

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS:

**“EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES ENTRE EL
KM 38 AL KM 44 DE LA CARRETERA CAJAMARCA – CIUDAD DE
DIOS”**

PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

AUTOR:

Bach. CABRERA BOÑÓN, Cristhian Wilder

ASESOR:

Dr. Ing. MOSQUEIRA RAMIREZ, Hermes Roberto

CAJAMARCA, PERÚ

2026

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador: CABRERA BOÑÓN, CRISTHIAN WILDER
2. DNI: 71621465
Escuela Profesional: Ingeniería Civil
3. Asesor: Dr. Ing. Hermes Roberto Mosqueira Ramirez
Facultad: Ingeniería Civil
4. Grado académico o título profesional
☐ Bachiller ☒ Título profesional ☐ Segunda especialidad
☐ Maestro ☐ Doctor
5. Tipo de Investigación:
☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
☐ Trabajo académico
6. Título de Trabajo de Investigación: "EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES ENTRE EL KM 38 AL KM 44 DE LA CARRETERA CAJAMARCA – CIUDAD DE DIOS"
7. Fecha de evaluación: 3 de Marzo 2026
8. Software antiplagio: ☒ TURNITIN ☐ URKUND (OURIGINAL) (*)
9. Porcentaje de Informe de Similitud: 12%
10. Código Documento: trn:oid:::3117:563312284
11. Resultado de la Evaluación de Similitud:
☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO
Fecha Emisión: 3 de Marzo del 2026



Firmado digitalmente por:
BAZAN DIAZ Laura Sofia
FAU 20148258601 soft
Motivo: En señal de
conformidad
Fecha: 03/03/2026 17:35:10-0500

FIRMA DEL ASESOR
Nombres y Apellidos Hermes Roberto Mosqueira Ramirez
DNI No 26673916

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

ACTA N° 0122-2026

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Art. 035 del Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, da a conocer que, a los **diez días del mes de marzo de 2026**, siendo las dieciséis horas (04:00 p.m.) en la Sala de Audiovisuales (Edificio 1A – Segundo Piso), de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional de Cajamarca, se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dra. Ing. Rosa Haydee Llique Mondragón.
Vocal : Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas.
Secretario : Ing. Marco Wilder Hoyos Saucedo.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis **EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES ENTRE EL KM 38 AL KM 44 DE LA CARRETERA CAJAMARCA – CIUDAD DE DIOS**, presentado por el bachiller en Ingeniería Civil **CRISTHIAN WILDER CABRERA BOÑÓN**, asesorado por el Dr. Ing. Hermes Roberto Mosqueira Ramírez, para la obtención del Título Profesional.

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante, debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : 6 PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : 12 PTS.
EVALUACIÓN FINAL : 18 PTS Dieciocho (En letras)

En consecuencia, se lo declara APROBADO con el calificativo de 18 (Dieciocho) acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las 19:30 horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dra. Ing. Rosa Haydee Llique Mondragón.
Presidente

Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas.
Vocal

Ing. Marco Wilder Hoyos Saucedo.
Secretario

Dr. Ing. Hermes Roberto Mosqueira Ramírez.
Asesor

Agradecer a Dios por la vida y por ser nuestro guía en la vida, por brindarme la salud hasta el día de hoy; agradecer del mismo modo a mis padres y hermanas por su apoyo y sustento en cada momento, por brindarme la oportunidad de estudiar y apoyarme en ese camino de mi formación profesional.

Agradecer a mis seres queridos por su constante apoyo y compañía durante este proceso. Sus palabras de aliento y comprensión fueron fundamentales para alcanzar esta meta.

Agradecer de igual modo a mi asesor, Dr.Ing. Hermes Roberto Mosqueira Ramírez, por guiarme en el desarrollo de la presente investigación; y a mis docentes que me han guiado en mi formación profesional.

Cristhian

El presente trabajo de investigación va dedicado a Dios por ser el autor de la vida; a mis padres, hermanas, familiares y todas las personas que me han apoyado en mi formación personal y profesional, por los consejos para seguir adelante superando las dificultades con su apoyo y amor incondicional.

Cristhian

Índice de Contenido

Paginas preliminares

Agradecimiento.....	i
Dedicatoria.....	ii
Índice de Contenido	iii
Paginas preliminares.....	iii
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT... ..	ix
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	10
1.1. Planteamiento del problema.....	10
1.2. Formulación del problema	11
1.3. Objetivos.....	11
1.4. Hipótesis.....	11
1.5. Justificación del estudio	12
1.6. Delimitación de la investigación	12
1.7. Limitaciones.....	12
1.8. Descripción de los contenidos de los capítulos.....	12
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	14
2.1. Antecedentes de la investigación	14
2.2. Marco conceptual.....	20
2.3. Definición de términos básicos.....	41
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.	42
3.1. Ubicación geográfica.	42
3.2. Tipo de investigación.....	46
3.3. Nivel de investigación.	46
3.4. Enfoque de la investigación	46
3.5. Diseño de la investigación.....	46

3.6.	<i>Población de estudio</i>	48
3.7.	<i>Muestra</i>	48
3.8.	<i>Unidad de análisis</i>	48
3.9.	<i>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</i>	48
3.10.	<i>Técnicas e instrumentos para el tratamiento de la información</i>	49
3.11.	<i>Equipos materiales e insumos</i>	49
3.12.	<i>Procedimientos</i>	49
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.		51
4.1.	<i>Presentación de resultados</i>	51
4.1.1.	<i>Geología local.</i>	51
4.1.2.	<i>Estaciones en estudio.</i>	51
4.2.	<i>Análisis, interpretación y discusión de resultados.</i>	59
4.2.1.	<i>Análisis de resultados.</i>	59
4.2.2.	<i>Interpretación de resultados.</i>	63
4.2.3.	<i>Discusión de resultados.</i>	65
4.3.	<i>Contrastación de hipótesis.</i>	66
CAPÍTULO V. PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN.		68
5.1.	<i>Propuesta de Medidas de Estabilización para el Talud – Estación 1</i>	68
5.2.	<i>Propuesta de Medidas de Estabilización para el Talud – Estación 2</i>	70
5.3.	<i>Propuesta de Medidas de Estabilización para el Talud – Estación 3</i>	73
5.4.	<i>Propuesta de Medidas de Estabilización para el Talud – Estación 4</i>	76
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.		77
ANEXOS		83

Índice de tablas

Tabla 1. Valores típicos de peso unitario, ángulo de fricción y cohesión de suelos y rocas.....	26
Tabla 2. Coeficientes de seguridad a emplear en el análisis de estabilidad de taludes	28
Tabla 3. Clasificación del nivel de estabilidad según el Factor de Seguridad (FS).....	29
Tabla 4. Factor de zona Perú.....	32
Tabla 5. Clasificación de suelos de acuerdo con la amplificación sísmica.....	32
Tabla 6. Clasificación de suelos de acuerdo con el periodo fundamental de vibración sísmica Tp (s)	33
Tabla 7. Procedimiento de identificación y rango aproximado de parámetros de resistencia	34
Tabla 8. Espaciado entre discontinuidades	36
Tabla 9. Condición de discontinuidades – Sistema RMR de Bieniawski	36
Tabla 10. Condición discontinuidades	37
Tabla 11. Descripción de la meteorización de la pared de la discontinuidad.....	38
Tabla 12. Clasificación de la condición de agua subterránea	39
Tabla 13. Cuadro de clasificación RMR ₇₆	39
Tabla 14. Clasificación Geomecánica RMR ₇₆	40
Tabla 15. Ubicación de las muestras	51
Tabla 16. Parámetros de resistencia del macizo rocoso	52
Tabla 17. Parámetros de resistencia del suelo.....	52
Tabla 18. Resistencia RCU en campo	53
Tabla 19. RMR ₇₆ – Estación 1	53
Tabla 20. Clasificación Geomecánica RMR ₇₆ – Estación 1.....	53
Tabla 21. Cuadro resumen de la muestra tomada en la estación N°2.	55
Tabla 22. Cuadro resumen de la muestra tomada en la estación N°3.	55

Tabla 23. <i>Resistencia RCU en campo</i>	56
Tabla 24. <i>RMR₇₆ – Estación 4</i>	56
Tabla 25. <i>Clasificación Geomecánica RMR76– Estación 4</i>	56
Tabla 26. <i>Cuadro resumen de la muestra tomada en la estación N°5.</i>	58
Tabla 27. <i>Cuadro resumen de la muestra tomada en la estación N°6.</i>	58
Tabla 28. <i>Factor se seguridad-Estación 1</i>	59
Tabla 29. <i>Factor se seguridad-Estación 2</i>	59
Tabla 30. <i>Factor se seguridad-Estación 3</i>	60
Tabla 31. <i>Factor se seguridad-Estación 4</i>	60
Tabla 32. <i>Factor se seguridad-Estación 5</i>	61
Tabla 33. <i>Factor se seguridad-Estación 6</i>	61
Tabla 34. <i>Resumen del factor de seguridad de las estaciones en estudio.</i>	62

Índice de figuras

Figura 1. <i>Clasificación movimiento de terreno</i>	20
Figura 2. <i>Criterio de rotura de Mohr-Coulomb</i>	24
Figura 3. <i>Esquema estabilidad talud</i>	27
Figura 4. <i>Equilibrio de una rebanada</i>	30
Figura 5. <i>Zonificación sísmica Perú</i>	31
Figura 6. <i>Mapa del Perú</i>	42
Figura 7. <i>Mapa de la región Cajamarca.</i>	43
Figura 8. <i>Carretera Cajamarca – Ciudad de Dios (Tramo km 48 al km 43)</i>	43
Figura 9. <i>Histograma de la Estación: San Juan. Cod.107005</i>	45
Figura 10. <i>Precipitaciones registradas por la estación meteorológica San Juan en el mes de enero y febrero de 2026.</i>	45
Figura 11. <i>Gráfica de Esfuerzos Mayor – Esfuerzo Menor, Estación 1.</i>	54
Figura 12. <i>Gráfica de Esfuerzos Mayor – Esfuerzo Menor, Estación 4.</i>	57
Figura 13. <i>Propiedades de la malla de acero de alta resistencia MINAX®</i>	69
Figura 14. <i>Factor de seguridad, condición estática por el método de Spencer y GLE/ Morgenstern- Price, estación 2, nueva geometría</i>	71
Figura 15. <i>Factor de seguridad, condición pseudo-estática por el método de Spencer y GLE/Morgenstern-Price, estación 2, nueva geometría</i>	72
Figura 16. <i>Factor de seguridad, condición estática por el método de Spencer y GLE/ Morgenstern- Price, estación 3, nueva geometría</i>	74
Figura 17. <i>Factor de seguridad, condición estática por el método de Spencer y GLE/ Morgenstern- Price, estación 3, nueva geometría</i>	75

RESUMEN.

