

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS:**

**"DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES QUE AFECTAN LA ESTABILIDAD DE  
LOS TALUDES UBICADOS EN LA CARRETERA CA-109 SECTOR SHURURO,  
CELENDÍN - CAJAMARCA"**

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

**AUTOR:**

Bach. LUIS FELIPE CHÁVEZ CHILÓN

**ASESOR:**

Ing. MARCOS MENDOZA LINARES

**CAJAMARCA – PERÚ**

**2024**

## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

### FACULTAD DE INGENIERÍA

1. Investigador: LUIS FELIPE CHÁVEZ CHILÓN  
DNI: 71657272  
Escuela Profesional: INGENIERÍA CIVIL
2. Asesor: ING. MARCOS MENDOZA LINARES  
Facultad: INGENIERÍA
3. Grado académico o título profesional  
 Bachiller       Título profesional       Segunda especialidad  
 Maestro       Doctor
4. Tipo de Investigación:  
 Tesis       Trabajo de investigación       Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:  
"DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES QUE AFECTAN LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES  
UBICADOS EN LA CARRETERA CA-109 SECTOR SHURURO, CELENDÍN - CAJAMARCA"
6. Fecha de evaluación: 30/08/2024
7. Software antiplagio:       TURNITIN       URKUND (OURIGINAL) (\*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 16%
9. Código Documento: oid:3117:376951091
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:  
 APROBADO     PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 30 de agosto del 2024

|  |   |
|--|---|
|           |   |
| <b>FIRMA DEL ASESOR</b><br>Nombres y Apellidos: Ing. Marcos Mendoza Linares<br>DNI: 26612819 | Firmado digitalmente por:<br>FERNANDEZ LEON Yvonne<br>Katherine FAU 20148258001 soft<br>Motivo: Soy el autor del<br>documento<br>Fecha: 30/08/2024 20:43:26-0500<br><b>UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI</b> |

\* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios por haberme dado la vida, salud, una familia maravillosa, la fe y el deseo de salir adelante en todo momento, superar las adversidades y encaminar mi vida por el sendero del bien.*

*A mis padres. por su apoyo en todo momento, fueron y son el pilar fundamental de mi vida. Lo inculcado desde la temprana edad y la forma de crianza en valores han sido vitales para mi desarrollo personal y profesional.*

*A mis hermanos, Reyna, Miguel y Judith por su apoyo incondicional, sus consejos brindados y palabras de aliento en momentos de caídas, que fue lo que me fortaleció y brindó el empuje necesario para seguir.*

*A mi asesor, por haberme brindado la orientación necesaria y apoyo, fruto de ello se logró culminar este trabajo de investigación.*

*A mis docentes, por brindarme sus conocimientos y experiencias que me impulsaron a investigar y ser un profesional de bien para nuestra sociedad.*

*A mi alma máter, la Universidad Nacional de Cajamarca por haberme permitido formarme en sus claustros.*

*A todas las personas que directa o indirectamente me apoyaron en el camino de la vida.*

## DEDICATORIA

*Este trabajo de investigación está dedicado en primer lugar, a Dios;  
a mis padres, Hipólito y Gladis por ser mi motivación a seguir;  
a mis hermanos, Reyna, Miguel y Judith, que siempre están presentes.*

*Luis Felipe Chávez Chilón.*

## CONTENIDO

|   | Pág. |
|---|------|
| AGRADECIMIENTO.....   | ii   |
| DEDICATORIA.....  | iii  |
| ÍNDICE DE TABLAS .....  | vii  |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....   | ix   |
| RESUMEN .....   | xi   |
| ABSTRACT .....  | xii  |
| CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....                                   | 1    |
| 1.1. Planteamiento del problema .....                           | 1    |
| 1.2. Formulación del problema.....                              | 3    |
| 1.2.1. Pregunta principal.....                                  | 3    |
| 1.3. Hipótesis .....  | 3    |
| 1.3.1. Hipótesis general.....                                   | 3    |
| 1.4. Justificación de la investigación .....                    | 3    |
| 1.5. Alcances o delimitación de la investigación .....          | 4    |
| 1.6. Limitaciones .....   | 4    |
| 1.7. Objetivos.....   | 5    |
| 1.7.1. Objetivo General.....                                    | 5    |
| 1.7.2. Objetivos Específicos .....                              | 5    |
| 1.8. Descripción de los contenidos de los capítulos.....        | 6    |
| CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....                                 | 7    |
| 2.1. Antecedentes teóricos.....                                 | 7    |
| 2.1.1. Antecedentes Internacionales .....                       | 7    |
| 2.1.2. Antecedentes Nacionales.....                             | 8    |
| 2.1.3. Antecedentes Locales .....                               | 9    |
| 2.2. Bases teóricas .....                                       | 11   |
| 2.2.1. Talud.....   | 11   |
| 2.2.2. Análisis de estabilidad de taludes.....                  | 13   |
| 2.2.3. Estabilidad de Taludes .....                             | 14   |
| 2.2.4. Tipología y desarrollo de los movimientos.....           | 17   |
| 2.2.5. Tipos de movimientos.....                                | 19   |
| 2.2.6. Factores que influyen en la estabilidad de taludes ..... | 21   |

|   |    |
|---|----|
| 2.2.7. Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en la<br>localidad de Shururo..... | 25 |
| 2.2.8. Metodología para los estudios de estabilidad de taludes .....                                | 29 |
| 2.2.9. Software de estabilidad de taludes en 2D, Slide V.5.0 .....                                  | 30 |
| 2.2.10. Métodos de estabilización de taludes para reducir fallas.....                               | 31 |
| 2.3. Definición de términos básicos .....   | 32 |
| CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....   | 33 |
| 3.1. Ubicación .....  | 33 |
| 3.2. Época de la investigación .....  | 33 |
| 3.3. Tipo de investigación .....  | 33 |
| 3.4. Nivel de investigación .....   | 33 |
| 3.5. Diseño de investigación .....  | 34 |
| 3.6. Población de estudio.....  | 34 |
| 3.7. Muestra .....  | 34 |
| 3.8. Unidad de análisis.....  | 35 |
| 3.9. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....  | 35 |
| 3.9.1. Técnicas .....   | 37 |
| 3.9.2. Ensayos de mecánica de suelos .....  | 38 |
| 3.9.3. Instrumentos.....  | 38 |
| 3.10. Procedimiento .....   | 39 |
| 3.10.1. Trabajo de campo.....   | 39 |
| 3.10.2. Trabajo de laboratorio.....   | 41 |
| 3.10.3. Trabajo de gabinete.....  | 42 |
| 3.10.4. Elaboración de planos .....   | 43 |
| 3.11. Recolección y análisis de datos .....   | 44 |
| 3.11.1. Reconocimiento, observación e inspección visual.....  | 44 |
| 3.11.2. Levantamiento topográfico .....   | 45 |
| 3.11.3. Nivelación con nivel de ingeniero .....   | 45 |
| 3.11.4. Recolección de muestras para ensayos de mecánica de suelos .....                            | 45 |
| 3.11.5. Determinación del factor de seguridad .....   | 46 |
| 3.12. Presentación de los resultados .....  | 47 |
| 3.12.1. Nivelación con nivel de ingeniero .....   | 47 |

|   |    |
|---|----|
| 3.12.2. Determinación de los factores que afectan la estabilidad de los taludes de la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín – Cajamarca.....        | 53 |
| 3.12.3. Ensayos de mecánica de suelos .....   | 58 |
| 3.12.4. Factor de seguridad de los taludes de la carretera CA-109.....  | 61 |
| CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....   | 63 |
| 4.1. Determinación de los factores que afectan la estabilidad de los taludes ubicados en la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín - Cajamarca ..... | 63 |
| 4.1.1. Cantidad de vegetación.....  | 63 |
| 4.1.2. Sistema de drenaje.....  | 63 |
| 4.1.3. Presencia de fallas y/o discontinuidades geológicas.....   | 64 |
| 4.2. Tipos de movimientos presentes en los taludes ubicados en la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín – Cajamarca.....                            | 66 |
| 4.3. Tipo de suelo que conforman los taludes ubicados en la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín – Cajamarca.....                                  | 66 |
| 4.4. Ángulo de fricción interna del suelo de los taludes ubicados en la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín – Cajamarca.....                      | 66 |
| 4.5. Factor de seguridad de los taludes de la carretera ca-109 .....  | 67 |
| 4.6. Contrastación de la hipótesis .....  | 67 |
| CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....  | 68 |
| 5.1. Conclusiones .....   | 68 |
| 5.2. Recomendaciones .....  | 69 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....  | 70 |
| APÉNDICE .....  | 74 |
| ANEXOS .....  | 99 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   | Pág. |
|---|------|
| Tabla 1. Rango de valores de factor de seguridad.....                                 | 14   |
| Tabla 2. Tipos de deslizamientos o movimientos en masa .....                          | 19   |
| Tabla 3. Causas de los movimientos o deslizamientos en los taludes .....              | 21   |
| Tabla 4. Factores condicionantes de los procesos de erosión en taludes .....          | 24   |
| Tabla 5. Coordenadas UTM del tramo en estudio.....                                    | 33   |
| Tabla 6. Progresivas de las secciones de los taludes en estudio .....                 | 35   |
| Tabla 7. Factores condicionantes y desencadenantes.....                               | 36   |
| Tabla 8. Ubicación de la muestra M-1.....   | 46   |
| Tabla 9. Ubicación de la muestra M-2.....   | 46   |
| Tabla 10. Datos para el modelamiento en el software Slide (Unidades del S.I.) .....   | 46   |
| Tabla 11. Datos para el modelamiento en el software (Unidades del Slide V.5.0.)..     | 47   |
| Tabla 12. Ángulos de corte de los taludes de las secciones transversales .....        | 52   |
| Tabla 13. Coordenadas del sector del ojo de agua.....                                 | 54   |
| Tabla 14. Ubicación y descripción de la falla geológica regional .....                | 57   |
| Tabla 15. Clasificación del suelo.....  | 59   |
| Tabla 16. Contenido de humedad (%).....   | 59   |
| Tabla 17. Ensayo de corte directo.....  | 60   |
| Tabla 18. Comparación del ángulo de corte con el ángulo de fricción interna .....     | 60   |
| Tabla 19. Factor de seguridad de los taludes de la carretera CA-109 .....             | 61   |
| Tabla 20. Clasificación de los factores que afectan la estabilidad de los taludes ... | 62   |
| Tabla 21. Coordenadas del eje del tramo en estudio .....                              | 76   |
| Tabla 22. Datos de la sección transversal N°1.....                                    | 77   |
| Tabla 23. Datos de la sección transversal N°2.....                                    | 78   |
| Tabla 24. Datos de la sección transversal N°3.....                                    | 78   |
| Tabla 25. Datos de la sección transversal N°4.....                                    | 78   |
| Tabla 26. Datos de la sección transversal N°5.....                                    | 79   |
| Tabla 27. Datos de la sección transversal N°6.....                                    | 79   |
| Tabla 28. Datos de la sección transversal N°7.....                                    | 79   |
| Tabla 29. Datos de la sección transversal N°8.....                                    | 80   |
| Tabla 30. Datos de la sección transversal N°9.....                                    | 80   |
| Tabla 31. Datos de la sección transversal N°10.....                                   | 80   |

|  |    |
|--|----|
| Tabla 32. Análisis granulométrico, M-1 .....                     | 82 |
| Tabla 33. Ensayo contenido de humedad, M-1 .....                 | 83 |
| Tabla 34. Ensayo límites de Atterberg, M-1 .....                 | 83 |
| Tabla 35. Ensayo de gravedad específica de sólidos, M-1 .....    | 84 |
| Tabla 36. Clasificación del tipo de suelo, M-1 .....             | 84 |
| Tabla 37. Ensayo de peso volumétrico de suelo cohesivo, M-1..... | 85 |
| Tabla 38. Ensayo de corte directo, M-1.....                      | 86 |
| Tabla 39. Ensayo de corte directo, M-1.....                      | 87 |
| Tabla 40. Análisis granulométrico, M-2 .....                     | 88 |
| Tabla 41. Ensayo contenido de humedad, M-2.....                  | 89 |
| Tabla 42. Ensayo límites de Atterberg, M-2 .....                 | 89 |
| Tabla 43. Ensayo de gravedad específica de sólidos, M-2 .....    | 90 |
| Tabla 44. Clasificación del tipo de suelo, M-2 .....             | 90 |
| Tabla 45. Ensayo de peso volumétrico de suelo cohesivo, M-2..... | 91 |
| Tabla 46. Ensayo de corte directo, M-2.....                      | 92 |
| Tabla 47. Ensayo de corte directo, M-2.....                      | 93 |
| Tabla 48. Equipos y certificados de calibración .....            | 99 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   | Pág. |
|---|------|
| Figura 1. Talud de corte, autopista Toluca – Naucalpan (Estado de México) .....       | 11   |
| Figura 2. Ladera, Camino Tenango – Ixtapan de la Sal (Estado de México) .....         | 12   |
| Figura 3. Partes de un talud o ladera .....   | 12   |
| Figura 4. Resistencia al esfuerzo cortante "S" .....                                  | 15   |
| Figura 5. Representación de "S" para suelos gruesos .....                             | 16   |
| Figura 6. Representación de "S" para suelos finos .....                               | 16   |
| Figura 7. Partes de un deslizamiento .....  | 18   |
| Figura 8. Vista de macizo rocos de la Formación Chulec .....                          | 26   |
| Figura 9. Lugar de un depósito coluvio-deluvial .....                                 | 26   |
| Figura 10. Modelo 3D de las pendientes del terreno en la localidad de Shururo .....   | 27   |
| Figura 11. Vista inferior del deslizamiento en el sector Shururo .....                | 29   |
| Figura 12. Vista de los depósitos de la quebrada Shururo por el flujo de detritos.... | 29   |
| Figura 13. Interfaz del Software Slide .....  | 30   |
| Figura 14. Presencia de deslizamientos en los taludes de la carretera.....            | 44   |
| Figura 15. Presencia de deslizamientos en los taludes de la carretera.....            | 45   |
| Figura 16. Sección transversal N°1 .....  | 47   |
| Figura 17. Sección transversal N°2.....   | 48   |
| Figura 18. Sección transversal N°3.....   | 48   |
| Figura 19. Sección transversal N°4.....   | 49   |
| Figura 20. Sección transversal N°5.....   | 49   |
| Figura 21. Sección transversal N°6.....   | 50   |
| Figura 22. Sección transversal N°7.....   | 50   |
| Figura 23. Sección transversal N°8.....   | 51   |
| Figura 24. Sección transversal N°9.....   | 51   |
| Figura 25. Sección transversal N°10.....  | 52   |
| Figura 26. Sector del ojo de agua con alta presencia de vegetación .....              | 53   |
| Figura 27. Diferencias entre la cantidad de vegetación en el sector Shururo .....     | 54   |
| Figura 28. Presencia de cuneta sin mantenimiento.....                                 | 55   |
| Figura 29. Ausencia de zanjas de coronación.....                                      | 56   |
| Figura 30. Ausencia de zanjas de coronación en la parte superior de los taludes ...   | 56   |
| Figura 31. Vista de la falla tomada por el dron.....                                  | 57   |

|   |    |
|---|----|
| Figura 32. Medida de rumbo y buzamiento .....                                   | 58 |
| Figura 33. Presencia de grietas debido a la falla .....                         | 58 |
| Figura 34. Factor de seguridad del talud en la sección 3-3.....                 | 61 |
| Figura 35. Levantamiento topográfico – GPS diferencial .....                    | 74 |
| Figura 36. Escaneo con Sensor Lidar .....                                       | 74 |
| Figura 37. Nivelación para la realización de las secciones transversales .....  | 74 |
| Figura 38. Recolección de muestras para los ensayos .....                       | 75 |
| Figura 39. Presencia de falla en las inmediaciones de la carretera CA-109 ..... | 75 |
| Figura 40. Grietas generadas por las fallas.....                                | 75 |
| Figura 41. Ensayo de análisis granulométrico.....                               | 81 |
| Figura 42. Ensayo de peso volumétrico de suelo cohesivo.....                    | 81 |
| Figura 43. Factor de seguridad del talud en la sección 1-1 .....                | 94 |
| Figura 44. Factor de seguridad del talud en la sección 2-2.....                 | 94 |
| Figura 45. Factor de seguridad del talud en la sección 3-3.....                 | 95 |
| Figura 46. Factor de seguridad del talud en la sección 4-4.....                 | 95 |
| Figura 47. Factor de seguridad del talud en la sección 5-5.....                 | 96 |
| Figura 48. Factor de seguridad del talud en la sección 6-6.....                 | 96 |
| Figura 49. Factor de seguridad del talud en la sección 7-7 .....                | 97 |
| Figura 50. Factor de seguridad del talud en la sección 8-8.....                 | 97 |
| Figura 51. Factor de seguridad del talud en la sección 9-9.....                 | 98 |
| Figura 52. Factor de seguridad del talud en la sección 10-10.....               | 98 |

## RESUMEN

Los taludes son estructuras complejas a lo largo de una carretera, ligados a su inestabilidad y presencia de movimientos de terreno, generan deslizamientos, bloqueos de carretera y en algunos casos pérdidas materiales y humanas. El tramo de la carretera CA-109, que pertenece al sector Shururo ubicado en el distrito de Celendín, Cajamarca, es una zona donde se escucha frecuentemente la interrupción de tránsito, incomunicando a los distritos norteños de Celendín, generados por los deslizamientos y flujos que trae consigo la inestabilidad de taludes a lo largo de este tramo. En esta investigación se buscó determinar los factores que afectan la estabilidad de los taludes de esta zona en específico. Para su desarrollo, se hizo el levantamiento topográfico y la captura de una ortofoto entre las progresivas Km 105 + 020 hasta Km 106 + 280 de esta red vial departamental CA-109. Posteriormente, se realizó una inspección visual con el fin de determinar los tipos de movimientos de terreno y los factores que los originan. Se recolectó muestras para estudio de mecánica de suelos. Además, con ayuda del software Slide V.5.0. se determinó el factor de seguridad. Con esta metodología, se logró determinar cuáles son los factores condicionantes y desencadenantes; de la misma manera, se reconoció a los deslizamientos como los movimientos de terreno presentes en este sector. Se identificó un suelo de tipo GC (Grava arcillosa con arena); un ángulo de fricción interna menor a los ángulos de corte; y, un factor de seguridad de 0.580.

**Palabras claves:** Talud, estabilidad de taludes, deslizamientos, movimientos de tierra, factores.

## ABSTRACT

Slopes are complex structures along a road, linked to their instability and the presence of ground movements, they generate landslides, roadblocks and in some cases material and human losses. The section of the CA-109 highway, which belongs to the Shururo sector located in the district of Celendín, Cajamarca, is an area where traffic interruptions are frequently heard, isolating the northern districts of Celendín, generated by the landslides and flows that the instability of slopes brings along this section. This research sought to determine the factors that affect the stability of the slopes in this specific area. For its development, a topographic survey and the capture of an orthophoto were made between the Km 105 + 020 to Km 106 + 280 progressives of this CA-109 departmental road network. Subsequently, a visual inspection was carried out in order to determine the types of ground movements and the factors that cause them. Samples were collected for soil mechanics study. In addition, with the help of Slide V.5.0 software, the safety factor was determined. With this methodology, it was possible to determine which are the conditioning and triggering factors; in the same way, landslides were recognized as the ground movements present in this sector. A GC type soil (clayey gravel with sand) was identified; an internal friction angle less than the cutting angles; and a safety factor of 0.580.

**Keywords:** Slope, slope stability, landslides, earth movements, factors.

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El desarrollo de los proyectos de ingeniería debe ser integrales; por ejemplo, las obras viales tienen como fin el comunicar e interrelacionar las comunidades y/o pueblos, cumpliendo los parámetros de durabilidad, seguridad, funcionalidad y factibilidad económica. El buen desempeño de las obras viales no solo depende de un buen diseño geométrico, buena construcción y un adecuado mantenimiento periódico de la carretera; sino también, de un amplio estudio de la zona en la cual se identifique los riesgos o problemas que puedan presentarse por sus características propias como la topografía, geología, clima, etc.

Uno de los principales problemas que tienen las carreteras es la inestabilidad de los taludes, que originan una serie de deslizamientos sin hacer diferencia de las condiciones climáticas o el tipo de suelo que conforman las diferentes zonas; trayendo consigo pérdidas económicas, materiales y humanas. A pesar de considerarse esto como un problema local, las consecuencias que con lleva estos movimientos pueden llegar a ser problemas nacionales por su envergadura. Reconociendo como principales factores al alto nivel de saturación del agua, desintegración de afloramientos rocosos, mal soporte del pie del talud, eventos sísmicos, entre otros. (Guadalupe et al., 2018)

En Perú, frecuentemente se escucha de la interrupción del tránsito en las vías al interior del país por deslizamientos o derrumbes en los taludes. Las causas son muy variadas, como, por ejemplo, su geometría, cambios topográficos, presencia de fallas geológicas, napa freática, grietas de tensión, lluvias intensas, pésimo drenaje de flujos de agua, pérdida de resistencia del suelo por sus bajos valores de cohesión

y ángulo de fricción. Definiendo estas consideraciones la seguridad o estabilidad del talud, la misma que se mide a través del factor de Seguridad. (Rebaza, 2022)

El INGEMMET conjuntamente con la DGAR, realiza una evaluación de peligros geológicos por los frecuentes movimientos de masa en las localidades de Shururo, Yanasamana y Yanaquero que afectan la vía departamental CA-109, las cuales pertenecen a la provincia de Celendín, Cajamarca. En este informe exponen que el sector Shururo, nuestra zona en estudio, presenta continuos deslizamientos y un flujo de detritos sobre suelos coluvio-deluviales, las mismas que son recubiertas por calizas, lutitas y meteorizaciones de las Formaciones Chulec; sumado a esto, la geometría de estos taludes y que la zona presenta fuertes e intensas precipitaciones, habiendo sido declarada en estado de emergencia en el año 2022 (Según el D.S. 017 y 018 del 2022-PCM). Estos movimientos de masa han traído consigo la interrupción de tránsito en un tramo de 170m aproximadamente, afectando de esta manera la comunicación con los distritos norteños de Celendín. Otra de sus afectaciones, son los perjuicios ocasionados a los terrenos de cultivo y viviendas aledañas, poniendo en riesgo a sus pobladores. (INGEMMET, 2022)

Con todo lo expuesto anteriormente, se realizó este estudio con el propósito de complementar el estudio geológico antes presentado, identificando los factores que afectan la estabilidad de los taludes ubicados en la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín – Cajamarca. Donde los resultados obtenidos en esta investigación serán de gran utilidad para proyectar futuras obras viales en esta carretera considerando como parte de su diseño la estabilidad de los taludes, optando por soluciones y técnicas ante esta problemática.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Pregunta principal**

- ¿Cuáles son los factores que afectan la estabilidad de los taludes ubicados en la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín – Cajamarca?

## **1.3. HIPÓTESIS**

### **1.3.1. Hipótesis general**

- Los factores que afectan la estabilidad de los taludes ubicados en la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín – Cajamarca, son de tipo condicionantes y desencadenantes.

## **1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Este estudio identifica y determina los factores que afectan la estabilidad de los taludes ubicados en la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín - Cajamarca, convirtiéndose en un antecedente y una base de investigación ante el problema de la inestabilidad de taludes que se encuentra presente en las carreteras de Cajamarca, especialmente en el sector antes mencionado.

En referencia a la justificación práctica, se ha desarrollado esta investigación con el fin de reflejar la importancia de realizar este tipo de estudios que identifiquen las deficiencias de las carreteras, enfocándose en la inestabilidad de taludes, esto con el fin de tomar las respectivas consideraciones en el diseño vial de la carretera. Específicamente, este ejemplar determina los factores que afectan la estabilidad de los taludes ubicados en la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín – Cajamarca, en base a los datos tomados en campo y estudio de mecánica de suelos. Información que servirá posteriormente para futuras investigaciones o como base para un análisis de estabilidad de taludes para el diseño de la carretera del sector en estudio.

Por último, la justificación social de esta investigación tiene como finalidad proteger las vidas humanas, además de conservar las obras viales, ya que con frecuencia existen deslizamientos en las carreteras, producto de diferentes factores que afectan la estabilidad de los taludes. Considerando todos estos justificantes, se realizó esta investigación de inestabilidad de taludes de la carretera CA-109, sector Shururo, de la provincia de Celendín, departamento de Cajamarca.

### **1.5. ALCANCES O DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

- Se determinó los factores que afectan la estabilidad de los taludes ubicados en la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín – Cajamarca. El tramo en estudio fue seleccionado por las evidentes fallas en los taludes.
- Se realizó el levantamiento topográfico y escaneo con dron de la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín - Cajamarca, para esto se utilizó equipos que brinden una mayor información y precisión; gracias a esto se logró elaborar los planos topográficos, planos de secciones transversales y además de, describir los movimientos de terreno mediante una ortofoto.
- Se determinó el factor de seguridad de los taludes de la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín – Cajamarca. Este valor fue calculado tras el modelamiento de los taludes en un software de análisis de Estabilidad de Taludes en 2D, Slide V.5.0.

### **1.6. LIMITACIONES**

- No se realizó el estudio de los factores del tipo condicionantes y desencadenantes relacionados con el nivel freático, geofísico, geomecánico ni sísmico; por el elevado costo que esto conlleva.

## **1.7. OBJETIVOS**

### **1.7.1. Objetivo General**

- Determinar cuáles son los factores que afectan la estabilidad de los taludes ubicados en la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín – Cajamarca.

### **1.7.2. Objetivos Específicos**

- Determinar cuáles son los factores de tipo condicionantes y desencadenantes que afectan la estabilidad de los taludes ubicados en la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín – Cajamarca.
- Reconocer los tipos de movimiento de terreno en los taludes de la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín – Cajamarca.
- Identificar el tipo de suelo que compone los taludes de la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín - Cajamarca mediante el ensayo de clasificación de los suelos.
- Estimar el ángulo de fricción interna del suelo que compone los taludes de la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín - Cajamarca mediante el ensayo de corte directo.
- Determinar el factor de seguridad de los taludes de la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín – Cajamarca.

## 1.8. DESCRIPCIÓN DE LOS CONTENIDOS DE LOS CAPÍTULOS

- **CAPÍTULO I: Introducción.** En esta sección se presenta el planteamiento del problema y la formulación de la hipótesis; así como, las justificaciones, alcances, delimitaciones y limitaciones de la investigación. Finalmente, se muestra los objetivos planteados y a desarrollar.
- **CAPÍTULO II: Marco Teórico.** En este capítulo se hace referencia los antecedentes teóricos tanto internacionales, como nacionales y locales considerados como base para el desarrollo esta investigación. Así como también, las bases teóricas, conceptos y definiciones de términos básicos relacionados con este estudio.
- **CAPÍTULO III: Materiales y Métodos.** En este capítulo se indica las técnicas, ensayos, herramientas, equipos y/o materiales utilizados. Además, se describe minuciosamente la metodología empleada en esta investigación; así como se sintetiza el desarrollo de la misma.
- **CAPÍTULO IV: Análisis y Discusión de resultados.** En esta sección se realiza el análisis y discusión de los resultados obtenidos según la metodología propuesta.
- **CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones.** Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas como resultado final de esta investigación.
- **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**
- **APÉNDICE.**
- **ANEXOS.**

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

#### 2.1.1. Antecedentes Internacionales

- **Prado et al. (2020)** en su investigación titulada: "*Análisis de estabilidad de talud de la carretera NIC.7 en el km 176, Municipio de Santo Tomás, del departamento de Chontales*", tiene como finalidad la evaluación de la estabilidad de los taludes ubicados en la carretera NIC.7, del municipio de Managua - Nicaragua, de tal manera que se pueda plantear medidas de mitigación para mejorar el tránsito y también su estabilidad. La metodología realizada en este estudio está basada en el levantamiento topográfico de la zona, estudio estratigráfico, estudio geológico (fallas, fracturas), más ensayos de laboratorio para la clasificación de suelos. Además, se realizó un modelamiento en un software computacional para su posterior análisis. Tras la realización de estos estudios, se determinó que sus características geológicas corresponden a Tobas, flujos volcánicos. Siendo los factores condicionantes su geomorfología, litografía, fracturas y la pendiente, además de los agentes externos y climáticos. También consideran la oxidación de los materiales y la actividad sísmica. Mediante el software se obtuvo un factor de seguridad bajo de 0.338 con una alta cantidad de masa por desprender. Finalmente, se plantea como métodos de estabilización los sistemas de trincheras, barreras, mallas o muro de contención, pilotes o gaviones.
- **Pozo (2021)** en su estudio titulado: "*Análisis de estabilidad de taludes de una extensión de 260 metros en la vía Papallacta Baeza, sector Cuyuja*", busca analizar el talud ubicado en el sector de Cuyuja, Quijos, provincia de Napo – Ecuador, geológicamente formada por terreno salado que es parte de la

Cordillera Real. En primer lugar, se realizó levantamiento topográfico para determinar la correcta ubicación de estos, posteriormente se realizó sondeos SPT y ensayos de laboratorio como el ensayo de corte directo y el ensayo triaxial de corte; y la clasificación de suelos, encontrando el tipo (CL), suelo tipo arcilla limo arenoso inorgánica de baja plasticidad y (SM), un tipo de suelo limosa con grava. También se ha realizado su modelamiento para determinar su FS, obteniendo un valor de 1.5, considerado un talud estable. Recomiendan para una mayor estabilización la construcción de bermas en los perfiles donde los FS sean menor a 1.5.

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

- **Breña (2019)** en su investigación titulada: *"Estabilidad de taludes de la carretera longitudinal de la sierra; tramo Cochabamba – Cutervo - Chiple, Cajamarca - Perú"*, presenta como objetivo principal evaluar los parámetros geotécnicos de la interacción roca -suelo que afecte la estabilidad de los taludes del sector de Cochabamba - Cutervo, Chiple en el departamento de Cajamarca, Perú. Para esto fue necesario el uso de softwares para su modelamiento y análisis, tajo anular reconocimiento de juntas diferentes y proyecciones estereográficas, el cálculo de los factores de seguridad, ensayos de mecánica de suelos y de corte directo; finalmente, la observación y análisis de campo. Determinando que los factores más relevantes que afectan la estabilidad de los taludes son: la meteorización, humedad, parámetros geotécnicos, la cohesión del suelo a lo largo del sector.
- **Carrión (2019)** en su investigación titulada: *"Análisis y diseño de la estabilidad de talud en el sector Sausacocha - Pallar km. 8+000 al 9+000 provincia de Sánchez Carrión, departamento de La Libertad, 2017"* busca realizar el estudio

de los taludes que forman parte del sector Sausacocha – Pallar, en la provincia de Sánchez Carrión, departamento de La Libertad, esto debido a los continuos deslizamientos producto de la erosión, sismicidad y aspectos climáticos propios de la zona y proponer alternativas de solución para evitar posibles deslizamientos. Se realizó en primera estancia el levantamiento topográfico de la zona para una mejor ubicación de estos taludes; estudios de mecánica de suelos, teniendo en el primer estrato rocas coluviales; en la segunda, matrices limo arcillosas; en la tercera, material gravoso con arcilla limosa; y, en el último estrato la roca madre, además del ensayo del corte directo. Siendo los factores que alteran la estabilidad de los taludes el peso unitario del suelo, el ángulo de fricción interna, la cohesión del suelo y la presión de poros (presencia de lluvias). Finalmente recomiendan el sistema de malla anclada (TECCO) tanto por su bajo costo ya que no se realizará movimiento de tierras, como el proceso constructivo y tiempo de ejecución.

### 2.1.3. Antecedentes Locales

- **Tarrillo (2018)** en su tesis titulada: "*Grado de estabilidad de los taludes críticos de la carretera Baños del Inca - Llacanora*" tiene como objetivo determinar el grado de estabilidad de los taludes ubicados en la carretera baños del Inca – Llacanora en las progresivas 4+540m, 4+600m, 4+840m, 5+020m; denominados E1, E2, E3 y E4 respectivamente. De la cual se pudo identificar sus parámetros geotécnicos, así como los valores de cohesión de  $0.30\text{kg/cm}^2$ ,  $0.47\text{ kg/cm}^2$ ,  $0.89\text{ kg/cm}^2$ ,  $0.19\text{ kg/cm}^2$  y un ángulo de fricción de  $28.98^\circ$ ,  $38.82^\circ$ ,  $30.13^\circ$  y  $18.92^\circ$ . Obteniendo los factores de seguridad entre 1.18 hasta 2.12, siendo taludes estables, mientras que los taludes E1, E2 y E3 tienen

valores de 0.72 hasta 1.37 los cuales presentan agua provocando fallas. Llegando a la conclusión Tarrillo que los principales factores que afectan la inestabilidad de talud en promedio son: el ángulo de fricción con un valor de  $29.21^\circ$  y una cohesión de  $0.52 \text{ kg/cm}^2$ , con respecto a su geometría, el investigador confirma que los taludes fallan en alturas superiores a 6.0 m y con ángulos de inclinación mayores a  $45^\circ$ , además también dependen de su meteorización, formaciones geológicas y otros factores hidrogeológicos.

- **Bautista & Izquierdo (2020)** en su estudio *"Análisis de los factores detonantes para controlar la inestabilidad de talud en el distrito de Tumbadén – Cajamarca, 2020"*, busca determinar los principales factores que han intervenido en la estabilidad del talud en el distrito de Tumbadén, en la carretera Kuntur Wasi – San Pablo. Para esto se ha recopilado información meteorológica para determinar su impacto en la zona; estudio de mecánica de suelos (Límites de consistencia, humedad, y granulometría) de diferentes muestras; toma de datos geotécnicos del talud, de la topografía y condiciones locales de la zona. Finalmente, concluyendo con los siguientes factores: las precipitaciones y aguas superficiales frente a un suelo de baja resistencia; su geología, Formación San Pablo; condiciones de la zona como la falta de mantenimiento al drenaje y la vegetación. Y con respecto, al tipo de suelo se clasificó en limo y arcillas inorgánicas de baja plasticidad, originando esto los deslizamientos al tener contacto con agua.

