las discontinuidades mediante el uso de brújula Brunton azimutal.

### 3.1. Análisis estereográfico en base a discontinuidades en el talud

#### 3.1.1. Falla Planar

**Figura 13**

*Análisis cinemático de roturas*



*Nota:* La envolvente del talud y los límites laterales de  $\pm 20$  se utilizaron como criterio para determinar el área crítica del cono de fricción. Se observa que el sistema de discontinuidades J3 cumple con las condiciones geométricas y de fricción necesarias para generar una falla planar.

**Figura 14**

*Valores de la orientación del talud, ángulo de fricción, dirección y buzamiento de los planos promedios de las familias de discontinuidades.*

Symbol	FAMILIA	Quantity		
◇	J1	8		
×	J2	8		
△	J3	7		
+	J4	7		

<b>Kinematic Analysis</b>	Planar Sliding		
<b>Slope Dip</b>	60		
<b>Slope Dip Direction</b>	70		
<b>Friction Angle</b>	30°		
<b>Lateral Limits</b>	20°		
	<b>Critical</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
Planar Sliding (All)	6	30	20.00%
Planar Sliding (Set 3)	6	6	100.00%

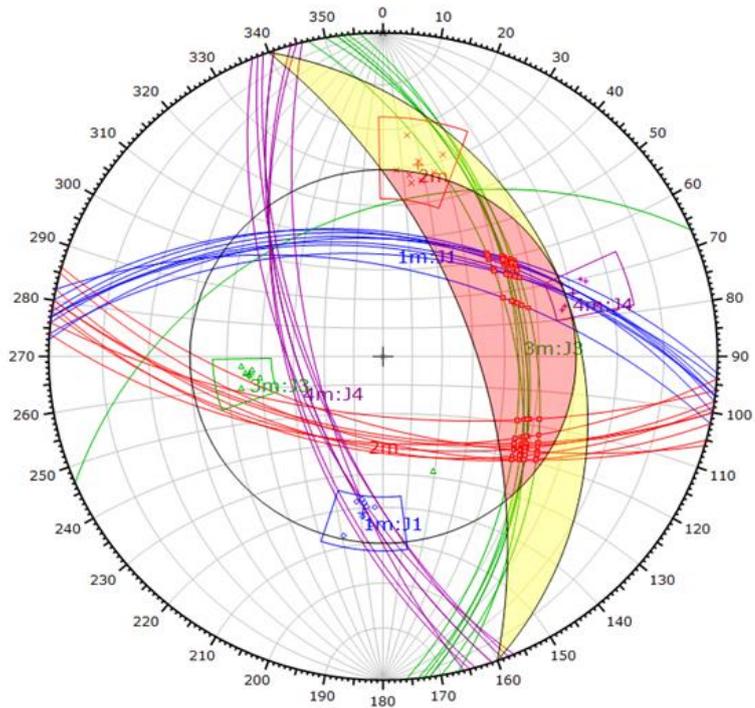
<b>Plot Mode</b>	Pole Vectors
<b>Vector Count</b>	30 (30 Entries)
<b>Hemisphere</b>	Lower
<b>Projection</b>	Equal Angle

*Nota:* El 100% de los datos recolectados cumplen con las condiciones geométricas y de fricción necesarias para que la familia J3 pueda generar una falla planar.

### 3.1.2. Falla en Cuña

**Figura 15**

*Análisis cinemático de rotura.*



*Nota:* Teniendo en cuenta como criterio para definir el área crítica el cono de fricción, y la envolvente del talud. Se aprecia que las intersecciones de la familia J1 y J3 y la familia J2 y J3 reúnen las condiciones geométricas y de fricción para producir dos Cuñas.

**Figura 16**

*Valores de la orientación del talud, ángulo de fricción, dirección y buzamiento de los planos promedios de las familias de discontinuidades.*

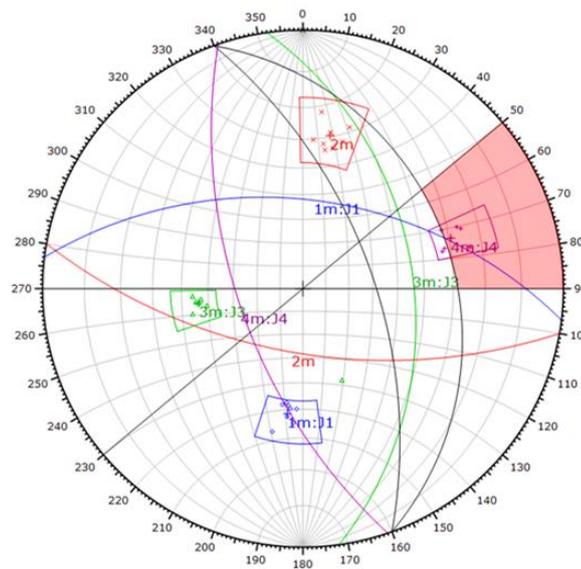
Symbol	FAMILIA	Quantity	
◇	J1	8	
×	J2	8	
△	J3	7	
+	J4	7	
Symbol	Feature		
■	Critical Intersection		
Kinematic Analysis	Wedge Sliding		
Slope Dip	60		
Slope Dip Direction	70		
Friction Angle	30°		
	Critical	Total	%
Wedge Sliding	96	314	30.57%

Nota: El 30.57% de las intersecciones cumplen con las condiciones geométricas y de fricción necesarias para generar fallas en forma de cuña.

### 3.1.3. Falla en vuelco

**Figura 17**

*Análisis cinemático*



*Nota:* Al utilizar límites laterales de  $\pm 20^\circ$  y un plano auxiliar relacionado con el talud y el ángulo de fricción como criterio para definir el área crítica, se observa que la familia J4 tiene la capacidad de generar una rotura en vuelco debido a las características de orientación de las juntas en el macizo rocoso.

**Figura 18**

*Valores de la orientación del talud, ángulo de fricción, dirección y buzamiento de los planos promedios de las familias de discontinuidades.*

Symbol	FAMILIA	Quantity
◇	J1	8
×	J2	8
△	J3	7
+	J4	7

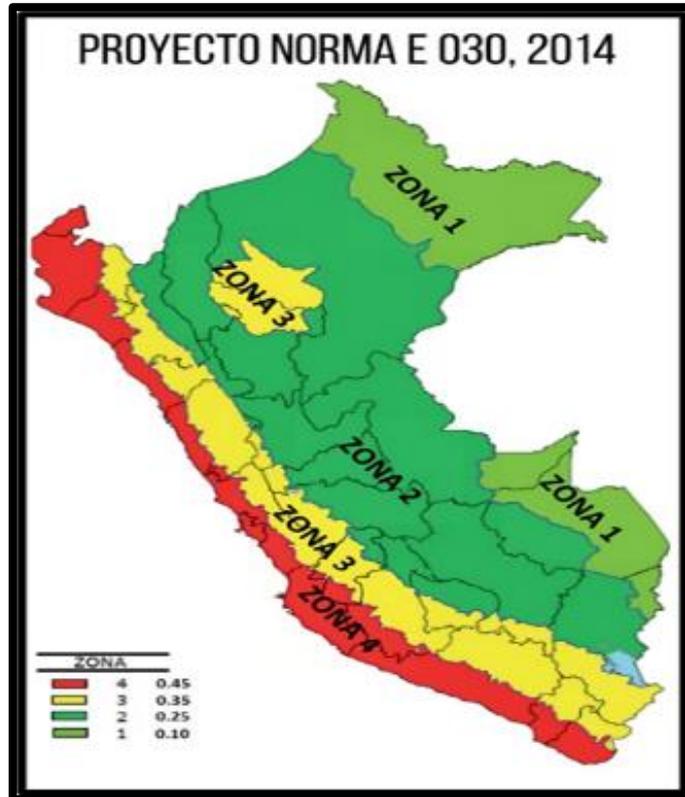
  

Kinematic Analysis		Flexural Toppling		
Slope Dip		60		
Slope Dip Direction		70		
Friction Angle		30°		
Lateral Limits		20°		
		Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)		4	30	13.33%
Flexural Toppling (Set 4)		4	7	57.14%

*Nota:* El 57.14% de los datos correspondientes a la familia J4 cumplen con las condiciones geométricas y de fricción necesarias para generar una falla en vuelco.