La presente investigación evaluó la estabilidad de taludes en el tramo comprendido entre el km 38 y el km 44 de la carretera Cajamarca–Ciudad de Dios; por lo cual se determinó los parámetros y características geotécnicas de los materiales de los taludes, determinar el factor de seguridad en condición estática y pseudoestática para evaluar el estado de inestabilidad de taludes del tramo. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con diseño no experimental; fue de tipo aplicada y con un nivel descriptivo, orientado a caracterizar las condiciones geológicas, geomecánicas, geotécnicas y geométricas que influyen en el desempeño de los taludes. La metodología comprendió inspecciones de campo con observación directa, reconocimiento de puntos críticos y muestreo de suelo y roca. En laboratorio se ejecutaron ensayos de mecánica de suelos (contenido de humedad, granulometría, límites de consistencia, corte directo) para estimar parámetros resistentes, principalmente cohesión y ángulo de fricción. La información obtenida se procesó mediante herramientas de modelación geotécnica, empleándose RocData para la determinación de parámetros de resistencia en roca y Slide para la simulación y el cálculo del factor de seguridad, considerando escenarios estático y pseudoestático. Los resultados evidenciaron variabilidad significativa de la estabilidad a lo largo del tramo, coherente con diferencias litológicas y condiciones geotécnicas y geométricas. Se identificó como sector más desfavorable la Estación 1(km 43+400; macizo rocoso), con condición crítica ($FS < 1$) en ambos escenarios, asociada al control estructural del macizo calizo, meteorización y discontinuidades con relleno y espaciamiento reducido. Asimismo, la Estación 2(km 42+ 600; SC) y la estación 3 (km 41+500; GC) presentaron condición crítica por resistencia global insuficiente, heterogeneidad del depósito y efectos geométricos. La Estación 4 (km 40+200; macizo rocoso)se ubicó cercana al umbral ($RMR = 56$), mientras que las Estaciones 5(km 39+100; CH) y 6 (km 38+400; CL) fueron estables. Con base en ello, se estableció una zonificación preliminar de criticidad y alternativas de estabilización acordes al riesgo.

Palabras clave: Taludes, geotécnica, Slide, RocData, Factor de seguridad.

ABSTRACT

This research evaluated slope stability along the km 38 to km 44 section of the Cajamarca–Ciudad de Dios highway. Accordingly, the geotechnical parameters and characteristics of the slope materials were determined, and the factor of safety was computed under static and pseudostatic conditions to assess the instability status of slopes within the study section. The research was conducted under a quantitative approach with a non-experimental design; it was applied in nature and descriptive in scope, aimed at characterizing the geological, geomechanical, geotechnical, and geometric conditions that influence slope performance. The methodology included field inspections based on direct observation, identification of critical points, and soil and rock sampling. Laboratory testing comprised soil mechanics tests (moisture content, grain-size distribution, Atterberg limits, and direct shear) to estimate shear strength parameters, mainly cohesion and friction angle. The collected information was processed using geotechnical modeling tools: RocData was used to determine rock strength parameters, and Slide was used for simulation and factor-of-safety calculations under both static and pseudostatic scenarios. The results showed significant variability in stability along the study section, consistent with lithological differences and with geotechnical and geometric conditions. Station 1 (km 43+400; rock mass) was identified as the most unfavorable sector, exhibiting a critical condition ($FS < 1$) in both scenarios, associated with structural control of the limestone rock mass, weathering, and closely spaced, infilled discontinuities. Likewise, Station 2 (km 42+600; SC) and Station 3 (km 41+500; GC) also presented critical conditions due to insufficient overall strength, deposit heterogeneity, and geometric effects. Station 4 (km 40+200; rock mass) was close to the threshold ($RMR = 56$), whereas Stations 5 (km 39+100; CH) and 6 (km 38+400; CL) were stable. Based on these findings, a preliminary criticality zoning and risk-appropriate stabilization alternatives were established.

Keywords: slope stability; geotechnics; Slide; RocData; factor of safety.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema.

Los deslizamientos de tierra son uno de los fenómenos naturales más destructivos que afectan a las infraestructuras viales, ocasionando grandes pérdidas económicas y, en ocasiones, daños a las propiedades cercanas. Estos eventos alteran la morfología del terreno, provocan efectos ambientales diversos, dañan la infraestructura existente e incluso pueden destruir viviendas, puentes y bloquear cursos de agua, lo que impacta gravemente las vías de comunicación. La inestabilidad de los taludes es particularmente frecuente en países con terrenos montañosos y climas extremos, como Japón, China, Italia y Chile, que tienen un historial documentado de deslizamientos que interrumpen carreteras, destruyen puentes y, en ocasiones, causan víctimas mortales. En Japón, por ejemplo, donde el 70% del territorio es montañoso, los deslizamientos de tierra provocan alrededor de 10.000 incidentes anuales, afectando carreteras y ferrocarriles (Takahashi et al., 2003). En Chile, según Espinoza et al. (2013), las lluvias intensas, combinadas con la topografía montañosa, han originado graves deslizamientos en las regiones central y sur del país, afectando el transporte en áreas clave para la economía nacional.

En Perú, los deslizamientos de tierra y rocas representan una problemática grave, influenciada por una combinación de factores geográficos, climáticos y sociales. La diversidad geográfica del país, que abarca desde las altas montañas de los Andes hasta las regiones selváticas y costeras, se ve acentuada por la variabilidad climática, caracterizada por fenómenos como El Niño, que generan intensas lluvias y aumento en los caudales de los ríos, acelerando la erosión y provocando deslizamientos. Según Jaime et al. (2010), estos eventos son más frecuentes en la costa y la sierra debido a la interacción de factores climáticos adversos. Adicionalmente, la deforestación y los cambios en el uso del suelo, derivados de actividades agrícolas y urbanas, debilitan la estabilidad del terreno. La construcción de infraestructura sin un adecuado análisis geotécnico agrava aún más el riesgo. Los deslizamientos tienen un impacto devastador en las comunidades, ocasionando pérdidas humanas, daños materiales considerables y afectando negativamente la economía local.

Cajamarca no es ajena a esta problemática, ya que se encuentra en una zona de gran altitud, caracterizada por suelos frágiles y susceptibles a la erosión. Según Cabrera (2000), la región experimenta un clima variable, con intensas lluvias y sequías, lo que contribuye a la inestabilidad de los taludes. Esta inestabilidad provoca deslizamientos en las carreteras, afectando las rutas de comunicación entre la sierra y la costa. Villegas et al.

(2017) señalan que las lluvias y el mal estado de las vías rurales en Cajamarca han ocasionado bloqueos frecuentes de los caminos, interrumpiendo el comercio y el transporte de productos agrícolas y minerales.

La ruta Cajamarca–Ciudad de Dios no está exenta de la problemática relacionada con la inestabilidad de taludes en la carretera y el deslizamiento de tierras y rocas, lo que bloquea parcial o totalmente la vía; como lo menciona el Diario Panorama Cajamarquino (2023), la carretera Cajamarca–Ciudad de Dios se ve interrumpida por deslizamientos de rocas en las temporadas de lluvias y por accidentes que se producen a causa de ello. Además, Fredlund y Rahardjo (1993) señalan que las condiciones de suelo insaturado pueden influir en la estabilidad de taludes en proyectos de infraestructura vial. En ese sentido, se evidencia la gran problemática existente, la cual pone en riesgo la vida de los usuarios de la carretera.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el estado de estabilidad de taludes entre el Km 38 al Km 44 de la Carretera Cajamarca – Ciudad de Dios?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la estabilidad de taludes entre el km 38 al km 44 de la carretera Cajamarca - Ciudad de Dios.

1.3.2. Objetivos específicos

Determinar las características geotécnicas de los materiales que conforman los taludes entre el km 38 al km 44 de la carretera Cajamarca - Ciudad de Dios.

Determinar el factor de seguridad en condición estática y pseudo estática de taludes en el tramo km 38 al km 44 de la carretera Cajamarca – Ciudad de Dios.

Proponer un método de estabilización de taludes en el tramo km 38 al km 44 de la carretera Cajamarca – Ciudad de Dios.

1.4. Hipótesis

El estado de estabilidad de taludes en el tramo Km 38 al Km 44 de la carretera Cajamarca-Ciudad de Dios es baja.

1.5. Justificación del estudio

La presente investigación se justificó técnicamente por la necesidad de realizar una caracterización geotécnica y geomecánica profunda que permitió determinar con precisión los parámetros de resistencia tanto de los suelos como de los macizos rocosos en el sector crítico comprendido entre los kilómetros 38 y 44 de la vía Cajamarca - Ciudad de Dios. El estudio permitió superar el enfoque empírico de las intervenciones anteriores al identificar de manera científica los mecanismos de falla predominantes, cubriendo así el vacío de información técnica detallada que existía sobre la estabilidad de los taludes en dicho tramo. En el ámbito teórico, el trabajo representó un aporte significativo a la ingeniería geotécnica regional al validar la aplicación de modelos de equilibrio límite y clasificaciones geomecánicas en materiales heterogéneos y macizos fracturados típicos de la orografía andina. De este modo, se estableció una base de datos técnica confiable que sirvió de referente metodológico para el diseño de medidas correctivas y preventivas en futuros proyectos de infraestructura vial que enfrenten condiciones geológicas y geotécnicas similares.

1.6. Delimitación de la investigación

La evaluación de la estabilidad de taludes se realizó en el tramo comprendido entre el km 38 y el km 44 de la carretera Cajamarca–Ciudad de Dios, desde un enfoque geotécnico. La estimación del FS se realizó con el software Slide, aplicando métodos de equilibrio límite Spencer y Morgenstern–Price.

1.7. Limitaciones

No se realizó ensayo de corte directo en suelos granulares debido a que en los laboratorios de mecánica de suelos en Cajamarca no se cuenta con los equipos correspondientes.

1.8. Descripción de los contenidos de los capítulos

En el Capítulo I se presenta la descripción del problema de investigación, junto con los objetivos (general y específicos), delimitaciones, hipótesis y justificación, definiendo así el propósito, alcance y relevancia del estudio.

El Capítulo II abarca el marco teórico, incluyendo los antecedentes que permiten situar la investigación en un contexto más amplio, las bases teóricas que sustentan el estudio y los términos básicos que se necesitan para comprender el tema.

El Capítulo III describe los materiales y métodos utilizados, incluyendo la ubicación del área de estudio, el tipo, nivel, enfoque y diseño de la investigación; además, se detallan la población y muestra, la unidad de análisis, las técnicas e instrumentos de recolección y tratamiento de la información, los equipos, materiales e insumos empleados, y el procedimiento seguido para el desarrollo del estudio.

El Capítulo IV presenta los resultados obtenidos y su análisis, interpretación y discusión. En este capítulo se expone la geología local y la caracterización de las estaciones evaluadas, así como los resultados de los análisis de estabilidad en condiciones estática y pseudoestática, y finalmente se incluye la contrastación de la hipótesis a partir de los factores de seguridad obtenidos.