## 2.2. BASES TEÓRICAS

### 2.2.1. Talud

Se define a talud como una masa de suelo que presenta en su superficie externa una pendiente con respecto a la horizontal. Si el talud tiene una formación natural, se le llama ladera o ladera natural; mientras que, si el talud es generado por la mano del hombre, producto de excavaciones, se le llama talud. (Seguridad Minera, 2018)

De igual forma el libro "Análisis de Estabilidad de Taludes en Suelos", define a talud como una superficie vertical o con pendiente del suelo, la cual está en contacto con aire y/o agua. Mencionando dos tipos de talud, el originado por actividad del hombre, generados por corte o relleno (Figura 1); y los naturales, que son conocidos como laderas (Figura 2). (García, 2020)

Figura 1. Talud de corte, autopista Toluca – Naucalpan (Estado de México)



*Fuente: García (2020). Análisis de estabilidad de Taludes en Suelos.*

Figura 2. Ladera, Camino Tenango – Ixtapan de la Sal (Estado de México)

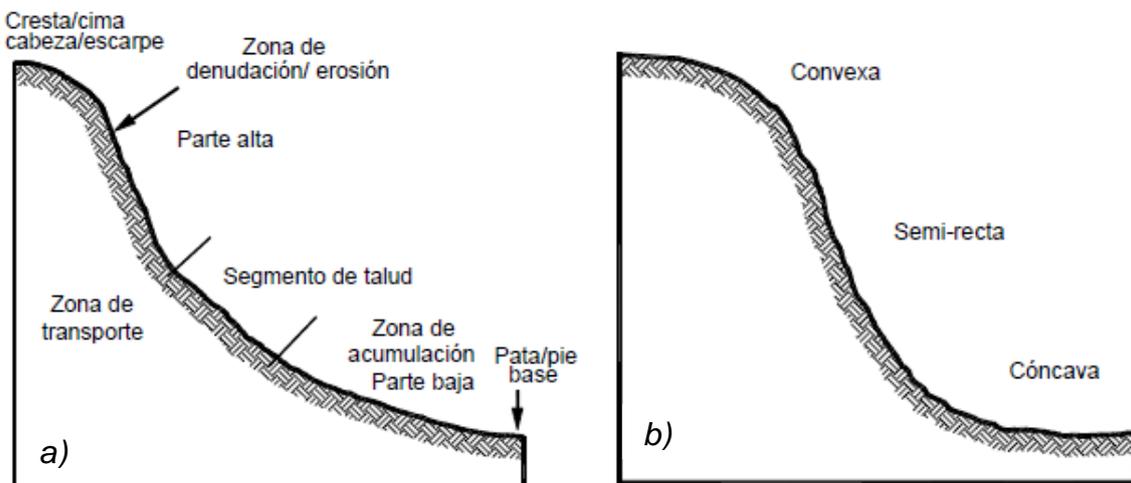


Fuente: García (2020). *Análisis de estabilidad de Taludes en Suelos.*

### 2.2.1.1. Partes de un talud

Diferentes sistemas de nomenclatura y clasificación están basados en las Teorías propuestas por: Hutchinson (1968) y por Varnes (1958 y 1978), siendo el más utilizado la actualización por Cruden y Varnes (1996). (Prado et al., 2020)

Figura 3. Partes de un talud o ladera



Fuente: Prado et al. (2020). *Análisis de estabilidad de talud de la carretera Nic.7 en el Km 176, Municipio de Santo Tomas.* a) Partes de un talud, b) Ángulos de un talud.

Prado et al. (2020) da a conocer los términos y nomenclaturas más empleadas para un talud o ladera:

- **Pie, pata o base:** parte inferior del talud o ladera donde se genera una formación cóncava al tener un cambio brusco en su pendiente;
- **Cabeza, cresta, cima o escarpe:** parte superior del talud o ladera donde se genera una formación convexa al tener un cambio brusco en su pendiente;
- **Altura:** definida con facilidad en taludes artificiales como la distancia vertical entre el pie y la cabeza, mientras que en las laderas estos elementos no se encuentran bien marcados;
- **Altura de nivel freático:** distancia vertical considerada desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua, se mide debajo de la cabeza del talud; y
- **Pendiente:** inclinación de la superficie del talud o ladera. Puede medirse en grados ( $^{\circ}$ ), en porcentaje (%) o en relación (H: V). (págs. 19,20)

### 2.2.2. Análisis de estabilidad de taludes

Un análisis de estabilidad de taludes trae consigo la necesidad de contar con el conocimiento adecuado de la topografía y forma geométrica de la zona, de obras civiles existentes o proyectada; además, del conocimiento de la geología, geomorfología y resistencia del suelo. Con todo esto, es posible reconocer el tipo de falla que presenta o puede presentar los taludes, la localización de los movimientos y seleccionar adecuadamente parámetros de resistencia al corte. Siendo común en los taludes artificiales las fallas debido al proceso constructivo (colocación, compactación y homogeneidad de materiales); mientras que, en los taludes naturales, su comportamiento está definido por sus condiciones propias, donde las fallas dependen de estos y pueden llegar a ser complejas. (Arcila et al., 2019)

### 2.2.3. Estabilidad de Taludes

La estabilidad del talud depende de la resistencia al esfuerzo cortante, de la geometría donde se ha desarrollado la falla, de las condiciones de la zona como las de sismo, estratigrafía, topográficas, hidráulicas (superficiales o subterráneas). Un talud presenta estabilidad cuando la relación de las fuerzas o momentos, resistentes entre deslizantes son mayor que la unidad. Por lo tanto, definen al factor de seguridad como: (García, 2020)

$$F_s = \frac{\sum F_R}{\sum F_D}; F_s = \frac{\sum M_R}{\sum M_D} \quad (1)$$

#### 2.2.3.1. Factor de Seguridad ( $F_s$ )

El factor de seguridad está definido por: “Relación entre valores máximos que resisten, y valores que provocan el movimiento, en un punto del talud, a lo largo de la superficie de falla, toma en cuenta la tensión cortante disponible y tensión cortante al equilibrio, suma fuerzas actuantes”. (Huascope, 2021)

#### 2.2.3.2. Rango de valores de factor de seguridad

Tabla 1. Rango de valores de factor de seguridad

| <b>Factor de seguridad</b> | <b>Estabilidad</b>                 |
|----------------------------|------------------------------------|
| <1                         | Inestable                          |
| 1.0 – 1.2                  | Estabilidad cuestionada            |
| 1.2 - 1.5                  | Estable bajo condiciones estáticas |
| >1.5                       | Estable bajo condiciones dinámicas |

*Fuente: Huascope (2021). Estabilidad de taludes naturales empleando métodos convencionales, sector Llavini, Puno 2021.*

### 2.2.3.3. Resistencia al esfuerzo cortante

La resistencia al esfuerzo cortante es definida como la resistencia de las partículas sólidas al desplazarse entre sí. Algunos factores relacionados a la resistencia son la cohesión y la fricción entre estas partículas, también la viscosidad. Definida por la Ley de Coulomb, se tiene la siguiente expresión: (García, 2020)

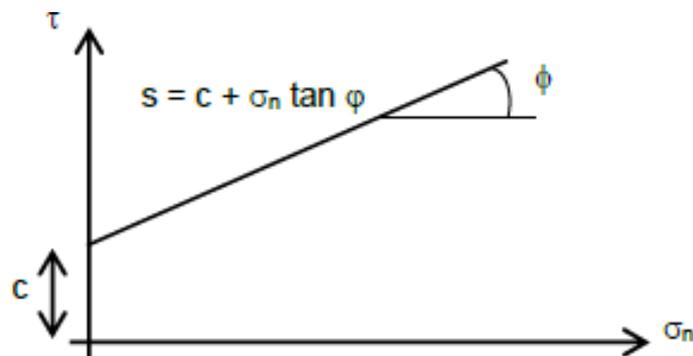
$$S = c + \sigma_n \tan \varphi \quad (2)$$

Donde:

- S: Resistencia al esfuerzo cortante;
- c : Cohesión;
- $\sigma_n$ : esfuerzo normal efectivo; y
- $\varphi$ : ángulo de fricción interna.

La representación gráfica de la ecuación (2), se muestra en la Figura 4, mediante una recta que corta al eje de las ordenadas en "c", con una pendiente  $\tan \varphi$  o inclina a  $\varphi$  grados.

Figura 4. Resistencia al esfuerzo cortante "S"

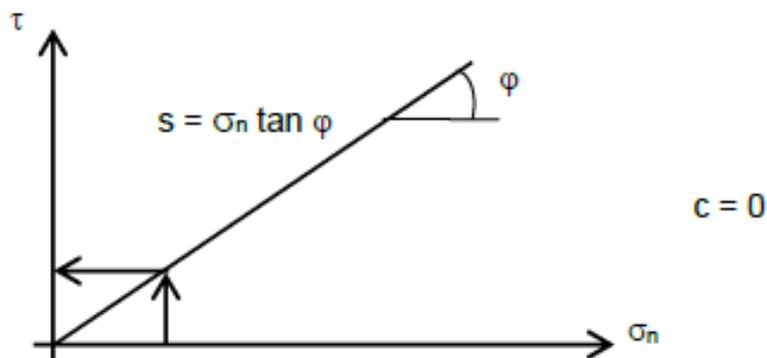


Fuente: García (2020). Análisis de estabilidad de Taludes en Suelos.

En suelos gruesos, sin finos; la resistencia al esfuerzo cortante estará dada solo por la fricción, o sea en función de las propiedades de las partículas sólidas y de

su esfuerzo normal. La representación de la ecuación (2) para suelos gruesos se muestra en la Figura 5. (García, 2020)

Figura 5. Representación de "S" para suelos gruesos

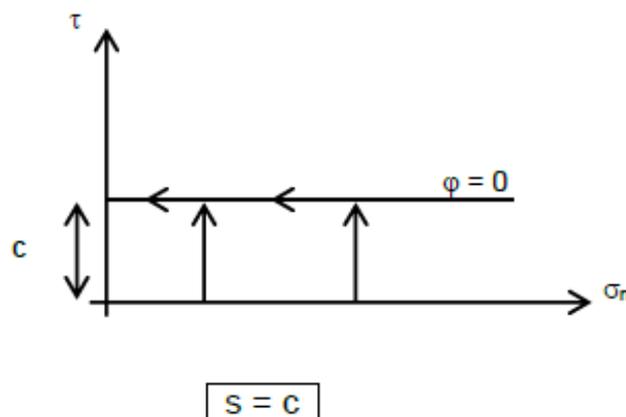


Fuente: García (2020). Análisis de estabilidad de Taludes en Suelos

Como se observa en el Figura 5; a mayor esfuerzo normal, es mayor la resistencia al esfuerzo cortante, pudiendo decirse que son directamente proporcional, hasta cierto punto.

Mientras que; para los suelos finos, limos o arcillas, su consistencia es blanda, presentando un ángulo de fricción interna nula. De la Figura 6 se puede observar que, para cualquier esfuerzo normal, la resistencia al esfuerzo cortante será la cohesión.

Figura 6. Representación de "S" para suelos finos



Fuente: García (2020). Análisis de estabilidad de Taludes en Suelos.

#### **2.2.3.4. Teorías de deslizamientos de tierra**

A continuación, se presenta diferentes teorías para deslizamiento de tierras, considerando las siguientes:

Para Sharpe (1938) un landslide es un movimiento perceptible ladera abajo de una masa de tierra, roca u otro componente, a través de un mecanismo de deslizamiento o desprendimiento. Terzaghi (1950) desde su postura define a landslide como un desplazamiento de una masa de roca, residuos de suelo o sedimentos que son partes de una ladera, en el cual el centro de gravedad de la masa se desplaza hacia abajo y hacia el exterior. A esta teoría, Varnes (1958) agrega que en estos movimientos de tierra también pueden incluirse materiales naturales como artificiales.

De una manera general, se define a deslizamientos de tierra como un movimiento de masa, ya sea de roca, escombros o tierra, la cual se desplaza hacia la parte inferior de la superficie mediante su pendiente. El deslizamiento de tierra presenta cinco tipos de movimiento de pendientes como los derrumbes, deslizamientos, extensiones, caídas y flujos. A la vez dependiendo del tipo de material geológico (tierra, escombros o lecho de roca). (USGS, 2028)

#### **2.2.4. Tipología y desarrollo de los movimientos**

##### **2.2.4.1. Influencia del tipo de material**

Según el Instituto Geológico y Minero de España – IGME, el tipo y características del material mantiene una relación directa con la estabilidad de los taludes, ya que son condicionantes o factores para desarrollar un movimiento o deslizamiento determinado. (Instituto Geológico y Minero de España - IGME, 1986)

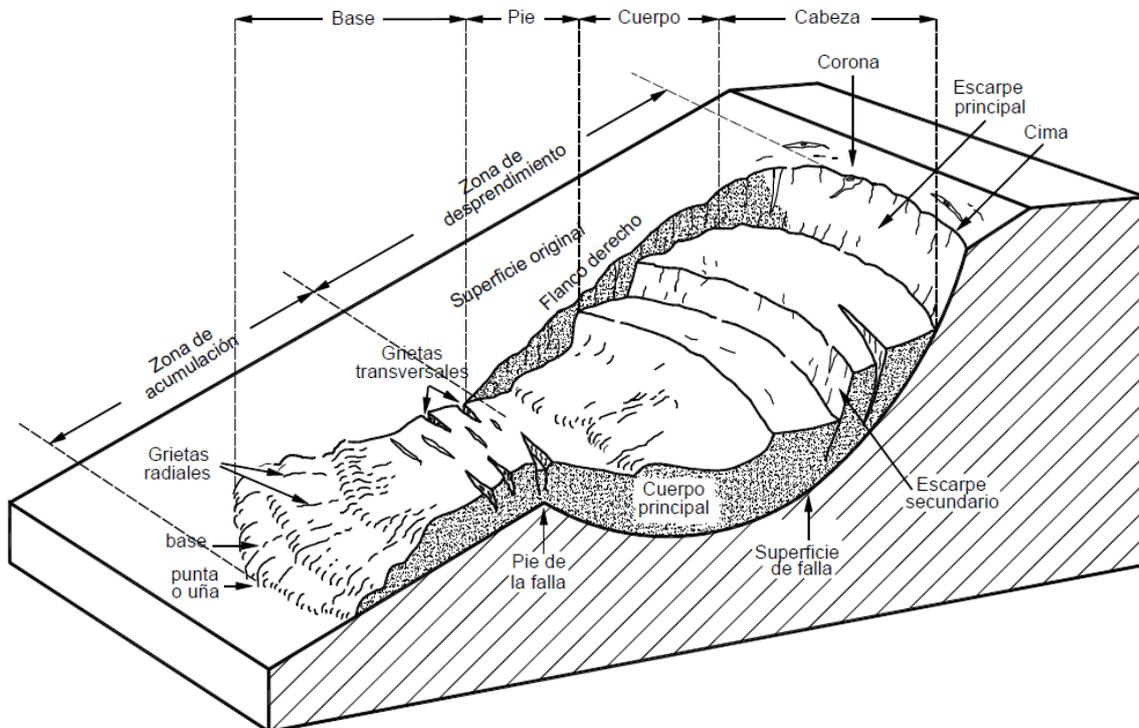
a) **Suelos no cohesivos (arenas puras)**, donde  $c=0$ ; suelos granulares o de arenas puras, con una superficie plana de falla. Presentando estabilidad cuando el ángulo de inclinación del talud sea menor al ángulo de fricción interna del suelo. (Organización Mecánica de suelos, 2022)

b) **Suelos cohesivos (arcillas y partículas finas)**, donde  $c \neq 0$ ; aquí la superficie de falla es curva o circular, lo que depende mayor consideración en el diseño para estabilidad de taludes. (Organización Mecánica de suelos, 2022)

#### 2.2.4.2. Partes de un deslizamiento

En la zona alta o superior convexa del talud se originan procesos de denudación y/o erosión; mientras que, en la zona intermedia semi - recta y en la zona baja o inferior cóncava del talud, se dan procesos de depositación. (Huascope, 2021)

Figura 7. Partes de un deslizamiento

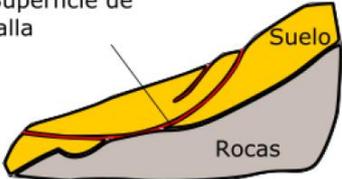
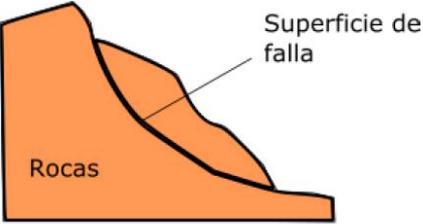
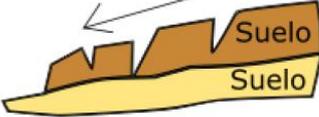
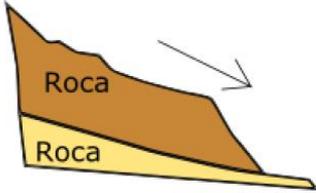
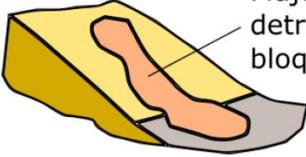
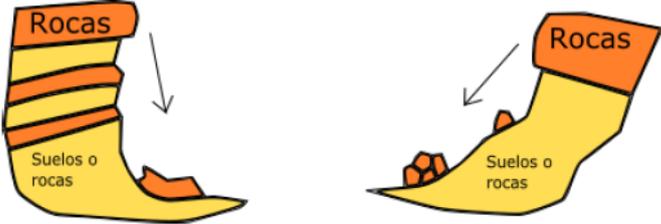


Fuente: Huascope (2021). Estabilidad de taludes naturales empleando métodos convencionales, sector Llavini, Puno 2021.

### 2.2.5. Tipos de movimientos

En el seminario de geotecnia vial "Diseño de taludes, muros y estructura de pavimentos urbanización municipio de Fredonia", menciona los siguientes tipos de movimientos más comunes en los taludes de las vías terrestres. (Arcila et al., 2019)

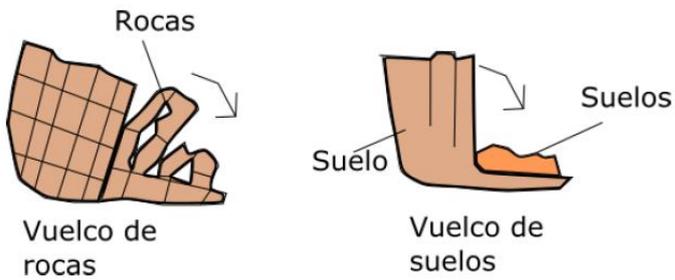
Tabla 2. Tipos de deslizamientos o movimientos en masa

| Tipos de deslizamientos o movimientos en masa   |  |
|---|--|
| Deslizamientos rotacionales   | Deslizamientos traslacionales  |
| <p>Superficie de falla</p>  <p>Suelo</p> <p>Rocas</p> <p>Deslizamiento rotacional en suelos</p>  <p>Superficie de falla</p> <p>Rocas</p> <p>Deslizamiento rotacional en rocas</p> |  <p>Suelo</p> <p>Suelo</p> <p>Deslizamiento traslacional en suelos</p>  <p>Roca</p> <p>Roca</p> <p>Deslizamiento traslacional en rocas</p> |
| <p><b>Flujos de lodo, detritos, rocosos</b></p>  <p>Flujo de lodo, detritos, bloques</p>   |  |
| <p><b>Desprendimiento o caída de rocas y suelos.</b></p>  <p>Rocas</p> <p>Suelos o rocas</p> <p>Rocas</p> <p>Suelos o rocas</p>  |  |

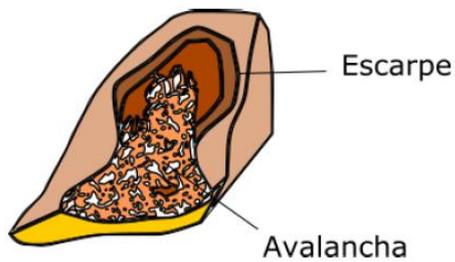
Fuente: Arcila et al. (2019). Diseño de taludes, muros y estructura de pavimentos.

## Tipos de deslizamientos o movimientos en masa

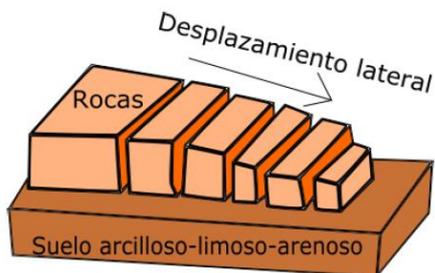
### Vuelco en rocas y suelos



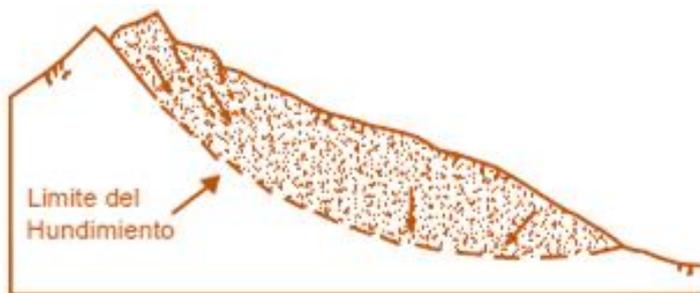
### Avalancha de rocas



### Desplazamientos laterales



### Hundimientos



Fuente: Arcila et al. (2019). Diseño de taludes, muros y estructura de pavimentos.

## 2.2.6. Factores que influyen en la estabilidad de taludes

El Instituto Nacional de Vías en su libro "Manual de estabilidad de taludes", presenta algunas causas que generan movimientos o comúnmente llamados deslizamientos en los taludes, los cuales son presentados en la Tabla 3 a manera de resumen de esta referencia.

Tabla 3. Causas de los movimientos o deslizamientos en los taludes

| <b>Condiciones de terreno</b>  | <b>Procesos geomorfológicos</b>   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Material de comportamiento plástico débil.</li> <li>- Material sensible, colapsado o por falla al corte.</li> <li>- Material fisurado o con discontinuidades.</li> <li>- Discontinuidades orientadas desfavorables.</li> <li>- Contraste en la permeabilidad y sus efectos sobre el agua del terreno.</li> <li>- Contraste de rigidez.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Movimiento tectónico.</li> <li>- Actividad volcánica.</li> <li>- Socavación de la pata del talud por corrientes de agua.</li> <li>- Erosión por glaciares en la base.</li> <li>- Socavación de la pata por oleaje.</li> <li>- Socavación de los márgenes de ríos.</li> <li>- Erosión subterránea.</li> <li>- Carga por sedimentación en la cresta.</li> <li>- Remoción de la vegetación.</li> </ul>      |
| <b>Procesos físicos</b>  | <b>Procesos humanos</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lluvias intensas de corta duración.</li> <li>- Descongelamiento de nieves.</li> <li>- Precipitaciones prolongadas.</li> <li>- Desembalse rápido.</li> <li>- Terremotos.</li> <li>- Erupción volcánica.</li> <li>- Rompimiento de lagos en cráteres.</li> <li>- Deshielo.</li> <li>- Meteorización de suelos.</li> </ul>                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Excavación de la pata del talud.</li> <li>- Carga de la cresta del talud.</li> <li>- Desembalse rápido de presas.</li> <li>- Irrigación.</li> <li>- Defectuoso sistema de drenaje.</li> <li>- Escapes de agua de las tuberías.</li> <li>- Remoción de la vegetación.</li> <li>- Explotación minera.</li> <li>- Disposición suelta de los rellenos estériles.</li> <li>- Vibración artificial.</li> </ul> |

Fuente: Instituto Nacional de Vías, 1998. Manual de estabilidad de taludes. Colombia.

### 2.2.6.1. Factores condicionantes - "pasivos"

Son los factores intrínsecos de los materiales naturales, los cuales están ligados a las condiciones y características que determinan las propiedades de resistencia y comportamiento del terreno. (Redacción GeoQuantics, 2019)

La Organización de Mecánica de Suelos (2022), del país chileno, hace referencia a los siguientes factores de tipo condicionantes:

- **Relieve y geometría:** importancia de la pendiente para que se produzcan movimientos gravitacionales, siendo las más afectadas las regiones montañosas;
- **Estratigrafía y litología:** depende de la naturaleza y características del material que forma parte el talud;
- **Estructura geológica:** estas características junto con su geometría y orientación son uno de los factores más comunes en los taludes con macizos rocosos, a diferencia de los taludes formados por suelos;
- **Condiciones hidrogeológicas:** la alta cantidad de agua produce presiones intersticiales que generan arrastres, erosiones ya sean superficiales o internos.
- **Efectos de la meteorización:** reduce la resistencia del suelo, ocasionando caída del material superficial del talud;
- **Superficie freática:** dependiendo de las características de los materiales, geometría, forma y contorno del talud; para la distribución de presiones intersticiales sobre la superficie de un talud; y
- **Condiciones Geomecánicas de los suelos:** la rotura de la superficie de un talud depende de su resistencia al corte, al tipo de material y sus características de cohesión y fricción. (págs. 12-17)

### 2.2.6.2. Factores desencadenantes - "activos"

Los factores desencadenantes, son los factores externos que actúan en el suelo del talud alterando su estabilidad, con presencia de movimientos en diferentes magnitudes o velocidades. (Redacción GeoQuantics, 2019)

- **Sobrecargas estáticas y cargas dinámicas:** ocasiona inestabilidad el cambio de la distribución de las fuerzas producto de las presiones ejercidas en las pendientes. En sobre cargas estáticas se tiene el peso de construcciones, o de los rellenos de los taludes, o el mismo tránsito vehicular; y, en las cargas dinámicas se tiene los eventos sísmicos, las vibraciones dadas por voladuras o el uso de maquinaria pesada. (Redacción GeoQuantics, 2019)
- **Fuertes movimientos sísmicos:** estos movimientos fracturan al talud. Las vibraciones ocasionan licuefacción, aumentan los esfuerzos cortantes, disminuyendo el factor de seguridad a un valor menor a 1. (Organización Mecánica de suelos, 2022)
- **Aumento de la presión del agua:** es el mayor desencadenante de deslizamientos, ya que la alta presencia de agua disminuye la tensión efectiva y el factor de seguridad de la pendiente del talud. (Organización Mecánica de suelos, 2022)
- **Precipitaciones y condiciones climáticas:** estos fenómenos generan movimientos superficiales como los deslizamientos y flujos; los mismos que, alteran las condiciones del material y suelo que conforman el talud, ya que la saturación del terreno las presiones intersticiales. Entre estos fenómenos tenemos: la filtración de aguas de lluvias, precipitaciones intensas, inundaciones y avenidas, procesos de hielo – deshielo. (Redacción GeoQuantics, 2019)

- **Condiciones antrópicas:** el almacenamiento de lluvias, embalses y lagos sube las presiones intersticiales ocasionando mayor número de deslizamientos. (Organización Mecánica de suelos, 2022)

### 2.2.6.3. Factores condicionantes en el proceso de erosión en taludes

Siendo la erosión un proceso de evolución natural, que se origina producto de fenómenos o procesos dinámicos, los cuales alteran la estabilidad, conduciendo a situaciones de riesgo para su área de influencia, fue darse por la presencia de aguas subterráneas o aguas superficiales. A continuación, se presenta la Tabla 4, que presenta los factores condicionantes para este proceso. (Gerscovich, 2016)

Tabla 4. Factores condicionantes de los procesos de erosión en taludes

| <b>Factores condicionantes de los procesos de erosión</b> |   |
|---|---|
| Factores externos   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Potencial de erosividad de la lluvia.</li> <li>- Condiciones de infiltración.</li> <li>- Escorrentía superficial.</li> <li>- Topografía (Pendiente, longitud).</li> </ul>  |
| Factores internos   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Flujo interno.</li> <li>- Tipo de suelo.</li> <li>- Desagregación.</li> <li>- Erosionabilidad.</li> <li>- Características geológicas y geomorfológicas.</li> <li>- Evolución físico – química y mineralógica del suelo.</li> </ul> |

*Fuente: Gerscovich (2016). Estabilidad de taludes.*

- **La importancia de la vegetación en la estabilidad de taludes:** minimizan los cambios de temperatura y humedad, retrasando la acción de meteorización. Las raíces van construyendo un camino para el flujo del agua, distribuyendo la concentración de estos volúmenes de agua. (Gerscovich, 2016)

## **2.2.7. Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en la localidad de Shururo**

Según el Informe Técnico N°A7311, realizado por el INGEMMET con la DGAR, buscan brindar asistencia técnica en peligros geológicos tras realizar la evaluación de peligros geológico por movimientos en masa registrados en los sectores de Shururo, Yanasamana y Yanaquero de la provincia de Celendín.

### **2.2.7.1. Clima del sector Shururo**

La zona de estudio posee un clima Semiseco con invierno seco, Templado, C (i) B', presenta una temperatura máxima promedio entre 15°C a 21°C, y una mínima promedio entre 7°C y 11°C. Su precipitación anual varía entre 300 mm a 700 mm. Registrando lluvias con niveles de intensidad extremos en el año 2022, declarando con estado de emergencia a 81 distritos del departamento de Cajamarca, estando entre estos el distrito de Celendín (según Decretos Supremos 017 y 018 del 2022-PCM). (INGEMMET, 2022)

### **2.2.7.2. Aspectos geológicos en el sector Shururo**

#### **- Formación Chúlec (Ki-chu)**

A lo largo de la carretera CA-109, perteneciente al sector Shururo, se encuentra estas formaciones que están conformadas por calizas y una mezcla de fauna fósil y lutitas. Con presencia de afloramientos propios de macizos rocosos y altamente meteorizados, presenta también, discontinuidades rellanas de calcitas. Su resistencia geológica es baja con un valor de GSI de 23. (INGEMMET, 2022)

Figura 8. Vista de macizo rocoso de la Formación Chulec



Fuente: INGEMMET, 2022. Sector Shururo, coordenadas: E: 813556; E: 9244426; Z: 2502.

- **Depósito cuaternario coluvio-deluvial (Q-cd)**

En el sector de Shururo, se encuentran depósitos de suelos producto de movimientos en masa, generados por la gravedad misma y la sobresaturación de sus componentes, abundando las arcillas y limos. (INGEMMET, 2022)

Figura 9. Lugar de un depósito coluvio-deluvial



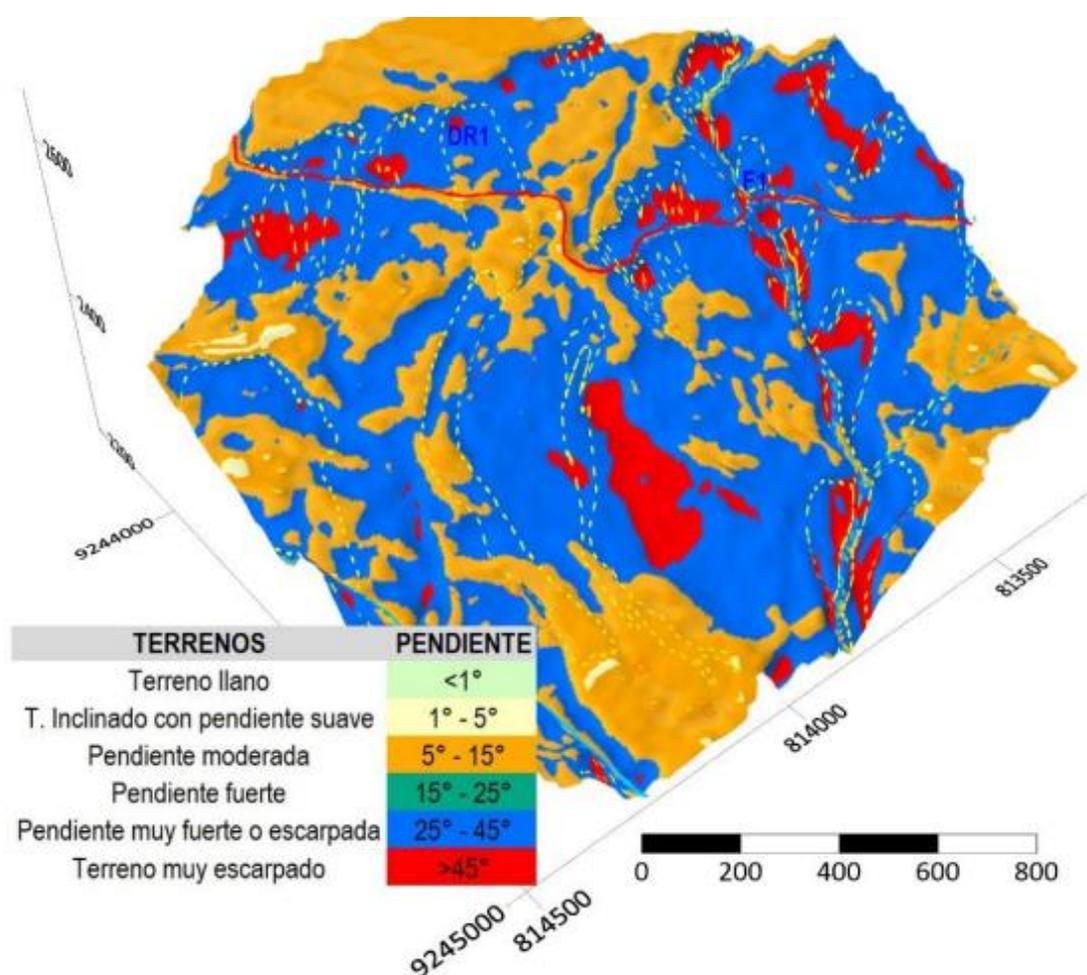
Fuente: INGEMMET (2022). Sector Shururo, coordenadas: E: 813908; E: 9244171; Z: 2524.

### 2.2.7.3. Aspectos geomorfológicos

#### - Pendiente del terreno

En el sector de Shururo, se han registrado movimientos en masa en los terrenos con pendiente muy fuerte y escarpada, entre los valores de 25° a mayores de 45°. En la Figura 10, se puede apreciar un modelado 3D con las pendientes de terreno afectas por los movimientos en masa. (INGEMMET, 2022)

Figura 10. Modelo 3D de las pendientes del terreno en la localidad de Shururo



Fuente: INGEMMET (2022). Carretera CA-109, color rojo; movimientos en masa, amarillo.

### 2.2.7.4. Peligros geológicos

Frecuentemente, en el valle del río Grande se registran movimientos en masa, producto de las intensas lluvias, considerables pendientes de los terrones. Son pocas

las viviendas afectadas tras estos movimientos en masa; sin embargo, la carretera departamental CA-109 es la más afectada, sobre todo en épocas de lluvias. Esta carretera une las capitales provinciales de Celendín y Bambamarca, y una vía de acceso importante a los distritos norteños de estas provincias. En el año 2022, mediante un estudio cartográfico, se ha reconocido 36 derrumbes, entre flujos de detritos y deslizamientos. Los mismos que serán presentados a continuación: (INGEMMET, 2022)

- **Deslizamiento – flujo**

Movimiento desencadenado por intensas lluvias. Este movimiento alcanzó inicialmente un deslizamiento afectando un área de 2.97 ha, y un largo de 272m; para luego, presentar un flujo llegando a un área de 3.45 ha y una longitud de 640 m. Provocando daños en 115m de la calzada de la carretera CA-109, interrumpiendo el tránsito por varios días, además de perjudicar 4 ha de cultivos y 5 viviendas cercanas. Entre otros factores que desataron este movimiento se tiene la litología del lugar, componentes de los materiales, presencia de la Formación Chúlec, altas pendientes y un mal drenaje. (INGEMMET, 2022)

- **Flujo de detritos de la quebrada Shururo F1**

Este movimiento se encuentra encausado por la quebrada de Shururo, recibiendo detritos producto de derrumbes de laderas contiguas a esta quebrada. El tramo afectado fue de 55m, rehabilitados en la actualidad, pero con ninguna medida de seguridad. Este movimiento reconoce a otros factores como la naturaleza de sus materiales, pendientes escarpadas, las lluvias continuas e intensas, y la falta de medidas de control y prevención en la zona. (INGEMMET, 2022)

Figura 11. Vista inferior del deslizamiento en el sector Shururo



Fuente: INGEMMET, 2022. Movimientos como deslizamientos, derrumbes y flujos.

Figura 12. Vista de los depósitos de la quebrada Shururo por el flujo de detritos



Fuente: INGEMMET, 2022. Sector Shururo, coordenadas: E: 813540; N: 9244426; Z: 2497.