**Figura 19**

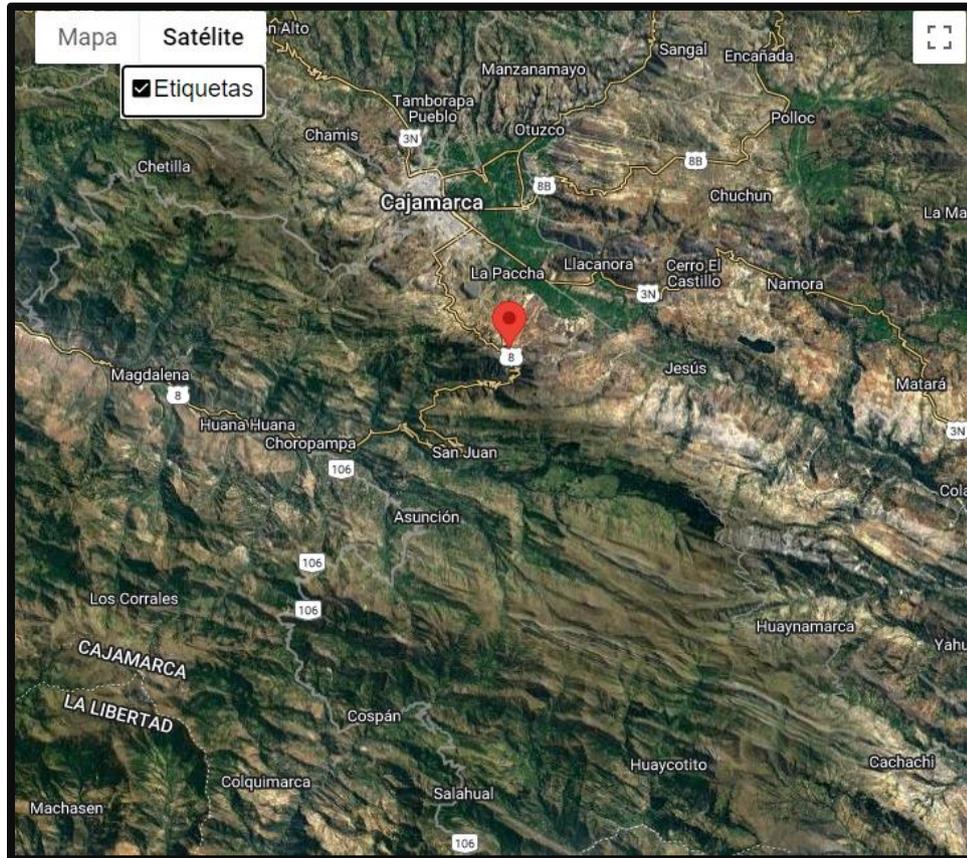
*Zonificación espacial de la sismicidad del territorio nacional del Perú.*



Fuente: (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016).

**Figura 20**

*Determinación de las ubicaciones de las coordenadas necesarias para calcular el coeficiente de sismicidad.*



### 3.2. Factor de sismicidad

Se calculó el coeficiente de sismicidad para un período de operación de la obra de 50 años y un período de retorno de 475 años, teniendo en cuenta la ubicación del talud con las siguientes coordenadas geográficas:

**Tabla 6**

*Mapeo Geomecánico de las discontinuidades*

Ubicación	Latitud	Longitud
Cantera El Gavilán	-7.2	-78.5

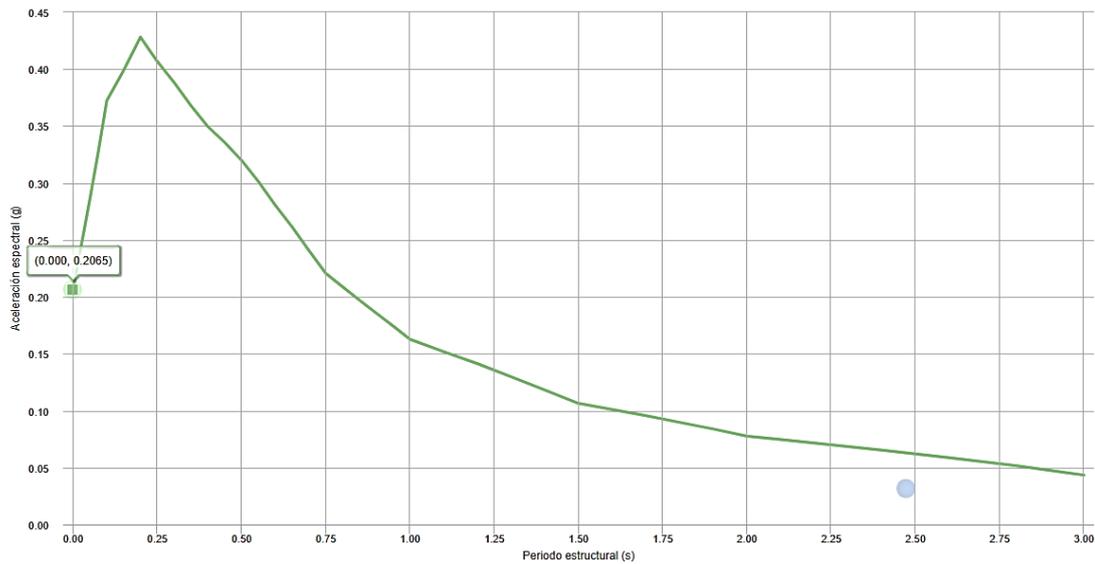
PE = Probabilidad de Excedencia.

PO = Periodo de Operación en años.

TO = Tiempo de Retorno en años.

**Figura 21**

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



En la sección de análisis, se emplearon los datos de cohesión, peso específico y ángulo de fricción para las calizas que se encuentran en el talud. Además, se tuvo en cuenta un índice sísmico de 0.2065, considerando las estaciones geomecánicas.

### 3.3. Ensayos en roca

**Tabla 7**

*Numero de rebote del martillo de Schmit para cada discontinuidad*

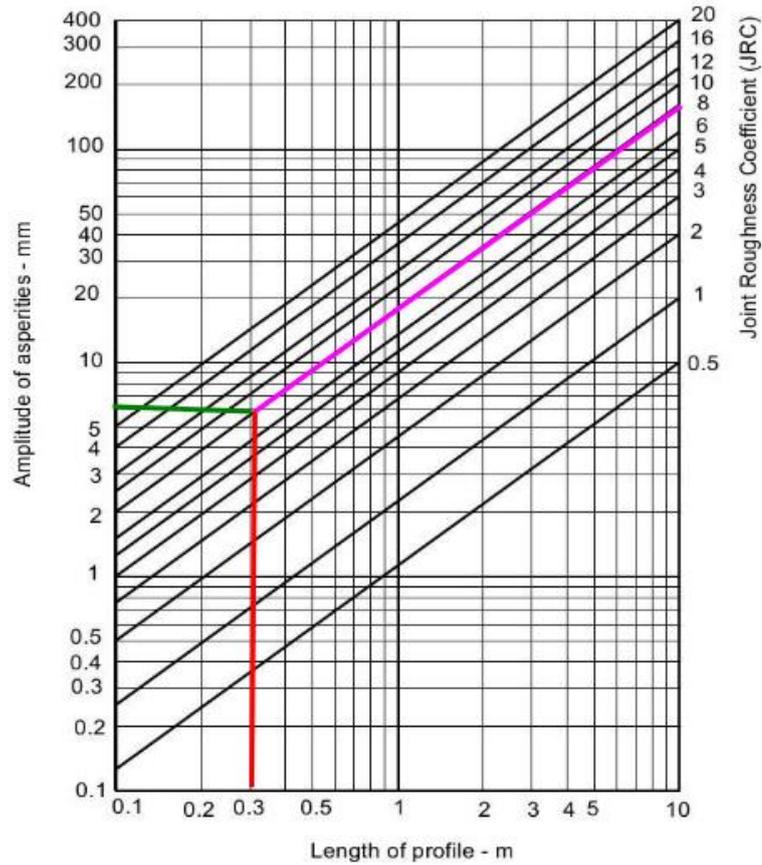
Numero de familia	Rebote
J1	48
J2	46
J3	49
J4	48

Para la obtención de los parámetros requeridos por el método de Barton Bandis se utilizó la siguiente instrumentación.

En el caso del parámetro JRC se utilizó el peine de Barton y considerando la discontinuidad J2 que es la más crítica, presentando una amplitud de 6 mm, abatiéndose así un valor del parámetro JRC de 8.

**Figura 22**

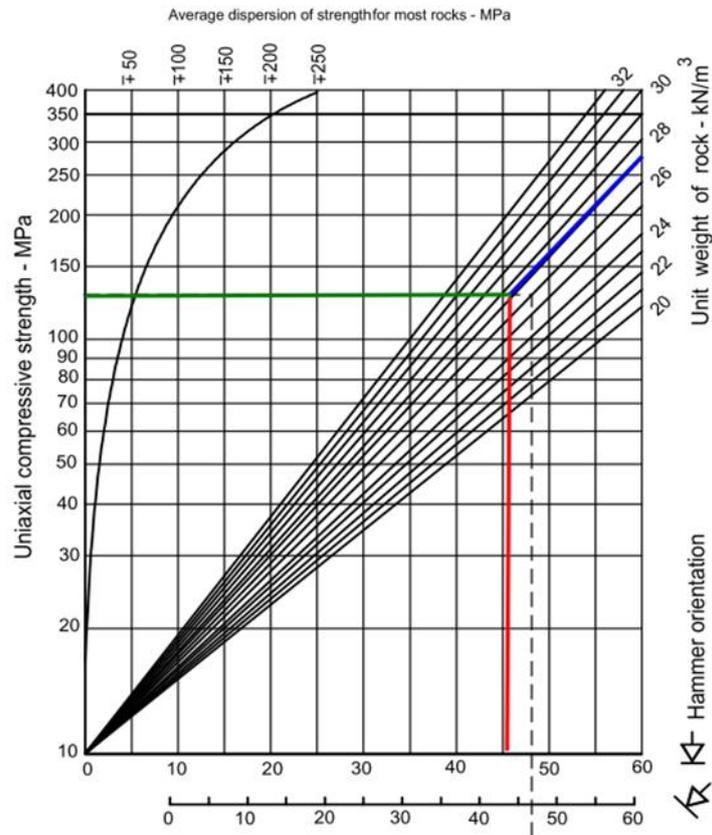
*Estimación de JRC mediante la superficie amplitud de la rugosidad.*



Para obtener el Parámetro UCS, se utilizó el martillo de schmid en el plano de la discontinuidad J2 que es la más crítica, la cual registro un número de rebote de 46, obteniéndose un valor de UCS de 135 MPa.