El Capítulo V desarrolla la propuesta de estabilización de taludes, planteando medidas específicas para las estaciones críticas, en función de sus condiciones geotécnicas y del nivel de criticidad identificado, con el objetivo de incrementar la seguridad y reducir el riesgo de inestabilidad en el tramo evaluado.

El Capítulo VI presenta las conclusiones y recomendaciones del estudio, sintetizando los principales hallazgos en respuesta a los objetivos planteados y proponiendo acciones orientadas a la implementación, seguimiento y priorización de medidas para la gestión y mitigación de la inestabilidad de taludes en la vía.

Bibliografía, en esta sección se listan todas las fuentes bibliográficas consultadas y citadas a lo largo del documento

Los Anexos contienen información complementaria que respalda el desarrollo de la investigación, como datos de campo, resultados de ensayos de laboratorio, planos, fotografías que no se incluyeron en el cuerpo principal del texto.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Falla Melo et al. (2022), en su investigación titulada “Análisis de la estabilidad de un talud ubicado en el K1+120 de la vía El País- La Mina en la ciudad de Ibagué, Departamento del Tolima”, realizado en Colombia, mencionan que realizaron ensayos de laboratorio y modelación en el software SLIDE para estimar el factor de seguridad mediante distintos métodos. Los resultados de caracterización indicaron un suelo predominantemente arenoso (68.62% de arenas y 17.90% de finos, sin presencia de gravas), clasificado como arena arcillosa (SC) según SUCS, con finos identificados como arcilla de baja plasticidad (CL) a partir de los límites líquido y plástico; además, se obtuvieron parámetros de resistencia de $\phi=27^\circ$ y cohesión $c=0.002 \text{ kN/m}^2$. La modelación evidenció una superficie de falla ubicada en la parte media del talud y un factor de seguridad en condición base entre 0.25 y 0.35, el cual disminuye hasta aproximadamente 0.16 al considerar sismicidad, lo que sugiere alta susceptibilidad a la inestabilidad; esto se corroboró con observaciones de campo de material desprendido sobre la vía. Como medida de estabilización, los autores recomendaron el terraseo con geotextil y un muro de contención, logrando factores de seguridad entre 1.2 y 1.7, complementado con obras de drenaje (filtro de grava y zanjas de coronación en corona, pie y banquetas) para controlar el nivel freático.

Cuevas et al (2019) en su investigación “Análisis de la inestabilidad de ladera en la carretera NN-4 en el tramo San Lucas–Las Sabanas Km. 233-235, Departamento de Madriz”; realizado en Nicaragua, considera como condición base las características geológicas y geotécnicas, mediante la recolección de datos y muestras de campo permitiendo determinar los parámetros físico-mecánicos los cuales son insertados a un software de análisis de inestabilidad de ladera denominado GEOSTUDIO con el cual se obtiene el factor seguridad. En la investigación, las características geológicas del talud corresponden a ignimbritas (ceniza volcánica con partículas de roca y fenocristales) desde la parte superior a la inferior, producto de flujos volcánicos violentos en el área. En estos flujos, se identificaron pequeños deslizamientos traslacionales y caídas de rocas de entre 2 y 3 metros de diámetro. Los factores condicionantes identificados fueron la geomorfología, la litología, el fracturamiento de las rocas y la pendiente del terreno. Los parámetros físico-mecánicos de las

muestras indicaron que correspondían a una arena mal graduada con arcilla (clasificación SP-SC), presentando un comportamiento mecánico que va de regular a pobre por sí solo. El análisis realizado utilizando el software GeoStudio, considerando las peores condiciones del sitio, arrojó factores de seguridad críticos (≥ 0.7), inestables (≥ 0.9) e inseguros (≥ 1.4), con todos los modelos presentando un factor de seguridad menor a 1.5. Como método de estabilización, se consideró el abatimiento de la pendiente como el más apropiado, modificando la geometría de la ladera para lograr una superficie mínima de deslizamiento. Adicionalmente, se planteó la posibilidad de aplicar otros sistemas de control y barreras de protección en el pie del talud como muros de concreto, gaviones, etc.

Prado González, Aguilar Guevara y Cruz Talavera (2020), en su tesis titulada “Análisis de estabilidad de talud de la carretera NIC.7 en el km 176, municipio de Santo Tomás, del departamento de Chontales”, en Nicaragua; analizaron la problemática de inestabilidad de un talud ubicado en el km 176 de la carretera NIC.7, caracterizado por procesos de deslizamiento, desprendimientos y caídas de rocas. Los autores identificaron como factores condicionantes principales la geomorfología, la litología, la alta densidad de fracturas y la pendiente inclinada del talud; además, incorporaron la influencia del clima y de la actividad antrópica, señalando que la oxidación por estratos y la actividad sísmica en la corona del talud contribuyen al deterioro y a la ocurrencia de desprendimientos. Asimismo, destacan que la inestabilidad no solo se explica por la disminución de la resistencia al corte, sino también por el alto grado de fracturamiento, considerado un factor determinante. En el componente analítico, el estudio empleó el software SLIDE para modelar el talud, utilizando distintos métodos y apoyándose en ensayos de laboratorio y documentación técnica para definir parámetros geomecánicos y clasificaciones del material. Como resultado, se obtuvo un factor de seguridad extremadamente bajo de $FS=0.338$ y, en promedio, un $FS=0.4$ en escenarios evaluados (considerando $FS=1.5$ como condición de estabilidad), lo que evidencia un comportamiento marcadamente inestable y con alta masa potencial por desprender. A partir de estos resultados, se propuso como alternativa principal de estabilización un descapotamiento casi completo del talud. Finalmente, se plantean medidas complementarias como trincheras, barreras, mallas, muros de contención y obras de protección (muros de concreto, pilotes o gaviones) para evitar la obstrucción de la vía.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Mujica Maldonado y Reymundo Cangana (2022), en su investigación titulada “Análisis de estabilidad de taludes desde el puente Posanca hasta el poblado Licahuasi de la carretera LM 111 en el distrito Arahua”; desarrollaron un análisis de estabilidad de taludes críticos en caminos vecinales de Lima, motivado por la ocurrencia de derrumbes y deslizamientos asociados a alta precipitación, pendientes pronunciadas, deforestación y ausencia de obras civiles, los cuales generan impactos económicos en Arahua y localidades aledañas. El estudio se centró en el tramo comprendido entre el puente Posanca y el poblado Licahuasi de la carretera LM-111 (distrito de Arahua), en un recorrido aproximado de 5 km, identificando sectores críticos en las progresivas 0+400, 0+600 y 3+300 con taludes que superan los 25 m de altura. Para la evaluación se realizaron tres levantamientos topográficos y se modelaron secciones mediante el programa Geo5 y Slide aplicando el método de equilibrio límite; adicionalmente, se empleó el valor mínimo del factor de seguridad para un análisis considerando diez factores condicionantes del talud. Como alternativas de estabilización, se propusieron la rectificación geométrica mediante banquetas y la implementación de vegetación, determinándose que, bajo una aceleración sísmica de 0.45 y manteniendo el ángulo de inclinación, estas medidas incrementan el factor de seguridad en 48.16%, y que un ángulo de inclinación de 30° permite alcanzar un factor de seguridad aceptable en condiciones sísmicas.

Cabana (2016) en su investigación “Evaluación Geotécnica para estabilidad de taludes desde la progresiva Km. 09+000 – 18+000 de la obra: Mejoramiento de la carretera Tramo I Dv. Cara Cara-Lampa”; el estudio se orientó a la caracterización geotécnica de los materiales para la estimación de parámetros resistentes (cohesión y ángulo de fricción interna) y la determinación de la estabilidad global mediante el factor de seguridad. En el tramo rocoso Km 12+000–12+160, el autor aplicó la metodología de Goodman mediante proyecciones estereográficas, sustentada en la caracterización del macizo rocoso y el registro de 422 datos estructurales. Se reportó una clasificación geomecánica RMR=63.62 (roca tipo II, roca buena), con $\phi=35^\circ$ y cohesión de 30 MPa, en una litología de arenisca micácea y con tres familias principales de discontinuidades; el análisis de mecanismos de falla (planar, vuelco y cuña) realizado con DIPS indicó condición estable del talud rocoso. Para taludes en suelo, se emplearon métodos de equilibrio límite (Bishop Simplificado y Janbú Simplificado) implementados en SLIDE, evidenciándose factores de seguridad en

condiciones actuales inferiores a la unidad en diversos puntos (por ejemplo, Km 10+500: 0.897; Km 11+500: 0.918; Km 12+080: 0.508; Km 12+440: 0.925; Km 15+160: 0.991; Km 15+800: 0.914; Km 17+860: 0.878), mientras que los resultados modelados con Bishop y Janbú mostraron valores superiores a 1 (p. ej., en Km 12+080: 1.634 y 1.528, respectivamente). Con base en estos hallazgos, Cabana (2016) propuso medidas de estabilización y control de erosión que incluyen zanjas de coronación, construcción de banquetas, obras de contención (gaviones, concreto ciclópeo/simple y pedraplén), subdrenes y revegetación.

Ccahuana Puellas y Sánchez Castro (2019), en la tesis “Análisis de estabilidad de talud mediante métodos de equilibrio límite para la carretera Huancavelica–Lircay entre las progresivas del km 02+700 al km 02+800” , evaluaron la estabilidad de un talud aplicando métodos de equilibrio límite para comparar el comportamiento del talud en condiciones secas y en temporada de lluvias. El estudio se enfocó en identificar una sección crítica representativa y analizar su respuesta ante condiciones estáticas y pseudo-estáticas, incorporando un coeficiente sísmico horizontal de $k_h=0.17g$. Metodológicamente, los autores realizaron la caracterización del macizo rocoso, orientada a obtener parámetros asociados al criterio de rotura de Hoek & Brown, apoyándose en clasificaciones geomecánicas, propiedades físicas y una evaluación cualitativa de las discontinuidades. Para el análisis de estabilidad emplearon el software Slide 6.0, utilizando procedimientos reconocidos dentro del equilibrio límite, tales como Spencer y Morgenstern–Price. Los resultados mostraron que el talud se comporta estable en condiciones secas; sin embargo, la sección crítica modelada para la temporada de lluvias evidenció inestabilidad tanto en condición estática como pseudo-estática, lo que sustenta la necesidad de medidas correctivas orientadas al control del deterioro y la reducción del riesgo de falla. La investigación concluyó que la opción más viable y económica es la estabilización con geosintéticos, principalmente mediante la colocación de geomantos combinada con técnicas de revegetación o biomantos, orientadas a mejorar el desempeño superficial y el control del material expuesto durante el periodo lluvioso. En contraste, se señala que la reconformación del talud mediante banquetas de corte y cunetas de coronación resultaría técnica y económicamente inviable, debido a limitaciones de accesibilidad, tiempo y procesos constructivos, además de la condición del suelo residual con un espesor máximo aproximado de 2.00 m.