### 2.2.8. Metodología para los estudios de estabilidad de taludes

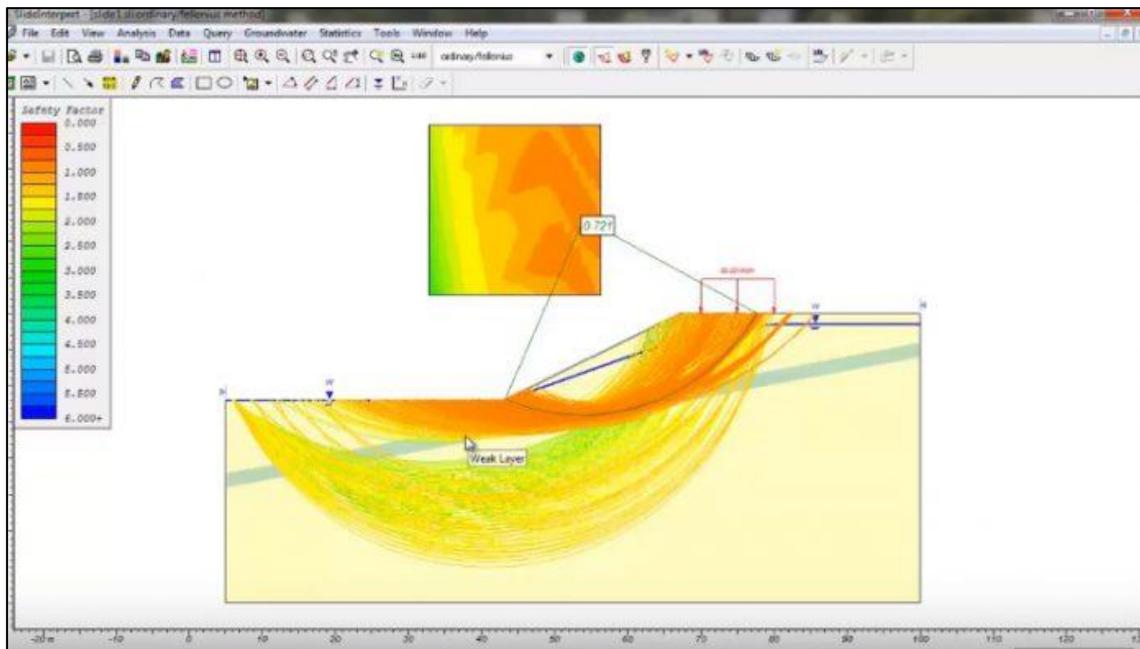
Gerscovich menciona de una manera general, un estudio de estabilidad de taludes debe de contar con la siguiente metodología: un estudio definido de la topografía del talud, identificación de las sobrecargas que actúen en él, estudios para

determinar su estratigrafía e identificar masas de tierra enterradas o niveles de agua, identificar las condiciones críticas y riesgos que presentaría el talud en sus diferentes fases, estudio completo y detallado de mecánica de suelos para hallar diferentes parámetros y saber su comportamiento, cálculo del factor de seguridad y análisis de tensiones; finalmente, realizar modelos con el fin de determinar un diseño óptimo final. (Gerscovich, 2016, pág. 13)

### 2.2.9. Software de estabilidad de taludes en 2D, Slide V.5.0

Slide V.5.0 es un software computacional usado para el cálculo de estabilidad de taludes (laderas inestables, cortes, terraplenes, presas, zanjas, diques de contención, etc). Pertenece a la familia de Rocscience, destinados a modelados y cálculos geotécnicos. (Ilustre Colegio de Geólogos, 2018)

Figura 13. Interfaz del Software Slide



*Fuente: Ilustre Colegio de Geólogos (2018). Tierra y Tecnología. España.*

El Software Slide, es uno de los más completos en el análisis de estabilidad de taludes; además de ser fácil de manejar. Usa el enfoque propuesto por el método del

equilibrio límite para el cálculo de la estabilidad de los taludes. Mayormente, este software es usado en los campos de minería y de obras civiles, permitiendo identificar problemas geotécnicos; calcular la estabilidad de terraplenes, presas y taludes; conocer los efectos de las cargas dinámica en estas zonas, entre otros parámetros. (Ilustre Colegio de Geólogos, 2018)

#### **2.2.10. Métodos de estabilización de taludes para reducir fallas**

La Organización de Mecánica de Suelos (2022) propone, que para reducir el riesgo de deslizamientos y brindar una mejor seguridad, se presentan algunos métodos que podrían contribuir con esto:

- Aplanar la pendiente de sobrecarga;
- Cortar las partes que contienen material rocoso inestable;
- Escalado de materiales con bloques sueltos;
- Mejorar el drenaje y agregar orificios de drenaje;
- Taconamiento;
- Anclaje de rocas en juntas para evitar movimientos;
- Adaptación de muros de hormigón o mampostería, diseñados con drenaje;
- Zanjas de roca en la parte inferior de las laderas;
- Brindar seguridad mediante vallas, bermas, barreras, red de mallas y muros para evitar que el material llegue a la carretera; y
- Agregar en el transcurso de la vía, señales de precaución ante zonas con riesgo de desprendimiento de rocas. (pp. 6, 7)

### 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Análisis de estabilidad de taludes:** proceso en el que se evalúan cuantitativamente la interacción entre las fuerzas estabilizantes o resistentes y las fuerzas desestabilizantes o movilizantes que actúan sobre un talud. (CE.020)
- **Deslizamientos:** movimiento ladero debajo de una masa de suelo o roca, cuyo desplazamiento ocurre a lo largo de una superficie de falla o de zonas relativamente delgadas con una constante deformación. (CE.020)
- **Estabilidad de los taludes:** Solución geotécnica integral que se implementa en un talud, sea de terraplén, de excavación, de corte, natural u otros, capaz de incorporarle equilibrio suficiente y sostenible, que atienda los criterios gravitatorios y sísmicos, medidos por factores de seguridad, sin afectar negativamente a su entorno. (CE.020)
- **Factores que afectan la estabilidad de los taludes:** factores internos o externos que actúan sobre los suelos, modificando sus características, propiedades y las condiciones de equilibrio del talud o ladera, desencadenando la inestabilidad de estos. (Redacción GeoQuantics, 2019)
- **Ladera:** Perfil natural que sigue la topografía del suelo en contacto con la atmosfera de manera vertical. (CE.020)
- **Movimiento en masa:** movimiento de una masa de roca, suelo, tierra, detritos o residuos ladera abajo. (CE.020)
- **Suelo:** agregados naturales de partículas minerales granulares y cohesivas separables por medio mecánicos de poca energía o por agitación de agua. (CE.020)
- **Talud:** perfil conseguido tras una excavación o terraplenado no necesariamente vertical, sino con cierto ángulo con la horizontal, llamado ángulo de talud. (CE.020)

## CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 3.1. UBICACIÓN

La presente investigación se realizó en la carretera CA-109 desde la progresiva Km 105+020 hasta el Km 106+280 que pertenece al sector Shururo, ubicado al noroeste del distrito de Celendín, a unos 20 minutos en vehículo.

Tabla 5. Coordenadas UTM del tramo en estudio

| <b>Coordenadas UTM WGS-84<br/>Zona 17 S</b> |              |
|---|--------------|
| <b>Punto inicial</b>                        | 813351.60 E  |
|   | 9244594.58 N |
| <b>Punto Final</b>                          | 814188.85 E  |
|   | 9243790.66 N |

### 3.2. ÉPOCA DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se realizó desde el mes de junio del 2023 hasta el mes de marzo del 2024.

### 3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Se llevó a cabo una investigación de tipo **descriptiva**, que tiene por finalidad realizar la observación e identificar de una manera ordenada cuales son los factores que afectan la estabilidad de los taludes ubicados en la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín - Cajamarca.

### 3.4. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

La investigación que se realizó es de nivel **cuantitativa**, debido al resultado que se obtendrá mediante una recopilación de datos.

### 3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Se realizó una investigación de diseño **no experimental**, ya que no se ha manipulado ninguna variable en el desarrollo de esta investigación.

### 3.6. POBLACIÓN DE ESTUDIO

La población de estudio está conformada por los 10 km de la carretera CA-109 perteneciente el sector Shururo, Celendín - Cajamarca, que a lo largo de su vía presentan fallas en sus taludes.

### 3.7. MUESTRA

La muestra de estudio se calculó con la siguiente ecuación:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * (1 - p)}{(N - 1) * \varepsilon^2 + Z_{\alpha}^2 * p * (1 - p)} \quad (3)$$

Donde:

- N: es la población; en nuestro caso son 10 000 metros de la carretera CA-109;
- $Z_{\alpha}$  a un nivel de confianza del 95%: 1.96;
- p: porcentaje de éxito: 0.50;
- $\varepsilon$ : El error estadístico se consideró 2.8%; y
- n: muestra probabilística de metros de la carretera CA-109 a estudiar.

Reemplazando:

$$n = \frac{10000 * 1.96^2 * 0.5 * (1 - 0.5)}{(10000 - 1) * 0.028^2 + 1.96^2 * 0.5 * (1 - 0.5)} \quad (3.1)$$
$$n \cong 1052.3 \text{ metros}$$

Por fórmula, se obtuvo una muestra de 1052.3 metros, considerando para esta investigación 1260 metros a estudiar, se elaboraron secciones transversales cada 140 metros, estudiando los taludes que los conforman para cada uno de estas secciones. Estas secciones son presentadas en la Tabla 6.

Tabla 6. Progresivas de las secciones de los taludes en estudio

| <b>Sección</b> | <b>Progresiva</b> |
|----------------|-------------------|
| 1-1            | Km 105+020        |
| 2-2            | Km 105+160        |
| 3-3            | Km 105+300        |
| 4-4            | Km 105+440        |
| 5-5            | Km 105+580        |
| 6-6            | Km 105+720        |
| 7-7            | Km 105+860        |
| 8-8            | Km 106+000        |
| 9-9            | Km 106+140        |
| 10-10          | Km 106+280        |

### **3.8. UNIDAD DE ANÁLISIS**

La unidad de análisis es el talud.

### **3.9. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Para determinar cuáles son los factores de tipo condicionantes y desencadenantes que afectan la estabilidad de los taludes ubicados en la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín - Cajamarca, se ha tomado como base la clasificación realizada por la Organización de Mecánica de suelos de Chile (2022). A continuación, en la Tabla 7 se presentan estos factores y los que han sido estudiados en esta investigación. Finalmente, se complementa esta información con una descripción de las técnicas, ensayos e instrumentos considerados para su desarrollo.

Tabla 7. Factores condicionantes y desencadenantes

| <b>FACTORES CONDICIONANTES</b>   |                              |
|--|------------------------------|
| <b>Relieve y geometría</b>   |                              |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Levantamiento topográfico y elaboración de secciones transversales.</li> <li>- Cálculo del ángulo de corte del talud.</li> </ul>              |                              |
| <b>Estratigrafía y litología</b>   |                              |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ensayo de mecánica de suelos.</li> </ul>  |                              |
| <b>Estructura geológica</b>  |                              |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reconocimiento de fallas y/o discontinuidades geológicas.<br/>(ortofoto e inspección visual)</li> </ul>                                       |                              |
| <b>Condiciones hidrogeológicas</b>   |                              |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Afloramiento de ojos de agua (ortofoto)</li> <li>- Cantidad de vegetación (ortofoto)</li> <li>- Ensayo de contenido de humedad</li> </ul>     |                              |
| <b>Efectos de meteorización</b>  | No se ha realizado estudios. |
| <b>Superficie freática</b>   | No se ha realizado estudios. |
| <b>Condiciones Geomecánica de los suelos</b>   |                              |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ensayo de clasificación de suelos.</li> <li>- Ensayo de corte directo.</li> <li>- Ángulo de fricción interna y cohesión del suelo.</li> </ul> |                              |
| <b>FACTORES DESENCADENANTES</b>  |                              |
| <b>Sobrecarga y cargas dinámicas</b>   | No se ha realizado estudios. |
| <b>Fuertes movimientos sísmicos</b>  | No se ha realizado estudios. |
| <b>Aumento de la presión del agua</b>  |                              |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cálculo del factor de seguridad</li> </ul>  |                              |
| <b>Precipitaciones y condiciones climáticas</b>  |                              |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Estudio del IGEMMENT</li> </ul>   |                              |
| <b>Condiciones antrópicas</b>  |                              |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema de drenaje y cunetas de coronación (Ortofoto)</li> </ul>  |                              |

### 3.9.1. Técnicas

- a. **Levantamiento Topográfico:** se obtuvieron las coordenadas y cotas de su ubicación; para posteriormente, elaborar los planos topográficos de la carretera CA-109 en el sector Shururo, Celendín - Cajamarca.
- b. **Nivelación con nivel de ingeniero:** se realizó la nivelación para tener las cotas de las secciones transversales y determinar el ángulo de corte de los taludes.
- c. **Observación e inspección visual:** se registró cada detalle de los taludes de la carretera CA-109 sector Shururo; tomando en cuenta para este registro, la presencia de fallas y/o discontinuidades geológicas, la existencia de zanjas de coronación, etc. Esta actividad ayudó a determinar los factores que afectan la estabilidad de los taludes en el tramo en estudio. Factores que posteriormente han sido identificados como factores condicionantes y desencadenantes.
- d. **Recolección de muestras para ensayos de mecánica de suelos:** la recolección de muestras se hizo según el procedimiento establecido para los ensayos de mecánica de suelos necesarios que ayuden a determinar los factores que afecten la estabilidad de los taludes.
- e. **Determinación del factor de seguridad:** se determinó el factor de seguridad de los taludes de la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín – Cajamarca, mediante su modelado en 2D en el software Slide V.5.0.
- f. **Elaboración de planos:** se elaboraron los planos topográficos, de nivelación y presentación de la ortofoto, con ayuda del software AutoCAD y Civil.

### 3.9.2. Ensayos de mecánica de suelos

Los resultados obtenidos de los ensayos de mecánica de suelos presentados en las siguientes viñetas, determinaron los factores que afectan la estabilidad de los taludes ubicados en la carretera CA-109, sector Shururo. Los cuales han sido posteriormente identificados como factores condicionantes.

- a. **Ensayo de clasificación de suelos:** se hizo para determinar el tipo de suelo que compone los taludes de la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín – Cajamarca.
- b. **Ensayo de contenido de humedad:** se hizo para determinar la cantidad de agua que contiene el suelo que compone los taludes de la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín – Cajamarca.
- c. **Ensayo de corte directo:** se hizo para determinar el ángulo de fricción interna del suelo que compone los taludes de la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín – Cajamarca.
- d. **Ensayo de cohesión:** se hizo para determinar la magnitud de las fuerzas internas que mantienen unido al suelo que compone los taludes de la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín – Cajamarca.

### 3.9.3. Instrumentos

#### **Equipos para trabajos topográficos:**

- Dron DJI Matrice 350 RTK con sensor Lidar ZENMUSE L1;
- GPS Diferencial Trimble R12i; y
- Nivel Automático SOKKIA Modelo C28.

*(Los certificados de calibración de los equipos topográficos se presentan en el Anexo B)*

### **Instrumentos, material para la inspección de campo:**

- Brújula Brunton azimutal;
- Wincha de 50m y 8m;
- Celular, para el registro fotográfico; y
- EPPS.

### **Softwares computacionales:**

- Software Slide V.5.0: Software para el modelamiento y análisis de estabilidad de taludes.
- Softwares para la elaboración de planos: AutoCAD, Civil.
- Microsoft Office.

## **3.10. PROCEDIMIENTO**

### **3.10.1. Trabajo de campo**

#### **3.10.1.1. Reconocimiento del sector Shururo**

Se realizó una visita de campo previa al desarrollo de esta investigación con la finalidad de hacer un reconocimiento de los taludes de la carretera CA – 109 sector Shururo y ver las fallas que presentan.

#### **3.10.1.2. Levantamiento topográfico**

Se realizó la monumentación de un hito con concreto y una varilla de fierro de 1/2”, con ayuda de un GPS diferencial. Se procedió a tomar lecturas en modo estático de este hito por un lapso de 3 horas con 30 minutos, obteniendo una data nativa, se adquirió la data de la estación de rastreo permanente de Cajamarca (CJ01) de fecha 1 de enero del 2024, con ambas datas tanto la nativa y la data de la ERP se realizó un post proceso. Con el formulario de la información de la estación GNSS de rastreo permanente de Cajamarca, que contiene información relevante de dicha estación; y,

empleando las coordenadas geodésicas, se procesó todo esto en el software Trimble Business Center, generándose una línea base, la cual con el uso de efemérides precisas se obtiene las coordenadas del hito monumentado, con una precisión horizontal de 0.005 m y una precisión vertical de 0.015 m.

También, se realizó una ruta de vuelo en formato KMZ el cual seguirá el dron, con las coordenadas obtenidas del procesamiento de la línea base, se procedió a realizar el estacionamiento con la estación DJI D-RTK 2 en el hito monumentado, enviando correcciones en tiempo real al dron. Seguidamente, se procedió a instalar sensor Lidar Zenmuse L1 en dron Matrice 350 RTK, con una precisión de posicionamiento horizontal de 1 cm + 1 ppm y una precisión de posicionamiento vertical de 1.5 cm + 1ppm, se revisó las baterías y se ejecutó la ruta de vuelo. Finalmente, se escaneó el terreno y se obtuvo una nube densa de puntos, los que fueron procesados y brindaron información valiosa de la topografía de la zona. El levantamiento topográfico se realizó en dos fechas siendo estas 1 de enero del 2024 realización de monumento de concreto y lectura de este punto, 6 de enero del 2024 vuelo de dron.

### **3.10.1.3. Nivelación con nivel de ingeniero**

Esta actividad se basó en realizar las mediciones de las secciones transversales con la finalidad de obtener cotas del seccionamiento cada 140 metros de la carretera; iniciando en la progresiva Km 105+020 y finalizando en la progresiva Km 106+280, para luego graficarlos y poder determinar el ángulo de corte de los taludes. Con los valores obtenidos para el ángulo de corte, se podrá determinar si este es un factor condicionante al ser parte de las propiedades de relieve y geometría de los taludes.

#### **3.10.1.4. Observación e inspección visual**

Se recaudó información realizando una inspección visual de los taludes en estudio de la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín – Cajamarca; con el fin de determinar cuáles son los factores que afectan la estabilidad de los taludes ubicados en la carretera CA-109 sector Shururo, mediante la determinación de la existencia de fallas y/o discontinuidades geológicas, de zanjas de coronación, la cantidad de vegetación y si las cunetas cuentan o no con mantenimiento. Los factores hallados, han sido clasificados según su tipo, condicionantes y desencadenantes.

#### **3.10.1.5. Recolección de muestras para ensayos de mecánica de suelos**

Se recolectaron 02 muestras de suelo para poder realizar los ensayos de mecánica de suelos y obtener los resultados de los parámetros que ayudaron a determinar cuáles son los factores que afectan la estabilidad de los taludes ubicados en este tramo en estudio.

### **3.10.2. Trabajo de laboratorio**

#### **3.10.2.1. Clasificación del tipo de suelo**

Se determinó el tipo de suelo de los taludes y con ello se concluyó si este es un factor condicionante que afecta la estabilidad de los taludes de la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín – Cajamarca.

#### **3.10.2.2. Contenido de humedad del suelo**

Se determinó la cantidad de agua en el suelo de los taludes mediante el ensayo de contenido de humedad y con ello concluyó si este es un factor condicionante hidrogeológico que afecta la estabilidad de los taludes de la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín – Cajamarca.

### **3.10.2.3. Ángulo de fricción interna y cohesión del suelo**

Se determinó el ángulo máximo que soporta el suelo de los taludes sin desestabilizarse mediante el ensayo de corte directo y se comparó con el ángulo de corte de los taludes; para así determinar si este es un factor condicionante geomecánico que afecta la estabilidad de los taludes de la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín - Cajamarca.

### **3.10.3. Trabajo de gabinete**

#### **3.10.3.1. Determinación de los factores que afectan la estabilidad de los taludes de la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín – Cajamarca**

Con los datos obtenidos en campo mediante los diferentes métodos de recolección de datos y los ensayos, se determinó cuáles son los factores que afectan la estabilidad de los taludes ubicados en la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín – Cajamarca. A continuación, se presentan algunos factores que se han considerado más importantes para el desarrollo de esta investigación:

- **Cantidad de vegetación**

Este factor se determinó con inspección visual y con las ortofotos obtenidas con el dron. Teniendo en cuenta que, al tener más vegetación en las inmediaciones de los taludes, estos serán más estables. Considerándose un factor condicionante para la estabilidad de los taludes.

- **Mantenimiento de las cunetas**

Este factor es clave para mantener estable los taludes, mediante la observación, se determinó si este es un factor desencadenante antrópico que afecta

la estabilidad de los taludes de la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín – Cajamarca.

- **Presencia de fallas y/o discontinuidades geológicas**

Se determinó mediante la inspección visual para detectar la presencia de fallas y/o discontinuidades en los taludes de la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín – Cajamarca, y así determinar si es o no un factor condicionante geológico que afecta la estabilidad de estos.

**3.10.3.2. Determinación del factor de seguridad**

Se determinó el factor de seguridad, con ayuda del software Slide V.5.0, donde se realizó el modelado en 2D, con la información recaudada de los datos tomados en campo, las secciones transversales y los ensayos de mecánica de suelos realizados de la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín – Cajamarca. La metodología utilizada por este software para el cálculo de estabilidad, fue del equilibrio límite.

Si los valores obtenidos del cálculo de este factor de seguridad salen menores a 1, entonces existe aumento de presiones de agua; por lo tanto, se considera un factor desencadenante.

**3.10.4. Elaboración de planos**

Se elaboró los planos topográficos, de nivelación y la presentación de la ortofoto capturada por el dron.

### 3.11. RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

#### 3.11.1. Reconocimiento, observación e inspección visual

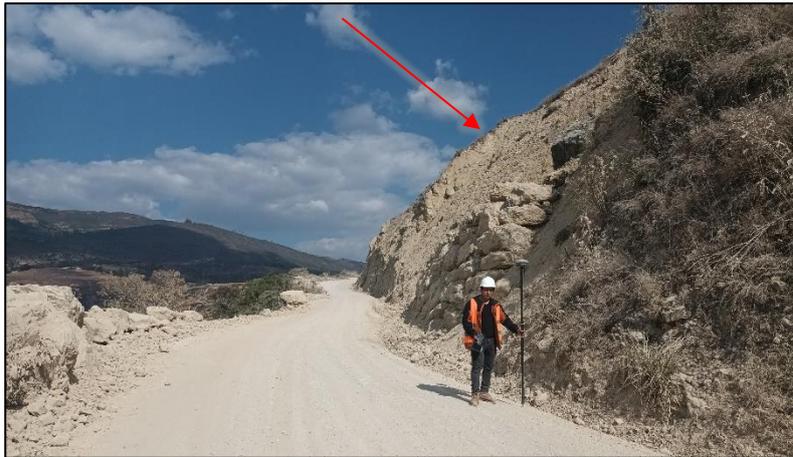
Se ha realizado una salida de campo la cual nos ha servido para recorrer el tramo en estudio comprendido entre las progresivas Km 105+020 al Km 106+280 perteneciente a la carretera CA-109 que pasa por el sector Shururo; este recorrido se realizó tanto por el eje de la carretera como de sus inmediaciones, con el fin de identificar, de una manera general y técnica, la presencia de fallas a lo largo de esta zona.

Mediante la inspección visual se determinó que, el tipo de movimiento de terreno que tiene este sector es el **deslizamiento**, ya que no presenta vuelcos de los taludes ni desprendimientos; tal y como se muestran en la Figura 14 y Figura 15. El desarrollo detallado de este apartado se presenta en el ítem 3.12 de presentación de resultados, según lo planteado en esta investigación.

Figura 14. Presencia de deslizamientos en los taludes de la carretera



Figura 15. Presencia de deslizamientos en los taludes de la carretera



### **3.11.2. Levantamiento topográfico**

Según lo establecido en el ítem 3.10.1.2, se realizó el levantamiento topográfico de la zona de influencia de la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín – Cajamarca. Las coordenadas geográficas tomadas del eje del tramo en estudio se adjuntan en el Apéndice B, al final de esta investigación. Los planos topográficos son presentados al final de este ejemplar.

### **3.11.3. Nivelación con nivel de ingeniero**

Según lo establecido en el ítem 3.10.1.3, se elaboró las secciones transversales del eje de la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín – Cajamarca. Los datos de las secciones transversales tomadas del eje del tramo en estudio se adjuntan en el Apéndice C, al final de esta investigación. Los planos de las secciones transversales son presentados al final de este ejemplar.

### **3.11.4. Recolección de muestras para ensayos de mecánica de suelos**

Se consideraron dos puntos para la recolección de muestras para los ensayos, una, donde los taludes presentan mayor inestabilidad; y otra zona, donde hay formaciones de roca suelta, con mayor ángulo de corte y presencia de fallas. Los

ensayos de mecánica de suelos han sido realizados en el laboratorio de ensayos HURTECO acreditado por INACAL, bajo los permisos de la institución.

Tabla 8. Ubicación de la muestra M-1

| <b>Coordenadas UTM WGS-84</b> |            |
|-------------------------------|------------|
| <b>Zona 17 S</b>              |            |
| <b>Este</b>                   | 813744.30  |
| <b>Norte</b>                  | 9244375.70 |

Tabla 9. Ubicación de la muestra M-2

| <b>Coordenadas UTM WGS-84</b> |            |
|-------------------------------|------------|
| <b>Zona 17 S</b>              |            |
| <b>Este</b>                   | 813839.60  |
| <b>Norte</b>                  | 9244416.70 |

### 3.11.5. Determinación del factor de seguridad

Tabla 10. Datos para el modelamiento en el software Slide (Unidades del S.I.)

| <b>Sección</b> | <b>Ángulo de fricción interna (<math>\Phi</math>)</b> | <b>Cohesión c (kg/cm<sup>2</sup>)</b> | <b>Peso volumétrico (kg/cm<sup>3</sup>)</b> |
|----------------|---|---------------------------------------|---|
| 1-1            | 25.64°  | 0.730                                 | 0.897                                       |
| 2-2            | 45.00°  | 0.720                                 | 0.901                                       |
| 3-3            | 25.64°  | 0.730                                 | 0.897                                       |
| 4-4            | 25.64°  | 0.730                                 | 0.897                                       |
| 5-5            | 45.00°  | 0.720                                 | 0.901                                       |
| 6-6            | 32.21°  | 0.717                                 | 0.897                                       |
| 7-7            | 32.21°  | 0.717                                 | 0.897                                       |
| 8-8            | 32.21°  | 0.717                                 | 0.897                                       |
| 9-9            | 45.00°  | 0.720                                 | 0.901                                       |
| 10-10          | 45.00°  | 0.720                                 | 0.901                                       |

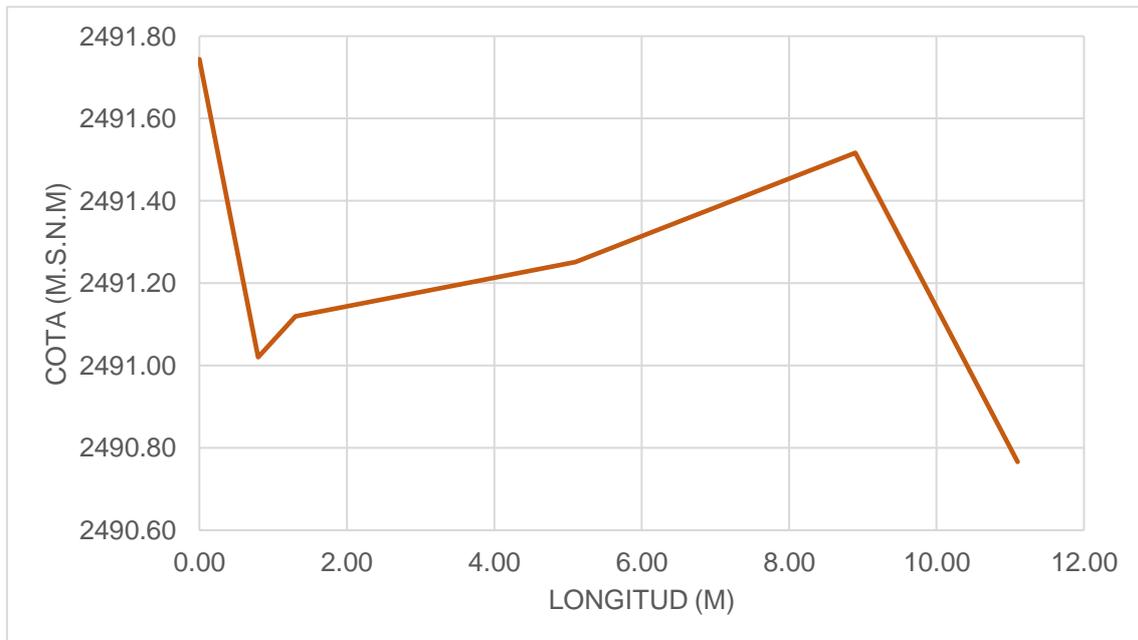
Tabla 11. Datos para el modelamiento en el software (Unidades del Slide V.5.0.)

| Sección | Ángulo de fricción interna ( $\Phi$ ) | Cohesión c (KN/m <sup>2</sup> ) | Peso volumétrico (KN/m <sup>3</sup> ) |
|---------|---------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| 1-1     | 25.64°                                | 71.58                           | 8796.57                               |
| 2-2     | 45.00°                                | 70.60                           | 8835.79                               |
| 3-3     | 25.64°                                | 71.58                           | 8796.57                               |
| 4-4     | 25.64°                                | 71.58                           | 8796.57                               |
| 5-5     | 45.00°                                | 70.60                           | 8835.79                               |
| 6-6     | 32.21°                                | 70.31                           | 8796.57                               |
| 7-7     | 32.21°                                | 70.31                           | 8796.57                               |
| 8-8     | 32.21°                                | 70.31                           | 8796.57                               |
| 9-9     | 45.00°                                | 70.60                           | 8835.79                               |
| 10-10   | 45.00°                                | 70.60                           | 8835.79                               |

### 3.12. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

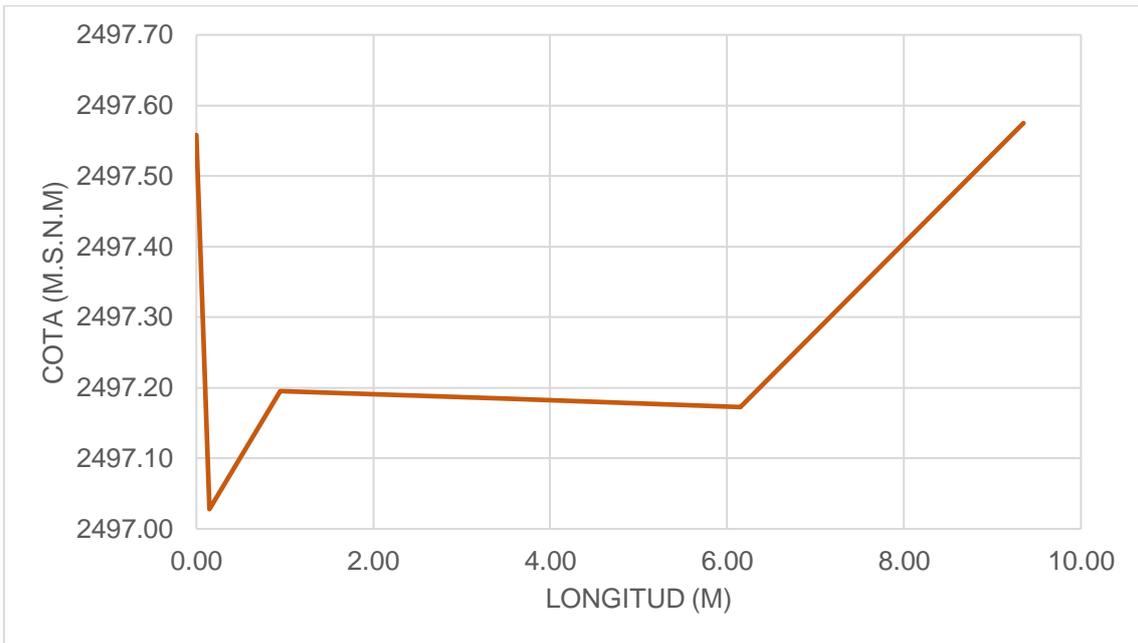
#### 3.12.1. Nivelación con nivel de ingeniero

Figura 16. Sección transversal N°1



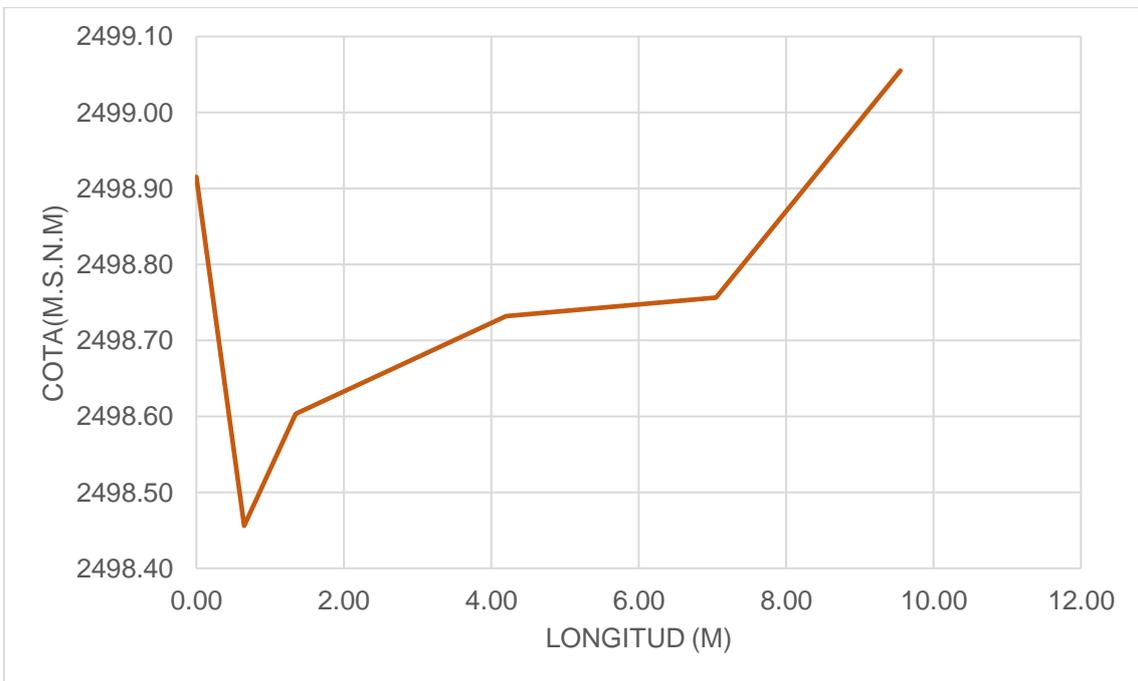
➤ El ángulo de corte en la sección transversal N°1 es: **42.10°**

Figura 17. Sección transversal N°2



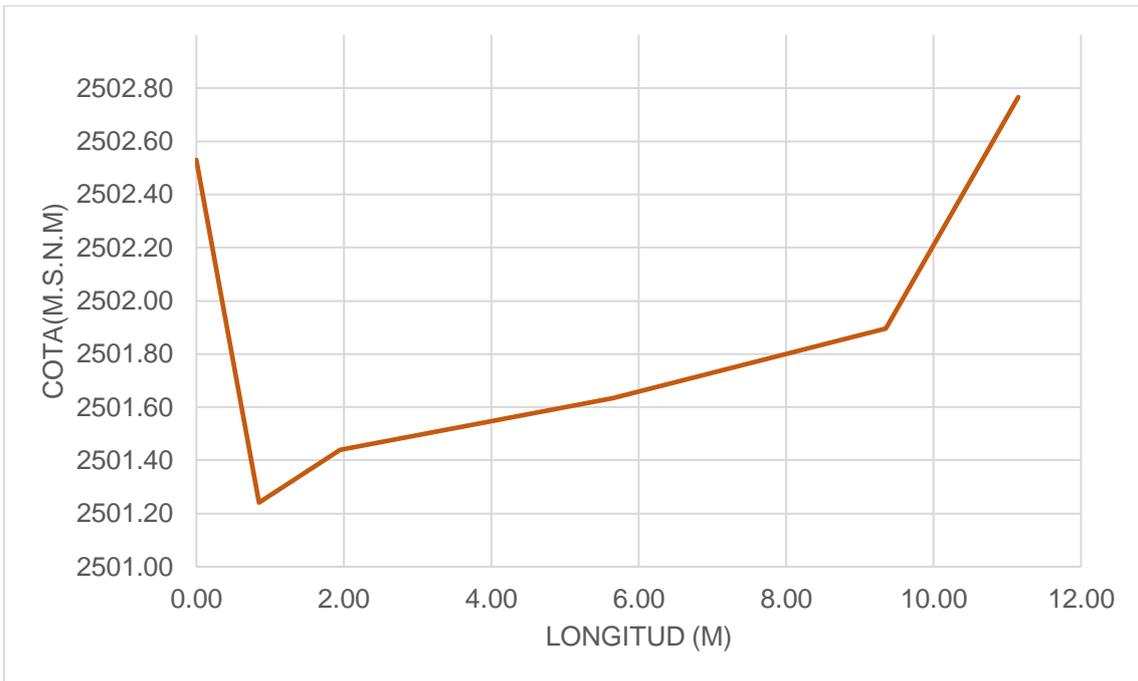
➤ El ángulo de corte en la sección transversal N°2 es: **74.20°**