**Figura 23**

*Estimación de la resistencia a la compresión.*

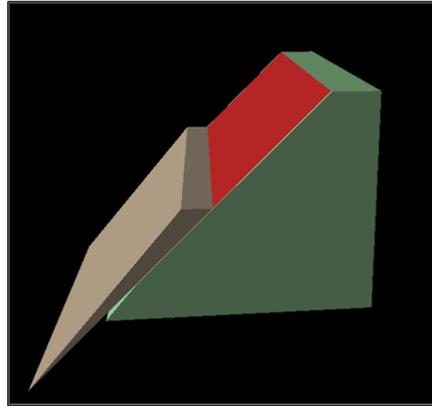


### 3.3.1. Rotura Planar

Con el fin de analizar una falla de tipo Planar generada por las fracturas de la familia J3, se determinará el índice de estabilidad, en este análisis se tomará en cuenta la saturación del agua, considerando tanto la presencia como la ausencia de un coeficiente de sismicidad.

**Figura 24**

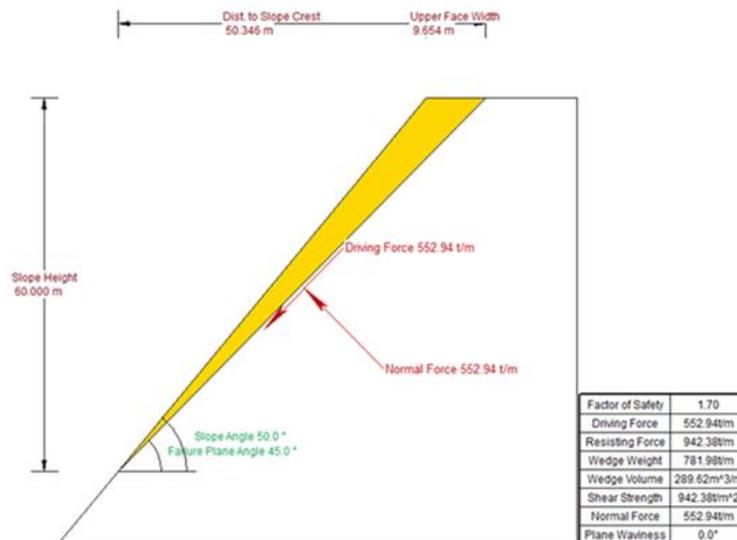
*Representación en perspectiva del desplazamiento del bloque deslizante a través de la fractura en la familia J3.*



### 3.3.1.1. Condiciones Estáticas y Secas

**Figura 25**

*Evaluación del factor de seguridad mediante el modelo de Barton Bandis.*

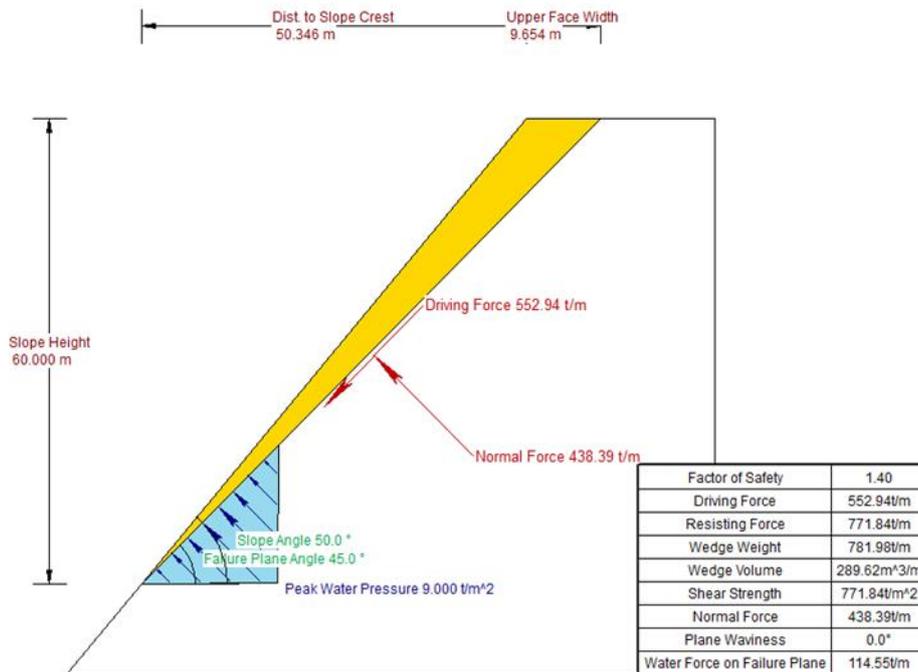


*Nota:* se aprecia que el talud, cumple las condiciones de estabilidad según la Norma, en condiciones secas y estáticas con un Factor de seguridad de 1.70, por lo cual nos indica que el talud es completamente estable ante una falla planar en estas condiciones.

### 3.3.1.2. Condiciones estáticas y saturadas

**Figura 26**

*Evaluación del factor de seguridad mediante el modelo de Barton Bandis.*

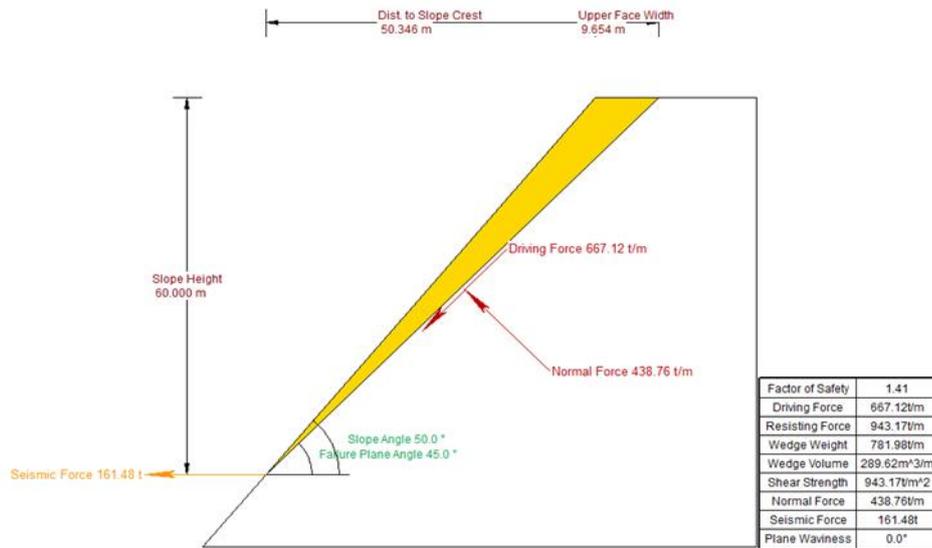


*Nota:* Se puede observar que el talud mantiene su estabilidad en condiciones saturadas y estáticas, con un factor de seguridad de 1.40, lo que indica que no ocurre la falla planar en estas circunstancias.

### 3.3.1.3. Condiciones Pseudoestáticas y secas

**Figura 27**

*Evaluación del factor de seguridad mediante el modelo de Barton Bandis.*

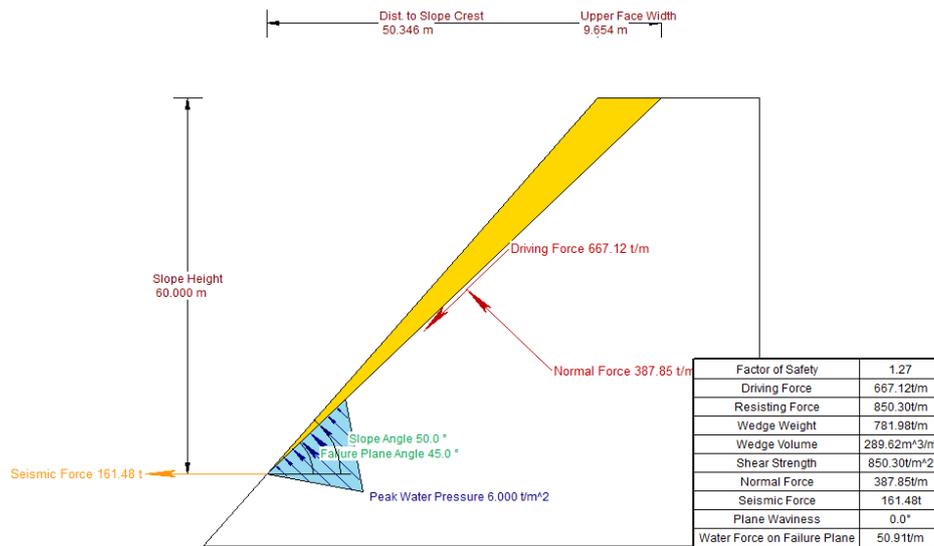


**Nota** se puede observar que el talud mantiene su estabilidad en condiciones secas y pseudoestáticas, considerando un coeficiente de sismicidad de 0.2065. En este caso, se obtiene un factor de seguridad de 1.41, lo que indica que no ocurre la falla planar en estas circunstancias.

### 3.3.1.4. Condiciones Pseudoestáticas y Saturadas

**Figura 28**

*Evaluación del factor de seguridad mediante el modelo de Mohr coulomb.*



**Nota:** Se observa que el talud se mantiene estable en condiciones saturadas y pseudoestáticas, considerando un coeficiente de sismicidad de 0.2065. En estas circunstancias, se obtiene un factor de seguridad de 1.27, lo que indica que no ocurre la falla planar.