2.1.3. Antecedentes locales.

Breña (2019), en su tesis titulada “Estabilidad de taludes de la carretera Longitudinal de la Sierra: tramo Cochabamba - Cutervo - Chiple, Cajamarca - Perú” presentada en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), llevó a cabo un estudio sobre la estabilidad de taludes para identificar los factores que influyen en la interacción entre roca y suelo a lo largo de este tramo de la carretera Longitudinal de la Sierra. El estudio incluyó el procesamiento de datos en tiempo real y la recopilación de información geotécnica in situ, que permitió determinar parámetros clave como el factor de seguridad estático, el factor de seguridad pseudoestático, la carga admisible, la carga única y aspectos hidrogeológicos. Además, planteó obras de arte para canalizar las aguas y prevenir su filtración; y recomendó la perfilación de los taludes.

Rivera Huaranga (2022), en su tesis “*Estabilidad de taludes en la carretera Cruz Blanca–Choten, Cajamarca*”, evaluó la estabilidad de taludes en un tramo aproximado de 14 km con el propósito de identificar taludes inestables considerados zonas críticas y sustentar la necesidad de obras de protección frente a deslizamientos y caídas de rocas. El estudio contextualiza la problemática en un escenario de deslizamientos recurrentes de geometría circular y precipitaciones frecuentes entre los meses de noviembre y abril, factores que, junto con condicionantes geológico–geotécnicos, afectan la infraestructura vial y reducen la estabilidad de los taludes. La investigación se orientó a determinar la estabilidad de taludes adyacentes a la vía a partir de la descripción geomecánica, reconociendo que los suelos y los macizos rocosos constituyen los principales materiales presentes y que sus propiedades influyen directamente en la selección, dimensiones y costos de las soluciones de estabilización; asimismo, enfatiza que el diagnóstico, inventario y distribución espacial de los procesos de inestabilidad constituyen una base técnica para establecer medidas preventivas y apoyar planes de prevención. En los resultados para macizos rocosos, Rivera Huaranga (2022) reportó, en la Formación Santa, valores de $RMR=54$ y 57 para las estaciones 1 y 3, con $FS=1.56$ y 1.61 , respectivamente, indicando que, pese a su composición calcárea, los factores de seguridad se mantienen relativamente reducidos. En la estación 5 se obtuvo $RMR=61$ con $FS=1.40$ en material calcáreo cuarcítico; mientras que en la estación 6, correspondiente a la Formación Pariatambo, se registró $RMR=53$ y $FS=1.3$. Para taludes en suelo (depósitos aluviales y

coluviales), el autor señala su muy baja cohesión y factores de seguridad próximos o inferiores a la condición estable, reportando para la estación 2 un valor de $FS=1.06$ (Talud 2) y para la estación 4 valores de $FS=1.29$ y 0.72 (Talud 4), clasificando estos sectores como inestables o cercanos al deslizamiento, coherente con la evidencia de deslizamientos recurrentes a lo largo de la carretera Cruz Blanca–Choten.

Salazar Sáenz (2018), en su tesis “Evaluación geotécnica de los taludes de la carretera Cajamarca–Ciudad de Dios en el tramo km 142+000 – km 150+000”, evaluó la estabilidad de taludes en un tramo vial al suroeste de Cajamarca. El estudio reconoce un contexto geológico heterogéneo con afloramientos del Cretácico Inferior y Superior, lo que genera variabilidad en propiedades geotécnicas como la resistencia a compresión uniaxial y el GSI.

El autor señala que la inestabilidad se ve afectada por vibraciones del tránsito pesado, lluvias e infiltración, así como variaciones térmicas (aprox. $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $22\text{ }^{\circ}\text{C}$) que alteran la roca y reducen su resistencia. En campo se identificaron 7 zonas críticas, analizadas con Dips (sectores rocosos) y Slide (sectores con suelos), concluyendo que dichas zonas requieren medidas de estabilización (pernos de anclaje, shotcrete, gaviones) en el corto plazo.

2.2. Marco conceptual.

2.2.1. Teoría de deslizamientos

- 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. (Norma CE.020)

- Tipología de inestabilidades:

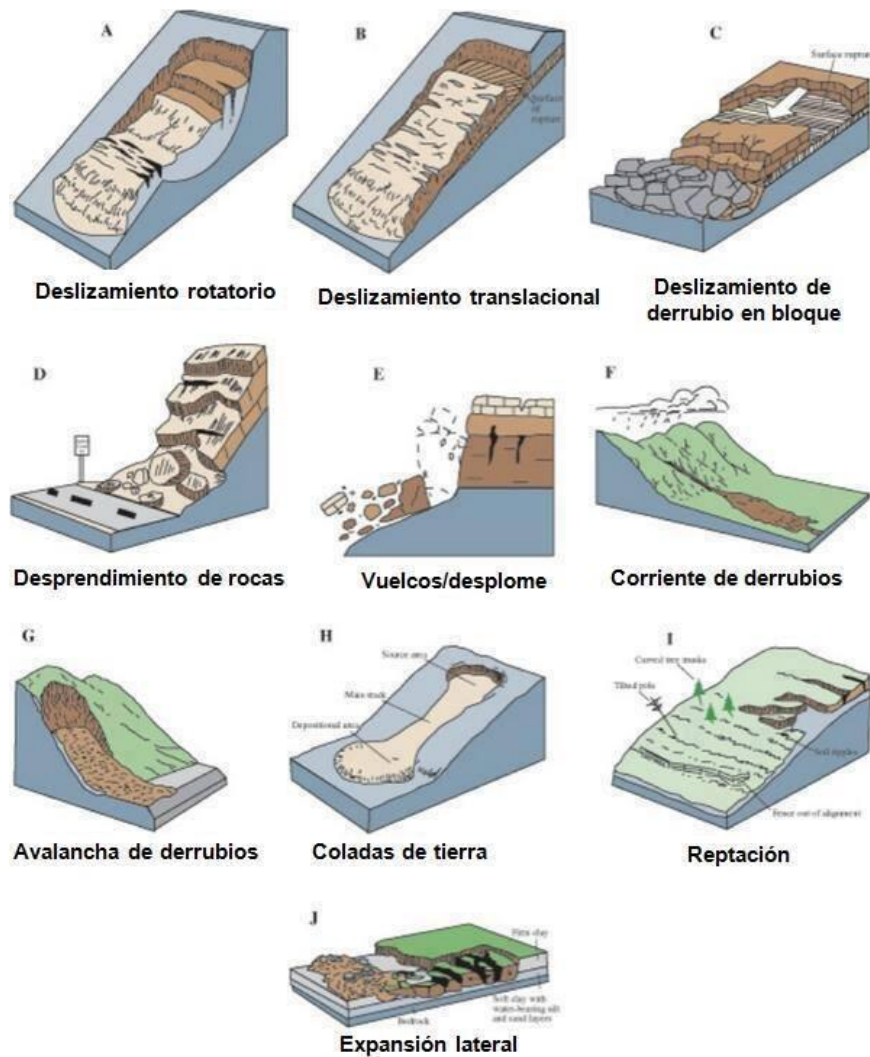
Es de suma importancia identificar, caracterizar y clasificar el principal mecanismo de falla en talud.

Un análisis preciso del tipo de rotura permite optimizar las medidas de contención y estabilización de taludes y laderas, ya que atiende al mecanismo actuante, la velocidad y las dimensiones. Por el contrario, una incorrecta definición del mecanismo de rotura puede dar lugar a soluciones incorrectas o ineficaces, y en algunos casos contraproducentes (Valiente et al., 2015)

La clasificación clásica mayormente aceptada por la comunidad internacional viene recogida por Varnes (1988), basada en el mecanismo de rotura y propagación del movimiento. De acuerdo con criterios morfológicos, se diferencian los siguientes tipos de movimientos.

Figura 1.

Clasificación movimiento de terreno



Nota: Varnes, 1978

- Tipos de fallas de taludes.

La clasificación de las fallas en taludes, técnicamente denominadas movimientos en masa, se fundamenta en el mecanismo del movimiento y en el tipo de material involucrado (suelo, roca o detritos). La nomenclatura más aceptada internacionalmente proviene de la propuesta original de Varnes, la cual ha sido adoptada por el Servicio Geológico de los Estados Unidos en sus guías técnicas (Varnes, 1978; Highland y Bobrowsky, 2008). En el contexto peruano, estas definiciones han sido estandarizadas para la evaluación de riesgos geológicos a nivel nacional por las entidades competentes (CENEPRED, 2014; INGEMMET, 2007).

Deslizamientos

- Deslizamiento Rotacional : Este tipo de falla ocurre en una superficie de ruptura curva o cóncava hacia arriba (en forma de cuchara). La masa se desplaza girando hacia atrás alrededor de un eje paralelo a la ladera, lo que frecuentemente genera un escarpe principal empinado y una contrapendiente en la cabecera del movimiento (Varnes, 1978; Highland y Bobrowsky, 2008).
- Deslizamiento Traslacional : En este caso, la masa de terreno se desplaza a lo largo de una superficie de falla relativamente plana u ondulada, tal como un plano de estratificación, una falla geológica o el contacto entre suelo y roca. A diferencia del rotacional, este movimiento no implica un basculamiento hacia atrás y la masa puede recorrer grandes distancias si la geometría lo permite (Cruden y Varnes, 1996; Highland y Bobrowsky, 2008).
- Deslizamiento en Bloque: Es una variante del deslizamiento traslacional en la que la masa desplazada se mueve como una sola unidad coherente o en pocos bloques grandes, sufriendo muy poca deformación interna durante el proceso (Highland y Bobrowsky, 2008).

Caídas y Vuelcos

Las caídas son movimientos abruptos de masas de suelo o roca que se desprenden de laderas empinadas o acantilados. El material desciende principalmente a través del aire mediante caída libre, rebotes o rodamiento, siendo un fenómeno muy común en taludes rocosos fracturados (Varnes, 1978; CENEPRED, 2014).

Por otro lado, el vuelco consiste en la rotación hacia adelante de una masa de suelo o roca alrededor de un punto o eje situado por debajo de su centro de gravedad. Este mecanismo es impulsado por la gravedad o por la presión de fluidos en las grietas, y puede culminar en una caída o deslizamiento posterior (Highland y Bobrowsky, 2008).

Flujos

Los flujos son movimientos distribuidos espacialmente en los que el material se comporta como un fluido viscoso, perdiendo su estructura interna original y

amoldándose a la morfología del cauce o ladera por la que desciende (Cruden y Varnes, 1996).

- Flujo de Detritos : Se trata de un movimiento muy rápido de suelo saturado de agua y escombros rocosos que fluye por cauces o laderas empinadas. Este fenómeno posee una alta capacidad destructiva debido a la velocidad y la densidad del material transportado (Varnes, 1978; INGEMMET, 2007).
- Flujo de Tierra: Este movimiento ocurre característicamente en suelos finos o arcillosos saturados que se deforman plásticamente. Suele presentar una forma distintiva de "reloj de arena" u olla, con una zona de origen en forma de cuenco, un canal estrecho de transporte y un lóbulo de deposición en la parte inferior (Highland y Bobrowsky, 2008).
- Reptación : Es un movimiento imperceptiblemente lento, constante y continuo del suelo ladera abajo bajo la influencia de la gravedad. Aunque no suele generar una falla catastrófica súbita, se evidencia a largo plazo por la inclinación de árboles, postes y cercas (CENEPRED, 2014).