Figura 18. Sección transversal N°3



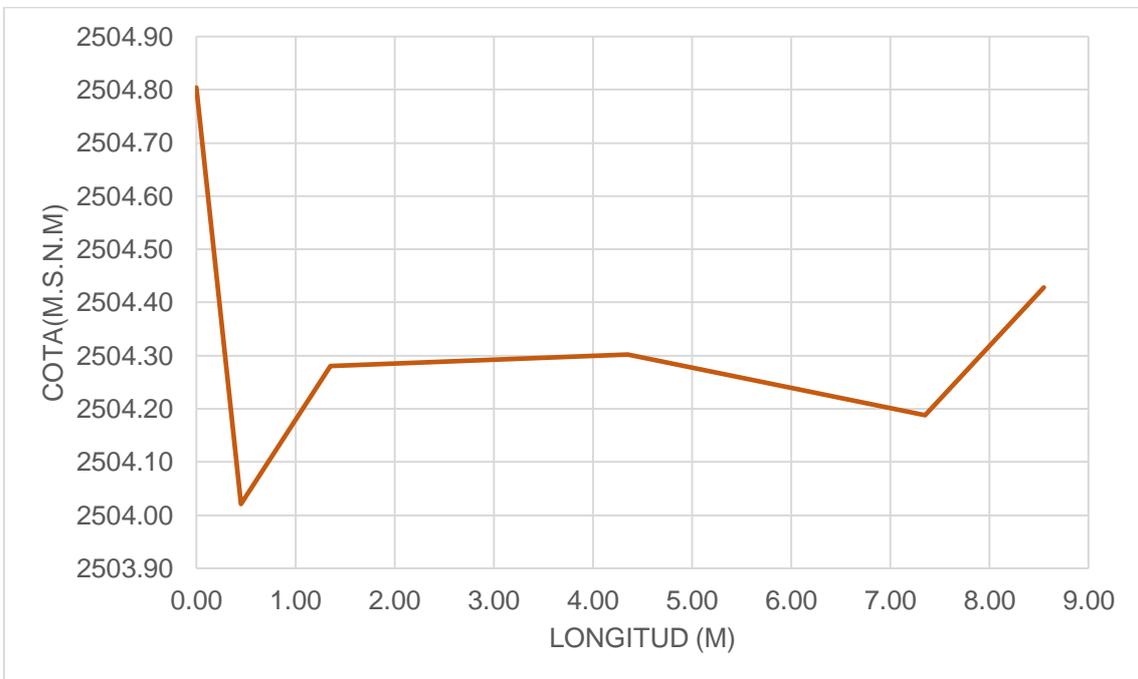
➤ El ángulo de corte en la sección transversal N°3 es: **35.20°**

Figura 19. Sección transversal N°4



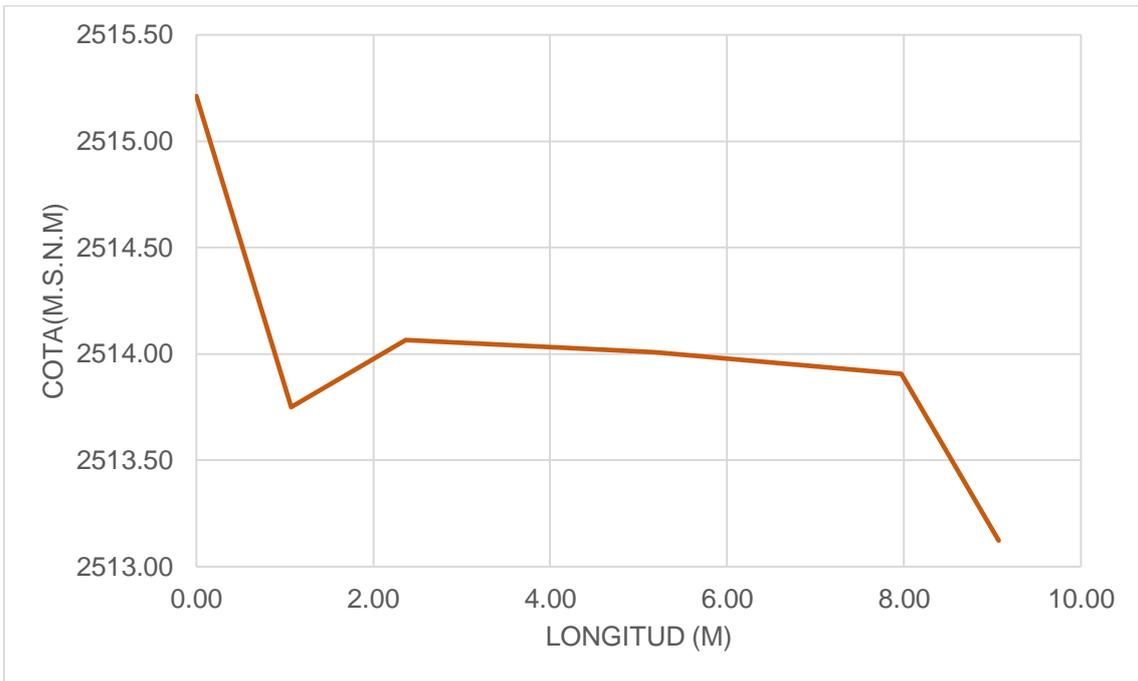
➤ El ángulo de corte en la sección transversal N°4 es: **56.60°**

Figura 20. Sección transversal N°5



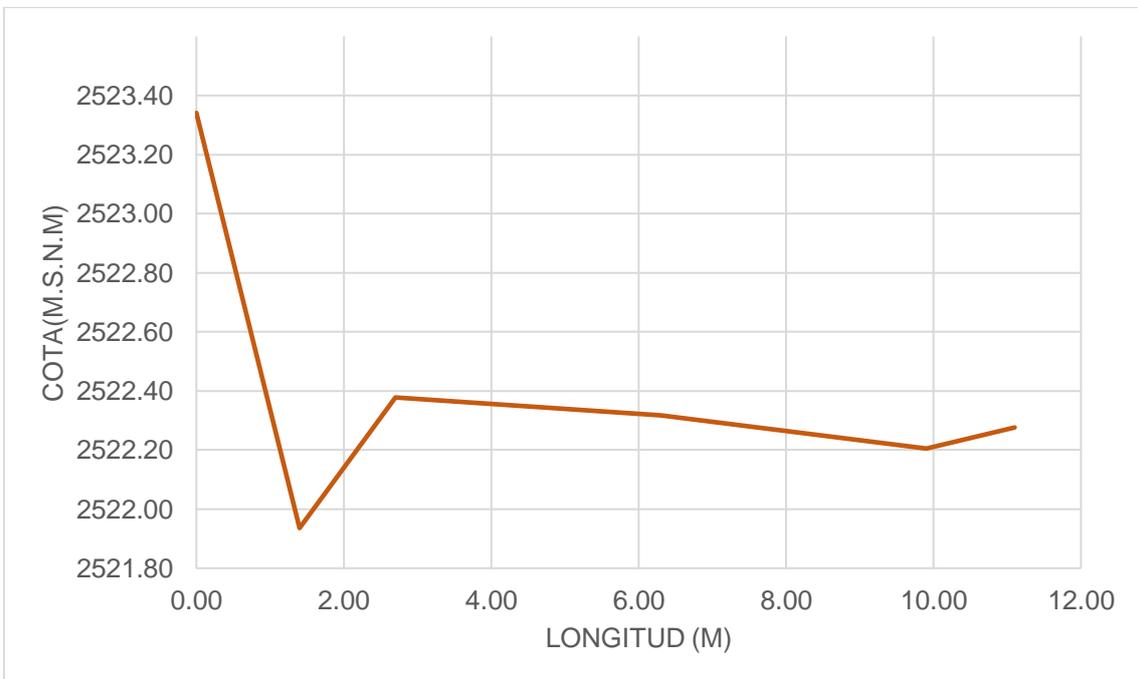
➤ El ángulo de corte en la sección transversal N°5 es: **60.10°**

Figura 21. Sección transversal N°6



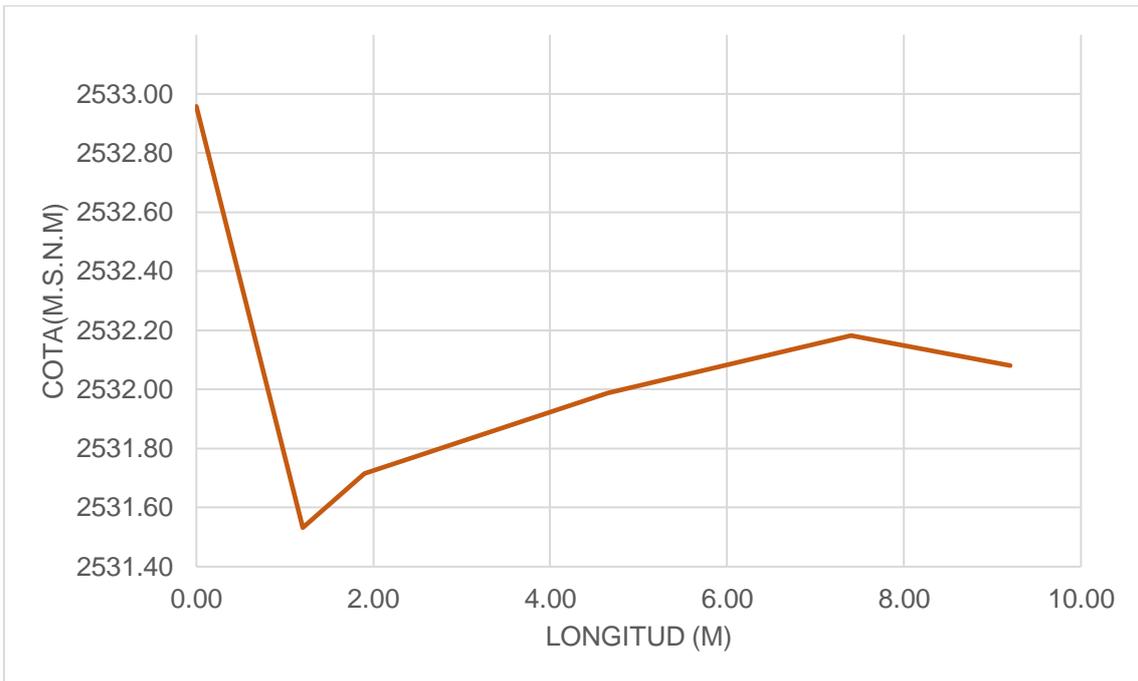
➤ El ángulo de corte en la sección transversal N°6 es: **53.80°**

Figura 22. Sección transversal N°7



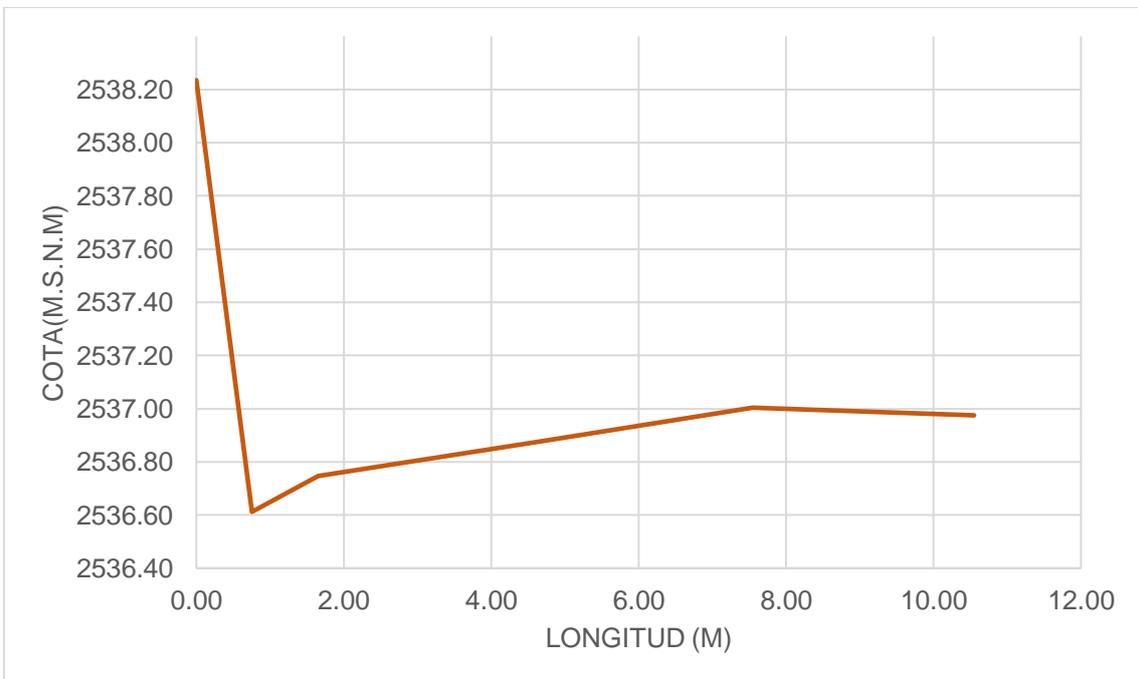
➤ El ángulo de corte en la sección transversal N°7 es: **45.10°**

Figura 23. Sección transversal N°8



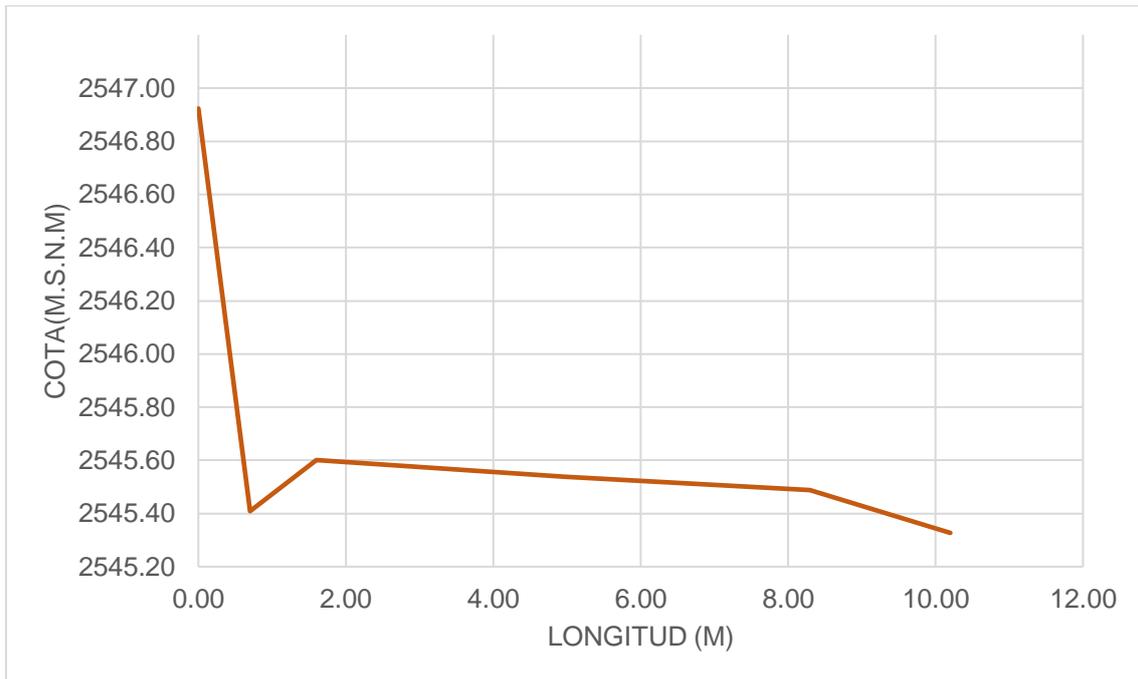
➤ El ángulo de corte en la sección transversal N°8 es: **49.90°**

Figura 24. Sección transversal N°9



➤ El ángulo de corte en la sección transversal N°9 es: **64.30°**

Figura 25. Sección transversal N°10



➤ El ángulo de corte en la sección transversal N°10 es: **65.20°**

De la elaboración de las secciones transversales, en la Tabla 12 se presenta un resumen de los ángulos de corte de los taludes para cada sección estudiada.

Tabla 12. Ángulos de corte de los taludes de las secciones transversales

| Sección | Ángulo de corte del talud |
|---------|---------------------------|
| 1-1     | 42.10°                    |
| 2-2     | 74.20°                    |
| 3-3     | 35.20°                    |
| 4-4     | 56.60°                    |
| 5-5     | 60.10°                    |
| 6-6     | 53.80°                    |
| 7-7     | 45.10°                    |
| 8-8     | 49.90°                    |
| 9-9     | 64.30°                    |
| 10.10   | 65.20°                    |

### 3.12.2. Determinación de los factores que afectan la estabilidad de los taludes de la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín – Cajamarca.

#### 3.12.2.1. Cantidad de vegetación

Mediante la inspección visual realizada en la visita a campo, se determinó que hay un sector con vegetación densa (Figura 26), específicamente donde se encuentra un ojo de agua. En este sector se observó que a pesar de la abundante cantidad de agua que escurre por sus inmediaciones, los taludes son estables producto de la presencia de vegetación, donde la raíz de los árboles grandes ayuda a que el terreno sea menos propenso a los deslizamientos. Lo que no sucede en otros sectores, ya que presentan vegetación de arbustos que no tienen raíces profundas.

En la Figura 27, se observa la diferencia enmarcada entre dos sectores uno de amarillo donde existe abundante vegetación con taludes estables; y otra de rojo, con ausencia de vegetación y taludes inestables con presencia de deslizamientos.

Figura 26. Sector del ojo de agua con alta presencia de vegetación

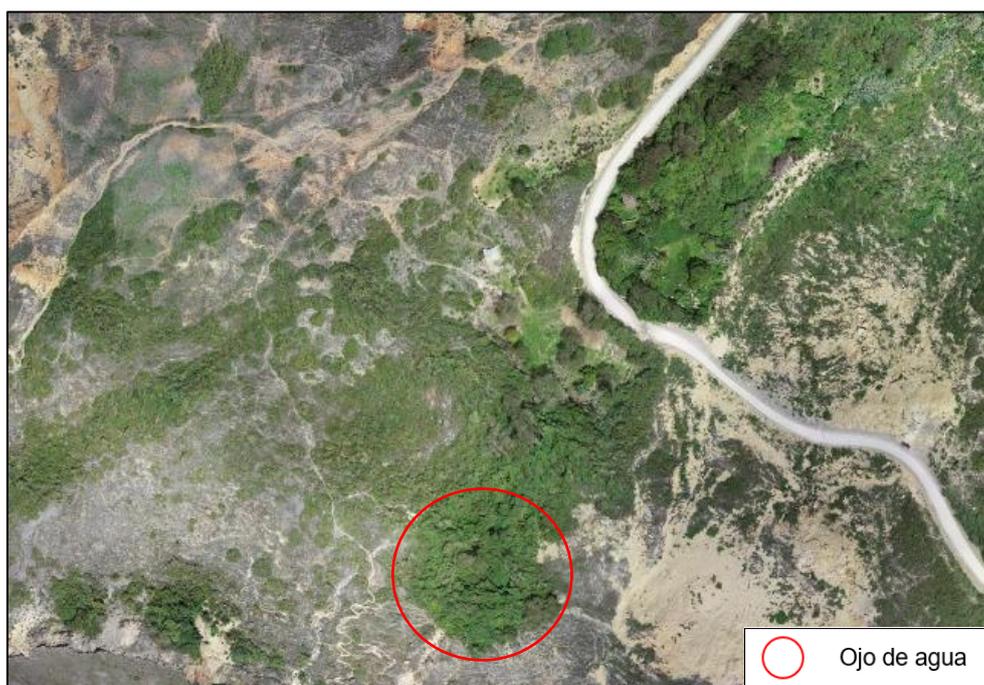
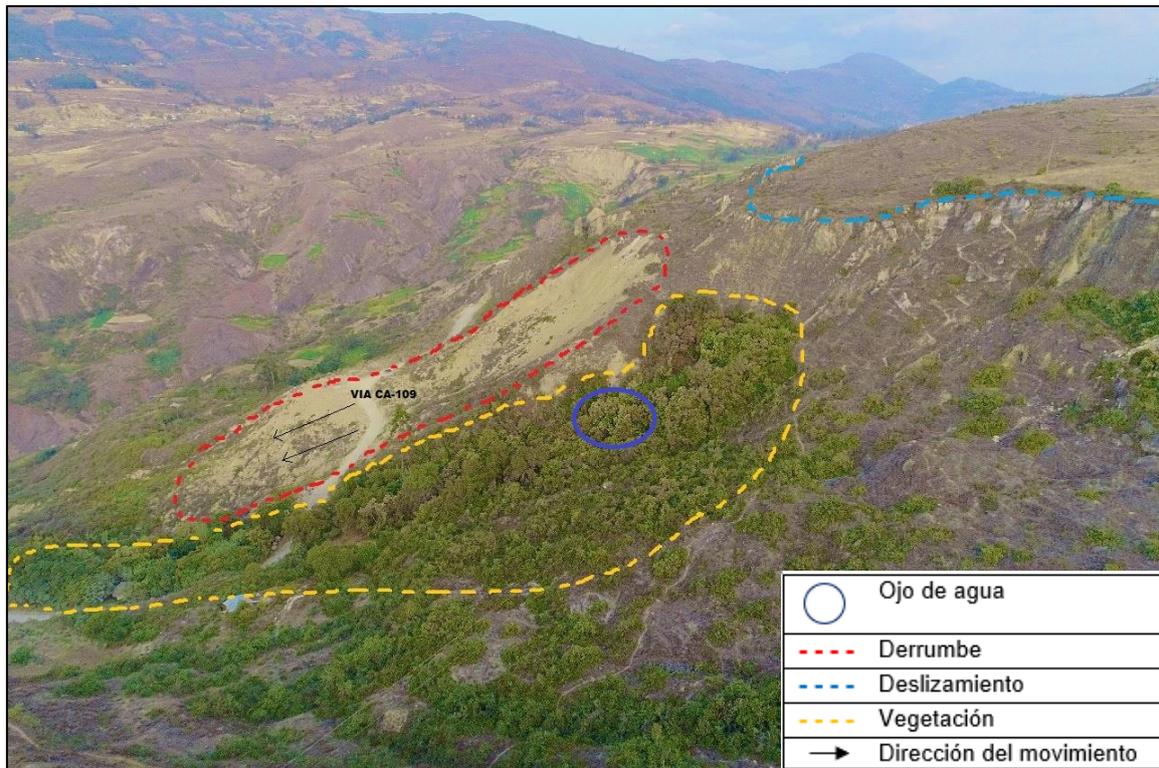


Tabla 13. Coordenadas del sector del ojo de agua

| Coordenadas UTM WGS-84<br>Zona 17 S |              |
|-------------------------------------|--------------|
| Este                                | 813786.1027  |
| Norte                               | 9244188.1343 |

Figura 27. Diferencias entre la cantidad de vegetación en el sector Shururo



### 3.12.2.2. Mantenimiento de las cunetas

De la visita realizada en campo se ha observado de manera general el sistema de drenaje, encontrando que las cunetas no cuentan con el diseño adecuado según las secciones típicas; además de esto, no cuentan con ningún tipo de mantenimiento periódico y no son continuas a lo largo de este tramo. Sumado a esto, no cuentan con badenes que ayude a drenar el agua de la parte de la ladera a la parte inferior de la

carretera, lo que genera que el agua de lluvia no tengo un correcto flujo, inundando toda la calzada provocando fallas en esta zona. (Ver Figura 28)

Figura 28. Presencia de cuneta sin mantenimiento



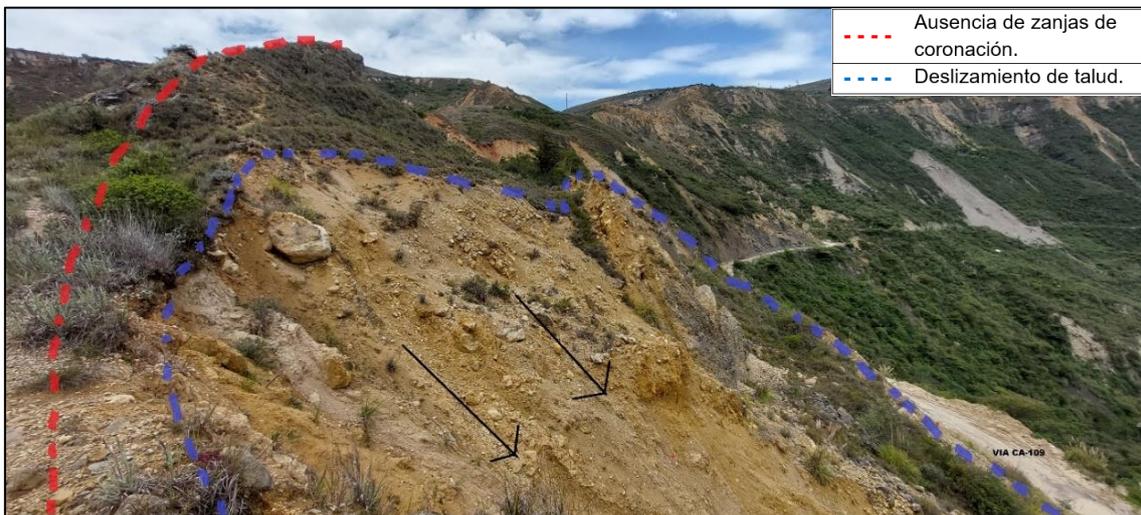
### 3.12.2.3. Ausencia de zanjas de coronación

No existe drenes de coronación en las partes altas de los taludes evaluados, esto ocasiona que los taludes de algunos sectores colapsen ya que existen filtraciones de agua superficial desde la parte alta aumentando el peso de las masas de suelo al ser saturadas y ocasionando deslizamientos. Por lo que las zanjas de coronación ayudan a la recolección de las aguas superficiales, captando las escorrentías ya sea de las laderas o las de la cuenca de drenaje de sobre el talud, estas aguas son desviadas a quebradas cercanas y así evitando su infiltración en los taludes. (Ver Figura 29, Figura 30)

Figura 29. Ausencia de zanjas de coronación



Figura 30. Ausencia de zanjas de coronación en la parte superior de los taludes



#### 3.12.2.4. Presencia de fallas y/o discontinuidades geológicas

A 200 metros hacia la parte alta de la carretera del tramo considerado en este estudio, se encontró una falla geológica regional que atraviesa todo este sector. En campo se ha determinado el tipo de falla, su buzamiento y orientación.

Tabla 14. Ubicación y descripción de la falla geológica regional

| Ubicación    | Tipo de falla | Buzamiento | Orientación |
|--------------|---------------|------------|-------------|
| 813679.48 E  | Normal        | NE 85.40°  | N 54.6° O   |
| 9244074.84 N |               |            |             |
| 813983.17 E  |               | NE 71.80°  | N 44.3° O   |
| 9243941.70 N |               |            |             |

Según el Informe Técnico N° A7311, el sector Shururo presenta movimientos en masa por la presencia de suelos con geoformas coluvio-deluviales, cubiertos por calizas y lutitas fracturadas. Además, de presentar la Formación Chulec. Reconociendo a esta zona por sus características litológicas, geomorfológicas y geodinámicas, zona crítica y de peligro muy alto ante estos movimientos en masa. (INGEMMET, 2022)

Figura 31. Vista de la falla tomada por el dron



Figura 32. Medida de rumbo y buzamiento



Figura 33. Presencia de grietas debido a la falla



### 3.12.3. Ensayos de mecánica de suelos

El procesamiento de datos para los ensayos realizados para esta investigación, se encuentran más a detalle en el Apéndice D. A continuación, se presenta los resultados obtenidos para cada ensayo.

### 3.12.3.1. Clasificación del tipo de suelo

En la Tabla 15 se presenta los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio con respecto a la clasificación del suelo.

Tabla 15. Clasificación del suelo

| Muestra | Análisis granulométrico |              |                         | Clasificación<br>S.U.C.S.            |
|---------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------------------------------|
|         | Grava<br>(%)            | Arena<br>(%) | Limos y<br>arcillas (%) |                                      |
| M - 1   | 29.3                    | 26.4         | 44.3                    | GC (Grava<br>arcillosa con<br>arena) |
| M - 2   | 35.5                    | 17.3         | 49.2                    |                                      |

### 3.12.3.2. Contenido de humedad del suelo

En la Tabla 16 se presenta los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio con respecto al contenido de humedad del suelo, teniendo en cuenta que la muestra se tomó en el mes de agosto, donde el terreno no estaba con su contenido de humedad al máximo.

Tabla 16. Contenido de humedad (%)

| Muestra | Contenido de humedad |
|---------|----------------------|
| M - 1   | 5.00 %               |
| M - 2   | 8.00 %               |

### 3.12.3.3. Ángulo de fricción interna del suelo

En la Tabla 17 se presenta los ángulos de fricción interna obtenidos de los ensayos de laboratorio con respecto al ensayo de corte directo.

Tabla 17. Ensayo de corte directo

| Muestra      | Ángulo de fricción interno $\phi$ |
|--------------|-----------------------------------|
| M - 1        | 32.21°                            |
| M - 2        | 25.64°                            |
| <b>Prom.</b> | <b>28.93°</b>                     |

### 3.12.3.4. Comparación del ángulo de fricción interna del suelo con el ángulo de corte del talud

Con los ángulos de corte obtenidos en las secciones transversales y las características propias de la zona identificadas en la inspección visual, se realizó la comparación de los valores para el ángulo de fricción interna y el ángulo de corte del talud.

Tabla 18. Comparación del ángulo de corte con el ángulo de fricción interna

| Sección | Ángulo de corte del talud | Ángulo de fricción interna ( $\Phi$ ) | Característica | Observación  |
|---------|---------------------------|---------------------------------------|----------------|--|
| 1-1     | 42.10°                    | 25.64°                                | Form. Rocosa   |  |
| 2-2     | 74.20°                    | 45.00°                                | Form. Rocosa   | Ángulo de corte del talud superior al que resiste el suelo; posible falla en la estabilidad del talud. |
| 3-3     | 35.20°                    | 25.64°                                | Suelo M-1      |  |
| 4-4     | 56.60°                    | 25.64°                                | Suelo M-1      |  |
| 5-5     | 60.10°                    | 45.00°                                | Suelo M-1      |  |
| 6-6     | 53.80°                    | 32.21°                                | Form. Rocosa   |  |
| 7-7     | 45.10°                    | 32.21°                                | Suelo M-2      |  |
| 8-8     | 49.90°                    | 32.21°                                | Suelo M-2      |  |
| 9-9     | 64.30°                    | 45.00°                                | Form. Rocosa   |  |
| 10-10   | 65.20°                    | 45.00°                                | Suelo M-2      |  |

*Nota: El valor del ángulo de fricción interna para las formaciones rocosas se han obtenido de Giordani y Lanzzone, 2020.*

### 3.12.4. Factor de seguridad de los taludes de la carretera CA-109

A continuación, se presenta el modelamiento realizado para la sección 3-3 de los taludes de la carretera CA-109, y en la Tabla 19 los factores de seguridad calculados para cada sección transversal, así como el promedio de estos. Los demás modelados son adjuntados en el Apéndice E.

Figura 34. Factor de seguridad del talud en la sección 3-3

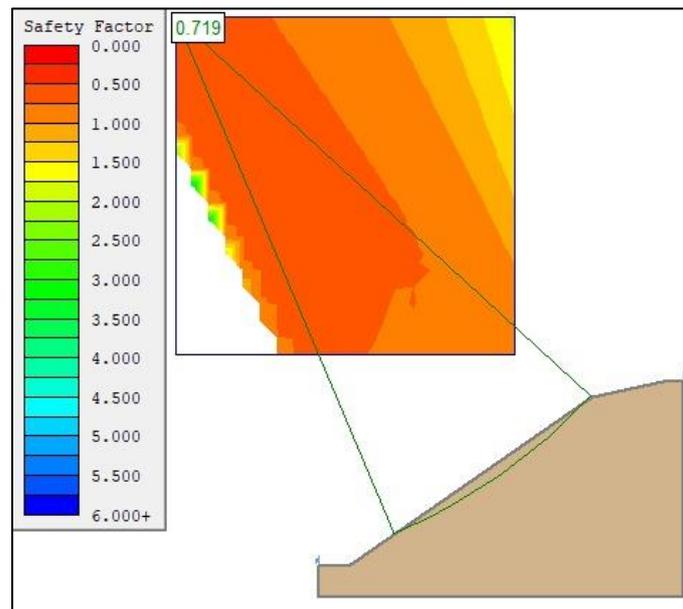


Tabla 19. Factor de seguridad de los taludes de la carretera CA-109

| Sección         | Factor de seguridad |
|-----------------|---------------------|
| 1-1             | 0.570               |
| 2-2             | 0.530               |
| 3-3             | 0.719               |
| 4-4             | 0.529               |
| 5-5             | 0.648               |
| 6-6             | 0.520               |
| 7-7             | 0.499               |
| 8-8             | 0.637               |
| 9-9             | 0.582               |
| 10-10           | 0.565               |
| <b>Promedio</b> | <b>0.580</b>        |

Finalmente, los factores encontrados que afectan la estabilidad de los taludes de la carretera CA-109, sector Shururo, fueron clasificados según su tipo, en condicionantes y desencadenantes, tal y como se aprecia en la Tabla 20.

Tabla 20. Clasificación de los factores que afectan la estabilidad de los taludes

| <b>Factor</b>   | <b>Tipo de factor</b> | <b>Modo de determinación</b>   |
|---|-----------------------|--|
| <b>Cantidad de vegetación</b>   | Condicionante         |  |
| <b>Sistema de drenaje</b><br>Ausencia de cunetas y zanjas de coronación                     | Desencadenante        | Inspección visual<br>Ortofoto  |
| <b>Fallas geológicas</b>  | Condicionante         |  |
| <b>Relieve y geometría</b><br>Ángulo de corte   | Condicionante         | Levantamiento topográfico<br>Ortofoto  |
| <b>Factores geomecánicos de los suelos</b><br>Clasificación del suelo, contenido de humedad | Condicionante         | Estudio de mecánica de suelos  |
| <b>Precipitaciones y condiciones climáticas</b>   | Desencadenante        | Precipitaciones con niveles de intensidad extremo y declarándose en estado emergencia el distrito de Celendín en el año 2022. (INGEMMET, 2022) |
| <b>Factores antrópicos</b><br>Afloramiento de ojos de agua                                  | Desencadenante        | Inspección visual<br>Ortofoto  |
| <b>Factor de seguridad</b>  | Desencadenante        | Software Slide V.5.0   |

## **CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **4.1. DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES QUE AFECTAN LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES UBICADOS EN LA CARRETERA CA-109 SECTOR SHURURO, CELENDÍN - CAJAMARCA**

#### **4.1.1. Cantidad de vegetación**

Como se describe en el ítem 3.12.2.1 y se aprecia en la Figura 26 y Figura 27, la presencia de una vegetación densa no es en todo el tramo, solo es un sector, específicamente en el ojo de agua. En la inspección de campo se observó que en este sector los taludes son estables, a pesar de contar con la presencia de agua. Encontrando una relación directa entre la estabilidad de los taludes con la cantidad y el tipo de vegetación que presenta en sus alrededores. Esto sucede porque las raíces de los árboles grandes afianzan al terreno. Por lo que se considera que la cantidad de vegetación es un factor que afecta la estabilidad de los taludes en la carretera CA-109 del sector de Shururo, considerándose de tipo condicionante.