A continuación, se muestra una tabla con los diferentes valores del factor de seguridad para las diversas condiciones de la falla planar en la discontinuidad J3.

**Tabla 8**

*Parámetros utilizados para el análisis de la rotura planar en el set J3 (estático y pseudoestático).*

<b>Condiciones de Análisis</b>			
<b>Estático</b>		<b>Pseudoestático</b>	
<b>Secas</b>	<b>Saturadas</b>	<b>Secas</b>	<b>Saturadas</b>
<b>1.70</b>	1.40	1.41	1.27

*Nota:* Evaluación del factor de seguridad en diferentes condiciones de análisis.

Con el objetivo de prevenir la acumulación de agua en las fracturas de la roca y el deslizamiento de la rotura planar, se sugiere la construcción de zanjas de coronación para reducir la saturación de agua por debajo del 50%. Esta medida es recomendada especialmente en el diseño de bancos con un buzamiento de 60°.

### **3.3.2. Rotura en Cuña**

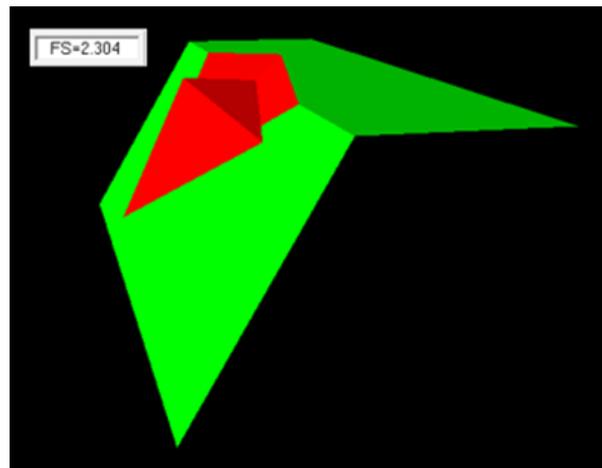
En la proyección estereográfica se observó la presencia de una cuña para la falla en cuña, formada por el sistema de discontinuidades J1 y J3. Se procedió a analizar los factores de seguridad en diferentes condiciones.

### 3.3.2.1. Cuña producida por J1 y J3.

#### 3.3.2.1.1 Condiciones Estáticas y Secas

#### Figura 29

*Evaluación del factor de seguridad mediante el modelo de Mohr coulomb.*

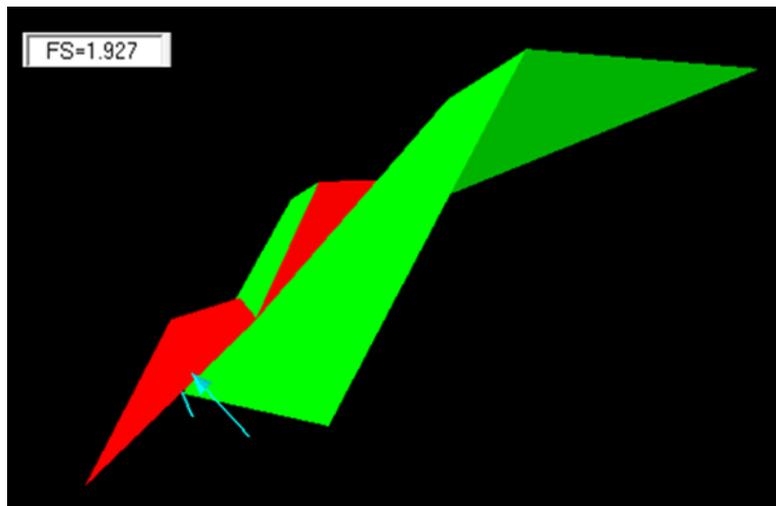


**Nota:** Se observa que el talud se mantiene estable en condiciones secas y estáticas, con un factor de seguridad de 2.304. Esto indica que no se produce la falla en cuña en estas circunstancias.

### 3.3.2.1.2 Condiciones estáticas y saturadas

**Figura 30**

*Evaluación del factor de seguridad mediante el modelo de Mohr coulomb.*

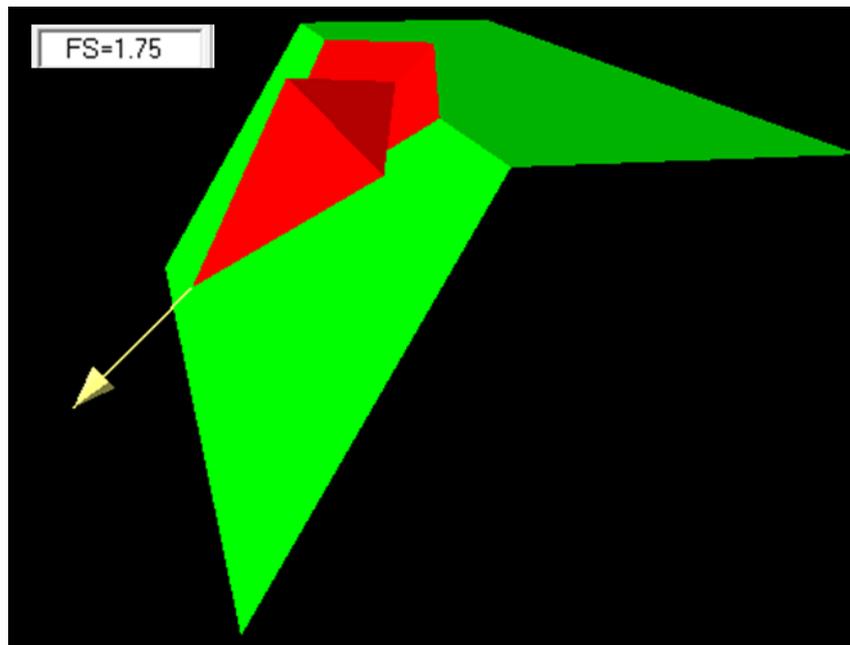


*Nota:* Se puede observar que el talud se mantiene estable en condiciones saturadas y estáticas, con un factor de seguridad de 1.927. Esto indica que la falla en cuña no ocurre en estas circunstancias.

### 3.3.2.1.3 Condiciones Pseudoestáticas y secas

**Figura 31**

*Evaluación del factor de seguridad mediante el modelo de Mohr coulomb.*

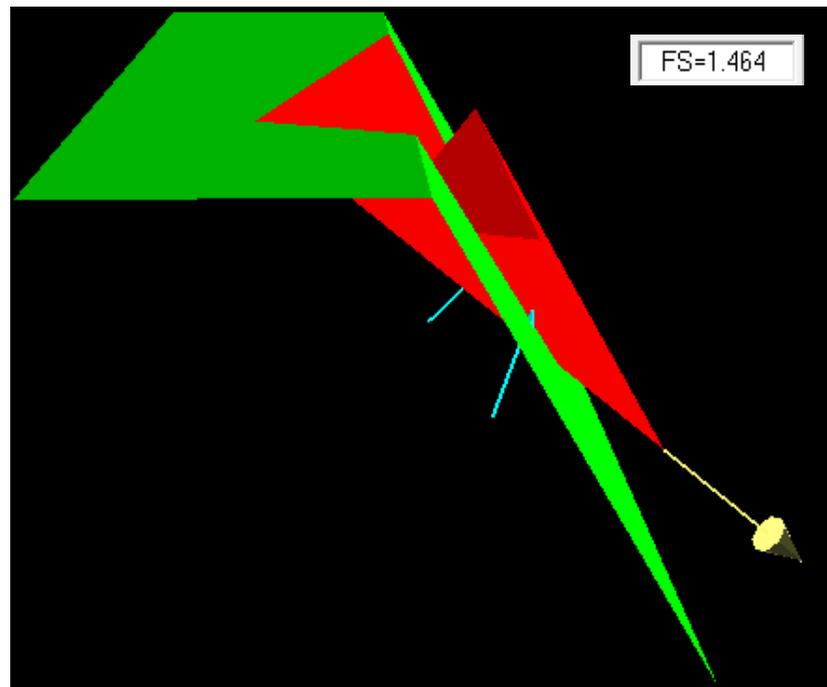


*Nota:* se puede observar que el talud se mantiene estable en condiciones pseudoestáticas y secas, considerando un coeficiente de sismicidad de 0.2065. En estas circunstancias, se obtiene un factor de seguridad de 1.75, lo que indica que no se produce la falla en cuña.

### 3.3.2.1.4 Condiciones Pseudoestáticas y Saturadas

**Figura 32**

*Evaluación del factor de seguridad mediante el modelo de Mohr coulomb.*



*Nota:* Es evidente que el talud se mantiene estable incluso en condiciones saturadas, ya que al utilizar un coeficiente de sismicidad de 0.2065 se obtiene un factor de seguridad de 1.464. Por lo tanto, no hay riesgo de que ocurra una falla en cuña bajo estas condiciones.

A continuación, se muestra una tabla que resume los valores del factor de seguridad para diferentes condiciones de rotura en cuña utilizando los conjuntos de discontinuidades J1 y J3.