Propagación Lateral (Lateral Spread)

La propagación lateral suele ocurrir en terrenos de pendiente muy suave o planos, donde una capa subyacente de material blando o licuable pierde resistencia. Esto provoca que la masa superior coherente se fracture, se separe y se expanda lateralmente, siendo un fenómeno típico en suelos susceptibles a licuación (Cruden y Varnes, 1996; Highland y Bobrowsky, 2008).

- **Parámetros resistentes:**

Cuando se estudian los suelos y los macizos rocosos en el apartado de la caracterización geotécnica de los mismos, una de las propiedades más importantes, en lo que respecta a la estabilidad de taludes, es su resistencia. En mecánica de suelos, el criterio de rotura generalmente empleado es el de Mohr-Coulomb, el cual permite definir la tensión tangencial o de corte que se alcanza en un plano en función de la tensión efectiva sobre el mismo y los parámetros resistentes del suelo. (Valiente et al., 2015).

$$\tau = c' + \sigma' * \tan \varphi' = c' + (\sigma - u_w) * \tan \varphi'$$

Donde:

c' = Cohesión del terreno

σ' = Esfuerzo efectivo

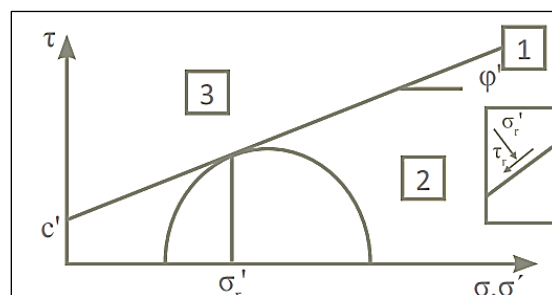
σ = Esfuerzo normal total

u_w = Presión intersticial del agua

φ' = Ángulo de rozamiento interno del terreno

Figura 2.

Criterio de rotura de Mohr-Coulomb



Nota: Valiente et al., 2015

Zona 1, representa el estado de rotura.

Zona 2, combinación que cuenta con un margen de seguridad para una determinada tensión efectiva normal; la tensión tangencial es inferior a la máxima movilizable.

Zona 3, punto imposible, pues está ubicado por encima de la envolvente de falla de rotura, lo cual es incompatible con la resistencia del suelo.

Cohesión c'

La cohesión es la componente de la resistencia al corte que no depende del esfuerzo normal aplicado. Representa la fuerza de atracción molecular y química entre las partículas finas del suelo (limos y arcillas). Según Terzaghi et al. (1996), la cohesión es altamente sensible a las variaciones en el contenido de humedad; en suelos finamente divididos, un incremento en el grado de saturación puede reducir drásticamente esta atracción, lo que incrementa el riesgo de deslizamientos en zonas de alta pluviosidad.

Ángulo de Fricción Interna ϕ

El ángulo de fricción interna es la representación física de la resistencia al deslizamiento entre las partículas de suelo. Este parámetro depende directamente de la granulometría, la forma de los granos (angulosidad) y la densidad de empaquetamiento.

Hoek y Bray (1991) sostienen que en mezclas de suelo con componentes granulares, el ángulo de fricción es el parámetro dominante para la estabilidad a largo plazo. En suelos tipo GC (gravas arcillosas), la trabazón mecánica de los clastos gruesos genera valores de fricción elevados, mientras que en suelos tipo SC (arenas arcillosas), la fricción se ve moderada por la presencia de granos más finos que actúan como un lubricante bajo ciertas condiciones de humedad.

Estimación de Parámetros mediante Correlaciones Empíricas

En la práctica de la ingeniería geotécnica, cuando existen limitaciones físicas para el ensayo de laboratorio —como el exceso de tamaño de partícula frente a los moldes de corte estándar— se recurre a la estimación mediante valores típicos y correlaciones validadas. La norma técnica y la literatura especializada proporcionan rangos basados en la clasificación SUCS y AASHTO, los cuales permiten un modelamiento conservador y seguro para el diseño de taludes viales (MTC, 2014).

Tabla 1.

Valores típicos de peso unitario, ángulo de fricción y cohesión de suelos y rocas

Tipo	Material	Peso unitario (Sat./Seco) (kN/m³)	Ángulo de fricción (ϕ')	Cohesión (c) (kg/cm²)
Sin cohesión	Arena suelta, tamaño uniforme	19/14	28–34	0.0-0.05
	Arena densa, tamaño uniforme	22/17	32–40	0.0-0.05
	Arena suelta, gradación variada	20/16	34–40	0.0-0.05
	Arena densa, gradación variada	21/18	38–46	0.05-0.08
	Grava, tamaño uniforme	22/20	34–37	0.08-0.10
	Arena y grava, mezcla de tamaños	19/17	35–45	0.08-0.10
Cohesivos	Montmorillonita (bentonita blanda)	13/6	7–13	0.10 - 0.20
	Arcilla orgánica muy blanda	14/6	12–16	0.10 - 0.30
	Arcilla blanda (Ligeramente orgánica)	16/10	22–27	0.20 - 0.50
	Arcilla Glaciar blanda	17/12	27–32	0.30 - 0.70
	Arcilla Glaciar rígida	20/17	30–32	0.70 - 1.50
Rocas duras	Granito, basalto, porfidos	25 a 30	35–45	350 - 550
Rocas Metamórficas.	Cuarcita, neiss, pizarras	25 a 28	30–40	200 - 400
Rocas Sedimentarias	Lomolitas, dolomita, arenisca	23 a 28	34–45	100 - 300
Rocas Sedimentarias	Arenisca, carbón, lutita	17 a 23	25–35	10 - 200

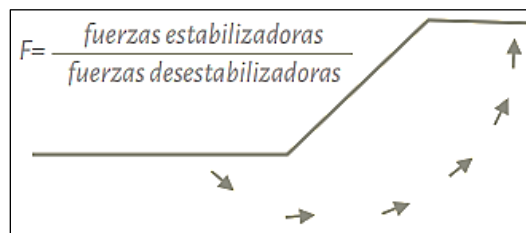
Nota: Hoek y Bray, 1991

- **Análisis de seguridad:**

Para determinar la estabilidad de una masa de suelo se debe determinar su coeficiente de seguridad al deslizamiento, comparando los esfuerzos que tienden a producir el deslizamiento con aquellos que tienden a evitarlo. (OSINERGMIN, 2017)

Figura 3.

Esquema estabilidad talud



Nota: Valiente et al., 2015

- **Factor de seguridad:**

El enfoque clásico utilizado en el diseño de estructuras de ingeniería se considera la relación entre la resistencia o soporte a la carga del sistema y la demanda o carga calculada actuando sobre el sistema. El factor de seguridad (FS) es una medición determinística de la relación entre las fuerzas resistentes (capacidad) y las fuerzas actuantes (demanda) (OSINERGMIN, 2017)

El factor de seguridad de una estructura se define como:

$$FS = \frac{C}{D}$$

Donde:

FS = Factor de Seguridad

C = Capacidad de soporte de carga del sistema

D = Fuerzas actuantes o demanda sobre el sistema

El factor de seguridad global o único engloba la imprecisión tanto en las acciones como en las resistencias, los modelos de cálculo y la incertidumbre del error humano. La fuerza desestabilizadora más importante será el peso de la masa deslizante, a la cual se le suman otras fuerzas, como las sobrecargas de estructuras o el empuje del agua en las grietas. La principal fuerza estabilizadora será la resistencia de corte del terreno en la superficie de deslizamiento. Actualmente, existen varias normativas nacionales e internacionales ampliamente aceptadas en Perú, en las que se regula el coeficiente de

seguridad a emplear. La elección de dicho coeficiente debe realizarse considerando la temporalidad de la obra (provisional o definitiva) y la situación de cálculo (estática o sísmica). La siguiente tabla abarca la recopilación de los factores según las diferentes normativas. (Valiente et al., 2015)

Tabla 2.

Coefficientes de seguridad a emplear en el análisis de estabilidad de taludes

Normativa	Talud Temporal		Talud Permanente	
	Estática	Sísmica	Estática	Sísmica
AASHTO LRFD	1,33 – 1,53	1,1	1,33 – 1,53	1,1
NAVFAC-DM7	1,3 – 1,25	1,2 – 1,15	1,5	1,2 – 1,15
FHWA-NHI-11-032	-	1,1	-	1,1
CE.020	-	-	1,5	1,25

Nota: Valiente et al., 2015

La AASHTO, en situación estática, determina que, si no existen cargas estructurales próximas al talud, o los reconocimientos geotécnicos realizados son confiables, debe emplearse un factor de seguridad de 1,33; en caso contrario, se emplea el de 1,53.

- **Clasificación del nivel de estabilidad en función del Factor de Seguridad (FS)**

El Factor de Seguridad (FS) es un indicador de estabilidad obtenido en el análisis de taludes; en términos generales, valores $FS < 1.33$ se asocian a condición de falla o inestabilidad, mientras que $FS > 1.33$ indica estabilidad para las condiciones analizadas (USACE, 2003). En el marco peruano, los estudios geotécnicos para infraestructura vial se desarrollan conforme a los lineamientos del Manual de Carreteras del MTC (SGGP), el cual establece el contexto técnico para caracterización del terreno y evaluación geotécnica asociada a la carretera; por ello, la verificación de estabilidad se sustenta en dicho marco y se complementa con criterios de práctica recogidos en manuales técnicos (MTC, 2014; FHWA, 2010; USACE, 2003).

Con base en los criterios adoptados en el presente estudio, se establece la siguiente clasificación operativa del nivel de estabilidad:

Tabla 3.

Clasificación del nivel de estabilidad según el Factor de Seguridad (FS)

Escenario	Estabilidad baja (inestable)	Estabilidad media	Estabilidad alta
Estático	$FS < 1.33$	$1.33 \leq FS < 1.53$	$FS \geq 1.53$
Pseudotestico	$FS < 1.00$	$1.00 \leq FS < 1.10$	$FS \geq 1.10$

Nota: (MTC, 2014; FHWA, 2010; USACE, 2003).