Po otra parte, el afloramiento de ojos de agua, es considerado como factor condicionante hidrogeológico.

#### **4.1.2. Sistema de drenaje**

La importancia de un sistema de drenaje radica en conducir adecuadamente el agua de las lluvias a puntos de desemboque seguros, para así garantizar que estas escorrentías no afecten directamente a su alrededor. En el ítem 3.12.2.2, con respecto al mantenimiento de las cunetas, se presenta a detalle el ineficiente sistema de drenaje que tiene este tramo de la carretera CA-109, además en la visita de campo se observó que existe una relación directa entre el sistema de drenaje y la estabilidad de taludes, porque donde no cuentan con un adecuado sistema de drenaje, estas

aguas saturan el suelo del talud para luego hacerlo fallar, provocando deslizamientos en varias partes de este sector.

Según lo evidenciado en campo y expuesto en el ítem 3.12.2.3, en cuanto al drenaje superior de la carretera (zanja de coronación), al no contar con este tipo de drenaje se saturan rápidamente los suelos aguas arriba del talud, provocando deslizamientos de la parte alta, por lo que también se considera que relación directa con la estabilidad de los taludes.

Considerando de una manera general, que el sistema de drenaje (mantenimiento de las cunetas y existencia de zanjas de coronación) es un factor que afecta la estabilidad de los taludes en la carretera CA-109 del sector de Shururo. Considerándose un factor antrópico de tipo desencadenantes

#### **4.1.3. Presencia de fallas y/o discontinuidades geológicas**

Como se aprecia en el ítem 3.12.2.4, este sector presenta una falla geológica regional que atraviesa la carretera CA-109; así mismo, en la Figura 31 y Figura 33 se aprecia que esta falla ha ocasionado grietas y deslizamientos en la parte superior de los taludes, por lo que se considera que existe una estrecha relación entre las fallas geológicas y la estabilidad de los taludes; considerando así que las fallas geológicas son un factor que afecta la estabilidad de los taludes en la carretera CA-109 del sector de Shururo. Considerándose un factor geológico de tipo condicionante.

##### **4.1.3.1. Ángulo de corte del talud y ángulo de fricción interna del suelo**

En la Tabla 18, se aprecia que el ángulo de corte del talud es superior al ángulo de fricción interna del suelo (el ángulo máximo que resiste el terreno al corte), por lo que en la carretera CA-109 en el sector Shururo no se ha tenido en cuenta esta consideración que es clave para la estabilidad de los taludes. Ya que, al darle un

ángulo de corte mayor a los indicados ocasiona deslizamiento de los taludes. Se determinó así que, el ángulo de corte es un factor que afecta la estabilidad de los taludes en la carretera CA-109 del sector de Shururo. Considerándose factores de tipo condicionantes por su relieve y geometría; y geomecánico, por las condiciones del ángulo de fricción interna del suelo.

#### **4.1.3.2. Clasificación del tipo de suelo**

De la Tabla 15 se tiene que el tipo de suelo que conforman los taludes en el tramo estudiado, es grava arcillosa con arena. Este tipo de suelo por sus características tiende a deslizarse con más facilidad que otros tipos de suelos. En la visita de campo se pudo observar deslizamientos pequeños de piedras ya arena de los taludes hacia la carretera. Siendo así este un factor que afecta la estabilidad de los taludes en la carretera CA-109 del sector de Shururo. Considerándose un factor de tipo condicionante, al ser factores geomecánicas del suelo.

#### **4.1.3.3. Contenido de humedad del suelo**

En la Tabla 16 se tiene los resultados del laboratorio con respecto al ensayo de contenido de humedad, arrojando 5% y 8% de contenido de humedad en el suelo, como se sabe mientras el suelo más saturado se encuentre, este tendrá mayor peso específico y menos estabilidad ya que tiende a hacerse fangoso. Lo que ocasiona que los taludes tiendan a fallar. Con estas consideraciones se tiene que el contenido de humedad es un factor que afecta la estabilidad de los taludes en la carretera CA-109 del sector de Shururo. Considerándose un factor de tipo condicionante, al ser factores geomecánicas e hidrogeológico del suelo.

#### **4.1.3.4. Precipitaciones y condiciones climáticas**

La zona en estudio, según el Informe Técnico N° A7311, y el ítem 2.2.7.1; se determinó así que, las precipitaciones y las condiciones climáticas son un factor que afecta la estabilidad de los taludes en la carretera CA-109 del sector de Shururo. Considerándose un factor desencadenante.

#### **4.2. TIPOS DE MOVIMIENTOS PRESENTES EN LOS TALUDES UBICADOS EN LA CARRETERA CA-109 SECTOR SHURURO, CELENDÍN – CAJAMARCA**

En el ítem 3.11.1, mediante la inspección visual y la ortofoto capturada por el dron, se ha podido identificar que en el tramo en estudio solo se han originado deslizamientos, no presentando otros tipos de movimientos.

#### **4.3. TIPO DE SUELO QUE CONFORMAN LOS TALUDES UBICADOS EN LA CARRETERA CA-109 SECTOR SHURURO, CELENDÍN – CAJAMARCA**

Según los ensayos de mecánica de suelos, se ha identificado que el tipo de suelo que conforma a los taludes de la carretera CA-109 sector Shururo, según la clasificación de la S.U.C.S. es de tipo GC (Grava arcillosa con arena), siendo un suelo no cohesivo, que afecta la estabilidad de los taludes. Considerándose un factor geomecánico condicionante.

#### **4.4. ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA DEL SUELO DE LOS TALUDES UBICADOS EN LA CARRETERA CA-109 SECTOR SHURURO, CELENDÍN – CAJAMARCA**

Mediante el ensayo de corte directo, y los datos presentados en la Tabla 17 se tiene que para la muestra M-1, se tiene un ángulo de fricción interna de  $32.21^\circ$  y para el M-2, un ángulo de fricción interna de  $25.64^\circ$ , obteniendo un promedio de  $28.93^\circ$ . Identificando que el ángulo de corte del talud es superior al que resiste el suelo, por

lo que es posible la presencia de fallas. Considerado un factor condicionante geomecánico.

#### **4.5. FACTOR DE SEGURIDAD DE LOS TALUDES DE LA CARRETERA CA-109**

En la Tabla 19 se presentan los valores obtenidos para el factor de seguridad de los taludes de la carretera CA-109 del sector Shururo, arrojando un promedio de 0.580, indicando que es un talud inestable según lo presentado en la Tabla 1. Considerado un factor desencadenante.

#### **4.6. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

Finalizando la presente investigación, se contrastó nuestras hipótesis: "Los factores que afectan la estabilidad de los taludes ubicados en la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín - Cajamarca son de tipo condicionantes y desencadenantes", aceptando la hipótesis.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- Los factores que afectan la estabilidad de los taludes ubicados en la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín - Cajamarca, son factores de tipo condicionantes y desencadenantes.
- Los factores condicionantes que afectan la estabilidad de los taludes ubicados en la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín – Cajamarca; son la cantidad de vegetación, la presencia de fallas geológicas, factores geomecánicos del suelo (clasificación del tipo de suelo, contenido de humedad) y los afloramientos de ojos de agua; y entre los factores desencadenantes, se tiene a las precipitaciones, condiciones climáticas, el sistema de drenaje (ausencia de cunetas y zanjas de coronación) y el factor de seguridad.
- Se ha identificado que en el tramo estudiado de la carretera CA-109 del sector Shururo, Celendín - Cajamarca, el tipo de movimiento de terreno; es deslizamiento.
- El tipo de suelo que conforman los taludes de la carretera CA-109, según la clasificación S.U.C.S.; es de tipo GC (Grava arcillosa con arena).
- El ángulo de fricción interna del suelo que componen los taludes de la carretera CA-109; es en promedio  $28.93^\circ$ , siendo este el ángulo máximo que puede soportar el suelo a los cortes de terreno.
- El factor de seguridad promedio de los taludes de la carretera CA-109 del sector Shururo; es 0.580, indicando este valor que los taludes son inestables.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar estudios a nivel freático, estudios geofísicos, geomecánicos y sísmicos, para tener una mejor comprensión de los factores condicionantes y desencadenantes que conllevan a la inestabilidad de los taludes ubicados en la carretera CA-109 sector Shururo, Celendín – Cajamarca.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arcila, A., Guerra, D. A., & Bergaño, C. A. (2019). Diseño de taludes, muros y estructura de pavimentos Urbanización Municipio de Fredonia. (*Seminario Geotecnia Vial*). Universidad Cooperativa de Colombia, Medellín, Colombia.
- Bautista, A. E., & Izquierdo, E. F. (2020). Análisis de los factores detonantes para controlar la inestabilidad de talud en el distrito de Tumbadén – Cajamarca, 2020. (*Tesis de Grado*). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.
- Breña, V. C. (2019). Estabilidad de taludes de la carretera longitudinal de la sierra; tramo Cochabamba-Cutervo-Chiple, Cajamarca-Perú. (*Tesis de Posgrado*). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Carrión, A. C. (2019). Análisis y diseño de la estabilidad de talud en el sector Sausacocha - Pallar km. 8+000 al 9+000 provincia de Sánchez Carrión, departamento de La Libertad, 2017. (*Tesis de Grado*). Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, Lambayeque.
- García, C. (2020). *Análisis de estabilidad de taludes en suelos*. Barro 9.
- Gerscovich, D. M. (2016). *Estabilidad de taludes*. Brasil: Oficina de textos.
- Giordani, C., & Lanzone, G. (2020). Estabilidad de los macizos rocosos. En *Geología aplicada a la ingeniería civil y al medio ambiente*. Universidad Tecnológica Nacional.
- Guadalupe, A., Baragán, M., Morales, A., & Espinosa, J. (2018). Problemática en deslizamientos de taludes en centros poblados. *Unidad Académica de Ingeniería*, 34-38.

Huascupe, C. M. (2021). Estabilidad de taludes naturales empleando métodos convencionales, sector Llavini, Puno 2021". (*Tesis de Grado*). Universidad César Vallejo, Lima, Perú.

Ilustre Colegio de Geólogos. (17 de octubre de 2018). *SLIDE la mejor aplicación de estabilidad de taludes*. (España, Editor) Tierra y Tecnología: <https://www.icog.es/TyT/index.php/2016/10/slide-la-mejor-aplicacion-estabilidad-taludes/>

INGEMMET. (2022). *Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en las localidades de Shusuro, Yanasamana y Yanaquero*. Lima: Informe Técnico N°A7311.

Instituto Geológico y Minero de España - IGME. (1986). *Manual de Taludes*. Serie: Geotécnia.

Instituto Nacional de Vías. (1998). *Manual de estabilidad de taludes*. Santafé de Bogota, Colombia: Ministerio de Transportes.

Organización Mecánica de suelos. (24 de febrero de 2022). *Estabilidad de taludes ¿Que significa talud?* Organización Mecánica de suelos: <https://mecanicadesuelos.org/estabilidad-taludes/>

Pozo, V. C. (2021). Análisis de estabilidad de taludes de una extensión de 260 metros en la vía Papallacta Baeza, sector Cuyuja. (*Tesis de grado*). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

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 grado*). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, Nicaragua.

Rebaza, C. W. (2022). Evaluación de la estabilidad del talud de corte en la carretera que une los centros poblados Otuzco - Combayo, tramo: Km 02+500 - Km 6. (*Tesis de grado*). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.

Redacción GeoQuantics. (21 de octubre de 2019). *Factores que influyen en la estabilidad de taludes y laderas en suelo*. GeoQuantics: <https://geoquantics.com/2019/10/21/factores-influyen-la-estabilidad-taludes-laderas-suelo/#:~:text=Con%20respecto%20a%20los%20factores,la%20erosi%C3%B3n%20y%20los%20terremotos.>

Seguridad Minera. (30 de mayo de 2018). *Fallas que afectan la estabilidad de taludes*. Seguridad Minera: <https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/fallas-que-afectan-la-estabilidad-de-taludes/>

Tarrillo, M. R. (2018). Grado de estabilidad de los taludes críticos de la carretera Baños del Inca - Llacanora. (*Tesis de Grado*). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.

USGS. (2022 de setiembre de 2028). *¿Qué es un deslizamiento de tierra y qué lo causa?* USGS: <https://www.usgs.gov/faqs/what-landslide-and-what-causes-one>

## **NORMAS**

**NORMA CE.020.** Estabilización de Suelos y Taludes.

**NTP 339.171:2002** Método de ensayo normalizado para el ensayo de corte directo.

**NTP 339.135:1999 SUELOS.** Método para la clasificación de suelos para uso en vías de transporte.

**NTP 339.127:1998 SUELOS.** Métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1a. ed.

## APÉNDICE

### Apéndice A. Panel fotográfico de los trabajos en campo

Figura 35. Levantamiento topográfico – GPS diferencial



Figura 36. Escaneo con Sensor Lidar



Figura 37. Nivelación para la realización de las secciones transversales



Figura 38. Recolección de muestras para los ensayos



Figura 39. Presencia de falla en las inmediaciones de la carretera CA-109



Figura 40. Grietas generadas por las fallas



## Apéndice B. Levantamiento topográfico

Tabla 21. Coordenadas del eje del tramo en estudio

| <b>P</b> | <b>Este</b><br>(m) | <b>Norte</b><br>(m) | <b>Cota</b><br>(m) | <b>P</b> | <b>Este</b><br>(m) | <b>Norte</b><br>(m) | <b>Cota</b><br>(m) |
|----------|--------------------|---------------------|--------------------|----------|--------------------|---------------------|--------------------|
| 1        | 813351.60          | 9244594.58          | 2479.87            | 31       | 813900.32          | 9244355.35          | 2510.93            |
| 2        | 813367.49          | 9244584.58          | 2481.03            | 32       | 813874.09          | 9244320.70          | 2513.81            |
| 3        | 813388.50          | 9244571.92          | 2482.58            | 33       | 813857.27          | 9244301.76          | 2515.29            |
| 4        | 813405.47          | 9244563.54          | 2484.16            | 34       | 813843.32          | 9244283.20          | 2516.82            |
| 5        | 813421.78          | 9244554.72          | 2485.81            | 35       | 813833.40          | 9244267.01          | 2518.14            |
| 6        | 813432.61          | 9244545.42          | 2487.34            | 36       | 813827.79          | 9244245.08          | 2519.60            |
| 7        | 813438.38          | 9244531.66          | 2488.76            | 37       | 813830.92          | 9244227.35          | 2520.50            |
| 8        | 813443.52          | 9244493.58          | 2492.08            | 38       | 813849.49          | 9244211.94          | 2520.86            |
| 9        | 813447.13          | 9244481.96          | 2492.96            | 39       | 813865.61          | 9244203.37          | 2522.29            |
| 10       | 813462.31          | 9244460.46          | 2494.50            | 40       | 813895.06          | 9244182.68          | 2524.07            |
| 11       | 813481.24          | 9244438.03          | 2495.62            | 41       | 813919.91          | 9244166.69          | 2525.81            |
| 12       | 813511.35          | 9244426.57          | 2496.27            | 42       | 813940.45          | 9244162.04          | 2527.63            |
| 13       | 813527.32          | 9244419.31          | 2496.41            | 43       | 813953.53          | 9244159.67          | 2529.08            |
| 14       | 813540.65          | 9244415.71          | 2497.00            | 44       | 813969.78          | 9244145.62          | 2530.64            |
| 15       | 813556.46          | 9244427.62          | 2496.77            | 45       | 813986.34          | 9244113.21          | 2532.00            |
| 16       | 813576.24          | 9244444.27          | 2496.71            | 46       | 814006.15          | 9244090.57          | 2533.00            |
| 17       | 813598.82          | 9244455.65          | 2497.00            | 47       | 814040.02          | 9244069.26          | 2534.65            |
| 18       | 813623.88          | 9244442.68          | 2498.13            | 48       | 814077.76          | 9244018.83          | 2537.61            |

| <b>P</b> | <b>Este</b><br>(m) | <b>Norte</b><br>(m) | <b>Cota</b><br>(m) | <b>P</b> | <b>Este</b><br>(m) | <b>Norte</b><br>(m) | <b>Cota</b><br>(m) |
|----------|--------------------|---------------------|--------------------|----------|--------------------|---------------------|--------------------|
| 19       | 813640.25          | 9244428.09          | 2499.00            | 49       | 814117.62          | 9243987.56          | 2539.30            |
| 20       | 813673.79          | 9244408.24          | 2499.00            | 50       | 814134.75          | 9243972.08          | 2540.33            |
| 21       | 813706.96          | 9244400.86          | 2499.28            | 51       | 814151.77          | 9243953.94          | 2542.08            |
| 22       | 813776.19          | 9244404.39          | 2501.00            | 52       | 814167.12          | 9243939.76          | 2543.65            |
| 23       | 813808.35          | 9244426.29          | 2500.00            | 53       | 814181.41          | 9243928.87          | 2545.37            |
| 24       | 813851.98          | 9244434.00          | 2500.00            | 54       | 814197.61          | 9243910.78          | 2548.12            |
| 25       | 813880.23          | 9244437.01          | 2501.91            | 55       | 814206.55          | 9243897.07          | 2549.62            |
| 26       | 813900.73          | 9244436.87          | 2503.41            | 56       | 814222.54          | 9243876.86          | 2551.67            |
| 27       | 813914.93          | 9244421.59          | 2505.03            | 57       | 814218.32          | 9243852.41          | 2552.94            |
| 28       | 813919.49          | 9244403.47          | 2506.53            | 58       | 814211.46          | 9243838.89          | 2554.37            |
| 29       | 813920.17          | 9244386.09          | 2508.04            | 59       | 814192.73          | 9243803.50          | 2557.67            |
| 30       | 813911.12          | 9244369.78          | 2509.49            | 60       | 814188.85          | 9243790.66          | 2558.78            |

### Apéndice C. Nivelación con nivel de ingeniero

Tabla 22. Datos de la sección transversal N°1

| <b>Punto</b>            | <b>Tramo</b> | <b>Distancia (m)</b> | <b>Cota (m.s.n.m)</b> |
|-------------------------|--------------|----------------------|-----------------------|
| 1                       |              | 0.00                 | 2491.74               |
| 2                       | 1-2          | 0.80                 | 2491.02               |
| 3                       | 2-3          | 0.50                 | 2491.12               |
| 4                       | 3-4          | 3.80                 | 2491.25               |
| 5                       | 4-5          | 3.80                 | 2491.52               |
| 6                       | 5-6          | 2.20                 | 2490.77               |
| Progresiva Km 105 + 020 |              |                      |                       |

Tabla 23. Datos de la sección transversal N°2

| <b>Punto</b>            | <b>Tramo</b> | <b>Distancia (m)</b> | <b>Cota (m.s.n.m)</b> |
|-------------------------|--------------|----------------------|-----------------------|
| 1                       |              | 0.00                 | 2497.56               |
| 2                       | 1-2          | 0.15                 | 2497.03               |
| 3                       | 2-3          | 0.80                 | 2497.20               |
| 4                       | 3-4          | 2.60                 | 2497.18               |
| 5                       | 4-5          | 2.60                 | 2497.17               |
| 6                       | 5-6          | 3.20                 | 2497.58               |
| Progresiva Km 105 + 160 |              |                      |                       |

Tabla 24. Datos de la sección transversal N°3

| <b>Punto</b>            | <b>Tramo</b> | <b>Distancia (m)</b> | <b>Cota (m.s.n.m)</b> |
|-------------------------|--------------|----------------------|-----------------------|
| 1                       |              | 0.00                 | 2498.92               |
| 2                       | 1-2          | 0.65                 | 2498.46               |
| 3                       | 2-3          | 0.70                 | 2498.60               |
| 4                       | 3-4          | 2.85                 | 2498.73               |
| 5                       | 4-5          | 2.85                 | 2498.76               |
| 6                       | 5-6          | 2.50                 | 2499.06               |
| Progresiva Km 105 + 300 |              |                      |                       |

Tabla 25. Datos de la sección transversal N°4

| <b>Punto</b>            | <b>Tramo</b> | <b>Distancia (m)</b> | <b>Cota (m.s.n.m)</b> |
|-------------------------|--------------|----------------------|-----------------------|
| 1                       |              | 0.00                 | 2502.53               |
| 2                       | 1-2          | 0.85                 | 2501.24               |
| 3                       | 2-3          | 1.10                 | 2501.44               |
| 4                       | 3-4          | 3.70                 | 2501.63               |
| 5                       | 4-5          | 3.70                 | 2501.90               |
| 6                       | 5-6          | 1.80                 | 2502.77               |
| Progresiva Km 105 + 440 |              |                      |                       |

Tabla 26. Datos de la sección transversal N°5

| <b>Punto</b>            | <b>Tramo</b> | <b>Distancia (m)</b> | <b>Cota (m.s.n.m)</b> |
|-------------------------|--------------|----------------------|-----------------------|
| 1                       |              | 0.00                 | 2504.80               |
| 2                       | 1-2          | 0.45                 | 2504.02               |
| 3                       | 2-3          | 0.90                 | 2504.28               |
| 4                       | 3-4          | 3.00                 | 2504.30               |
| 5                       | 4-5          | 3.00                 | 2504.19               |
| 6                       | 5-6          | 1.20                 | 2504.43               |
| Progresiva Km 105 + 580 |              |                      |                       |

Tabla 27. Datos de la sección transversal N°6

| <b>Punto</b>            | <b>Tramo</b> | <b>Distancia (m)</b> | <b>Cota (m.s.n.m)</b> |
|-------------------------|--------------|----------------------|-----------------------|
| 1                       |              | 0.00                 | 2515.21               |
| 2                       | 1-2          | 1.07                 | 2513.75               |
| 3                       | 2-3          | 1.30                 | 2514.07               |
| 4                       | 3-4          | 2.80                 | 2514.01               |
| 5                       | 4-5          | 2.80                 | 2513.91               |
| 6                       | 5-6          | 1.10                 | 2513.12               |
| Progresiva Km 105 + 720 |              |                      |                       |

Tabla 28. Datos de la sección transversal N°7

| <b>Punto</b>            | <b>Tramo</b> | <b>Distancia (m)</b> | <b>Cota (m.s.n.m)</b> |
|-------------------------|--------------|----------------------|-----------------------|
| 1                       |              | 0.00                 | 2523.34               |
| 2                       | 1-2          | 1.40                 | 2521.94               |
| 3                       | 2-3          | 1.30                 | 2522.38               |
| 4                       | 3-4          | 3.60                 | 2522.32               |
| 5                       | 4-5          | 3.60                 | 2522.21               |
| 6                       | 5-6          | 1.20                 | 2522.28               |
| Progresiva Km 105 + 860 |              |                      |                       |

Tabla 29. Datos de la sección transversal N°8

| <b>Punto</b>            | <b>Tramo</b> | <b>Distancia (m)</b> | <b>Cota (m.s.n.m)</b> |
|-------------------------|--------------|----------------------|-----------------------|
| 1                       |              | 0.00                 | 2532.96               |
| 2                       | 1-2          | 1.20                 | 2531.53               |
| 3                       | 2-3          | 0.70                 | 2531.72               |
| 4                       | 3-4          | 2.75                 | 2531.99               |
| 5                       | 4-5          | 2.75                 | 2532.18               |
| 6                       | 5-6          | 1.80                 | 2532.08               |
| Progresiva Km 106 + 000 |              |                      |                       |

Tabla 30. Datos de la sección transversal N°9

| <b>Punto</b>            | <b>Tramo</b> | <b>Distancia (m)</b> | <b>Cota (m.s.n.m)</b> |
|-------------------------|--------------|----------------------|-----------------------|
| 1                       |              | 0.00                 | 2538.24               |
| 2                       | 1-2          | 0.75                 | 2536.61               |
| 3                       | 2-3          | 0.90                 | 2536.75               |
| 4                       | 3-4          | 2.95                 | 2536.88               |
| 5                       | 4-5          | 2.95                 | 2537.00               |
| 6                       | 5-6          | 3.00                 | 2536.97               |
| Progresiva Km 106 + 140 |              |                      |                       |

Tabla 31. Datos de la sección transversal N°10

| <b>Punto</b>            | <b>Tramo</b> | <b>Distancia (m)</b> | <b>Cota (m.s.n.m)</b> |
|-------------------------|--------------|----------------------|-----------------------|
| 1                       |              | 0.00                 | 2546.92               |
| 2                       | 1-2          | 0.70                 | 2545.41               |
| 3                       | 2-3          | 0.90                 | 2545.60               |
| 4                       | 3-4          | 3.35                 | 2545.54               |
| 5                       | 4-5          | 3.35                 | 2545.49               |
| 6                       | 5-6          | 1.90                 | 2545.33               |
| Progresiva Km 106 + 280 |              |                      |                       |

## Apéndice D. Ensayos de mecánica de suelos

Figura 41. Ensayo de análisis granulométrico



Figura 42. Ensayo de peso volumétrico de suelo cohesivo



## Procesamiento de los ensayos para la Muestra M - 1

Tabla 32. Análisis granulométrico, M-1

| <b>Masa muestra húmeda:</b> |                | 16500.00 gr    |                      |                             |  |
|-----------------------------|----------------|----------------|----------------------|-----------------------------|--|
| <b>Masa seca Inicial:</b>   |                | 15734.00 gr    |                      |                             |  |
| <b>Masa seca lavada:</b>    |                | 8771.00 gr     |                      | Tamaño máximo de partículas | 3 in.                                      |
| TAMICES A.S.T.M.            | ABERTUR A (mm) | MASA RETENID A | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA                  | DESCRIPCIÓN                                |
| 6 in.                       | 150,000        | 0.00           | 0.0                  | 100.0                       | Bloques (>300mm) -                         |
| 4 in.                       | 100,000        | 0.00           | 0.0                  | 100.0                       | Bolones (75mm-300mm) 0.0%                  |
| 3 in.                       | 75,000         | 0.00           | 0.0                  | 100.0                       | Gravas (4.75 mm-75mm) 29.3%                |
| 2 in.                       | 50,000         | 248.00         | 1.6                  | 98.4                        | Arenas (0.075mm-4.75mm) 26.4%              |
| 1 1/2 in.                   | 37,500         | 143.00         | 2.5                  | 97.5                        | Limos y arcillas (<0.075mm) 44.3%          |
| 1 in.                       | 25,000         | 660.00         | 6.7                  | 93.3                        | A. gruesa (4.75mm-2.00mm) 9.9%             |
| 3/4 in.                     | 19,000         | 487.00         | 9.8                  | 90.2                        | A. media (2.00mm-0.425mm) 11.8%            |
| 1/2 in.                     | 12,500         | 1083.00        | 16.7                 | 83.3                        | A. fina (0.425mm-0.075mm) 4.7%             |
| 3/8 in.                     | 9,500          | 566.00         | 20.3                 | 79.7                        | <b>CARACTERISTICAS</b>                     |
| 1/4 in.                     | 6,300          | 855.00         | 25.7                 | 74.3                        | D <sub>60</sub> (ASTM D2487-17) (mm): 1.89 |
| No. 4                       | 4,750          | 561.00         | 29.3                 | 70.7                        | D <sub>30</sub> (ASTM D2487-17) (mm): 0.00 |
| No. 10                      | 2,000          | 1556.00        | 39.2                 | 60.8                        | D <sub>10</sub> (ASTM D2487-17) (mm): 0.00 |
| No. 20                      | 0,850          | 1222.74        | 47.0                 | 53.0                        | Cu (ASTM D2487-17): -                      |
| No. 40                      | 0,425          | 622.50         | 51.0                 | 49.0                        | Cc (ASTM D2487-17): -                      |
| No. 60                      | 0,250          | 303.96         | 52.9                 | 47.1                        | LL (ASTM D4318-17): 42                     |
| No. 140                     | 0,106          | 337.68         | 55.0                 | 45.0                        | LP (ASTM D4318-17): 20                     |
| No. 200                     | 0,075          | 106.95         | 55.7                 | 44.3                        | IP (ASTM D4318-17): 22                     |
| Cazoleta                    |                | 15.27          |                      |                             | Error de ensayo (%) 0.018%                 |

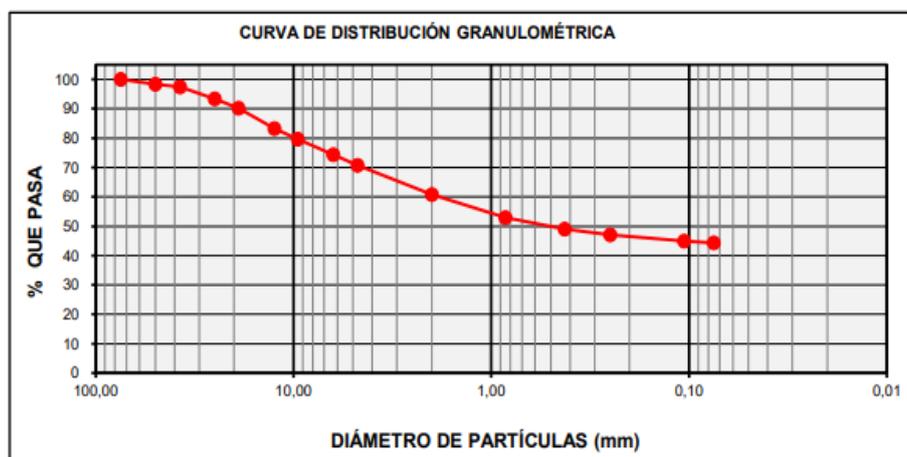


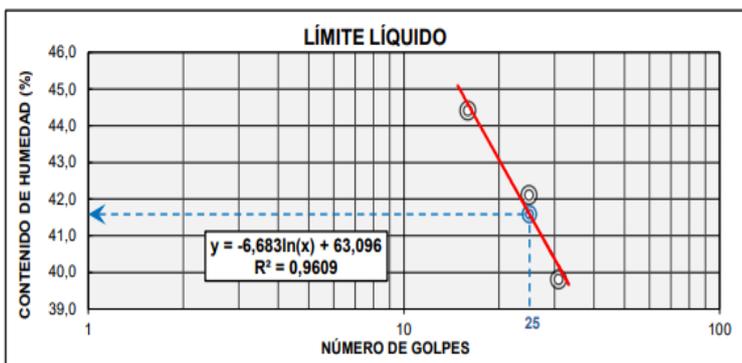
Tabla 33. Ensayo contenido de humedad, M-1

| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD - GLOBAL</b> |          |         |         |
|--------------------------------------|----------|---------|---------|
| No. de tara                          | RM-I-05  | RM-I-06 | RM-I-07 |
| Masa de la Tara (g)                  | 1366.00  | 1163.00 | 1360.00 |
| Masa de la Tara + Muestra húmeda (g) | 6866.00  | 6663.00 | 6860.00 |
| Masa de la Tara + Muestra seca (g)   | 6604.00  | 6411.00 | 6608.00 |
| Masa del agua (g)                    | 262.00   | 252.00  | 252.00  |
| Masa de la Muestra Seca (g)          | 5238.00  | 5248.00 | 5248.00 |
| Contenido de humedad (g)             | 5.00     | 4.80    | 4.80    |
| <b>w% promedio (%)</b>               | <b>5</b> |         |         |

Tabla 34. Ensayo límites de Atterberg, M-1

|   |   |                             |          |
|---|---|-----------------------------|----------|
| <b>Preparación del Espécimen de ensayo:</b> | <b>Ranurador:</b> Plástico                | <b>Método de ensayo</b>     | <b>A</b> |
| Preparación Húmeda                          | <b>Equipo para límite Plástico:</b>       | Manual                      |          |
| Tamizado por lavado en el tamiz No. 40      | <b>Equipo para límite Líquido:</b>        | Manual                      |          |
| Preparación con agua destilada              | <b>Clasificación SUCS (ASTM D2487-17)</b> | GC- Clavey gravel with sand |          |

| <b>LÍMITES DE CONSISTENCIA</b>    | <b>LÍMITE LÍQUIDO</b> |       |       |                 | <b>LÍMITE PLÁSTICO</b> |
|-----------------------------------|-----------------------|-------|-------|-----------------|------------------------|
| Tara No.                          | 36                    | 37    | 38    | 39              | 40                     |
| Masa de Tara (g)                  | 36.04                 | 36.99 | 37.15 | 37.17           | 37.17                  |
| Masa de Tara + Muestra húmeda (g) | 56.10                 | 57.00 | 57.15 | 47.17           | 47.17                  |
| Masa de Tara + Muestra seca (g)   | 50.39                 | 51.07 | 51.00 | 45.51           | 45.52                  |
| Masa del agua (g)                 | 5.71                  | 5.93  | 6.15  | 1.65            | 1.65                   |
| Masa de la Muestra Seca (g)       | 14.35                 | 14.08 | 13.85 | 8.34            | 8.35                   |
| Humedad (%)                       | 39.80                 | 42.10 | 44.40 | 19.78           | 19.76                  |
| Número de golpes                  | 31                    | 25    | 16    | <b>PROMEDIO</b> | 20                     |



| <b>Límites de Consistencia</b> |    |
|--------------------------------|----|
| LÍMITE LÍQUIDO (LL):           | 42 |
| LÍMITE PLÁSTICO (LP):          | 20 |
| INDICE DE PLASTICIDAD (IP):    | 22 |

| <b>Información Complementaria</b> |       |
|-----------------------------------|-------|
| Índice de Liquidez (IL):          | -0.68 |
| Índice de Compresión (Cc):        | 0.29  |
| Consistencia Relativa (CR):       | 1.68  |

Tabla 35. Ensayo de gravedad específica de sólidos, M-1

| <b>GRAVEDAD ESPECÍFICA</b>   |              |              |              |
|--|--------------|--------------|--------------|
| <b>ESPECIMEN DE ENSAYO No.</b>   | <b>E - 1</b> | <b>E - 2</b> | <b>E - 3</b> |
| No. Fiola  | 18           | 19           | 20           |
| Masa de la Muestra Seca (g)  | 75.01        | 75.34        | 74.62        |
| Masa de la Fiola (g)   | 203.9        | 204.49       | 204.95       |
| Masa de la Fiola + Agua + Muestra (g)  | 750.27       | 751.04       | 751.08       |
| Temperatura del agua (°C)  | 17.4         | 17.04        | 17.4         |
| Masa media calibrada de la Fiola (g)   | 203.94       | 204.54       | 204.97       |
| Volumen promedio Calibrado de la Fiola (g)   | 499.56       | 499.46       | 499.52       |
| Masa de la Fiola + Agua a temperatura de Ensayo (g)                                | 702.85       | 703.35       | 703.84       |
| Densidad del Agua a temperatura de ensayo (g/ml)                                   | 0.99871      | 0.99871      | 0.99871      |
| Factor "K"   | 1.0050       | 1.0050       | 1.0050       |
| Gravedad Específica ( $G_{20\text{ °C}}$ )   | 2.720        | 2.726        | 2.726        |
| <b>Gravedad Específica promedio (<math>G_{\text{promedio}20\text{ °C}}</math>)</b> | <b>2.72</b>  |              |              |