**Tabla 9**

*Condiciones de Análisis de la rotura en cuña de los Sets J1 y J3 (Estático y Pseudoestático)*

Condiciones de Análisis			
Estático		Pseudoestático	
Secas	Saturadas	Secas	Saturadas
<b>2.304</b>	1.927	1.75	1.464

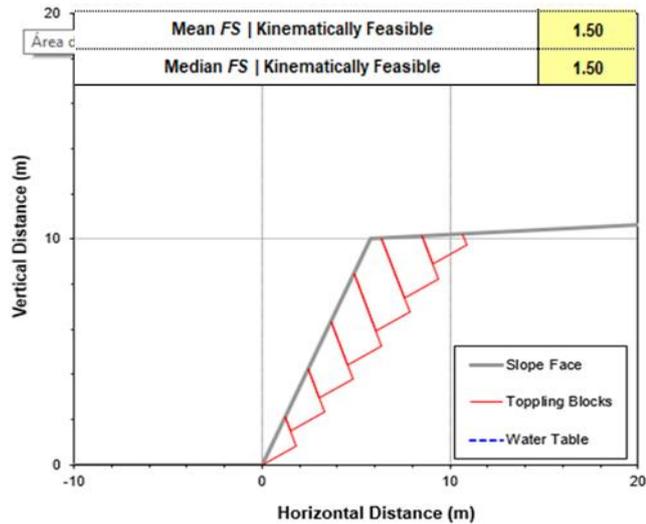
*Nota:* Análisis del Factor de Seguridad en las distintas condiciones.

### 3.4. Análisis de rotura en vuelco j4

#### 3.4.1. Condiciones estáticas y secas

**Figura 33**

*Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb.*

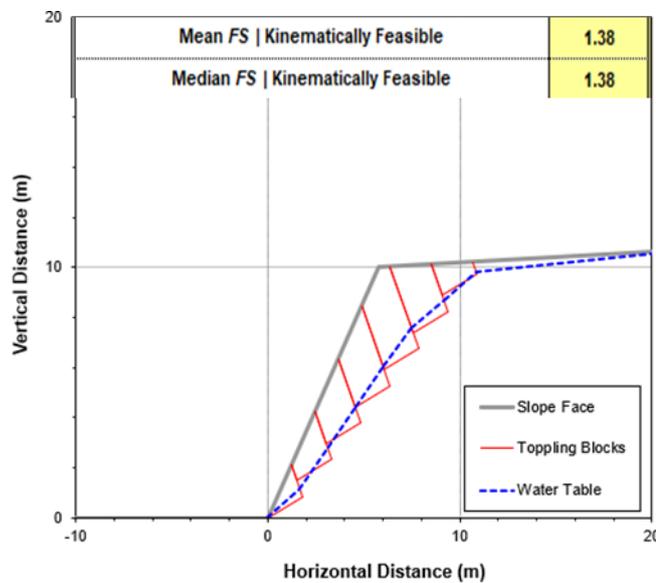


*Nota:* Se puede notar que el talud se mantiene estable en condiciones secas y estáticas, presentando un Factor de seguridad de 1.50, lo que descarta por completo la posibilidad de una falla en vuelco en estas condiciones.

### 3.4.2. Condiciones estáticas y saturadas

**Figura 34**

*Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb.*

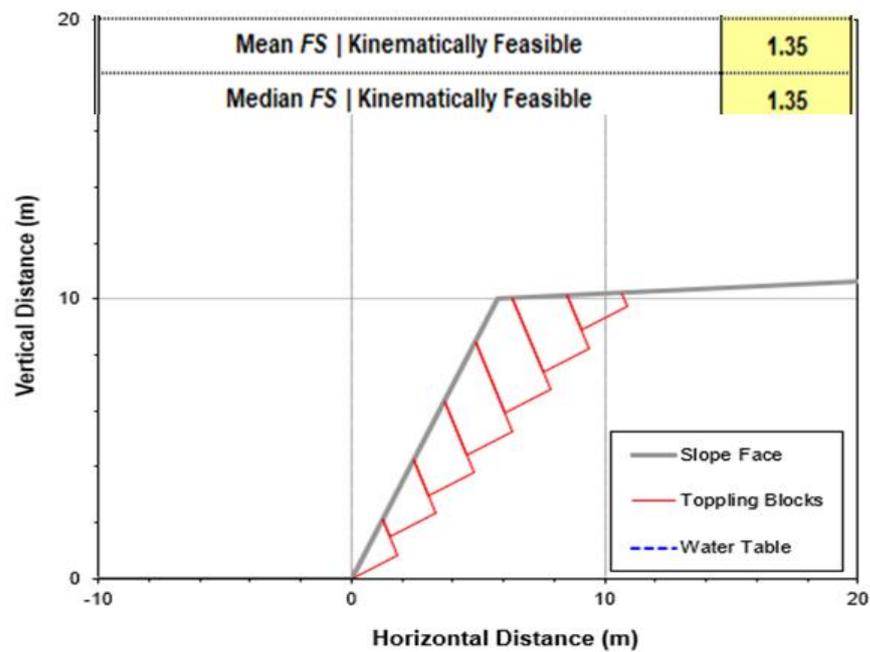


*Nota:* Es evidente que el talud se mantiene estable cuando se encuentra saturado y en condiciones estáticas, con un Factor de seguridad de 1.38, lo que impide que se produzca una falla en vuelco en estas condiciones.

### 3.4.3. Condiciones pseudoestáticas y secas

**Figura 35**

*Evaluación del factor de seguridad mediante el modelo de Mohr coulomb.*

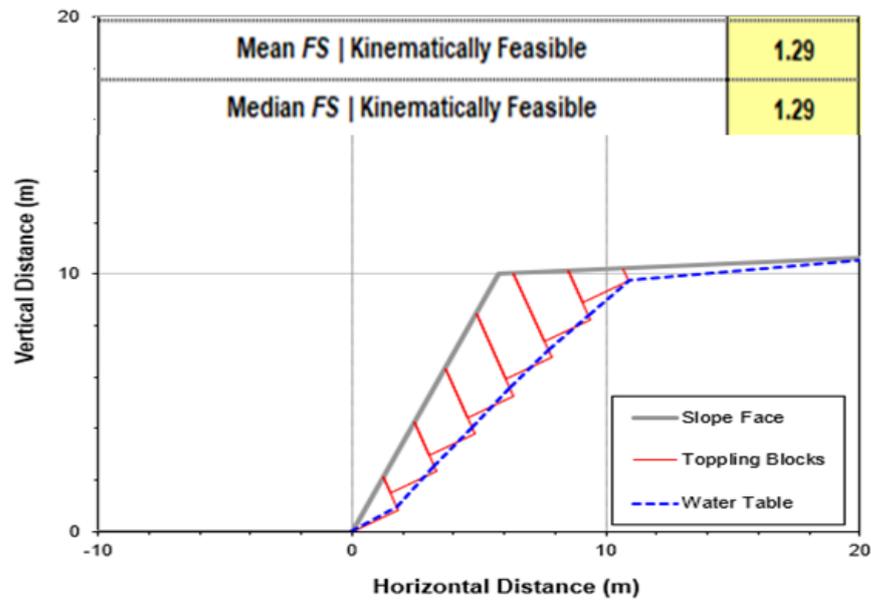


*Nota:* Se puede observar que el talud se mantiene estable en condiciones saturadas y al tener un coeficiente de sismicidad de 0.2065, se obtiene un factor de seguridad de 1.35, lo que indica que no ocurrirá una falla por vuelco.

### 3.4.4. Condiciones pseudoestáticas y Saturadas

**Figura 36**

*Evaluación del factor de seguridad mediante el modelo de Mohr coulomb.*



*Nota:* Se puede notar que el talud se mantiene estable cuando se encuentra saturado, y al tener un coeficiente de sismicidad de 0.2065, se logra un factor de seguridad de 1.29, lo cual indica que no habrá la falla en vuelco en estas condiciones.

A continuación, se proporciona una tabla resumida del factor de seguridad para distintas condiciones de falla en la cuña conformada por los Sets J1 y J3.

**Tabla 10**

*Condiciones de Análisis de la rotura en vuelco de los Sets J4 (Estático y Pseudoestático)*

<b>Condiciones de Análisis</b>			
<b>Estático</b>		<b>Pseudoestático</b>	
Secas	Saturadas	Secas	Saturadas
<b>1.50</b>	1.38	1.35	1.29

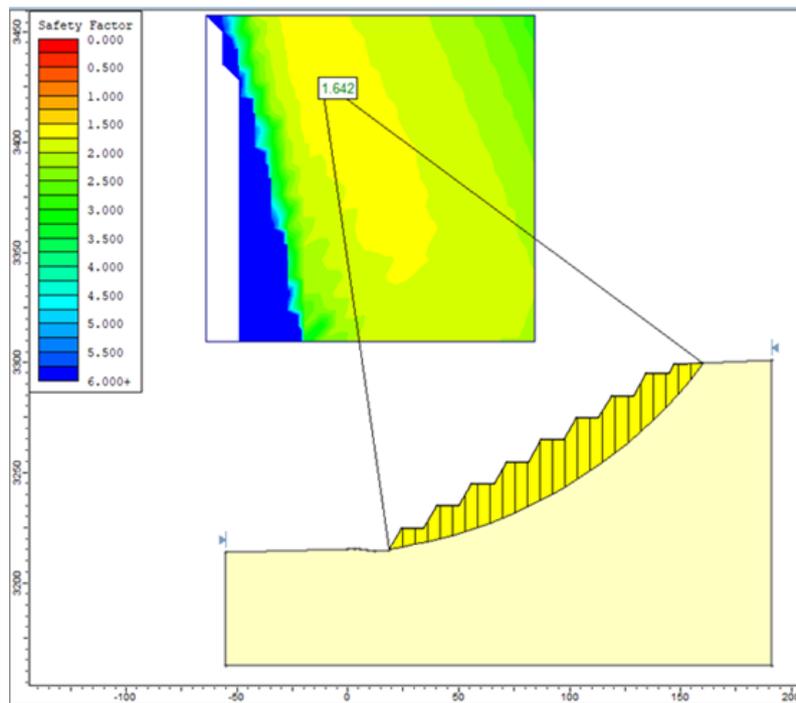
*Nota:* Análisis del Factor de Seguridad en las diferentes condiciones.