2.2.2. Métodos de cálculo estabilidad de taludes

- Cálculos con métodos de equilibrio límite:

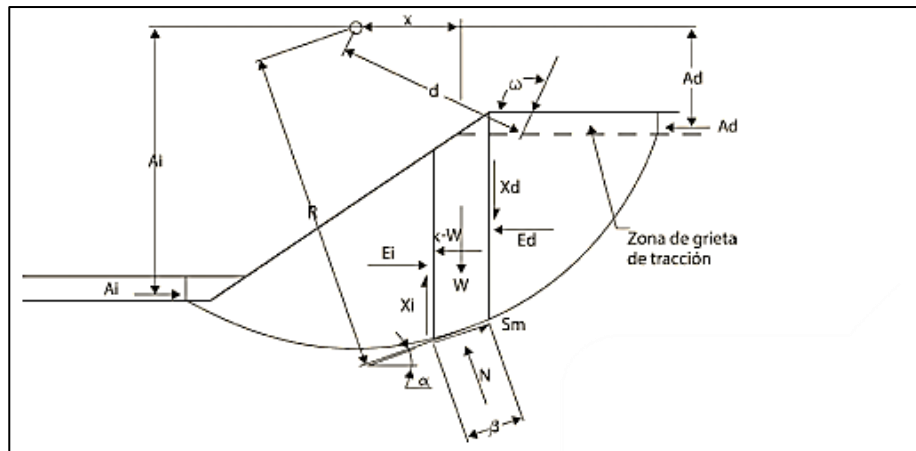
Los modelos de equilibrio límite se basan en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable. Su principal limitación es que suponen que la resistencia al corte del terreno se moviliza total y simultáneamente a lo largo de la superficie de corte, sin tener en cuenta el estado tensional ni la cuantía de las deformaciones. La movilización del terreno da lugar a una modificación de sus características resistentes y este tipo de modelos no pueden tener en cuenta este factor. La ventaja es que permiten modelar geometrías complejas de manera rápida y fiable, y reproducen de manera bastante fiel la superficie de rotura más probable. Su aplicación está muy extendida porque, pese a su gran rapidez y sencillez, están ampliamente contrastados por la práctica, y se conocen sus límites y grados de confianza (Valiente et al., 2015)

Los métodos de equilibrio límite consisten en dividir la masa de terreno potencialmente inestable en rebanadas verticales, calcular el equilibrio de cada una de ellas y analizar el equilibrio global, para obtener un factor de Seguridad (F) que se define como la relación entre fuerzas/momentos resistentes y fuerzas/momentos desequilibrantes. Una vez calculado el valor de FS para una determinada curva de rotura potencial, se repite el proceso para otra distinta, y así sucesivamente hasta obtener un valor mínimo de FS (curva deslizamiento pésimo). (Valiente et al., 2015)

La forma en la que se resuelven las ecuaciones constituye los modelos habitualmente empleados (Bishop, Spencer, Janbu, etc.), los cuales son casos particulares del método general de equilibrio límite. (Valiente et al., 2015)

Figura 4.

Equilibrio de una rebanada



Nota: Valiente et al., 2015

La nomenclatura empleada se explica a continuación:

W: Peso total de la rebanada. En el caso de existir fuerzas sísmicas se introduce un componente horizontal desestabilizador igual a “k” veces el peso

N: Fuerza normal en la base de la rebanada.

S: Fuerza cortante movilizada en la base de la rebanada

E: Fuerzas horizontales movilizadas entre rebanadas.

D: Fuerza externa aplicada

X: Fuerzas verticales movilizadas entre rebanadas

A: Empuje de agua externo

- **Cálculos con modelos numéricos:**

Este tipo de métodos requiere una discretización previa del problema mediante una malla. En primer lugar, se modela la sección tipo de estudio: se establecen los parámetros de las diferentes unidades geotécnicas (c , ϕ , E , ν), y se definen las condiciones iniciales del estado tensional del terreno y la presencia de nivel freático. Posteriormente, se simula la secuencia constructiva. Los métodos numéricos aplican el método “phi-reduction”, con una reducción de la resistencia de todos los materiales, aplicando un factor de seguridad F hasta alcanzar un valor en el cual el proceso no es convergente.

$$C_{\text{cálculo}} = \frac{C}{F} ; \tan \phi_{\text{calculo}} = \frac{\tan \phi}{F}$$

Existen experiencias que comparan el cálculo mediante elementos finitos con los métodos de rebanadas, que concluyen que existe una buena concordancia de resultados.

Se recomienda acudir a modelos numéricos que permiten estudiar el estado tensional de los elementos y sus deformaciones. (Valiente et al., 2015)

- **Análisis de estabilidad de taludes bajo acción sísmica:**

Los efectos de un sismo en un talud pueden modelarse empleando aceleraciones horizontales y constantes. Terzaghi, en 1959, fue el primero en aplicar un modelo pseudo-estático para realizar un estudio de estabilidad de taludes durante un evento sísmico. En estos modelos, se representan los efectos del sismo mediante aceleraciones pseudoestáticas, las cuales producen fuerzas de inercia situadas en el centro de gravedad de cada dovela. De acuerdo con la última actualización de la norma E030. Diseño sismorresistente, Perú se divide en cuatro zonas sísmicas:

Figura 5.

Zonificación sísmica Perú



Nota: Norma Técnica E.030: Diseño sismorresistente, por Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018

La tabla 2 indica el factor asignado a cada zona (o PGA, peak ground acceleration) para un período de retorno T=500 años.

Tabla 4.

Factor de zona Perú

Zona	4	3	2	1
PGA	0,45	0,35	0,25	0,10

Nota: Norma Técnica E.030: Diseño sismorresistente, por Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018

Según la norma E030, los suelos se clasifican tomando en cuenta las propiedades mecánicas del suelo, el espesor del estrato, el período fundamental de vibración y la velocidad de propagación de las ondas de corte. Los tipos de perfiles de suelos son cuatro:

Tabla 5.

Clasificación de suelos de acuerdo con la amplificación sísmica

	S0: Roca Dura	S1: Roca o suelos muy rígidos	S2: Suelos Intermedios	S3: Suelos Blandos
Zona 4	0,80	1,00	1,05	1,10
Zona 3	0,80	1,00	1,15	1,20
Zona 2	0,80	1,00	1,20	1,40
Zona 1	0,80	1,00	1,60	2,00

Nota: Norma Técnica E.030: Diseño sismorresistente, por Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018

Tabla 6.

Clasificación de suelos de acuerdo con el periodo fundamental de vibración sísmica T_p (s)

	S0: Roca Dura	S1: Roca o suelos muy rígidos	S2: Suelos Intermedios	S3: Suelos Blandos
T_p (s)	0,30	0,40	0,60	1,00

Nota: Norma Técnica E.030: Diseño sismorresistente, por Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018

La aceleración máxima horizontal de diseño (A_{max-d}) se determina de la siguiente forma (Valiente et all, 2015):

$$A_{max-d} = PGA \times S$$

En el caso de considerar métodos pseudo-estáticos para el diseño de los taludes, la AASHTO y la FHWA sugieren reducir el anterior valor a la mitad.

2.2.3. Clasificaciones geomecánicas

Las clasificaciones geomecánicas tienen como objetivo el de proporcionar una evaluación geomecánica del macizo rocoso que se estudia a partir de ensayos simples, y observaciones de campo. (Bieniawski, 1976).

- Rock Mas Rating (RMR)

El RMR, introducido por Bieniawski 1976, es posiblemente la clasificación geomecánica más usada, inicialmente pensado para valorar la estabilidad y los soportes requeridos en túneles, ha resultado ser apto también para la valoración de la estabilidad en taludes. El RMR permite la obtención de la cohesión y ángulo de fricción, parámetros resistentes del criterio de Mohr- Coulomb. En las siguientes ecuaciones se muestran las relaciones entre RMR y los parámetros resistentes.

$$c = 5RMR \text{ (KPa)}$$

$$\phi = 5 + RMR/2$$

Dónde: c es la cohesión y ϕ es el ángulo de fricción.

El RMR es una clasificación geomecánica, en la que se tienen en cuenta los siguientes parámetros del macizo rocoso:

- Resistencia del material intacto que se obtiene mediante ensayo de carga puntual o compresión simple.....(1)
- Índice de calidad de las rocas (RQD)..... (2)
- Espaciado de las discontinuidades, hace referencia a la longitud entre discontinuidades dentro de la zona a estudio.....(3)
- Condición de las discontinuidades, que incluye(4)
 - o Persistencia (longitud de la discontinuidad)
 - o Abertura
 - o Rugosidad
 - o Relleno
 - o Alteración
- Presencia de agua subterránea.....(5)

A cada uno de los parámetros anteriores se le asigna un valor, el rock más rating (RMR) se obtiene como la suma de todos ellos.

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

- Resistencia

Tabla 7.

Procedimiento de identificación y rango aproximado de parámetros de resistencia

Símbolo	Descripción	Características de Terreno	Resistencia a la Compresión Uniaxial (Mpa)	Puntuación
R0	EXTREMADAMENTE FRAGIL	La roca puede ser marcada por la uña del pulgar.	0.25-1	0
R1	MUY FRAGIL	Se disgrega o desintegra al golpe firme con la punta del martillo geológico. Puede ser escarbada con un cortaplumas.	3-10	1
R2	FRAGIL	Con dificultad puede ser escarbada con un cortaplumas. Marcas	10-25	2

		superficiales pueden ser hechas con un golpe firme con la punta del martillo geológico.		
R3	MODERADA O MEDIANAMENTE DURA	No puede ser escarbada con un cortaplumas. Se rompe con un golpe firme del martillo geológico.	25-50	4
R4	DURA	Se rompe con más de un golpe del martillo geológico.	50-100	7
R5	MUY DURA	Se requieren muchos golpes del martillo geológico para romper la roca.	100-200	12
R6	EXTREMADAMENTE DURA	Los golpes del martillo geológico sólo obtienen esquirlas.	>200	15

Nota: Bieniawski, Z. T.,1976

- **Índice de calidad de las rocas (RQD)**

El diámetro del testigo tiene que ser igual o superior a 57.4 mm, y tiene que ser perforado con un doble tubo de extracción de testigo. El RQD es el porcentaje de fragmentos de longitud superior a 10 cm, sobre la longitud total del testigo. Su expresión es:

$$RQD = \frac{\sum \text{longitud de fragmentos} \geq 10 \text{ cm}}{\text{Longitud total perforada}} \times 100$$

Si no se disponen de sondeos, una alternativa para el cálculo del RQD es a partir de las ecuaciones:

$$RQD = 115 - 3.3 Jv \rightarrow Jv > 4.5$$

$$RQD = 100 \rightarrow Jv \leq 4.5$$

Dónde: Jv es el número de juntas identificadas en el macizo rocoso por m3. Una vez obtenido el valor de RQD.

- Espaciamiento

El espaciamiento entre los planos de debilidad es el parámetro que controla el tamaño de los bloques de roca intacta dentro del macizo. Según Bieniawski (1976), un macizo rocoso con múltiples discontinuidades y espaciamientos reducidos tiende a presentar una baja cohesión y resistencia. Por el contrario, cuando existen pocas discontinuidades y los espaciamientos son amplios, los bloques de roca pueden mantenerse interligados, lo que favorece la estabilidad del talud o excavación.

Tabla 8.