Tabla 36. Clasificación del tipo de suelo, M-1

| <b>CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA DE ENSAYO</b> |                      |   |   |                             |                        |
|--|----------------------|---|---|-----------------------------|------------------------|
| Tamaño máx. de partícula:                      | 3 in.                | Diámetro Efectivo $D_{60}$ (mm):          | 1.89  | Límite líquido (LL):        | 42                     |
| Bloques (> 300 mm)                             | -                    | Diámetro Efectivo $D_{30}$ (mm):          | 0.00  | Límite Plástico (LP):       | 20                     |
| Bolones (75 mm- 300 mm)                        | 0.00%                | Diámetro Efectivo $D_{10}$ (mm):          | 0.00  | Índice de Plasticidad (IP): | 22                     |
| Gravas (4.75 mm- 75 mm)                        | 29.30%               | Coefficiente de Uniformidad (Cu):         | -   | Índice de Liquidez (IL):    | -0.68                  |
| Arenas (0.075 mm- 4.75 mm)                     | 26.40%               | Coefficiente de Curvatura (Cc):           | -   | Índice de Compresión (Cc):  | 0.29                   |
| Limos y Arcillas (<0.075 mm)                   | 44.30%               | Error de ensayo (%):                      | 0.018%  | Consistencia Relativa (CR)  | 1.68                   |
| <b>Masa muestra húmeda:</b>                    | 16500.00             | <b>CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487-17)</b> |   |                             |                        |
| <b>Masa seca Inicial:</b>                      | 15734.00             | <b>CG-Clayey gravel with sand</b>         |   |                             |                        |
| <b>Masa seca lavada:</b>                       | 8771.00              |   |   |                             |                        |
| <b>TAMICES A.S.T.M.</b>                        | <b>ABERTURA (mm)</b> | <b>MASA RETENIDA</b>                      | <b>% RETENIDO ACUMULADO</b>                     | <b>% QUE PASA</b>           |                        |
| 6 in.  | 150,000              | 0.00                                      | 0.0   | 100.0                       |                        |
| 4 in.  | 100,000              | 0.00                                      | 0.0   | 100.0                       |                        |
| 3 in.  | 75,000               | 0.00                                      | 0.0   | 100.0                       |                        |
| 2 in.  | 50,000               | 248.00                                    | 1.6   | 98.4                        |                        |
| 1 1/2 in.                                      | 37,500               | 143.00                                    | 2.5   | 97.5                        |                        |
| 1 in.  | 25,000               | 660.00                                    | 6.7   | 93.3                        |                        |
| 3/4 in.  | 19,000               | 487.00                                    | 9.8   | 90.2                        |                        |
| 1/2 in.  | 12,500               | 1083.00                                   | 16.7  | 83.3                        |                        |
| 3/8 in.  | 9,500                | 566.00                                    | 20.3  | 79.7                        |                        |
| 1/4 in.  | 6,300                | 855.00                                    | 25.7  | 74.3                        |                        |
| No. 4  | 4,750                | 561.00                                    | 29.3  | 70.7                        |                        |
| No. 10   | 2,000                | 1556.00                                   | 39.2  | 60.8                        |                        |
| No. 20   | 0,850                | 1222.74                                   | 47.0  | 53.0                        |                        |
| No. 40   | 0,425                | 622.50                                    | 51.0  | 49.0                        |                        |
| No. 60   | 0,250                | 303.96                                    | 52.9  | 47.1                        |                        |
| No. 140  | 0,106                | 337.68                                    | 55.0  | 45.0                        |                        |
| No. 200  | 0,075                | 106.95                                    | 55.7  | 44.3                        |                        |
| Cazoleta                                       |                      | 15.27                                     |   |                             |                        |
| <b>CLASIFICACIÓN</b>                           |                      |   |   |                             |                        |
| <b>NOMBRE ALTERNATIVO (NTP 339.134)</b>        |                      |   | <b>A.A.S.H.T.O. (NTP 339.135 - ASTM D 3282)</b> |                             |                        |
| <b>GC- Grava arcillosa con arena</b>           |                      |   | <b>A-7-6 (5)</b>                                |                             | <b>SUELO ARCILLOSO</b> |

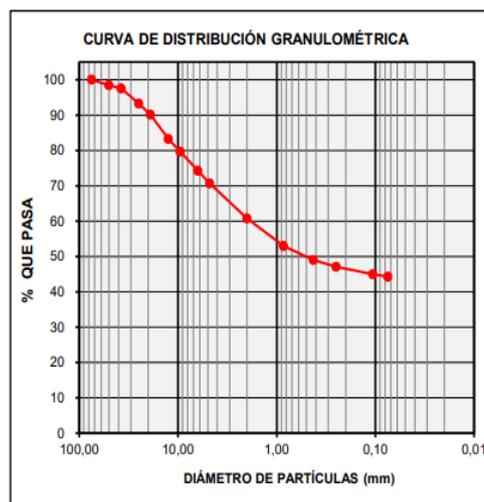


Tabla 37. Ensayo de peso volumétrico de suelo cohesivo, M-1

| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>                                 |            |            |            |
|---|------------|------------|------------|
| <b>ESPECIMEN DE ENSAYO No.</b>                              | <b>E-1</b> | <b>E-2</b> | <b>E-3</b> |
| No. de tara   | RM-C-01    | RM-C-02    | RM-C-03    |
| Masa de la Tara (g)   | 89.48      | 87.79      | 83.82      |
| Masa de la Tara + Muestra húmeda (g)                        | 521.45     | 546.41     | 568.46     |
| Masa de la Tara + Muestra seca (g)                          | 485.72     | 500.16     | 529.91     |
| Masa del agua (g)   | 35.73      | 36.25      | 38.55      |
| Masa de la Muestra Seca (g)                                 | 396.24     | 412.37     | 446.09     |
| Contenido de humedad (g)                                    | 9.0        | 8.8        | 8.6        |
| <b>RELACIONES MASA-VOLUMEN</b>                              |            |            |            |
| <b>ESPECIMEN DE ENSAYO No.</b>                              | <b>E-1</b> | <b>E-2</b> | <b>E-3</b> |
| Masa de muestra Húmeda (g)                                  | 415.54     | 436.42     | 319.16     |
| Masa de muestra Húmeda + parafina (g)                       | 454.75     | 468.94     | 358.64     |
| Masa de muestra húmeda + parafina - agua sumergida (g)      | 224.15     | 236.12     | 170.06     |
| Temperatura del agua (°C)                                   | 22.4       | 22.4       | 22.4       |
| Gravedad específica de sólidos (ASTM D854)                  | 2.72       | 2.72       | 2.72       |
| Factor "K"  | 0.99948    | 0.99948    | 0.99948    |
| Masa de muestra seca (g)                                    | 381.22936  | 401.12132  | 293.88582  |
| Peso de la Parafina (g)                                     | 39.21      | 32.52      | 39.48      |
| Volumen de suelo + Parafina (cm <sup>3</sup> )              | 230.48     | 232.7      | 188.48     |
| Volumen de Parafina (cm <sup>3</sup> )                      | 43.71      | 36.25      | 44.01      |
| Volumen de muestra - V (cm <sup>3</sup> )                   | 186.77     | 196.45     | 144.47     |
| Volumen de sólidos - Vs (cm <sup>3</sup> )                  | 140.16     | 147.47     | 108.05     |
| Densidad aparente húmeda (g/cm <sup>3</sup> )               | 2.225      | 2.222      | 2.209      |
| Densidad aparente seca (g/cm <sup>3</sup> )                 | 2.041      | 2.042      | 2.034      |
| Relacion de vacíos - e                                      | 0.333      | 0.332      | 0.337      |
| Porosidad -n (%)  | 24.957     | 24.932     | 25.212     |
| <b>Densidad Aparente húmeda promedio (g/cm<sup>3</sup>)</b> |            | 2.219      |            |
| <b>Densidad aparente seca promedio (g/cm<sup>3</sup>)</b>   |            | 2.039      |            |
| <b>Relación de vacíos promedio - e</b>                      |            | 0.334      |            |
| <b>Porosidad -n (%)</b>                                     |            | 25.034     |            |

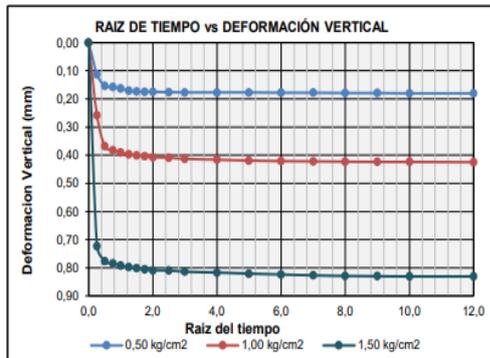
Densidad de la parafina: 0.897 g/cm<sup>3</sup>

Tabla 38. Ensayo de corte directo, M-1

| <b>DATOS GENERALES</b>   |                               |              |                                      |              |                               |              |
|--|-------------------------------|--------------|--------------------------------------|--------------|-------------------------------|--------------|
| <b>Sondaje No./Calicata No./Estrato No.</b>                          | PROGRESIVA                    |              | Muestra No. /Profundidad (m)         |              | -                             |              |
| <b>Masa del anillo (g)</b>   | 119.98                        |              | Símbolo de grupo SUCS                |              | GC-Clayey gravel with sand    |              |
| <b>Altura del anillo (mm)</b>  | 21.36                         |              | Estado de la muestra                 |              | Alterada                      |              |
| <b>Diámetro del anillo (mm)</b>                                      | 50.96                         |              | Condición de ensayo                  |              | Consolidado-Drenado           |              |
| <b>Área del anillo (cm<sup>2</sup>)</b>                              | 20.4                          |              | Condición de la estructura del suelo |              | Remoldeado                    |              |
| <b>Volumen del anillo (cm<sup>3</sup>)</b>                           | 43.57                         |              | Velocidad de ensayo                  |              | 0.18 mm/min                   |              |
| <b>CORTE DIRECTO</b>   |                               |              |                                      |              |                               |              |
| <b>ESPÉCIMEN No.</b>   | <b>ESPÉCIMEN -01</b>          |              | <b>ESPÉCIMEN -02</b>                 |              | <b>ESPÉCIMEN -03</b>          |              |
| <b>ESFUERZO NORMAL</b>   | <b>0.50 kg/cm<sup>2</sup></b> |              | <b>1.00 kg/cm<sup>2</sup></b>        |              | <b>1.50 kg/cm<sup>2</sup></b> |              |
| <b>DESCRIPCIÓN</b>   | <b>INICIAL</b>                | <b>FINAL</b> | <b>INICIAL</b>                       | <b>FINAL</b> | <b>INICIAL</b>                | <b>FINAL</b> |
| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>  |                               |              |                                      |              |                               |              |
| No. de tara  | 36                            | 37           | 38                                   | 39           | 40                            | 41           |
| Masa de la Tara (g)  | 36.04                         | 36.98        | 37.15                                | 37.17        | 37.17                         | 37.17        |
| Masa de la Tara + Muestra húmeda (g)                                 | 130.78                        | 134.65       | 131.55                               | 134.92       | 131.63                        | 135.26       |
| Masa de la Tara + Muestra seca (g)                                   | 123.35                        | 124.11       | 123.97                               | 123.95       | 124.18                        | 123.95       |
| Masa del agua (g)  | 7.43                          | 10.54        | 7.58                                 | 10.97        | 7.45                          | 11.31        |
| Masa de la Muestra Seca (g)  | 87.31                         | 87.13        | 86.82                                | 86.78        | 87.01                         | 86.78        |
| Humedad (%)  | 8.50                          | 12.10        | 8.70                                 | 12.60        | 8.60                          | 13.00        |
| <b>DENSIDADES</b>  |                               |              |                                      |              |                               |              |
| Altura del espécimen (mm)  | 21.36                         | 21.43        | 21.36                                | 21.18        | 21.36                         | 20.66        |
| Masa del molde + Muestra (g)   | 214.49                        | 217.65       | 215.11                               | 217.73       | 215.49                        | 218.07       |
| Masa de tara + muestra húmeda (g)                                    | 94.51                         | 97.67        | 95.13                                | 97.75        | 95.51                         | 98.09        |
| Masa de tara + muestra seca (g)                                      | 87.11                         | 87.13        | 87.52                                | 86.81        | 87.95                         | 86.81        |
| Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )                                 | 2.17                          | 2.23         | 2.18                                 | 2.26         | 2.19                          | 2.33         |
| Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )                                   | 2.00                          | 1.99         | 2.01                                 | 2.01         | 2.02                          | 2.06         |
| <b>DEFORMACIONES</b>   |                               |              |                                      |              |                               |              |
| Deformación (mm)   | 0.066                         |              | -0.182                               |              | -0.702                        |              |
| <b>RELACIONES FUNDAMENTALES DEL ESPÉCIMEN DE ENSAYO</b>              |                               |              |                                      |              |                               |              |
| Altura inicial de la muestra (H <sub>1</sub> ) (mm)                  | 21.36                         |              | 21.36                                |              | 21.36                         |              |
| Gravedad específica de sólidos (Gs)                                  | 2.72                          |              | 2.72                                 |              | 2.720                         |              |
| Volumen de sólidos (Vs) (cm <sup>3</sup> )                           | 35.91                         |              | 35.94                                |              | 36.06                         |              |
| Altura sólidos (Hs) (mm)   | 17.61                         |              | 17.62                                |              | 17.68                         |              |
| Altura inicial de vacíos (Hv) (mm)                                   | 3.76                          |              | 3.74                                 |              | 3.68                          |              |
| Variación en la altura de la muestra (ΔH) (mm)                       | 0.07                          |              | -0.18                                |              | -0.70                         |              |
| Altura final de la muestra (H <sub>2</sub> =H <sub>1</sub> -ΔH) (mm) | 21.43                         |              | 21.18                                |              | 20.66                         |              |
| Altura inicial del agua (H <sub>w1</sub> ) (mm)                      | 4.07                          |              | 4.17                                 |              | 4.14                          |              |
| Altura final del agua (H <sub>w2</sub> ) (mm)                        | 5.79                          |              | 6.04                                 |              | 6.25                          |              |
| Relación de vacíos inicial (e <sub>0</sub> )                         | 0.213                         |              | 0.212                                |              | 0.208                         |              |
| Relación de vacíos final (e <sub>f</sub> )                           | 0.217                         |              | 0.202                                |              | 0.168                         |              |
| Grado de saturación inicial (G <sub>w1</sub> ) (%)                   | 108.39                        |              | 111.5                                |              | 112.42                        |              |
| Grado de saturación final (G <sub>w2</sub> ) (%)                     | 151.64                        |              | 169.73                               |              | 210.01                        |              |
| Deformación unitaria Axial (ε) (%)                                   | 0.31                          |              | -0.85                                |              | -3.29                         |              |

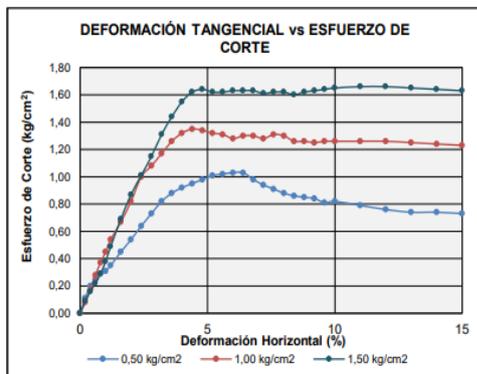
Tabla 39. Ensayo de corte directo, M-1

| CONSOLIDACIÓN   |                        |                           |                        |                 | CORTE                      |                             |   |      |      |
|-----------------|------------------------|---------------------------|------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------------------|---|------|------|
| Espécimen No.   | ESP.-1                 | ESP.-2                    | ESP.-3                 | Espécimen No.   | ESP.-1                     | ESP.-2                      | ESP.-3                                  |      |      |
| Esfuerzo Normal | 0.5 kg/cm <sup>2</sup> | 1.0 kg/cm <sup>2</sup>    | 1.5 kg/cm <sup>2</sup> | Esfuerzo Normal | 0.5 kg/cm <sup>2</sup>     | 1.0 kg/cm <sup>2</sup>      | 1.5 kg/cm <sup>2</sup>                  |      |      |
| TIEMPO (t)      |                        | DEFORMACIÓN VERTICAL (mm) |                        |                 | Deformación Horizontal (%) | Deformación Horizontal (mm) | ESFUERZO DE CORTE (kg/cm <sup>2</sup> ) |      |      |
| Minutos         | Raíz de (t)            |                           |                        |                 |                            |                             |   |      |      |
| 0               | 0.00                   | 0.000                     | 0.000                  | 0.000           | 0.0                        | 0.00                        | 0.00                                    | 0.00 | 0.00 |
| 0.07            | 0.26                   | 0.112                     | 0.258                  | 0.723           | 0.2                        | 0.10                        | 0.11                                    | 0.08 | 0.09 |
| 0.25            | 0.50                   | 1.153                     | 0.368                  | 0.777           | 0.4                        | 0.20                        | 0.20                                    | 0.17 | 0.16 |
| 0.57            | 0.75                   | 0.158                     | 0.382                  | 0.785           | 0.6                        | 0.31                        | 0.25                                    | 0.28 | 0.22 |
| 1.00            | 1.00                   | 0.163                     | 0.391                  | 0.792           | 0.8                        | 0.41                        | 0.29                                    | 0.37 | 0.29 |
| 1.57            | 1.25                   | 0.171                     | 0.397                  | 0.798           | 1.0                        | 0.51                        | 0.31                                    | 0.45 | 0.38 |
| 2.25            | 1.50                   | 0.174                     | 0.401                  | 0.802           | 1.2                        | 0.61                        | 0.35                                    | 0.54 | 0.49 |
| 3.07            | 1.75                   | 0.175                     | 0.404                  | 0.806           | 1.6                        | 0.82                        | 0.45                                    | 0.67 | 0.69 |
| 4.00            | 2.00                   | 0.175                     | 0.407                  | 0.809           | 2.0                        | 1.02                        | 0.54                                    | 0.82 | 0.87 |
| 6.25            | 2.50                   | 0.176                     | 0.409                  | 0.810           | 2.4                        | 1.22                        | 0.64                                    | 1.00 | 1.01 |
| 9.00            | 3.00                   | 0.177                     | 0.413                  | 0.814           | 2.8                        | 1.43                        | 0.73                                    | 1.08 | 1.15 |
| 16.00           | 4.00                   | 0.177                     | 0.416                  | 0.817           | 3.2                        | 1.63                        | 0.82                                    | 1.17 | 1.31 |
| 25.00           | 5.00                   | 0.177                     | 0.419                  | 0.821           | 3.6                        | 1.83                        | 0.88                                    | 1.26 | 1.44 |
| 36.00           | 6.00                   | 0.178                     | 0.421                  | 0.824           | 4.0                        | 2.04                        | 0.92                                    | 1.32 | 1.55 |
| 49.00           | 7.00                   | 0.178                     | 0.422                  | 0.827           | 4.4                        | 2.24                        | 0.95                                    | 1.35 | 1.62 |
| 64.00           | 8.00                   | 0.179                     | 0.423                  | 0.829           | 4.8                        | 2.45                        | 0.98                                    | 1.34 | 1.64 |
| 81.00           | 9.00                   | 0.179                     | 0.424                  | 0.830           | 5.2                        | 2.65                        | 1.01                                    | 1.32 | 1.62 |
| 100.00          | 10.00                  | 0.180                     | 0.424                  | 0.831           | 5.6                        | 2.85                        | 1.02                                    | 1.31 | 1.62 |
| 144.00          | 12.00                  | 0.180                     | 0.425                  | 0.831           | 6.0                        | 3.06                        | 1.03                                    | 1.28 | 1.63 |
|                 |                        |                           |                        |                 | 6.4                        | 3.26                        | 1.03                                    | 1.30 | 1.63 |
|                 |                        |                           |                        |                 | 6.8                        | 3.47                        | 0.98                                    | 1.30 | 1.63 |
|                 |                        |                           |                        |                 | 7.2                        | 3.67                        | 0.94                                    | 1.28 | 1.61 |
|                 |                        |                           |                        |                 | 7.6                        | 3.87                        | 0.91                                    | 1.31 | 1.62 |
|                 |                        |                           |                        |                 | 8.0                        | 4.08                        | 0.88                                    | 1.30 | 1.62 |
|                 |                        |                           |                        |                 | 8.4                        | 4.28                        | 0.86                                    | 1.26 | 1.60 |
|                 |                        |                           |                        |                 | 8.8                        | 4.48                        | 0.85                                    | 1.26 | 1.62 |
|                 |                        |                           |                        |                 | 9.2                        | 4.69                        | 0.84                                    | 1.25 | 1.63 |
|                 |                        |                           |                        |                 | 9.6                        | 4.89                        | 0.81                                    | 1.26 | 1.64 |
|                 |                        |                           |                        |                 | 10.0                       | 5.10                        | 0.82                                    | 1.26 | 1.65 |
|                 |                        |                           |                        |                 | 11.0                       | 5.61                        | 0.79                                    | 1.26 | 1.66 |
|                 |                        |                           |                        |                 | 12.0                       | 6.12                        | 0.76                                    | 1.26 | 1.66 |
|                 |                        |                           |                        |                 | 13.0                       | 6.62                        | 0.74                                    | 1.25 | 1.65 |
|                 |                        |                           |                        |                 | 14.0                       | 7.13                        | 0.74                                    | 1.24 | 1.64 |
|                 |                        |                           |                        |                 | 15.0                       | 7.64                        | 0.73                                    | 1.23 | 1.63 |

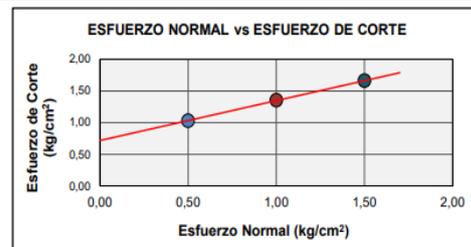


|      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|
| 6.4  | 3.26 | 1.03 | 1.30 | 1.63 |
| 6.8  | 3.47 | 0.98 | 1.30 | 1.63 |
| 7.2  | 3.67 | 0.94 | 1.28 | 1.61 |
| 7.6  | 3.87 | 0.91 | 1.31 | 1.62 |
| 8.0  | 4.08 | 0.88 | 1.30 | 1.62 |
| 8.4  | 4.28 | 0.86 | 1.26 | 1.60 |
| 8.8  | 4.48 | 0.85 | 1.26 | 1.62 |
| 9.2  | 4.69 | 0.84 | 1.25 | 1.63 |
| 9.6  | 4.89 | 0.81 | 1.26 | 1.64 |
| 10.0 | 5.10 | 0.82 | 1.26 | 1.65 |
| 11.0 | 5.61 | 0.79 | 1.26 | 1.66 |
| 12.0 | 6.12 | 0.76 | 1.26 | 1.66 |
| 13.0 | 6.62 | 0.74 | 1.25 | 1.65 |
| 14.0 | 7.13 | 0.74 | 1.24 | 1.64 |
| 15.0 | 7.64 | 0.73 | 1.23 | 1.63 |

GRÁFICAS



| Espécimen No.                           | ESP.-1 | ESP.-2 | ESP.-3 |
|---|--------|--------|--------|
| Esfuerzo Normal (kg/cm <sup>2</sup> )   | 0.50   | 1.00   | 1.50   |
| Esfuerzo de corte (kg/cm <sup>2</sup> ) | 1.03   | 1.35   | 1.66   |



RESULTADOS

|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| Ángulo de fricción Interno Ø (°) | 32.21 |
| Cohesión c (kg/cm <sup>2</sup> ) | 0.717 |
| Cohesión c (t/m <sup>2</sup> )   | 7.167 |

## Procesamiento de los ensayos para la Muestra M - 2

Tabla 40. Análisis granulométrico, M-2

|                             |          |    |                             |       |  |  |
|-----------------------------|----------|----|-----------------------------|-------|--|--|
| <b>Masa muestra húmeda:</b> | 18000.00 | gr |                             |       |  |  |
| <b>Masa seca Inicial:</b>   | 16745.00 | gr |                             |       |  |  |
| <b>Masa seca lavada:</b>    | 8846.00  | gr | Tamaño máximo de partículas | 3 in. |  |  |

| TAMICES A.S.T.M. | ABERTURA (mm) | MASA RETENIDA | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA | DESCRIPCIÓN                                |
|------------------|---------------|---------------|----------------------|------------|--|
| 6 in.            | 150,000       | 0.00          | 0.0                  | 100.0      | Bloques (>300mm) -                         |
| 4 in.            | 100,000       | 0.00          | 0.0                  | 100.0      | Bolones (75mm-300mm) 0.0%                  |
| 3 in.            | 75,000        | 0.00          | 0.0                  | 100.0      | Gravas (4.75 mm-75mm) 35.5%                |
| 2 in.            | 50,000        | 976.00        | 5.8                  | 94.2       | Arenas (0.075mm-4.75mm) 17.3%              |
| 1 1/2 in.        | 37,500        | 618.00        | 9.5                  | 90.5       | Limos y arcillas (<0.075mm) 47.2%          |
| 1 in.            | 25,000        | 1030.00       | 15.7                 | 84.3       | A. gruesa (4.75mm-2.00mm) 5.7%             |
| 3/4 in.          | 19,000        | 752.00        | 20.2                 | 79.8       | A. media (2.00mm-0.425mm) 7.3%             |
| 1/2 in.          | 12,500        | 916.00        | 25.7                 | 74.3       | A. fina (0.425mm-0.075mm) 4.3%             |
| 3/8 in.          | 9,500         | 494.00        | 28.7                 | 71.3       | <b>CARACTERÍSTICAS</b>                     |
| 1/4 in.          | 6,300         | 714.00        | 33.0                 | 67.0       | D <sub>60</sub> (ASTM D2487-17) (mm): 2.60 |
| No. 4            | 4,750         | 416.00        | 35.5                 | 64.5       | D <sub>30</sub> (ASTM D2487-17) (mm): 0.00 |
| No. 10           | 2,000         | 959.00        | 41.2                 | 58.8       | D <sub>10</sub> (ASTM D2487-17) (mm): 0.00 |
| No. 20           | 0,850         | 739.61        | 45.6                 | 54.4       | Cu (ASTM D2487-17): -                      |
| No. 40           | 0,425         | 487.27        | 48.5                 | 51.5       | Cc (ASTM D2487-17): -                      |
| No. 60           | 0,250         | 281.86        | 50.2                 | 49.8       | LL (ASTM D4318-17): 37                     |
| No. 140          | 0,106         | 316.29        | 52.1                 | 47.9       | LP (ASTM D4318-17): 15                     |
| No. 200          | 0,075         | 120.03        | 52.8                 | 47.2       | IP (ASTM D4318-17): 22                     |
| Cazoleta         |               | 22.98         |                      |            | Error de ensayo (%) 0.018%                 |

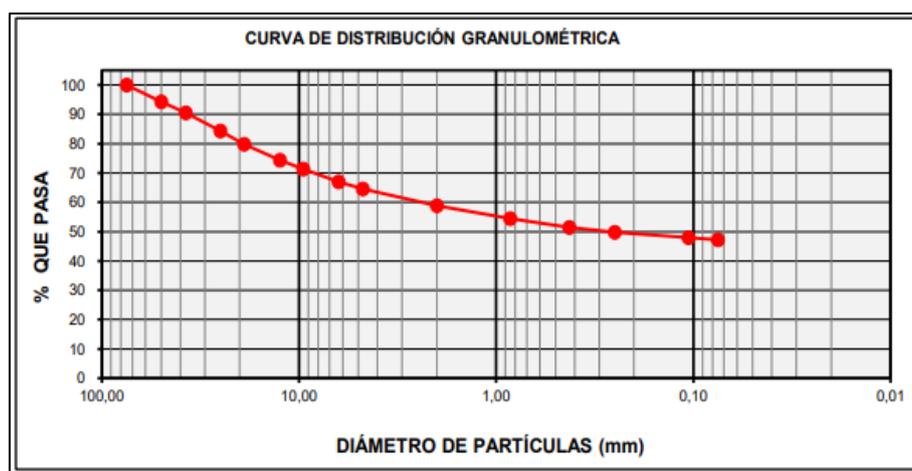


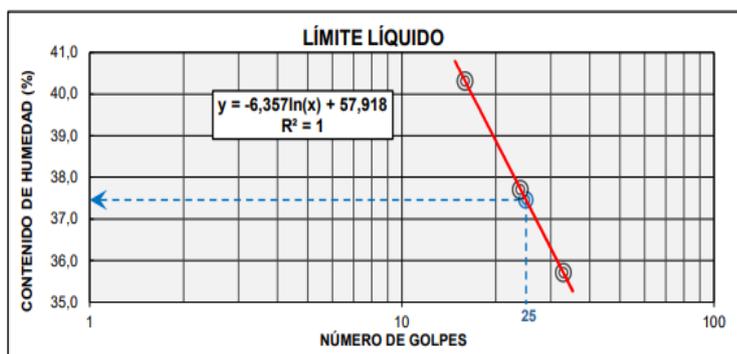
Tabla 41. Ensayo contenido de humedad, M-2

| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD - GLOBAL</b> |          |         |         |
|--------------------------------------|----------|---------|---------|
| No. de tara                          | RM-I-01  | RM-I-09 | RM-I-10 |
| Masa de la Tara (g)                  | 1365.00  | 1366.00 | 1366.00 |
| Masa de la Tara + Muestra húmeda (g) | 7365.00  | 7366.00 | 7366.00 |
| Masa de la Tara + Muestra seca (g)   | 6972.00  | 6947.00 | 6923.00 |
| Masa del agua (g)                    | 393.00   | 419.00  | 443.00  |
| Masa de la Muestra Seca (g)          | 5607.00  | 5581.00 | 5557.00 |
| Contenido de humedad (g)             | 7.00     | 7.50    | 8.00    |
| <b>w% Promedio (%)</b>               | <b>8</b> |         |         |

Tabla 42. Ensayo límites de Atterberg, M-2

|   |   |                             |
|---|---|-----------------------------|
| <b>Preparación del Espécimen de ensayo:</b> Ranurador: Plástico | <b>Método de ensayo</b>                   | <b>A</b>                    |
| Preparación Húmeda  | <b>Equipo para límite Plástico:</b>       | Manual                      |
| Tamizado por lavado en el tamiz No. 40                          | <b>Equipo para límite Líquido:</b>        | Manual                      |
| Preparación con agua destilada                                  | <b>Clasificación SUCS (ASTM D2487-17)</b> | GC- Clavey gravel with sand |

| <b>LÍMITES DE CONSISTENCIA</b>    | <b>LÍMITE LÍQUIDO</b> |       |       | <b>LÍMITE PLÁSTICO</b> |       |
|-----------------------------------|-----------------------|-------|-------|------------------------|-------|
| Tara No.                          | 11                    | 12    | 13    | 14                     | 15    |
| Masa de Tara (g)                  | 37.19                 | 27.86 | 27.50 | 28.00                  | 28.07 |
| Masa de Tara + Muestra húmeda (g) | 57.37                 | 48.00 | 47.78 | 38.08                  | 38.15 |
| Masa de Tara + Muestra seca (g)   | 52.06                 | 42.49 | 41.95 | 36.79                  | 36.88 |
| Masa del agua (g)                 | 5.31                  | 5.51  | 5.83  | 1.29                   | 1,27  |
| Masa de la Muestra Seca (g)       | 14.87                 | 14.63 | 14.45 | 8.79                   | 8.81  |
| Humedad (%)                       | 35.70                 | 37.70 | 40.30 | 14.68                  | 14.42 |
| Número de golpes                  | 33                    | 24    | 16    | <b>PROMEDIO</b>        | 15    |



| <b>Límites de Consistencia</b> |    |
|--------------------------------|----|
| LÍMITE LÍQUIDO (LL):           | 37 |
| LÍMITE PLÁSTICO (LP):          | 15 |
| INDICE DE PLASTICIDAD (IP):    | 22 |

| <b>Información Complementaria</b> |       |
|-----------------------------------|-------|
| Indice de Liquidez (IL):          | -0.32 |
| Indice de Compresión (Cc):        | 0.24  |
| Consistencia Relativa (CR):       | 1.32  |

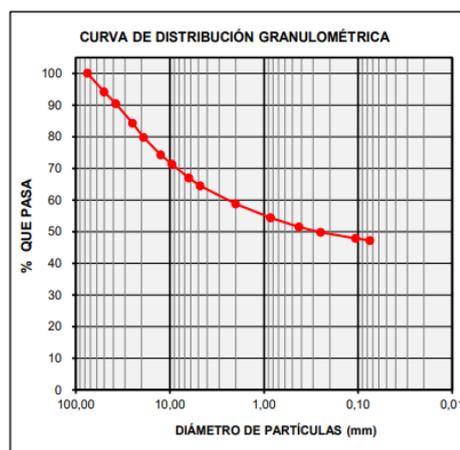
Tabla 43. Ensayo de gravedad específica de sólidos, M-2

| GRAVEDAD ESPECÍFICA   |         |             |         |
|---|---------|-------------|---------|
| ESPECIMEN DE ENSAYO No.   | E - 1   | E - 2       | E - 3   |
| No. Fiola   | 19      | 20          | 21      |
| Masa de la Muestra Seca (g)                                     | 61.25   | 72.98       | 72.71   |
| Masa de la Fiola (g)  | 204.49  | 204.95      | 200.9   |
| Masa de la Fiola + Agua + Muestra (g)                           | 741.86  | 749.73      | 745.57  |
| Temperatura del agua (°C)                                       | 19.3    | 19.2        | 19.3    |
| Masa media calibrada de la Fiola (g)                            | 204.54  | 204.97      | 200.93  |
| Volumen promedio Calibrado de la Fiola (g)                      | 499.46  | 499.52      | 499.56  |
| Masa de la Fiola + Agua a temperatura de Ensayo (g)             | 703.17  | 703.67      | 699.66  |
| Densidad del Agua a temperatura de ensayo (g/ml)                | 0.99835 | 0.99837     | 0.99835 |
| Factor "K"  | 1.00014 | 1.00016     | 1.00014 |
| Gravedad Específica (G <sub>20 °C</sub> )                       | 2.715   | 2.711       | 2.713   |
| <b>Gravedad Específica promedio (G<sub>promedio20 °C</sub>)</b> |         | <b>2.72</b> |         |