Considerando que no se ha producido la rotura de la cuña n°01, las medidas recomendadas para asegurar la estabilidad son las mismas que se mencionaron para la rotura planar.

### 3.5. Análisis de Talud en condiciones Estáticas

**Figura 37**

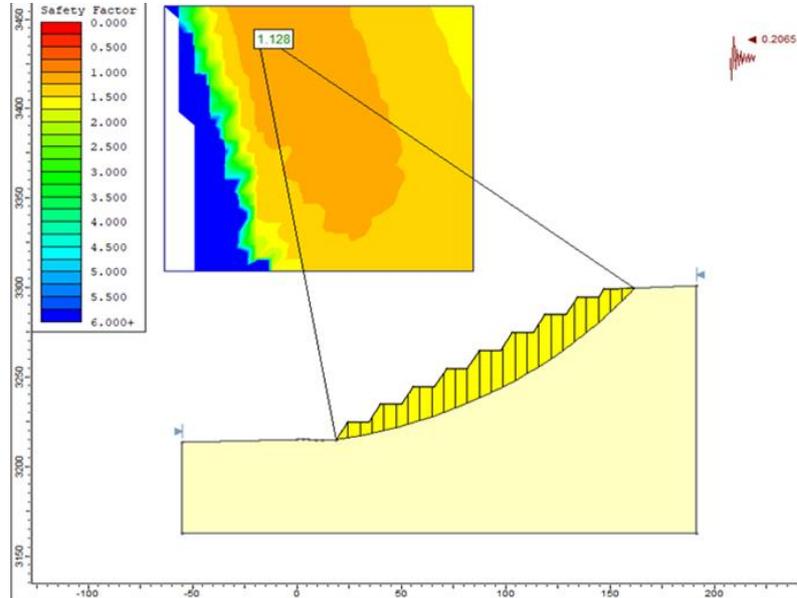
*Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer.*



*Nota:* Se aprecia que el talud es estable con un factor de seguridad de 1.642 en condiciones estáticas del talud con una multipendiente.

**Figura 38**

*Análisis del Factor de Seguridad por el método de Morgenstern – Price.*

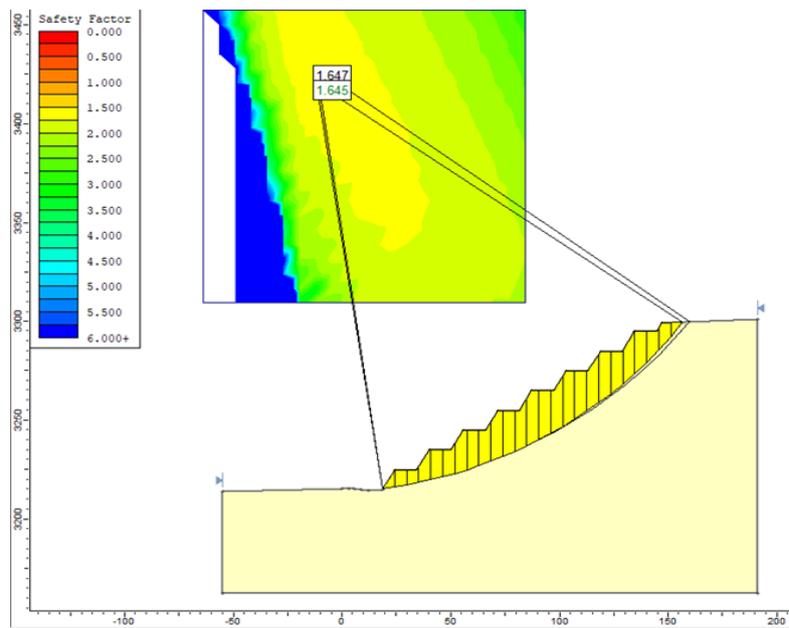


*Nota:* Se puede concluir que el talud global, con un ángulo de multipendiente, se mantiene estable con un factor de seguridad de 1.128 en condiciones estáticas.

### 3.6. Análisis de estabilidad del Talud en condiciones Pseudo estáticas

**Figura 39**

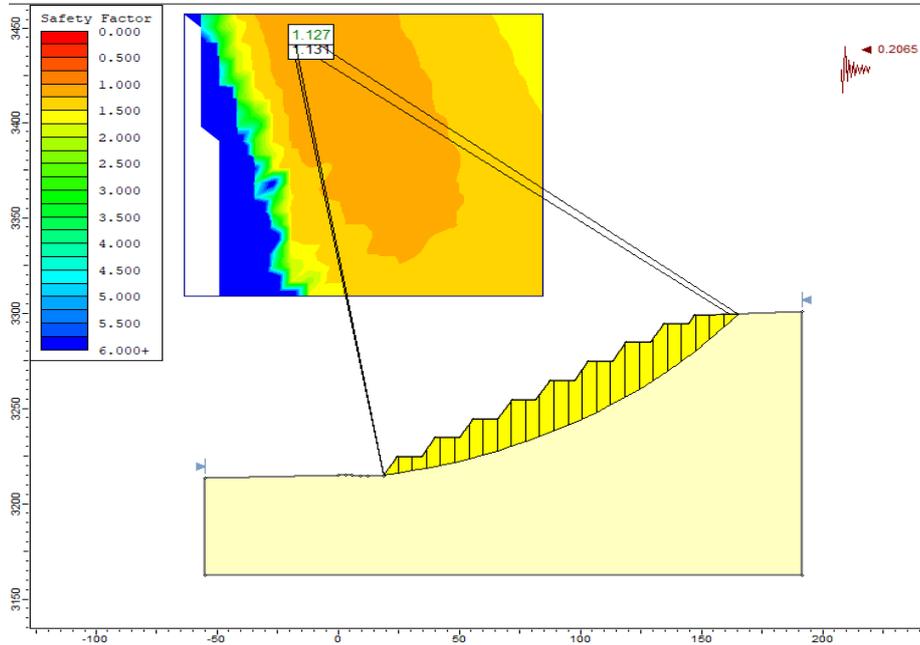
*Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer.*



*Nota:* Se puede notar que el talud presenta estabilidad con un factor de seguridad de 1.645 en condiciones pseudoestáticas, utilizando un coeficiente de sismicidad horizontal de 0.2065 y un coeficiente vertical de 0.

**Figura 40**

*Análisis del Factor de Seguridad por el método de Morgenstern – Price.*



*Nota:* Se aprecia que el talud es seguro, con un factor de seguridad de 1.127, bajo condiciones pseudoestáticas utilizando un coeficiente de sismicidad horizontal de 0.2065 y un coeficiente vertical de 0.

A continuación, se presenta una tabla que muestra los diferentes factores de seguridad para el talud global del diseño en condiciones estáticas y pseudoestáticas.

**Tabla 11**

*Condiciones de Análisis para el Talud (Estático y Pseudoestático)*

<b>Condiciones de Análisis</b>			
<b>Estático</b>		<b>Pseudoestático</b>	
Spencer	Morgenstern - Price	Spencer	Morgenstern - Price
<b>1.642</b>	1.645	1.128	1.127

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

De acuerdo con la evaluación realizada en la tabla previa, se puede observar que el talud presenta estabilidad bajo diferentes condiciones, tanto estáticas como pseudoestáticas.

### **3.7. Pasos de diseño.**

A continuación, después de todo el procedimiento para el diseño de bancos se siguen los siguientes pasos.

- ❖ Se lleva a cabo un levantamiento topográfico de la zona concedida.
- ❖ Se realiza una caracterización geológica y geomorfológica de la zona de estudio y del depósito mediante la exploración superficial del yacimiento.
- ❖ Se analiza posibles modos de falla y se diseña teniendo en cuenta los estándares de estabilidad requeridos.
- ❖ Se estima un factor de seguridad para las excavaciones considerando la dirección preferencial y la geometría del talud.

- ❖ Se elaboran diseños para los taludes, bancos de explotación y plataformas de maniobras.
- ❖ Se seleccionan equipos de carga y transporte adecuados según los requisitos del proyecto.
- ❖ Se implementan regulaciones para la extracción, controlando el ancho y la altura del material extraído.

### 3.7.1. Altura y Berma

Bermas (W): Según criterio de Ritchie (1963), modificadas por Evans y Call (1992):

$$\text{Ancho de la vía (m)} = a * (0.5 + 1.5 * n)$$

donde n = al número de carriles

a = ancho del vehículo

$$A = 2.5 * (0.5 + 1.5 * 2)$$

$$A = 8.75 \text{ m}$$

El valor de 8.75 será redondeado a 9 m, además se considerará una cuneta de 1m, por lo que el ancho total de la va será de 10 metros.