Espaciado entre discontinuidades

Espaciado	
Descripción	Puntuación
> 3 m	30
1-3m	25
0.3-1m	20
50-300	10
<50 mm	5

Nota: Bieniawski, Z. T., 1976

- Condición de las discontinuidades

Según Bieniawski (1976), la estabilidad de los taludes es a menudo significativamente influenciada por la condición de las discontinuidades, debido a que ellas se comportan como planos de debilidad, aún en las rocas más fuertes la ruptura tiende a ocurrir preferentemente a lo largo de estas superficies.

Para la estimación de la condición de las discontinuidades, se usarán cinco parámetros principales los cuales son: persistencia, abertura, rugosidad, relleno y alteración.

A continuación, se detalla las valoraciones usadas para cada uno de estos parámetros.

Tabla 9.

Condición de discontinuidades – Sistema RMR de Bieniawski

ESTADO DE LAS DISCONTINUIDADES			
Persistencia		Abertura	
Descripción	Puntuación	Descripción	Puntuación
< 1 m	5	Ninguno	5
1-3m	4	<0.1mm	4

3-10m		2	0.1-1.0mm	3	
10-20m		1	1-5mm	1	
>20m		0	>5mm	0	
Rugosidad		Relleno		Intemperización y/o alteración	
Descripción	Puntuación	Descripción	Puntuación	Fresca	Puntuación
Muy rugoso	5	Ninguno	5	Fresca	5
Rugoso	4	Duro<5mm	4	Lig. Alterada	4
Lig. Rugoso	2	Duro>5mm	2	Mod. Alterada	3
Lisa	1	Suave<5mm	2	Alt. Alterada	1
Pulida	0	Suave>5mm	0	Descompuesta	0

Nota: Bieniawski, Z. T.,1976

Tabla 10.

Condición discontinuidades

Condición de discontinuidades
Total Valoración
25
20
12
6
0

Nota: Bieniawski, Z. T.,1976

- Persistencia: Es la continuidad o extensión de una discontinuidad en el macizo rocoso. Corresponde a la extensión en área o tamaño de una discontinuidad en el macizo rocoso, es así que cuanto menor sea la persistencia, la estabilidad de la masa rocosa es mayor y si la persistencia es mayor, la estabilidad del macizo rocoso es menor.
- Abertura: La abertura o apertura corresponde a la separación que existe entre las paredes o superficies rocosas de una discontinuidad, es así que, a menor abertura, la estabilidad y condición del macizo rocoso será mayor y a mayor abertura, la estabilidad y condición del macizo rocoso será menor.
- Rugosidad de la superficie de discontinuidad: es el grado de aspereza de la superficie

de una discontinuidad. Para determinar la rugosidad en campo se aplica el método organoléptico que consiste en pasar la yema de los dedos sobre la superficie de la discontinuidad. Este parámetro tiene gran influencia en el comportamiento geomecánico, específicamente en la resistencia al corte.

- Relleno: es el material distinto a la roca que se encuentra entre las paredes rocosas adyacentes de una discontinuidad, comúnmente este material tiene propiedades de resistencia inferiores a la roca intacta.

- Alteración: se refiere al grado de descomposición de los minerales de la roca que ocurre sobre la superficie de una discontinuidad. La meteorización o alteración suele iniciar afectando a las discontinuidades, provoca la disminución de la resistencia de sus paredes y la generación de minerales blandos.

Bieniaswki (1990) recomendó la descripción que se muestra en la tabla 9 para clasificar el grado de meteorización de la pared de la discontinuidad.

Tabla 11.

Descripción de la meteorización de la pared de la discontinuidad

Término	Descripción
Inalterada	No hay signos visibles de meteorización; roca fresca, cristales brillantes.
Levemente alterada	Las discontinuidades están manchadas o descoloridas y pueden contener un relleno fino de material alterado. La decoloración puede extenderse a la roca desde la superficie de la discontinuidad a una distancia de hasta un 20% del espaciamiento de la discontinuidad.
Moderadamente alterada	Una ligera decoloración se extiende desde los planos de la discontinuidad por más del 20% del espaciamiento de la discontinuidad. Las discontinuidades pueden contener relleno de material alterado. Puede ser observada la abertura parcial de los bordes del grano.
Muy alterada	La decoloración se extiende por toda la roca y el material rocoso es parcialmente friable. La textura original de la roca ha sido preservada en su mayoría, pero la separación de los granos ha ocurrido.
Descompuesta	La roca está totalmente descolorida y descompuesta, y en un estado friable. La apariencia externa es el de un suelo. Internamente, la textura de la roca está parcialmente conservada, pero los granos se han separado completamente.

Nota: Bieniawski, Z. T., 1976

- **Presencia de aguas subterráneas**

Según Bieniawski (1976), la presencia de agua en las discontinuidades puede tener un efecto perjudicial en la estabilidad del macizo rocoso, puede debilitar o eliminar el relleno contenido dentro de las discontinuidades. El flujo de agua dentro de las discontinuidades y los espacios porosos reduce la resistencia al cizallamiento.

Tabla 12.

Clasificación de la condición de agua subterránea

Agua	
Descripción	Puntuación
Totalmente seco	10
Solo húmedo	7
Ligera presión de agua	4
Serios problemas de agua (flujo)	0

Nota: Bieniawski, Z. T.,1976

Tabla 13.

Cuadro de clasificación RMR₇₆

Resistencia de la roca inalterada	Índice de carga puntual	>8 Mpa	4 - 8 Mpa	2 - 4 Mpa	1 - 2 Mpa	Para estos rangos bajos es preferible utilizar las pruebas de UCS		
	Resistencia a la compresión uniaxial	>200 Mpa	100 - 200 Mpa	50 - 100 Mpa	25 - 50Mpa	10 - 25 Mpa	3 - 10 Mpa	1 - 3 Mpa
Valoración		15	12	7	4	2	1	0
Calidad de testigo perforado (RQD)		90 - 100%	75 - 90%	50 -75%	25 - 50%	< 25%		
Valoración		20	17	13	8	3		
Espaciamiento de fracturas		>3 m	1 - 3 m	0.3 - 1 m	50 - 300 mm	< 50 mm		
Valoración		30	25	20	10	5		
Condición de juntas		Superficies muy rugosas Sin	Superficies algo rugosas	Superficies algo rugosas	Superficies pulidas o relleno <	Relleno Blando > 5 mm o juntas		

		continuidad Sin separación Paredes de roca dura	Separación < 1mm Paredes de roca dura	Separación < 1mm Paredes de roca	5mm o juntas abiertas 1 - 5 mm	abiertas > 5 mm Fisuras continuas
	Valoración	25	20	12	6	0
Agua Subterránea	Cantidad de Infiltración, por 10 m de longitud de túnel	Ninguna < 25 lt/min		< 25 lt/min	25 - 125 lt/min	> 125 lt/min
	Ratio: presión del agua en las juntas / esfuerzo principal mayor	0		0.0 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5
	Condiciones generales	Totalmente seco		Solo húmedo	Ligera presión de agua	Serios Problemas de agua
	Valoración	10		7	4	0

Nota: Bieniawski, (1976)

Tabla 14.

Clasificación Geomecánica RMR76

Clase	Calidad	Valoración RMR
I	Muy Buena	100 - 81
II	Buena	80 - 61
III	Media	60 - 41
IV	Mala	40 - 21
V	Muy Mala	0 - 20

Nota: Bieniawski, (1976)

2.3. Definición de términos básicos

Talud: Superficie inclinada resultante de un proceso de excavación (corte) o de terraplenado (relleno), cuya geometría no es necesariamente vertical, sino que forma un ángulo con la horizontal, denominado ángulo de talud; esta superficie puede corresponder tanto a un talud natural (ladera conformada por procesos geológicos y geomorfológicos) como a un talud artificial (generado por intervención antrópica en obras como cortes y rellenos) (Norma CE.020).

Estabilidad de Taludes: Condición mediante la cual un talud (corte, excavación o terraplén), y de origen natural o artificial, conserva un estado de equilibrio adecuado y sostenible frente a las acciones gravitacionales y sísmicas que actúan sobre el macizo, condición que se verifica a través de factores de seguridad y considerando que las medidas asociadas no deben afectar de manera negativa el entorno (Norma CE.020).

Inestabilidad de taludes: Es la pérdida de equilibrio estático de una masa de suelo o roca que conlleva a su desplazamiento pendiente abajo por acción de la gravedad. (Suárez Díaz, 2009).

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. Ubicación geográfica y caracterización de la zona.

La zona de estudio se ubica en el distrito de San Juan, del km 38 al km 44 de la carretera Cajamarca a Ciudad de Dios. El distrito de San Juan se encuentra a una altitud 2311 m.s.n.m., a una distancia de 35 km (1 hora) de Cajamarca. El distrito de San Juan limita al sur con el distrito de Asunción, al norte con el distrito de Cajamarca, al este con el distrito de Jesús y al oeste con el distrito de Magdalena.

La ubicación de la zona es:

- ✓ Departamento: Cajamarca
- ✓ Provincia: Cajamarca
- ✓ Distrito: San Juan

Las coordenadas del tramo en estudio son las siguientes:

- Inicio(km 38): 9195152.0 N ; 774213.91 E

-Fin (km 43): 9194908.40 N; 772929.80 E

Figura 6.

Mapa del Perú



Nota: Instituto Geográfico Nacional. (2024)

Figura 7.

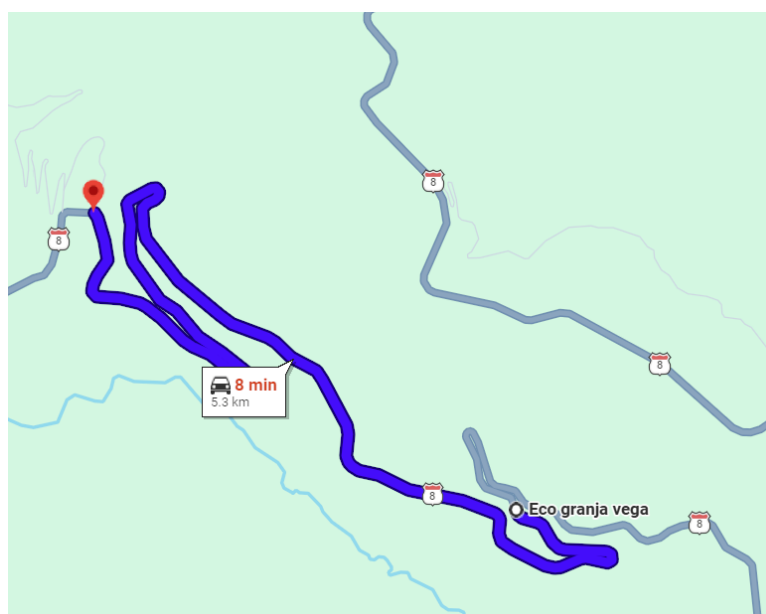
Mapa de la región Cajamarca.