Tabla 44. Clasificación del tipo de suelo, M-2

| CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA DE ENSAYO |          |   |        |                             |       |
|---|----------|---|--------|-----------------------------|-------|
| Tamaño máx. de partícula:               | 3 in.    | Diámetro Efectivo D <sub>60</sub> (mm):   | 2.6    | Límite líquido (LL):        | 37    |
| Bloques (> 300 mm)                      | -        | Diámetro Efectivo D <sub>30</sub> (mm):   | 0.00   | Límite Plástico (LP):       | 15    |
| Bolones (75 mm- 300 mm)                 | 0.00%    | Diámetro Efectivo D <sub>10</sub> (mm):   | 0.00   | Índice de Plasticidad (IP): | 22    |
| Gravas (4.75 mm- 75 mm)                 | 35.50%   | Coefficiente de Uniformidad (Cu)          | -      | Índice de Liquidez (IL):    | -0.32 |
| Arenas (0.075 mm- 4.75 mm)              | 17.30%   | Coefficiente de Curvatura (Cc):           | -      | Índice de Compresión (Cc):  | 0.24  |
| Limos y Arcillas (<0.075 mm)            | 47.20%   | Error de ensayo (%):                      | 0.018% | Consistencia Relativa (CR): | 1.32  |
| <b>Masa muestra húmeda:</b>             | 18000.00 | <b>CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487-17)</b> |        |                             |       |
| <b>Masa seca Inicial:</b>               | 16745.00 | <b>CG-Clayey gravel with sand</b>         |        |                             |       |
| <b>Masa seca lavada:</b>                | 8846.00  |   |        |                             |       |

| TAMICES A.S.T.M. | ABERTURA (mm) | MASA RETENIDA | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA |
|------------------|---------------|---------------|----------------------|------------|
| 6 in.            | 150,000       | 0.00          | 0.0                  | 100.0      |
| 4 in.            | 100,000       | 0.00          | 0.0                  | 100.0      |
| 3 in.            | 75,000        | 0.00          | 0.0                  | 100.0      |
| 2 in.            | 50,000        | 976.00        | 5.8                  | 94.2       |
| 1 1/2 in.        | 37,500        | 618.00        | 9.5                  | 90.5       |
| 1 in.            | 25,000        | 1030.00       | 15.7                 | 84.3       |
| 3/4 in.          | 19,000        | 752.00        | 20.2                 | 79.8       |
| 1/2 in.          | 12,500        | 916.00        | 25.7                 | 74.3       |
| 3/8 in.          | 9,500         | 494.00        | 28.7                 | 71.3       |
| 1/4 in.          | 6,300         | 714.00        | 33.0                 | 67.0       |
| No. 4            | 4,750         | 416.00        | 35.5                 | 64.5       |
| No. 10           | 2,000         | 959.00        | 41.2                 | 58.8       |
| No. 20           | 0,850         | 739.61        | 45.6                 | 54.4       |
| No. 40           | 0,425         | 487.27        | 48.5                 | 51.5       |
| No. 60           | 0,250         | 281.86        | 50.2                 | 49.8       |
| No. 140          | 0,106         | 316.29        | 52.1                 | 47.9       |
| No. 200          | 0,075         | 120.03        | 52.8                 | 47.2       |
| Cazoleta         |               | 22.98         |                      |            |



| CLASIFICACIÓN                    |  |
|----------------------------------|--|
| NOMBRE ALTERNATIVO (NTP 339.134) | A.A.S.H.T.O. (NTP 339.135 - ASTM D 3282) |
| GC- Grava arcillosa con arena    | A-6 (6) SUELO ARCILLOSO                  |

Tabla 45. Ensayo de peso volumétrico de suelo cohesivo, M-2

| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>                                 |            |            |            |
|---|------------|------------|------------|
| <b>ESPECIMEN DE ENSAYO No.</b>                              | <b>E-1</b> | <b>E-2</b> | <b>E-3</b> |
| No. de tara   | RM-C-04    | RM-C-05    | RM-C-06    |
| Masa de la Tara (g)   | 84.03      | 83.07      | 83.87      |
| Masa de la Tara + Muestra húmeda (g)                        | 581.49     | 581.03     | 589.57     |
| Masa de la Tara + Muestra seca (g)                          | 525.32     | 528.73     | 536.8      |
| Masa del agua (g)   | 56.17      | 52.3       | 52.77      |
| Masa de la Muestra Seca (g)                                 | 441.29     | 445.66     | 452.93     |
| Contenido de humedad (g)                                    | 12.7       | 11.7       | 11.7       |
| <b>RELACIONES MASA-VOLUMEN</b>                              |            |            |            |
| <b>ESPECIMEN DE ENSAYO No.</b>                              | <b>E-1</b> | <b>E-2</b> | <b>E-3</b> |
| Masa de muestra Húmeda (g)                                  | 238.48     | 311.92     | 265.04     |
| Masa de muestra Húmeda + parafina (g)                       | 280.36     | 340.43     | 299.41     |
| Masa de muestra húmeda + parafina - agua sumergida (g)      | 120.48     | 166.4      | 137.96     |
| Temperatura del agua (°C)                                   | 22.2       | 22.2       | 22.2       |
| Gravedad específica de sólidos (ASTM D854)                  | 2.71       | 2.71       | 2.71       |
| Factor "K"  | 0.99952    | 0.99952    | 0.99952    |
| Masa de muestra seca (g)                                    | 211.61     | 279.25     | 237.28     |
| Peso de la Parafina (g)                                     | 41.88      | 28.51      | 34.37      |
| Volumen de suelo + Parafina (cm <sup>3</sup> )              | 159.8      | 173.95     | 161.37     |
| Volumen de Parafina (cm <sup>3</sup> )                      | 46.69      | 31.78      | 38.32      |
| Volumen de muestra - V (cm <sup>3</sup> )                   | 113.11     | 142.17     | 123.05     |
| Volumen de sólidos - Vs (cm <sup>3</sup> )                  | 78.08      | 103.04     | 87.56      |
| Densidad aparente húmeda (g/cm <sup>3</sup> )               | 2.108      | 2.194      | 2.154      |
| Densidad aparente seca (g/cm <sup>3</sup> )                 | 1.871      | 1.964      | 1.928      |
| Relacion de vacíos - e                                      | 0.449      | 0.38       | 0.405      |
| Porosidad -n (%)  | 30.967     | 27.521     | 28.845     |
| <b>Densidad Aparente húmeda promedio (g/cm<sup>3</sup>)</b> |            | 2.152      |            |
| <b>Densidad aparente seca promedio (g/cm<sup>3</sup>)</b>   |            | 1.921      |            |
| <b>Relación de vacíos promedio - e</b>                      |            | 0.411      |            |
| <b>Porosidad -n (%)</b>                                     |            | 29.111     |            |

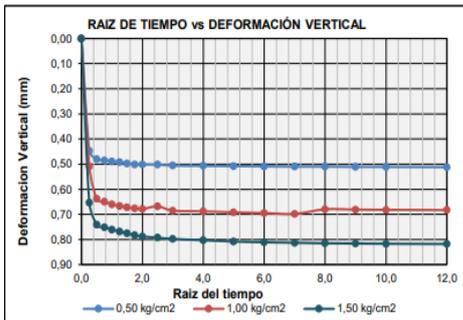
Densidad de la parafina: 0.897 g/cm<sup>3</sup>

Tabla 46. Ensayo de corte directo, M-2

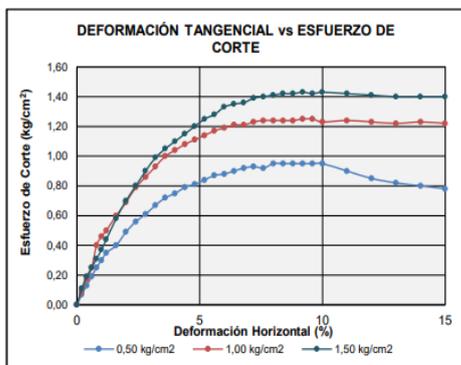
| DATOS GENERALES  |                         |        |                                      |        |                            |        |
|--|-------------------------|--------|--------------------------------------|--------|----------------------------|--------|
| Sondaje No./Calicata No./Estrato No.                                 | PROGRESIVA              |        | Muestra No. /Profundidad (m)         |        | -                          |        |
| Masa del anillo (g)  | 119.98                  |        | Símbolo de grupo SUCS                |        | GC-Clayey gravel with sand |        |
| Altura del anillo (mm)   | 21.36                   |        | Estado de la muestra                 |        | Alterada                   |        |
| Diámetro del anillo (mm)   | 50.96                   |        | Condición de ensayo                  |        | Consolidado-Drenado        |        |
| Área del anillo (cm <sup>2</sup> )                                   | 20.4                    |        | Condición de la estructura del suelo |        | Remoldeado                 |        |
| Volumen del anillo (cm <sup>3</sup> )                                | 43.57                   |        | Velocidad de ensayo                  |        | 0.18 mm/min                |        |
| CORTE DIRECTO  |                         |        |                                      |        |                            |        |
| ESPÉCIMEN No.  | ESPÉCIMEN -01           |        | ESPÉCIMEN -02                        |        | ESPÉCIMEN -03              |        |
| ESFUERZO NORMAL  | 0.50 kg/cm <sup>2</sup> |        | 1.00 kg/cm <sup>2</sup>              |        | 1.50 kg/cm <sup>2</sup>    |        |
| DESCRIPCIÓN  | INICIAL                 | FINAL  | INICIAL                              | FINAL  | INICIAL                    | FINAL  |
| CONTENIDO DE HUMEDAD   |                         |        |                                      |        |                            |        |
| No. de tara  | 42                      | 43     | 44                                   | 45     | 36                         | 37     |
| Masa de la Tara (g)  | 37.16                   | 37.14  | 37.13                                | 37.14  | 36.04                      | 36.99  |
| Masa de la Tara + Muestra húmeda (g)                                 | 131.74                  | 133.02 | 131.73                               | 133.33 | 131.79                     | 132.73 |
| Masa de la Tara + Muestra seca (g)                                   | 119.41                  | 120.38 | 120.17                               | 121.23 | 120.24                     | 120.92 |
| Masa del agua (g)  | 12.33                   | 12.64  | 11.56                                | 12.10  | 11.50                      | 11.81  |
| Masa de la Muestra Seca (g)  | 82.25                   | 83.24  | 83.04                                | 84.09  | 84.20                      | 83.93  |
| Humedad (%)  | 15.00                   | 15.20  | 13.90                                | 14.40  | 13.70                      | 14.10  |
| DENSIDADES   |                         |        |                                      |        |                            |        |
| Altura del espécimen (mm)  | 21.36                   | 21.32  | 21.36                                | 20.73  | 21.36                      | 20.37  |
| Masa del molde + Muestra (g)   | 214.44                  | 215.86 | 214.75                               | 216.17 | 214.53                     | 215.72 |
| Masa de tara + muestra húmeda (g)                                    | 94.46                   | 95.88  | 94.77                                | 96.19  | 94.55                      | 95.74  |
| Masa de tara + muestra seca (g)                                      | 82.14                   | 83.23  | 83.20                                | 84.08  | 83.16                      | 83.91  |
| Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )                                 | 2.17                    | 2.21   | 2.18                                 | 2.27   | 2.17                       | 2.3    |
| Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )                                   | 1.89                    | 1.91   | 1.91                                 | 1.99   | 1.91                       | 2.02   |
| DEFORMACIONES  |                         |        |                                      |        |                            |        |
| Deformación (mm)   | -0.042                  |        | -0.627                               |        | -0.992                     |        |
| RELACIONES FUNDAMENTALES DEL ESPÉCIMEN DE ENSAYO                     |                         |        |                                      |        |                            |        |
| Altura inicial de la muestra (H <sub>1</sub> ) (mm)                  | 21.36                   |        | 21.36                                |        | 21.36                      |        |
| Gravedad específica de sólidos (Gs)                                  | 2.71                    |        | 2.71                                 |        | 2.710                      |        |
| Volumen de sólidos (Vs) (cm <sup>3</sup> )                           | 35.38                   |        | 35.49                                |        | 35.33                      |        |
| Altura sólidos (Hs) (mm)   | 17.35                   |        | 17.4                                 |        | 17.32                      |        |
| Altura inicial de vacíos (Hv) (mm)                                   | 4.01                    |        | 3.96                                 |        | 4.04                       |        |
| Variación en la altura de la muestra (ΔH) (mm)                       | -0.04                   |        | -0.63                                |        | -0.99                      |        |
| Altura final de la muestra (H <sub>2</sub> =H <sub>1</sub> -ΔH) (mm) | 21.32                   |        | 20.73                                |        | 20.37                      |        |
| Altura inicial del agua (H <sub>w1</sub> ) (mm)                      | 7.05                    |        | 6.56                                 |        | 6.43                       |        |
| Altura final del agua (H <sub>w2</sub> ) (mm)                        | 7.15                    |        | 6.79                                 |        | 6.62                       |        |
| Relación de vacíos inicial (e <sub>0</sub> )                         | 0.231                   |        | 0.227                                |        | 0.233                      |        |
| Relación de vacíos final (e <sub>t</sub> )                           | 0.229                   |        | 0.191                                |        | 0.176                      |        |
| Grado de saturación inicial (G <sub>w1</sub> ) (%)                   | 175.66                  |        | 165.61                               |        | 159.22                     |        |
| Grado de saturación final (G <sub>w2</sub> ) (%)                     | 179.88                  |        | 203.87                               |        | 217.23                     |        |
| Deformación unitaria Axial (ε) (%)                                   | -0.20                   |        | -2.94                                |        | -4.64                      |        |

Tabla 47. Ensayo de corte directo, M-2

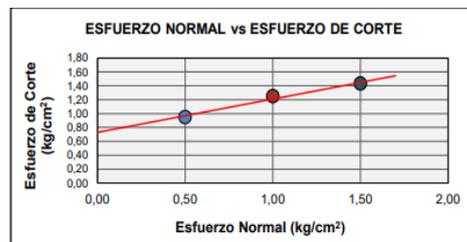
| CONSOLIDACIÓN   |                        |                           |                        |                 | CORTE                      |                             |   |      |      |
|-----------------|------------------------|---------------------------|------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------------------|---|------|------|
| Espécimen No.   | ESP.-1                 | ESP.-2                    | ESP.-3                 | Espécimen No.   | ESP.-1                     | ESP.-2                      | ESP.-3                                  |      |      |
| Esfuerzo Normal | 0.5 kg/cm <sup>2</sup> | 1.0 kg/cm <sup>2</sup>    | 1.5 kg/cm <sup>2</sup> | Esfuerzo Normal | 0.5 kg/cm <sup>2</sup>     | 1.0 kg/cm <sup>2</sup>      | 1.5 kg/cm <sup>2</sup>                  |      |      |
| TIEMPO (t)      |                        | DEFORMACIÓN VERTICAL (mm) |                        |                 | Deformación Horizontal (%) | Deformación Horizontal (mm) | ESFUERZO DE CORTE (kg/cm <sup>2</sup> ) |      |      |
| Minutos         | Raíz de (t)            |                           |                        |                 |                            |                             |   |      |      |
| 0               | 0.00                   | 0.000                     | 0.000                  | 0.000           | 0.0                        | 0.00                        | 0.00                                    | 0.00 | 0.00 |
| 0.07            | 0.26                   | 0.447                     | 0.509                  | 0.653           | 0.2                        | 0.10                        | 0.07                                    | 0.09 | 0.11 |
| 0.25            | 0.50                   | 0.480                     | 0.638                  | 0.741           | 0.4                        | 0.20                        | 0.13                                    | 0.17 | 0.19 |
| 0.57            | 0.75                   | 0.485                     | 0.650                  | 0.751           | 0.6                        | 0.31                        | 0.19                                    | 0.25 | 0.25 |
| 1.00            | 1.00                   | 0.489                     | 0.660                  | 0.760           | 0.8                        | 0.41                        | 0.25                                    | 0.40 | 0.31 |
| 1.57            | 1.25                   | 0.492                     | 0.667                  | 0.769           | 1.0                        | 0.51                        | 0.30                                    | 0.46 | 0.37 |
| 2.25            | 1.50                   | 0.498                     | 0.672                  | 0.775           | 1.2                        | 0.61                        | 0.35                                    | 0.50 | 0.44 |
| 3.07            | 1.75                   | 0.501                     | 0.676                  | 0.783           | 1.6                        | 0.82                        | 0.40                                    | 0.60 | 0.58 |
| 4.00            | 2.00                   | 0.502                     | 0.679                  | 0.788           | 2.0                        | 1.02                        | 0.49                                    | 0.69 | 0.70 |
| 6.25            | 2.50                   | 0.502                     | 0.668                  | 0.793           | 2.4                        | 1.22                        | 0.56                                    | 0.79 | 0.80 |
| 9.00            | 3.00                   | 0.506                     | 0.685                  | 0.898           | 2.8                        | 1.43                        | 0.61                                    | 0.86 | 0.90 |
| 16.00           | 4.00                   | 0.507                     | 0.688                  | 0.803           | 3.2                        | 1.63                        | 0.67                                    | 0.93 | 0.99 |
| 25.00           | 5.00                   | 0.508                     | 0.692                  | 0.808           | 3.6                        | 1.83                        | 0.72                                    | 1.00 | 1.05 |
| 36.00           | 6.00                   | 0.509                     | 0.695                  | 0.811           | 4.0                        | 2.04                        | 0.75                                    | 1.04 | 1.10 |
| 49.00           | 7.00                   | 0.510                     | 0.698                  | 0.813           | 4.4                        | 2.24                        | 0.79                                    | 1.08 | 1.15 |
| 64.00           | 8.00                   | 0.510                     | 0.680                  | 0.815           | 4.8                        | 2.45                        | 0.81                                    | 1.11 | 1.20 |
| 81.00           | 9.00                   | 0.511                     | 0.681                  | 0.816           | 5.2                        | 2.65                        | 0.84                                    | 1.14 | 1.25 |
| 100.00          | 10.00                  | 0.511                     | 0.682                  | 0.817           | 5.6                        | 2.85                        | 0.87                                    | 1.17 | 1.28 |
| 144.00          | 12.00                  | 0.512                     | 0.683                  | 0.818           | 6.0                        | 3.06                        | 0.88                                    | 1.19 | 1.33 |
|                 |                        |                           |                        |                 | 6.4                        | 3.26                        | 0.90                                    | 1.21 | 1.35 |
|                 |                        |                           |                        |                 | 6.8                        | 3.47                        | 0.92                                    | 1.21 | 1.36 |
|                 |                        |                           |                        |                 | 7.2                        | 3.67                        | 0.93                                    | 1.23 | 1.39 |
|                 |                        |                           |                        |                 | 7.6                        | 3.87                        | 0.92                                    | 1.24 | 1.40 |
|                 |                        |                           |                        |                 | 8.0                        | 4.08                        | 0.95                                    | 1.24 | 1.41 |
|                 |                        |                           |                        |                 | 8.4                        | 4.28                        | 0.95                                    | 1.24 | 1.42 |
|                 |                        |                           |                        |                 | 8.8                        | 4.48                        | 0.95                                    | 1.24 | 1.42 |
|                 |                        |                           |                        |                 | 9.2                        | 4.69                        | 0.95                                    | 1.25 | 1.43 |
|                 |                        |                           |                        |                 | 9.6                        | 4.89                        | 0.95                                    | 1.25 | 1.42 |
|                 |                        |                           |                        |                 | 10.0                       | 5.10                        | 0.95                                    | 1.23 | 1.43 |
|                 |                        |                           |                        |                 | 11.0                       | 5.61                        | 0.90                                    | 1.24 | 1.42 |
|                 |                        |                           |                        |                 | 12.0                       | 6.12                        | 0.85                                    | 1.23 | 1.41 |
|                 |                        |                           |                        |                 | 13.0                       | 6.62                        | 0.82                                    | 1.22 | 1.40 |
|                 |                        |                           |                        |                 | 14.0                       | 7.13                        | 0.80                                    | 1.23 | 1.40 |
|                 |                        |                           |                        |                 | 15.0                       | 7.64                        | 0.78                                    | 1.22 | 1.40 |



GRÁFICAS



| Espécimen No.                           | ESP.-1 | ESP.-2 | ESP.-3 |
|---|--------|--------|--------|
| Esfuerzo Normal (kg/cm <sup>2</sup> )   | 0.50   | 1.00   | 1.50   |
| Esfuerzo de corte (kg/cm <sup>2</sup> ) | 0.95   | 1.25   | 1.43   |



RESULTADOS

|                                       |       |
|---------------------------------------|-------|
| Ángulo de fricción Interno $\phi$ (°) | 25.64 |
| Cohesión c (kg/cm <sup>2</sup> )      | 0.730 |
| Cohesión c (t/m <sup>2</sup> )        | 7.300 |

## Apéndice E. Factor de seguridad

Figura 43. Factor de seguridad del talud en la sección 1-1

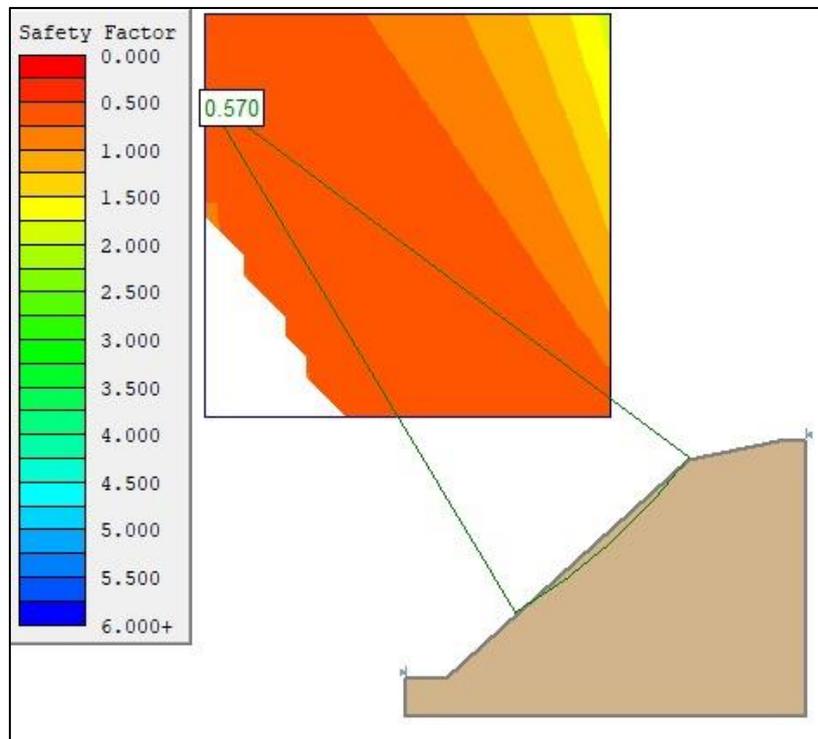


Figura 44. Factor de seguridad del talud en la sección 2-2

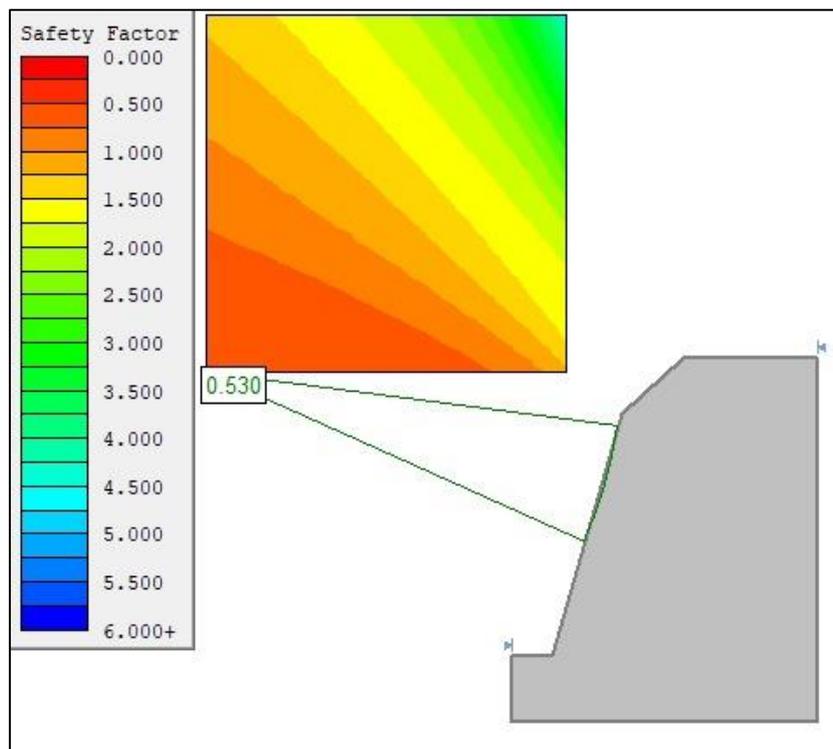


Figura 45. Factor de seguridad del talud en la sección 3-3

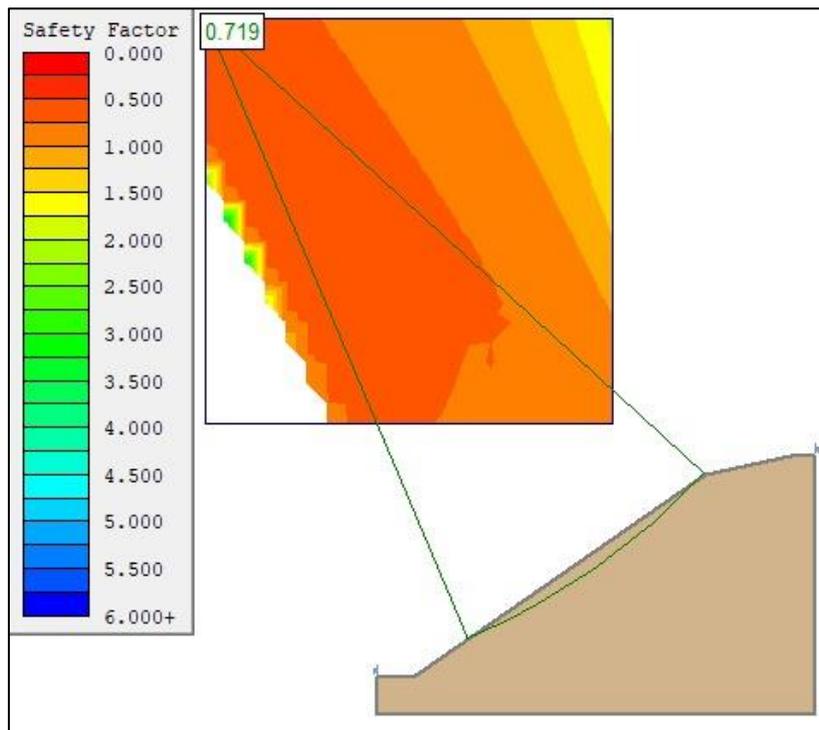


Figura 46. Factor de seguridad del talud en la sección 4-4

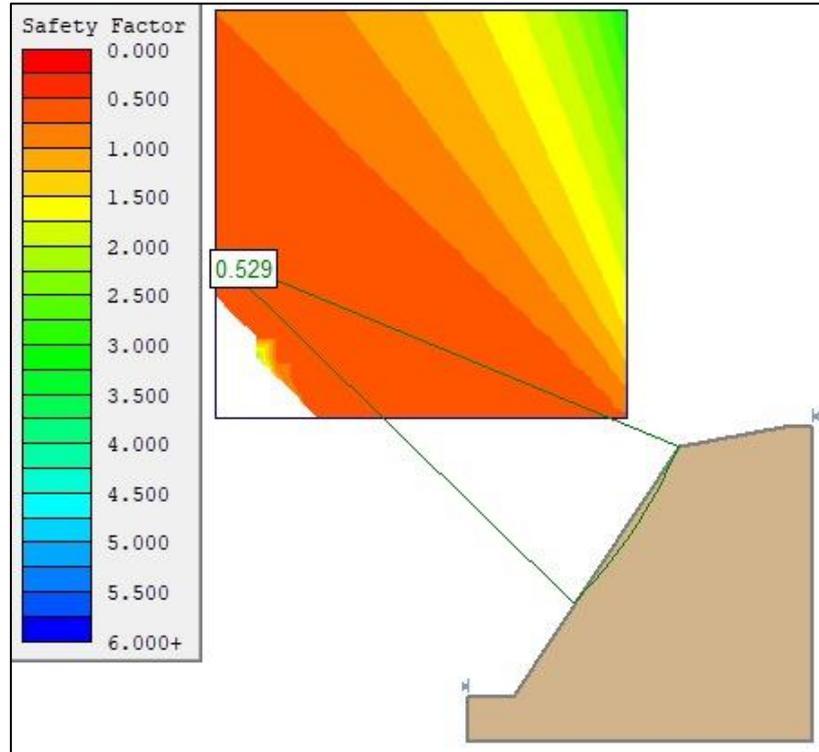


Figura 47. Factor de seguridad del talud en la sección 5-5

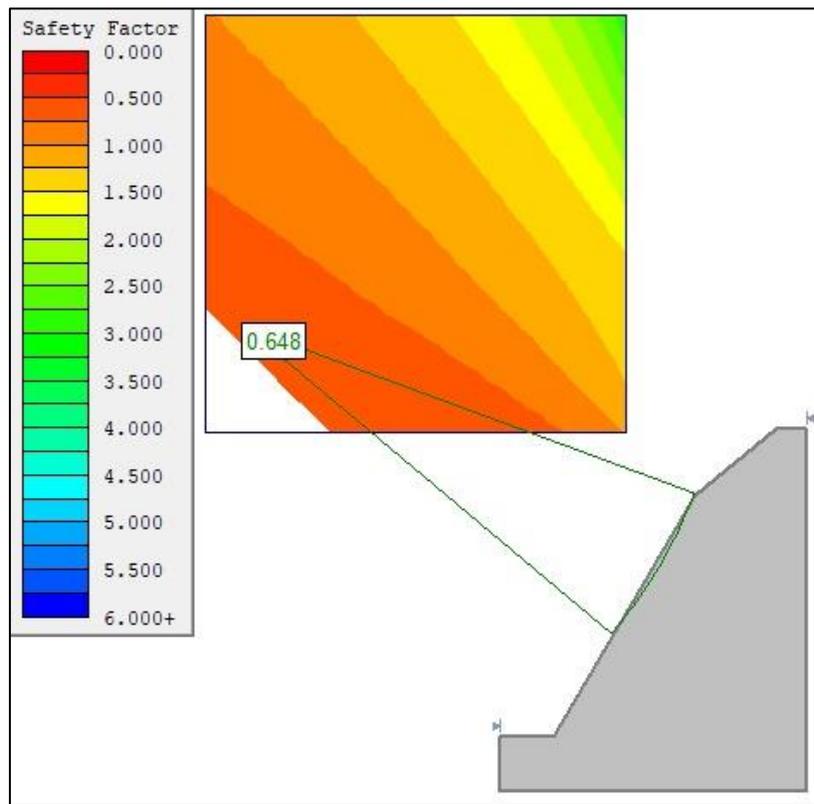


Figura 48. Factor de seguridad del talud en la sección 6-6

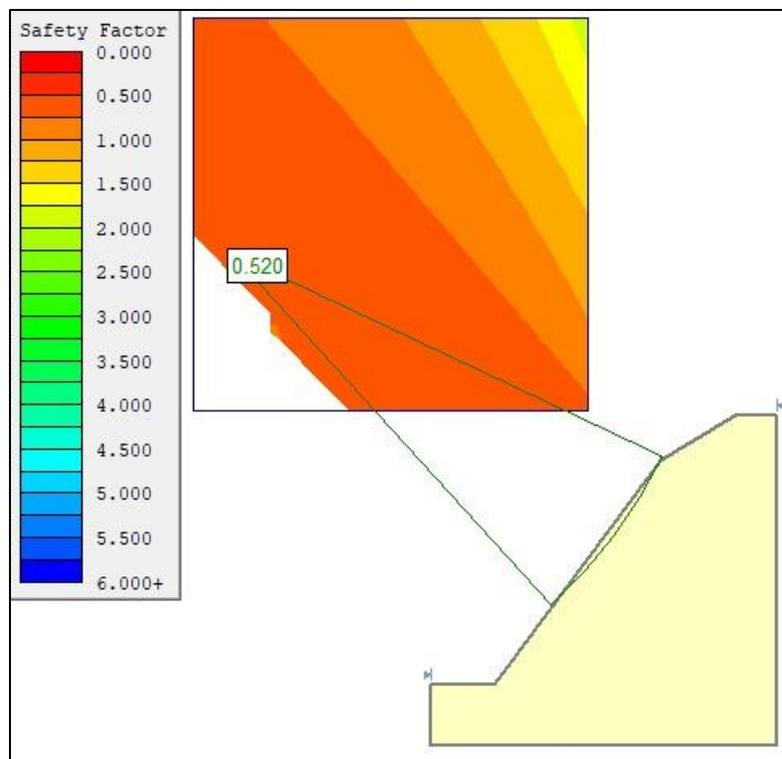


Figura 49. Factor de seguridad del talud en la sección 7-7

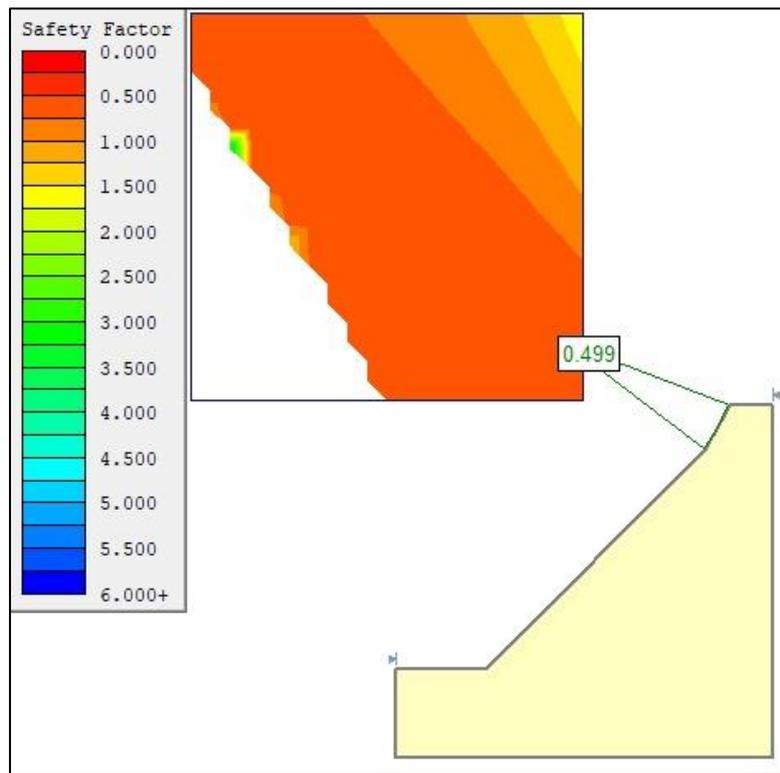


Figura 50. Factor de seguridad del talud en la sección 8-8

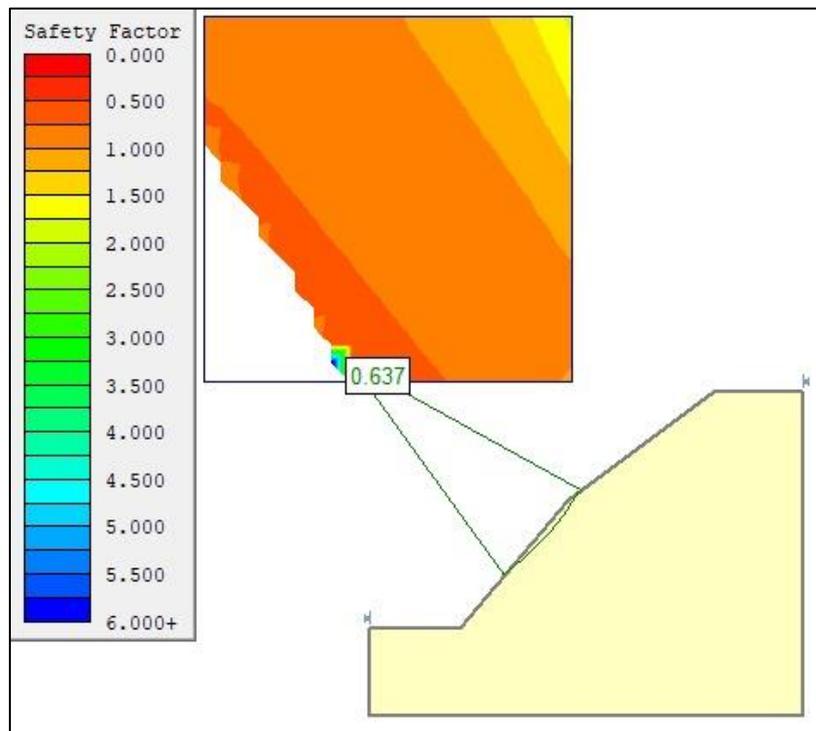


Figura 51. Factor de seguridad del talud en la sección 9-9

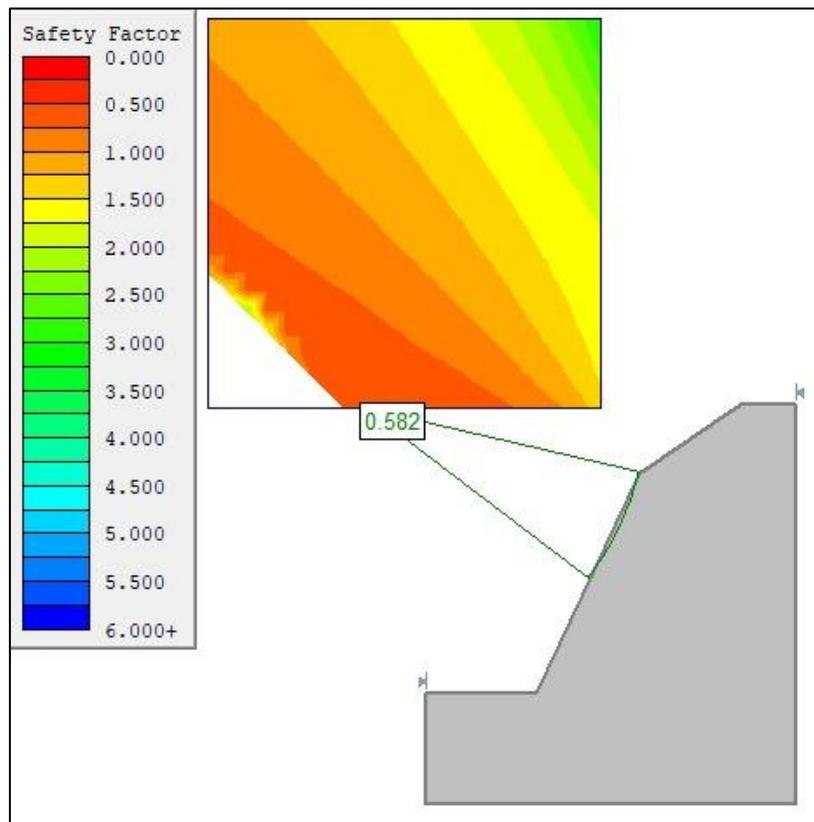
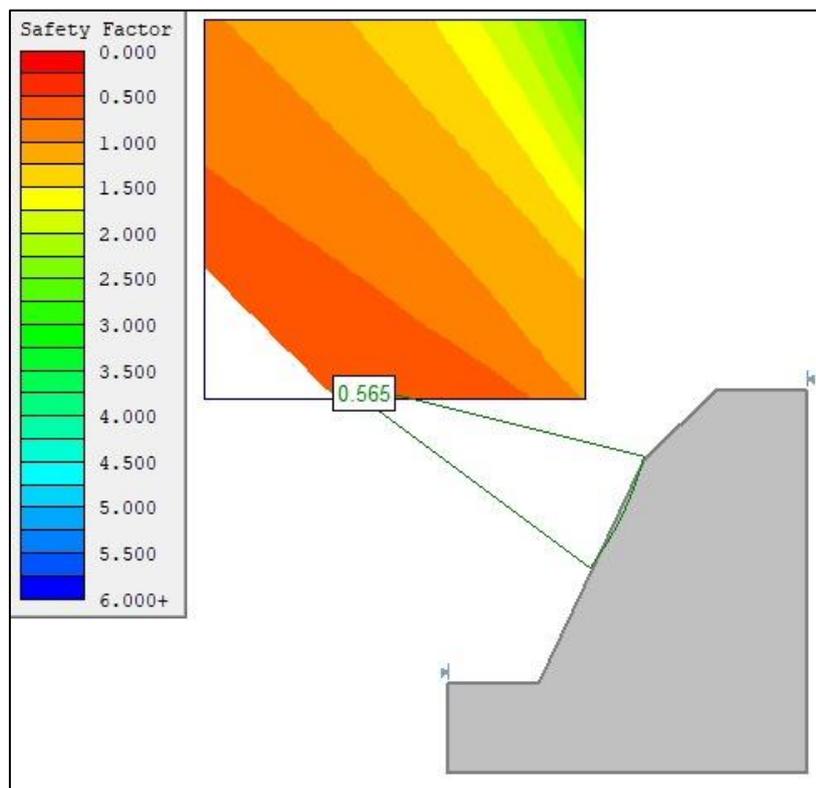


Figura 52. Factor de seguridad del talud en la sección 10-10



## ANEXOS

### Anexo A. Permisos para realización de ensayos

- Oficio N°005-2024-EAPIC-FI-UNC – Asunto: Autorización de laboratorio externo.
- Certificado proporcionado por el Laboratorio HURTECO, que acredita la realización de los ensayos por el tesista para su investigación.