### **3.7.2. Planificación minera a corto plazo**

#### **3.7.2.1. Número de Bancos**

El número de bancos se determinó dividiendo la profundidad de la cantera partiendo desde la superficie con 80. Para la altura y número de bancos se han definido 8 bancos cada uno con una altura de 10 m aprox.

#### **3.7.3. Análisis sísmico**

Se evaluó un análisis pseudoestático empleando coeficiente sísmico obtenido a partir de los registros de sismos.

#### **3.7.4. Maquinaria de arranque y carguío**

En las operaciones de arranque y carguío en cantera se contó con el uso de excavadoras hidráulicas de tipo maquinaria estacionaria. Siendo la excavadora hidráulica Komatsu PC200 siendo esta la más adecuada dentro de la labor en la operación para la extracción de material in situ.

**Figura 41**

*Especificaciones de excavadora hidráulica Komatsu*

<b>Excavadora Hidraulica Komatsu PC200 - 7</b>	
<b>Dimensiones</b>	
Longitud total	9.485 m
Ancho total	2.8 m
Radio de giro	3.27 m
Radio de giro de la parte posterior	2.835 m
<b>Rango de trabajo</b>	
Anchura de transporte	3 m
Altura de transporte	2.985
Altura de corte	9.5 m
Capacidad del cucharón	1.17 m
Potencia bruta del motor	110 KW - 148 HP



Fuente: Truckmagazine

Para el transporte de material se contó con camiones volquete Mercedes Actros 3344 de 15 m<sup>3</sup> encargados del acarreo desde la zona de explotación hasta el lugar de acopio

**Figura 42**

*Especificaciones de volquete Mercedes*

<b>volquete Mercedes Actros 3344</b>	
<b>Dimensiones</b>	
Largo total	7.405 m
Ancho eje trasero	2.487 m
Radio de giro	8 m
Altura total descargo	3.316 m
Altura techo de cabina	2169
<b>Capacidad</b>	
Capacidad de tova	15 m <sup>3</sup>
Capacidad de carga	31,223 Kg
Potencia del motor	320 kw 1800 RPM



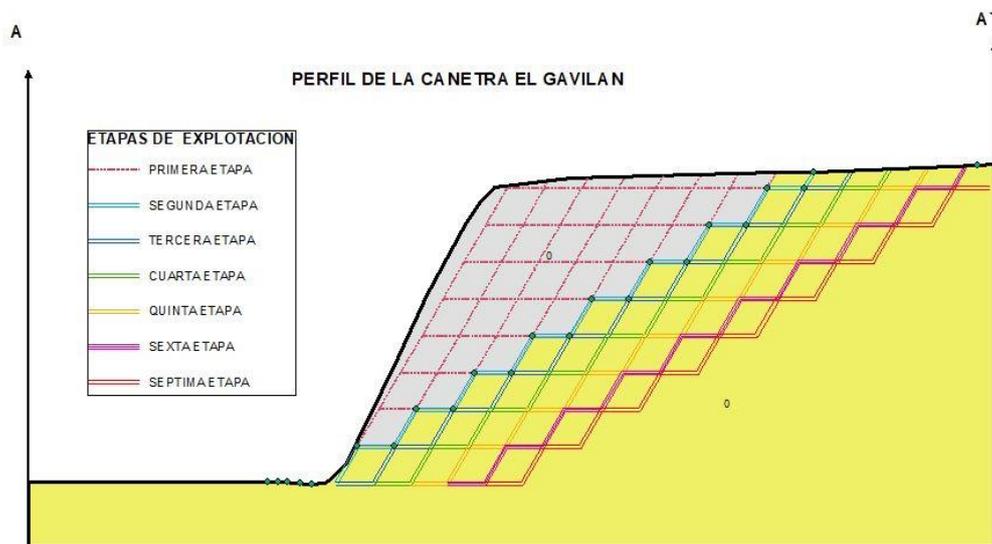
Fuente: Maquqam

### 3.8. Pasos de explotación.

A Continuación se muestra los siguientes pasos para la explotación de la cantera El Gavilán , se diseña una secuencia de explotación por fases que representa los bloques del material extraído para la ejecución de la cantera, definiéndolo por bloques de explotación que serán representado en la figura n() en la cual, la primera etapa consta de un color rojo de líneas continas donde se formara la primera plataforma de explotación, segunda etapa consta de un color celeste, la tercera etapa esta de color azul, la cuarta de un color verde, quinta etapa un color amarillo, sexta etapa de color morado y séptima etapa de color marrón donde se formará la última plataforma de explotación y entre cada etapa de explotación se dejaran bermas que delimiten los bloques de explotación.

**Figura 43**

*Etapas de explotación en función de diseños de bancos*



Nota. se muestra la propuesta de las 7 etapas de explotación del talud del Gavilán.

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusión

En consecuencia, al realizar los cálculos y análisis utilizando los métodos de Hoek-Brown, RMR de Bieniaswski y el índice Q de Barton, tal como se evidencia en los cuadros, se ha confirmado la validez de aplicar dichos métodos. Estas técnicas ofrecen resultados comparativos que permiten examinar el comportamiento de los macizos rocosos y detectar las fallas presentes en determinados tramos. De este modo, se facilita la determinación de las medidas de soporte adecuadas para los taludes de los macizos rocosos al realizar la evaluación geomecánica y geotécnica de los macizos rocosos se podrá, diseñar la estabilidad de taludes en la cantera el Gavilán – Cajamarca 2023.

En nuestra área de investigación, la calidad de la roca es baja teniendo un RMR de 53 y presenta un alto ángulo de inclinación de 60. El macizo rocoso en estas secciones es inestable, aumentando el riesgo de deslizamientos o derrumbes y, por consiguiente, la posibilidad de accidentes. Dados los valores y la zona de proyecto concluimos que el método más adecuado es mediante la reducción de la pendiente, esto mediante el uso de excavadora, reconociendo que se trata de una alternativa eficiente y económica.

Aguilar (2019) En relación a esto, se afirma que la caracterización geomecánica de los macizos rocosos desempeña un papel fundamental al mejorar significativamente la precisión y la fiabilidad de las predicciones sobre la evaluación de la estabilidad se emplearon los resultados del SMR = 32.93 y 52.84 y CSMR= 33.85 y 54.09. FS =0.982. Se registró una mala estabilidad que coincide con la alta susceptibilidad al desprendimiento, lo

cual indica que, según la categoría de nuestra investigación, el talud es considerado inestable. Como medida recomendada para asegurar la estabilidad, se sugiere la implementación de muros de contención y el uso de pernos de anclaje. En la categoría de nuestra investigación la cual difiere de la presente investigación en donde se obtuvieron que los parámetros geomecánicos son del GSI=48, RMR=53, SMR=46 y un factor de seguridad en condiciones estáticas de 1.6 y pseudoestáticos de 1.1 lo que afirma que el talud es estable.

Montoya (2019) en su estudio de estabilidad de taludes de la de la cantera Aylambo Cajamarca-Perú. Se calculó los parámetros geomecánicos del GSI =32, RMR =46, en el análisis cinemático =28,57% de deslizamiento por vuelco, FS= 1,010 emplea un método de sostenimiento de 3 bancos con una altura de 17m y un ángulo de 60° y su berma de 20m obteniendo el factor de seguridad 1,5 generando un factor de seguridad estable. En la categoría de nuestra investigación coincide con los presentes parámetros geomecánicos del GSI=48, RMR=53, SMR=46 se emplea el método de banqueo utilizado para el soporte de la reducción de pendiente, lo que implica disminuir el ángulo del talud para brindar estabilidad al macizo rocoso el cual dicho estudio implica un método de un diseño de 10 bancos con una altura de 10m y un ángulo de 60° y su berma de 8.75m obteniendo los factores de seguridad en condiciones estáticas 1.6 y pseudoestáticas 1,1 generando un factor de seguridad estable.

Es necesario mantener la exploración en curso durante el proceso de avance de la explotación debido a la falta de información suficiente obtenida en la exploración superficial y la escasa recuperación de testigos, lo cual genera una gran incertidumbre en relación al depósito mineral. Para reducir esta incertidumbre, es crucial actualizar de manera constante

la información geológica a medida que avanza la explotación, ya que existe la posibilidad de encontrar capas inferiores con material de mayor competencia en el depósito. Por lo tanto, se podrían considerar cambios en el método de extracción de material en el futuro.

Además, es de vital importancia cumplir con el uso de equipos de protección personal en todas las etapas de la explotación como una medida preventiva contra posibles riesgos. Esto debe realizarse de acuerdo con la matriz de riesgos y se debe instalar señalización de seguridad desde el inicio de la autorización de la explotación.

## 4.2. Conclusiones

### Primera

Mediante el estudio que se tuvo en la cantera El Gavilán con la finalidad de realizar una evaluación geomecánica y geotécnica para el diseño de la estabilidad de los taludes se dio a conocer el comportamiento de los macizos rocosos detectando las posibles fallas que presentes los taludes. Los resultados encontrados en los macizos rocosos de la cantera fueron los siguientes un  $GSI=48$ ,  $RMR=53$ ,  $SMR=46$  con estos datos se obtuvo el factor de seguridad para condiciones estáticas 1.6 y pseudoestáticas 1,1 de esta manera pudiendo generar una propuesta de diseño por el método de bancos para una explotación estable y de forma segura.