### Anexo B. Certificados de calibración de los equipos topográficos

Tabla 48. Equipos y certificados de calibración

| <b>Equipo</b>  | <b>Certificado de calibración N°</b> |
|--|--------------------------------------|
| Nivel automático SOKKIA Modelo C28<br>N° serie: 005809 | 000144                               |
| Receptor GNSS R12i<br>N° serie: 6240F01457             | 24-OG-0091                           |
| Controladora<br>N° serie: JAJ231510117                 | N°2023-29741                         |



Universidad Nacional de Cajamarca  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL  
Teléfono N° 341518, Anexo 1217-Edificio 1C-106  
Cajamarca - Perú



"Año del Bicentenario de la Consolidación de Nuestra Independencia, y de la Conmemoración de las Heroicas Batallas De Junín y Ayacucho"

Cajamarca, 3 de enero de 2024.

**OFICIO N° 005-2024-EAPIC-FI-UNC**

Señor:  
Luis Felipe Chávez Chilón

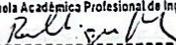
PRESENTE:

De mi mayor consideración:

Es grato dirigirme a usted, para saludarle cordialmente y, al mismo tiempo, autorizar el uso del Laboratorio externo; para que Usted realice sus respectivos ensayos de su tesis titulado: **"DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES QUE AFECTAN LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES UBICADOS EN LA CARRETERA CA-109 SECTOR SHURURO, CELENDÍN - CAJAMARCA"**.

Sin otro particular, hago propicia la ocasión para testimoniarle las muestras de mi especial deferencia.

Atentamente,

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
Escuela Académica Profesional de Ingeniería Civil  
  
Dra. Rosa Hayat Llique Mondragón  
DIRECTORA

Cc.  
- Archivo

LLMRH/yvette



## CERTIFICADO

El Ing. José del Carmen Urteaga Becerra, identificado con DNI N° 26601359, con Registro CIP N° 28359, Jefe de Laboratorio del Laboratorio HURTECO, con RUC N° 20453782761

## CERTIFICA:

Que, el Bach. Luis Felipe Chávez Chilón, identificado con DNI N° 71657272, con las muestras de suelo M-1 (LH-B-M-2024-0010) y M-2 (LH-B-N-2024-0011) realizó los siguientes ensayos:

- ASTM D2216-19 Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass – Método A
- NTP 339.128 1999 (revisada el 2019) SIJELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico.
- ASTM D854 – 23 Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer – Método A
- ASTM D4318 – 17 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils – Método A
- ASTM D3080/D3080M – 23 Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions
- NTP 339.139:1999 (revisada el 2014) SUELOS. Determinación del peso volumétrico de suelo cohesivo
- ASTM D2487 – 17 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)
- ASTM D3282 – 15 Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes

Los ensayos los realizó en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Pavimentos de la empresa de los Hnos. Urteaga Contratistas SRL, ubicado en la Av. El Porongo No. 118 del sector Armando Revoredo Iglesias - Caserío de Tartar Distrito de Baños Del Inca- Cajamarca entre los días 15/01/2024 al 23/01/2024.

Se expide la presente a solicitud al interesado para los fines que estime convenientes.

Cajamarca, 27 de mayo de 2024

HNOS. URTEAGA CONTRATISTAS SRL  
  
Ing. José del Carmen Urteaga Becerra  
Reg. CIP. 28359  
JEFE DE LABORATORIO



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**



OTORGADO A: LUIS FELIPE CHAVEZ CHILON

DNI: 71657272

EQUIPO: Nivel Automático SOKKIA Modelo C28

FECHA DE EMISION: 25/08/2023

No SERIE: 005809

PRÓXIMA CALIBRACIÓN: 25/02/2024

REDECOM PERÚ E.I.R.L, CERTIFICA EL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA DIN 18723, SEGUN LOS ESTANDARES INTERNACIONALES ESTABLECIDOS

| CARACTERISTICAS DEL EQUIPO   |  |
|--|--|
| Constante De Multiplicación: 100m<br>Telescopio Imagen directa: 28X<br>Precisión de medición doble a 1km:2.0mm | Diámetro Del Objetivo: 28mm<br>Precisión De Estabilización: 0.5" |

| VERIFICACIÓN DEL EQUIPO                               |                                |                           |
|---|--------------------------------|---------------------------|
| BASE  | CALIBRACION                    | APARIENCIA VISIBLE        |
| TORNILLOS: OK<br>NIVEL: OK<br>CONDICIONES FISICAS: OK | HORIZONTAL: OK<br>VERTICAL: OK | COLOR: OK<br>LIMPIEZA: OK |

| RESULTADOS DE LA VERIFICACION                                       | VALOR DEL PATRÓN | VALOR LEIDO EN EL INSTRUMENTO | ERROR | INCERTIDUMBRE |
|---|------------------|-------------------------------|-------|---------------|
| NIVEL CIRCULAR: OK<br>COMPENSADOR: OK<br>ALINEACIÓN DE RETÍCULO: OK | 90°00'00"        | 90°00'00"                     | 0mm   | 2.0mm         |

**CONDICIONES AMBIENTALES DE CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN**

Lugar: Laboratorio Servicio Técnico de REDECOM PERÚ E.I.R.L.  
Temperatura: Promedio de 15 grados C con variación de +/- 1.0 grados C. Humedad Relativa de 73%.

**TRAZABILIDAD DE LA VERIFICACIÓN**

Equipo utilizado Colimador Marca SANWEIS con telescopios de doble retículo es enfocado a dos metros y al infinito. El grosor de sus brazos está dentro de 2" y consta 3 tubos: El tubo principal F550-H1 consta de 2 retículos en plataforma fija, 2 tubos verticales F550-V1 y F550-V2 constan de un solo retículo, con distancia de enfoque infinito y una distancia focal de 550mm, apertura efectiva de 63mm y 2° 30" de campo de visión, que es revisado periódicamente y calibrado con estación total Leica ts10 2" con serie 3318071, con certificado de calibración blue N°3318071-220826-1145 emitido por Leica Geosystems.

DATOS: certificamos que el equipo en mención, se encuentra totalmente revisado, controlado y calibrado, según norma din 18723. Este equipo antes de salir de almacén ha sido chequeado, y se encuentra en perfecto estado, es de su responsabilidad el adecuado cuidado, esta empresa no se responsabiliza por posibles daños causados por una mala manipulación y/o transporte inapropiado. A la firma se muestra la conformidad.

|                          |   |
|--------------------------|---|
| RESPONSABLE VERIFICACIÓN | PROPIETARIO                                     |
| LABORATORIO REDECOM PERÚ | LUIS FELIPE CHAVEZ CHILON<br>DNI:71657272       |
| <br>FIRMA Y SELLO        | <br>Luis Felipe Chávez Chilón.<br>FIRMA Y SELLO |

## Certificado de Operatividad

Nombre Cliente: INVERSIONES NBN S.A.C.

No. Certificado: 24-OG-0091

Equipo: RECEPTOR GNSS R12i

Fecha de Certificado: 16/02/2024

Marca: TRIMBLE

Fecha de Vencimiento: 16/02/2025

P.N.: 90914-60

Revisión: 1.0

Número de Serie: 6240F01457

GEO SYSTEMS S.A.C. certifica que el equipo arriba descrito cumple con las especificaciones técnicas de la fábrica y los estándares internacionales establecidos.

En las pruebas efectuadas en Tiempo Real, el equipo se encuentra dentro de las tolerancias del fabricante.

### MEDICION CINEMATICA EN TIEMPO REAL (REAL TIME KINEMATIC)

|            |               |
|------------|---------------|
| HORIZONTAL | 8 mm + 1 ppm  |
| VERTICAL   | 15 mm + 1 ppm |

Los resultados obtenidos en las pruebas de Post Proceso fueron realizados en el software TRIMBLE BUSINESS CENTER V.5.6

### PRECISIÓN MODO ESTATICO DE ALTA PRECISION (POST PROCESO)

|            |                      |
|------------|----------------------|
| HORIZONTAL | 3 mm + 0.1 ppm RMS   |
| VERTICAL   | 3.5 mm + 0.4 ppm RMS |

### Coordenadas del Punto del Orden "C", usado para la verificación de los equipos

| ID    | C-NORTE     | C-ESTE     | ELEVACION |
|-------|-------------|------------|-----------|
| Geo 1 | 8662725.493 | 280963.495 | 162.148   |

Sello

Fecha

Responsable de la revisión



16.02.2024

Iván Aranda Z.  
Área de Servicio Técnico



- Este Certificado no atribuye al equipo otras características que las indicadas por los datos aquí contenidos. Los resultados se refieren al momento y condiciones en que se efectuaron las mediciones. Se garantiza la trazabilidad a los patrones nacionales.
- No se permite la reproducción parcial de este documento sin autorización expresa para ello.
- Verificar la autenticidad del certificado, fecha de emisión y vencimiento, número de serie del equipo escaneando el código QR en el equipo



## CERTIFICADO CALIBRACION Y OPERATIVIDAD N° 2023-29741

RUC: 20610269568  
Cliente: INVERSIONES NBN S.A.C.  
Equipo: CONTROLADORA  
Marca: TRIMBLE  
Modelo: TSC5  
Series: JAJ231510117



Fecha de revisión: 2024-02-13  
Próxima revisión: 2025-02-13

INTOP S.A.C, certifica que el equipo cumple con las especificaciones técnicas detalladas por el fabricante y con los estándares internacionales establecidos.

De acuerdo a las pruebas realizadas en tiempo real (RTK) y modo estático, el equipo se encuentra dentro del rango de tolerancia e incertidumbre establecido por el fabricante.

Lima, 13 de Febrero del 2024

Atentamente

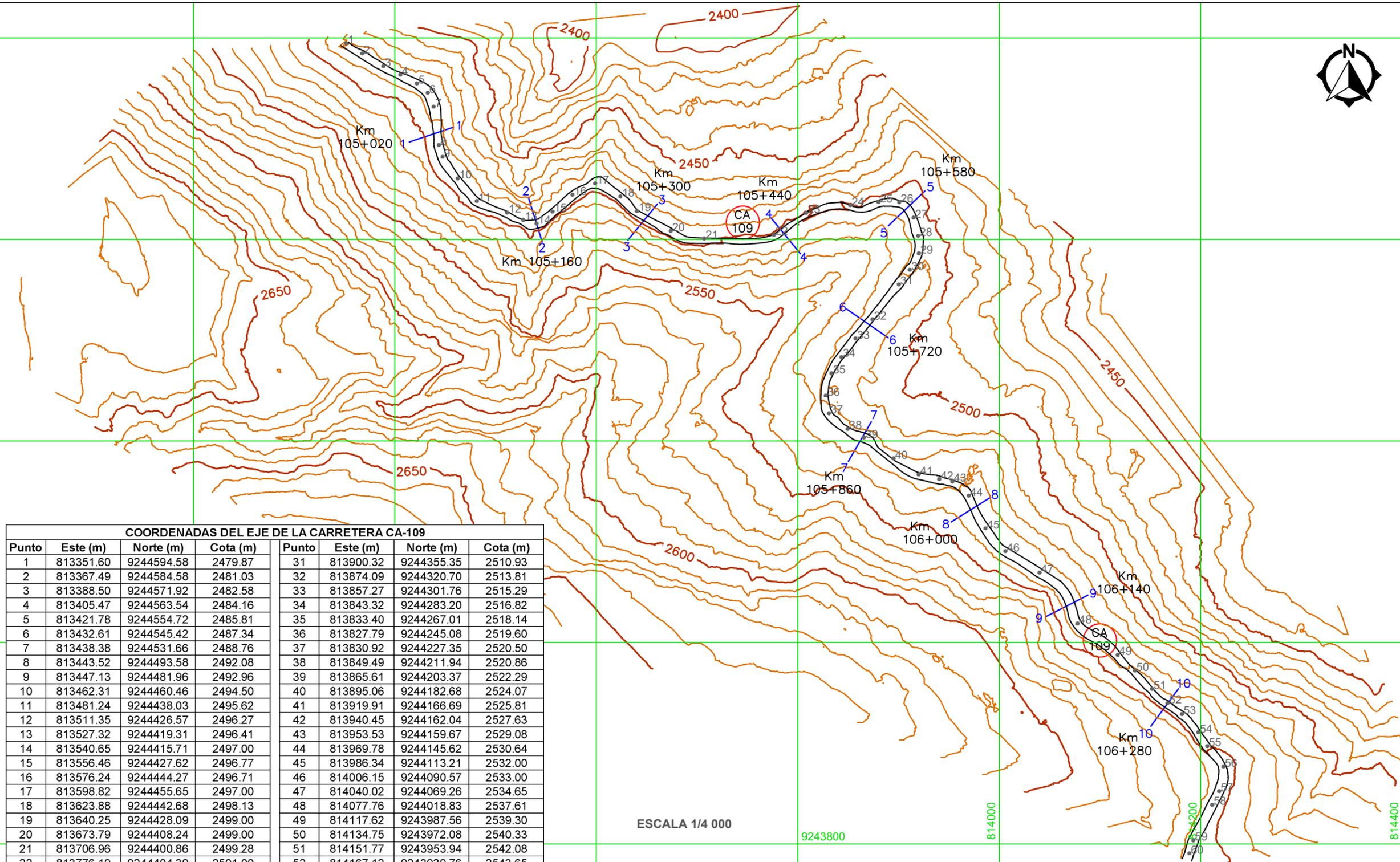
Servicio Técnico



### **Anexo C. Planos**

- **Plano T-01:** Topografía de la carretera CA-109, sector Shururo.
- **Plano S-01:** Secciones transversales.
- **Plano F-01:** Ortofoto de la carretera CA-109, sector Shururo.

# TOPOGRAFÍA DE LA CARRETERA CA-109 SECTOR SHURURO - CELENDÍN



**COORDENADAS DEL EJE DE LA CARRETERA CA-109**

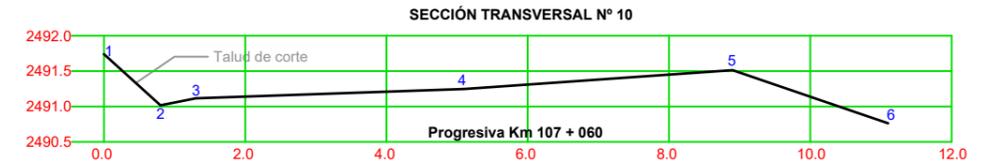
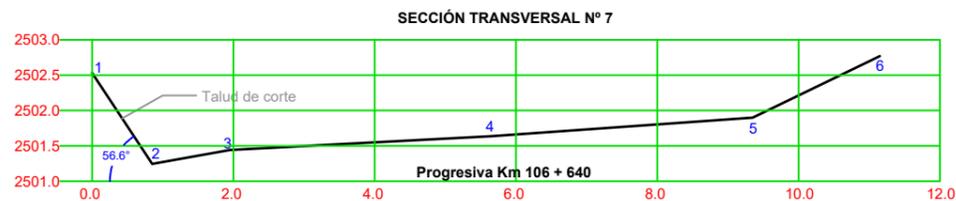
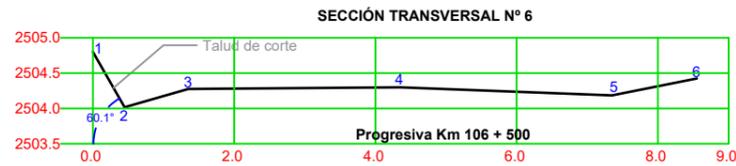
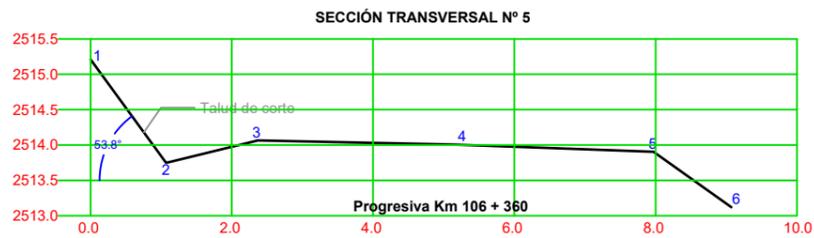
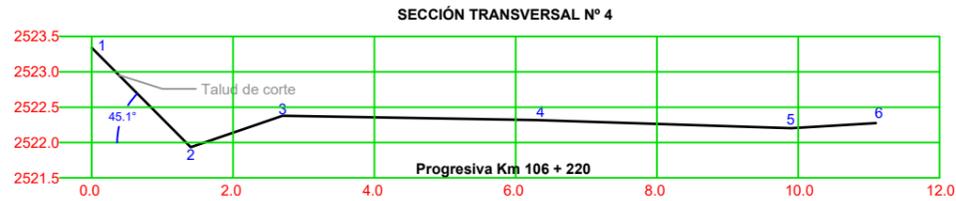
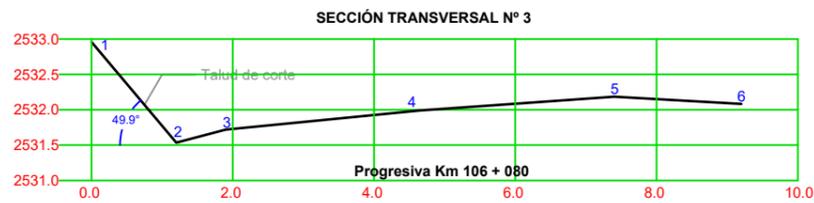
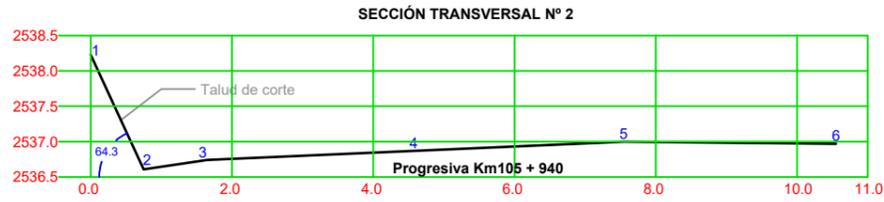
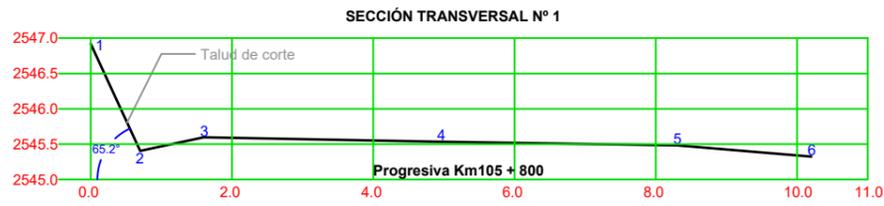
| Punto | Este (m)  | Norte (m)  | Cota (m) | Punto | Este (m)  | Norte (m)  | Cota (m) |
|-------|-----------|------------|----------|-------|-----------|------------|----------|
| 1     | 813351.60 | 9244594.58 | 2479.87  | 31    | 813900.32 | 9244355.35 | 2510.93  |
| 2     | 813367.49 | 9244584.58 | 2481.03  | 32    | 813874.09 | 9244320.70 | 2513.81  |
| 3     | 813388.50 | 9244571.92 | 2482.58  | 33    | 813857.27 | 9244301.76 | 2515.29  |
| 4     | 813405.47 | 9244563.54 | 2484.16  | 34    | 813843.32 | 9244283.20 | 2516.82  |
| 5     | 813421.78 | 9244554.72 | 2485.81  | 35    | 813833.40 | 9244267.01 | 2518.14  |
| 6     | 813432.61 | 9244545.42 | 2487.34  | 36    | 813827.79 | 9244245.08 | 2519.60  |
| 7     | 813438.38 | 9244531.66 | 2488.76  | 37    | 813830.92 | 9244227.35 | 2520.50  |
| 8     | 813443.52 | 9244493.58 | 2492.08  | 38    | 813849.49 | 9244211.94 | 2520.86  |
| 9     | 813447.13 | 9244481.96 | 2492.96  | 39    | 813865.61 | 9244203.37 | 2522.29  |
| 10    | 813462.31 | 9244460.46 | 2494.50  | 40    | 813895.06 | 9244182.68 | 2524.07  |
| 11    | 813481.24 | 9244438.03 | 2495.62  | 41    | 813919.91 | 9244166.69 | 2525.81  |
| 12    | 813511.35 | 9244426.57 | 2496.27  | 42    | 813940.45 | 9244162.04 | 2527.63  |
| 13    | 813527.32 | 9244419.31 | 2496.41  | 43    | 813953.53 | 9244159.67 | 2529.08  |
| 14    | 813540.65 | 9244415.71 | 2497.00  | 44    | 813969.78 | 9244145.62 | 2530.64  |
| 15    | 813556.46 | 9244427.62 | 2496.77  | 45    | 813986.34 | 9244113.21 | 2532.00  |
| 16    | 813576.24 | 9244444.27 | 2496.71  | 46    | 814006.15 | 9244090.57 | 2533.00  |
| 17    | 813598.82 | 9244455.65 | 2497.00  | 47    | 814040.02 | 9244069.26 | 2534.65  |
| 18    | 813623.88 | 9244442.68 | 2498.13  | 48    | 814077.76 | 9244018.83 | 2537.61  |
| 19    | 813640.25 | 9244428.09 | 2499.00  | 49    | 814117.62 | 9243987.56 | 2539.30  |
| 20    | 813673.79 | 9244408.24 | 2499.00  | 50    | 814134.75 | 9243972.08 | 2540.33  |
| 21    | 813706.96 | 9244400.86 | 2499.28  | 51    | 814151.77 | 9243953.94 | 2542.08  |
| 22    | 813776.19 | 9244404.39 | 2501.00  | 52    | 814167.12 | 9243939.76 | 2543.65  |
| 23    | 813808.35 | 9244426.29 | 2500.00  | 53    | 814181.41 | 9243928.87 | 2545.37  |
| 24    | 813851.98 | 9244434.00 | 2500.00  | 54    | 814197.61 | 9243910.78 | 2548.12  |
| 25    | 813880.23 | 9244437.01 | 2501.91  | 55    | 814206.55 | 9243897.07 | 2549.62  |
| 26    | 813900.73 | 9244436.87 | 2503.41  | 56    | 814222.54 | 9243876.86 | 2551.67  |
| 27    | 813914.93 | 9244421.59 | 2505.03  | 57    | 814218.32 | 9243852.41 | 2552.94  |
| 28    | 813919.49 | 9244403.47 | 2506.53  | 58    | 814211.46 | 9243838.89 | 2554.37  |
| 29    | 813920.17 | 9244386.09 | 2508.04  | 59    | 814192.73 | 9243803.50 | 2557.67  |
| 30    | 813911.12 | 9244369.78 | 2509.49  | 60    | 814188.85 | 9243790.66 | 2558.78  |

ESCALA 1/4 000



|  |                   |                  |               |
|--|-------------------|------------------|---------------|
| <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b>   |                   |                  |               |
| <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>  |                   |                  |               |
| ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  |                   |                  |               |
| <b>PROYECTO:</b>   |                   |                  |               |
| "DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES QUE AFECTAN LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES UBICADOS EN LA CARRETERA CA-109 SECTOR SHURURO, CELENDÍN - CAJAMARCA" |                   |                  |               |
| <b>PLANO:</b>  |                   | <b>PLANO N°:</b> |               |
| TOPOGRAFÍA DE LA CARRETERA CA-109 SECTOR SHURURO   |                   | <b>T-01</b>      |               |
| <b>TESISTA:</b>  |                   |                  |               |
| Bach. LUIS FELIPE CHÁVEZ CHILÓN  |                   |                  |               |
| <b>REGIÓN:</b>   | <b>PROVINCIA:</b> | <b>DISTRITO:</b> | <b>FECHA:</b> |
| CAJAMARCA  | CELENDÍN          | CELENDÍN         | 2024          |

813000
813200
813400
813600
813800
9243600
9243800
9244000
9244200
9244400
9244600



**DATOS DE LA NIVELACIÓN**

| Sección transversal N° 1 |       |               |                |
|--------------------------|-------|---------------|----------------|
| Punto                    | Tramo | Distancia (m) | Cota (m.s.n.m) |
| 1                        |       | 0.00          | 2546.92        |
| 2                        | 1-2   | 0.70          | 2545.41        |
| 3                        | 2-3   | 0.90          | 2545.60        |
| 4                        | 3-4   | 3.35          | 2545.54        |
| 5                        | 4-5   | 3.35          | 2545.49        |
| 6                        | 5-6   | 1.90          | 2545.33        |

| Sección transversal N° 6 |       |               |                |
|--------------------------|-------|---------------|----------------|
| Punto                    | Tramo | Distancia (m) | Cota (m.s.n.m) |
| 1                        |       | 0.00          | 2504.80        |
| 2                        | 1-2   | 0.45          | 2504.02        |
| 3                        | 2-3   | 0.90          | 2504.28        |
| 4                        | 3-4   | 3.00          | 2504.30        |
| 5                        | 4-5   | 3.00          | 2504.19        |
| 6                        | 5-6   | 1.20          | 2504.43        |

| Sección transversal N° 2 |       |               |                |
|--------------------------|-------|---------------|----------------|
| Punto                    | Tramo | Distancia (m) | Cota (m.s.n.m) |
| 1                        |       | 0.00          | 2538.24        |
| 2                        | 1-2   | 0.75          | 2536.61        |
| 3                        | 2-3   | 0.90          | 2536.75        |
| 4                        | 3-4   | 2.95          | 2536.88        |
| 5                        | 4-5   | 2.95          | 2537.00        |
| 6                        | 5-6   | 3.00          | 2536.97        |

| Sección transversal N° 7 |       |               |                |
|--------------------------|-------|---------------|----------------|
| Punto                    | Tramo | Distancia (m) | Cota (m.s.n.m) |
| 1                        |       | 0.00          | 2502.53        |
| 2                        | 1-2   | 0.85          | 2501.24        |
| 3                        | 2-3   | 1.10          | 2501.44        |
| 4                        | 3-4   | 3.70          | 2501.63        |
| 5                        | 4-5   | 3.70          | 2501.90        |
| 6                        | 5-6   | 1.80          | 2502.77        |

| Sección transversal N° 3 |       |               |                |
|--------------------------|-------|---------------|----------------|
| Punto                    | Tramo | Distancia (m) | Cota (m.s.n.m) |
| 1                        |       | 0.00          | 2532.96        |
| 2                        | 1-2   | 1.20          | 2531.53        |
| 3                        | 2-3   | 0.70          | 2531.72        |
| 4                        | 3-4   | 2.75          | 2531.99        |
| 5                        | 4-5   | 2.75          | 2532.18        |
| 6                        | 5-6   | 1.80          | 2532.08        |

| Sección transversal N° 8 |       |               |                |
|--------------------------|-------|---------------|----------------|
| Punto                    | Tramo | Distancia (m) | Cota (m.s.n.m) |
| 1                        |       | 0.00          | 2498.92        |
| 2                        | 1-2   | 0.65          | 2498.46        |
| 3                        | 2-3   | 0.70          | 2498.60        |
| 4                        | 3-4   | 2.85          | 2498.73        |
| 5                        | 4-5   | 2.85          | 2498.76        |
| 6                        | 5-6   | 2.50          | 2499.06        |

| Sección transversal N° 4 |       |               |                |
|--------------------------|-------|---------------|----------------|
| Punto                    | Tramo | Distancia (m) | Cota (m.s.n.m) |
| 1                        |       | 0.00          | 2523.34        |
| 2                        | 1-2   | 1.40          | 2521.94        |
| 3                        | 2-3   | 1.30          | 2522.38        |
| 4                        | 3-4   | 3.60          | 2522.32        |
| 5                        | 4-5   | 3.60          | 2522.21        |
| 6                        | 5-6   | 1.20          | 2522.28        |

| Sección transversal N° 9 |       |               |                |
|--------------------------|-------|---------------|----------------|
| Punto                    | Tramo | Distancia (m) | Cota (m.s.n.m) |
| 1                        |       | 0.00          | 2497.56        |
| 2                        | 1-2   | 0.15          | 2497.03        |
| 3                        | 2-3   | 0.80          | 2497.20        |
| 4                        | 3-4   | 2.60          | 2497.18        |
| 5                        | 4-5   | 2.60          | 2497.17        |
| 6                        | 5-6   | 3.20          | 2497.58        |

| Sección transversal N° 5 |       |               |                |
|--------------------------|-------|---------------|----------------|
| Punto                    | Tramo | Distancia (m) | Cota (m.s.n.m) |
| 1                        |       | 0.00          | 2515.21        |
| 2                        | 1-2   | 1.07          | 2513.75        |
| 3                        | 2-3   | 1.30          | 2514.07        |
| 4                        | 3-4   | 2.80          | 2514.01        |
| 5                        | 4-5   | 2.80          | 2513.91        |
| 6                        | 5-6   | 1.10          | 2513.12        |

| Sección transversal N° 10 |       |               |                |
|---------------------------|-------|---------------|----------------|
| Punto                     | Tramo | Distancia (m) | Cota (m.s.n.m) |
| 1                         |       | 0.00          | 2491.74        |
| 2                         | 1-2   | 0.80          | 2491.02        |
| 3                         | 2-3   | 0.50          | 2491.12        |
| 4                         | 3-4   | 3.80          | 2491.25        |
| 5                         | 4-5   | 3.80          | 2491.52        |
| 6                         | 5-6   | 2.20          | 2490.77        |

ESCALA 1/100



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**PROYECTO:**  
 "DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES QUE AFECTAN LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES UBICADOS EN LA CARRETERA CA-109 SECTOR SHURURO, CELENDÍN - CAJAMARCA"

**PLANO:** SECCIONES TRANSVERSALES **PLANO N°:**

**TESISTA:** Bach. LUIS FELIPE CHÁVEZ CHILÓN **S-01**

**REGIÓN:** CAJAMARCA **PROVINCIA:** CELENDÍN **DISTRITO:** CELENDÍN **FECHA:** 2024

# ORTOFOTO DE LA CARRETERA CA-109 SECTOR SHURURO - CELENDÍN



9244600

9244400

9244200

9244000

814400

814000

813600

813200

813000

DESLIZAMIENTO DEL TALUD

INEXISTENCIA DE ZANJAS DE CORONACIÓN

DESLIZAMIENTO DEL TALUD

ZONA INESTABLE

ZONA CON ABUNDANTE VEGETACIÓN

ESCARPE EN FORMACIÓN

INEXISTENCIA DE ZANJAS DE CORONACIÓN

QUEBRADA SHURURO

FALLA GEOLÓGICA

MOVIMIENTOS DE MASAS DE SUELO EN LADERAS DE QUEBRADA

ESCALA 1/4 000



|  |                               |                              |                                 |
|--|-------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b>   |                               |                              |                                 |
| <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>  |                               |                              |                                 |
| ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  |                               |                              |                                 |
| <b>PROYECTO:</b><br>"DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES QUE AFECTAN LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES UBICADOS EN LA CARRETERA CA-109 SECTOR SHURURO, CELENDÍN - CAJAMARCA" |                               |                              |                                 |
| <b>PLANO:</b><br>ORTOFOTO DE LA CARRETERA CA-109 SECTOR SHURURO  |                               |                              | <b>PLANO N°:</b><br><b>F-01</b> |
| <b>TESISTA:</b><br>Bach. LUIS FELIPE CHÁVEZ CHILÓN   |                               |                              |                                 |
| <b>REGIÓN:</b><br>CAJAMARCA  | <b>PROVINCIA:</b><br>CELENDÍN | <b>DISTRITO:</b><br>CELENDÍN | <b>FECHA:</b><br>2024           |