### Segunda

Se reconoció la columna estratigráfica de la Formación farrat, chimú, santa y Carhuaz en el que se distinguen cuatro unidades litoestratigráfica. En donde es posible visualizar sucesiones estratigráficas que se componen de estratos de diversas rocas, como areniscas, areniscas cuarzosas, lutitas calcáreas y calizas nodulares que presentan tonalidades que varían desde gris claro hasta oscuro. También se pueden identificar cambios en las calizas, que van desde arenosas hasta margas de color gris oscuro. Estas rocas se disponen en forma de estratos que se intercalan entre capas muy delgadas y otras de espesor considerable.

### **Tercera**

Se concluyó que la evaluación geomecánica, que incluye la medición de parámetros geomecánicos, tiene un impacto en la estabilidad de taludes de la cantera El Gavilán. Se obtuvieron los datos que sugieren medidas de soporte y estabilidad, mediante la caracterización geomecánica del macizo rocoso. Se obtuvieron los siguientes resultados: El  $GSI = 48$  y el  $RMR = 53$ , indicando una calidad geomecánica regular III b. Además, se encontró que el  $SMR = 46$ , se propondrá como medida de seguridad reducir la pendiente mediante el método de bancos.

### **Cuarta**

Se obtuvo el análisis de los tipos de ruptura según las familias de discontinuidades  $J1=8$ ,  $J2=8$ ,  $J3=7$  y  $J4=7$  mediante el software DIPS en la cantera el Gavilán, encontrando que hay deslizamiento de falla planar con un 100% del total de datos que cumplen las condiciones geométricas y de fricción para poder producir una falla planar en la familia J3, deslizamiento de rotura en cuña con un 30.57% del total de las intersecciones que cumplen las condiciones geométricas y de fricción para poder producir fallas en cuña y por vuelco con un 57.14% de los datos de la familia J4 que cumplen las condiciones geométricas y de fricción para poder producir una falla en vuelco.

### **Quinta.**

En el diseño del talud utilizando el modelo de bancos, se han tenido en cuenta 7 bancos con los siguientes valores: una altura de banco de 10 metros, un ángulo de banco de 60 grados, un ancho de berma de 3.5 metros y un ancho de rampa de 5 metros. Estos parámetros

contribuyen lograr la estabilización del talud. Podemos verificarlo con los Factores de Seguridad para condiciones estáticas y pseudoestáticas; por el modelo de Barton Bandis en los parametros de análisis de la rotura planar del Set en J3 para condiciones estáticas secas 1.70, saturadas 1.40 y pseudoestáticas secas 1.41 y saturadas 1.27. Por el modelo de Mohr coulomb para los términos de Análisis de la rotura en cuña de los Sets J1 y J3 para condiciones Estáticas secas 2.304, saturadas 1.927 y Pseudoestático secas 1.75 y saturadas 1.464. Por el modelo de Mohr coulomb en Condiciones de Análisis de rotura en vuelco de los Sets J4 para condiciones de Análisis Estáticas secas 1.50, saturadas 1.38 y Pseudoestáticas secas 1.35 y saturadas 1.29. Por el método de Spencer y método de Morgenstern - Price en condiciones de Análisis para el Talud se obtuvo en condiciones estáticas secas 1.642, saturadas 1.645 y pseudoestáticas secas 1.128 y saturadas 1.127.

## REFERENCIAS

Aguilar, M. & Ramírez, G. (2019). Estudio Geológico, Geomecánico y Su Incidencia En La Evaluación De La Estabilidad De Talud Del Cementerio Patrimonial General (Puerta 1), Cerro Del Carmen, Guayaquil - Ecuador. ESPOL. FICT. Guayaquil. 94 p. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/48822>

Amit, A.K., & Verma, T.N. (2023). Evaluation of slope stability through rock mass classification and kinematic analysis of some major slopes along NH-1A from Ramban to Banihal, North Western Himalayas. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 15. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2023.02.021>

Contreras, W. (2022). Evaluación geomecánica para el diseño de reforzamiento en el talud del cerro Tambillo – Sina. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3225738>

Quintana, N. (2019), Evaluación geomecánica del puente La Cultura Uchumayo – Arequipa Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. <http://45.177.23.200/handle/undac/1607>

Lambe, T. W., & Whitman, R. V. (1969). Soil mechanics. John Wiley & Sons.

Leon, V. (2022). Caracterización geotécnica para determinar la calidad del macizo rocoso del cerro cruz de Shallapa distrito de chavín de Huántar, provincia de Huari Áncash. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/5477>

Mamani, N. (2022). Evaluación geomecánica de taludes de roca entre los kilómetros 229+000 AL 231+000 de la carretera Sandia a Quiquira – Puno.

<https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3223039>

Méndez, L. (2020). Estudio geológico-geotécnico para la estabilidad de taludes en el Departamento de Potosí-Bolivia. *Revista Ingeniería*, 2(3), 85–96.

<https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v2i3.18>

Moscoso, F. (2019). Evaluación geomecánica con fines de estabilidad de talud carretera mariscal castilla Huancayo – Huancavelica, Huancayo – Perú.

<https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/926>

Prado, A. A., Aguilar, J. R., Cruz, R. J. (2020). Análisis de estabilidad de talud de la carretera nic.7 en el km 176, Municipio de Santo Tomas, del departamento de Chontales. (Tesis de Titulación). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua. 67, 75 – 77. <http://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/12506>

Pari, E. (2021). Sistema de estabilización de taludes de corte mediante anclajes metálicos, carretera Chojata Moquegua, Moquegua 2021. (Tesis de titulación). Universidad Continental, Huancayo, Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/10421>

Oliva, A., & Gallardo, R. (2018). Evaluación del riesgo por deslizamiento de una ladera en la ciudad de Tijuana, México. *Tecnura*, 22(55), 34-50. <https://doi.org/10.14483/22487638.12063>

Silva, R. (2021). Evaluación de estabilidad de taludes mediante la aplicación geomecánica SMR, tramos Km 45 + 940 – Km 46 + 40 - Carretera Chongoyape, Chiclayo – Perú 2021. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/102100>

Solórzano, J. (2019). Consideraciones para el pre-diseño de las condiciones geotécnicas de seguridad mediante la evaluación geomecánica y estabilidad de taludes en el sector del hospital humberto molina, Zaruma-Ecuador. Escuela Superior Politécnica del Litoral

<https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/54883>

Taher, Nichirvan & Gör, Mesut & AKSOY, Hüseyin & Ahmed, Halmat. (2022). Numerical investigation of the effect of slope angle and height on the stability of a slope composed of sandy soil. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 672. DOI: 10.17714/gumusfenbil.1051741

Yeh, P., Chen, I., Lee, K.Z., Chang, K. (2022). Graphical comparison of numerical analysis, slope mass rating, and kinematic analysis for the effects of weak plane orientations on rock slope stability. *Engineering Geology*, Pag 13. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2022.106900>

<https://www.truckmagazine.com.ar/wp-content/uploads/2017/07/Ficha-T%C3%A9cnica-Actros-3341.pdf>

<https://maquqam.com/tecnicas/construccion-4768/komatsu/pc200-7.html>

Reyes, L. (1980). Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajambamba. Hojas: 15-f, 15-g, 16-g - [Boletín A 31]. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/150>

## Anexos

### Anexo 1: Obteniendo el rumbo y buzamiento del macizo rocoso en la familia del J2.



**Anexo 2:** Obteniendo el rumbo y buzamiento del macizo rocoso en la familia del J4.



**Anexo 3:** Obteniendo el número de rebote de la discontinuidad del macizo rocoso con el martillo de Schmidt de 48Mpa.



**Anexo 4:** Midiendo la longitud de las discontinuidades del macizo rocoso de la familia J1 la cual nos dio un resultado de 13.



**Anexo 5:** Midiendo la longitud de las discontinuidades del macizo rocoso de la familia J2 la cual nos dio un resultado de 21.



**Anexo 6:** Midiendo la longitud de las discontinuidades del macizo rocoso de la familia J3 la cual nos dio un resultado de 20.



**Anexo 7:** Midiendo la longitud de las discontinuidades del macizo rocoso de la familia J4 la cual nos dio un resultado de 15.



**Anexo 8:** Midiendo la apertura del macizo rocoso en la familia J1 es de 1.5mm.



**Anexo 9:** Midiendo la apertura del macizo rocoso en la familia del J2 es de 3mm.



**Anexo 10:** Midiendo la apertura del macizo rocoso en la familia J3 es de 5mm.



**Anexo 11:** Midiendo la apertura del macizo rocoso en la familia del J4 es de 1.5mm.



**Anexo 12:** Observando la rugosidad macizo rocoso en la familia J3.



**Anexo 13:** Midiendo el relleno del macizo rocoso de la familia J1.



**Anexo 14:** Midiendo el relleno del macizo rocoso en la familia J2.



**Anexo 15:** Midiendo el relleno del macizo rocoso en la familia J3.



**Anexo 16:** Midiendo el relleno en el macizo rocoso de la familia J4.



**Anexo 17:** Obteniendo el resultado con el peine de Barton del macizo Rocoso en la familia del J1.



**Anexo 18:** Obteniendo el resultado con el peine de Barton del macizo Rocoso en la familia del J3.



**Anexo 19:** Midiendo el relleno del macizo rocoso en la familia J2.



**Anexo 20:** Erosión del macizo rocoso y desprendimiento del material.



**Anexo 21:** Desprendimiento de material arenoso del macizo Rocoso.



**Anexo 22:** Vista panorámica de la cantera El Gavilán.