Nota: (Ministerio de Transportes y Comunia, 2023).

Figura 8.

Carretera Cajamarca – Ciudad de Dios (Tramo km 48 al km 43)



Nota: Google Maps.

Características Climatológicas del Área de Estudio

El área de investigación, ubicada políticamente en el distrito de San Juan (Cajamarca) y geográficamente en la región natural Quechua, presenta un clima templado moderado lluvioso, clasificado como Cwb según el sistema de Köppen-Geiger. Esta configuración climática se caracteriza por una marcada estacionalidad, con inviernos secos y veranos con precipitaciones abundantes, condiciones que influyen directamente en la estabilidad física de los taludes de la carretera Cajamarca - Ciudad de Dios (CENEPRED, 2014; INGEMMET, 2007).

Precipitaciones.

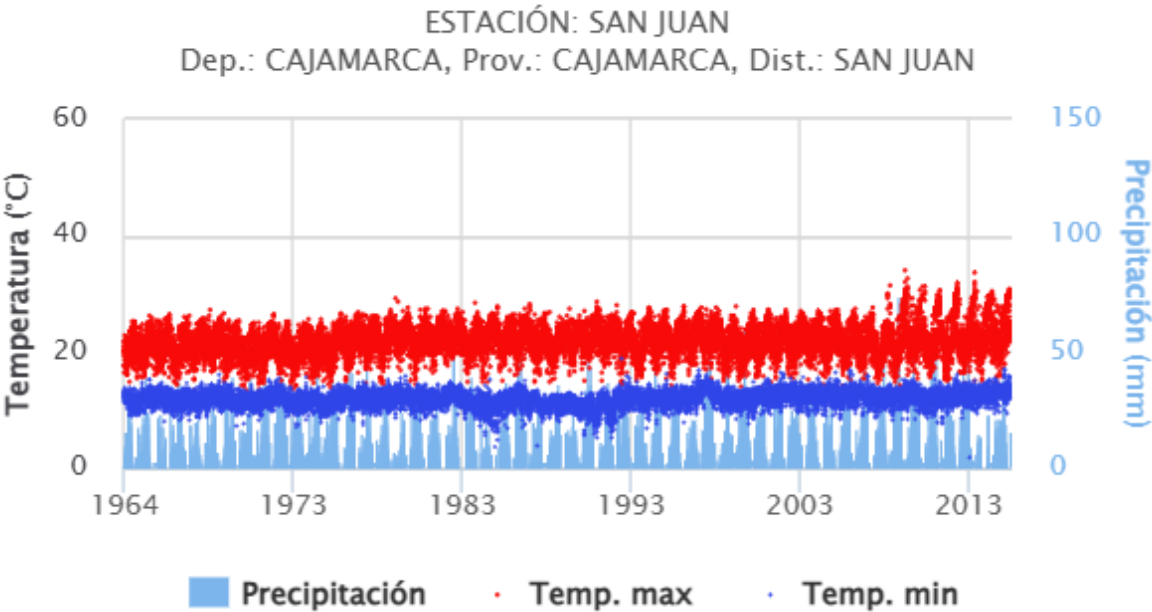
La precipitación es el parámetro meteorológico de mayor impacto en la geodinámica externa de la zona. De acuerdo con los registros históricos de la estación meteorológica San Juan del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), el régimen pluvial es bimodal, concentrándose la temporada de lluvias entre los meses de diciembre y marzo, con picos de intensidad máxima durante febrero (SENAMHI, 2026).

Temperatura

En relación con el comportamiento térmico, el área de estudio presenta una oscilación moderada con temperaturas medias anuales que fluctúan entre los 10 °C y 22 °C (SENAMHI, 2024). Las temperaturas máximas diurnas pueden alcanzar los 23 °C predominantemente en la época de estiaje (mayo a agosto), mientras que las temperaturas mínimas suelen descender hasta los 7 °C durante las madrugadas de los meses de junio y agosto, debido a la ausencia de cobertura nubosa (SENAMHI, 2024).

Figura 9.

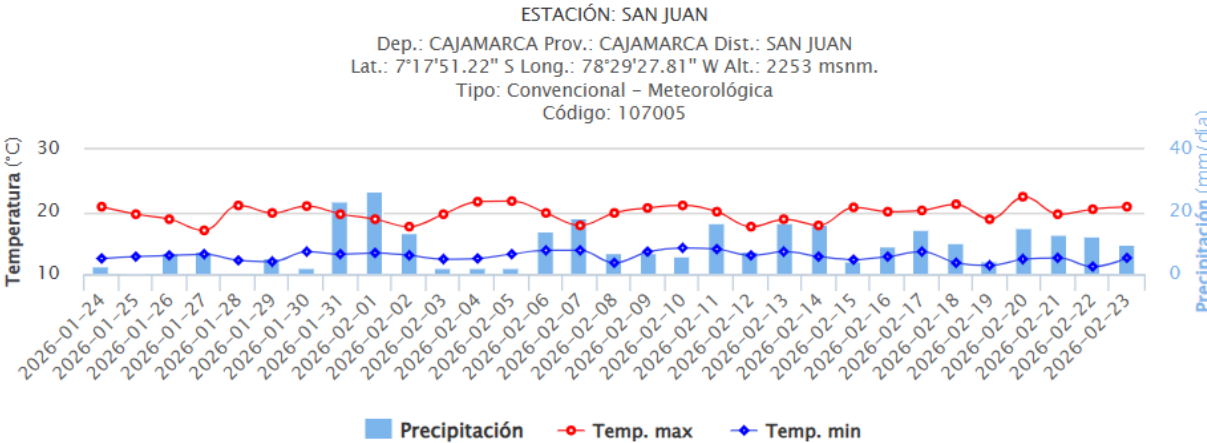
Histograma de la Estación: San Juan. Cod.107005



Nota: Senahmi (2026)

Figura 10.

Precipitaciones registradas por la estación meteorológica San Juan en el mes de enero y febrero de 2026.



Nota: Senahmi (2026)

3.2. Tipo de investigación

La investigación fue aplicada, porque buscó resolver un problema práctico relacionado con la inestabilidad de taludes mediante análisis geotécnico y la propuesta de medidas de estabilización.

3.3. Nivel de investigación.

La investigación fue descriptiva, ya que se caracteriza el estado actual de los taludes; se determina y analiza el factor de seguridad.

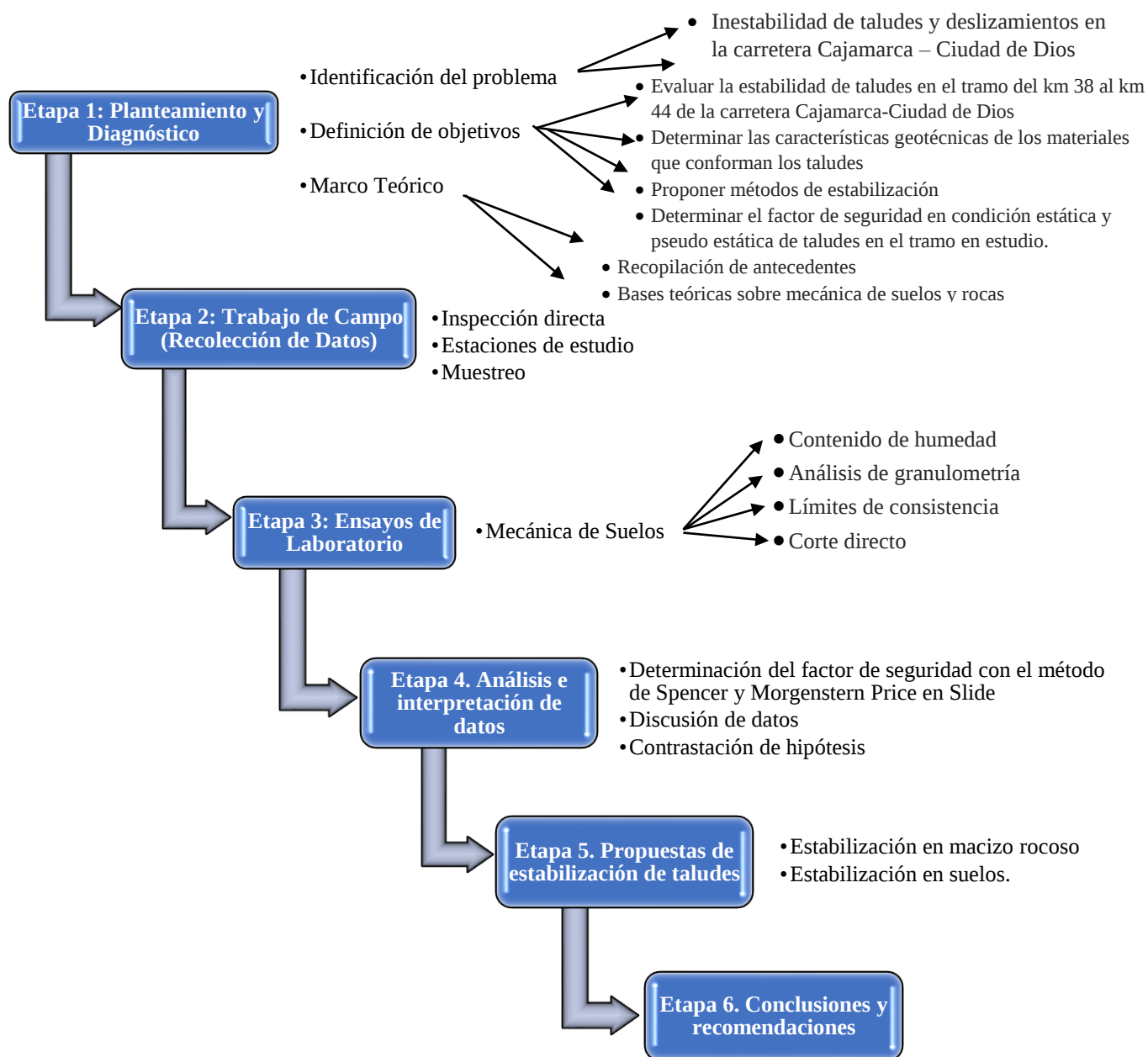
3.4. Enfoque de la investigación

La investigación por su naturaleza fue cuantitativa, porque se centró en el estudio y análisis de la estabilidad de taludes mediante diversos procedimientos de medición.

3.5. Diseño de la investigación

La investigación fue no experimental, ya que no se manipuló deliberadamente las variables, solo se recogió datos mediante los cuales se describió ambas variables para luego proponer un modelo que repercuta en la solución a las deficiencias encontradas.

Etapas de la Investigación



3.6. Población de estudio

La población estuvo constituida por los taludes del tramo del km 38 al km 44 de la carretera Cajamarca- Ciudad de Dios.

3.7. Muestra

Taludes en el tramo del km 38 al km 44 de la carretera Cajamarca - Ciudad de Dios.

3.8. Unidad de análisis

Estabilidad de taludes en el tramo del km 38 al km 44 de la carretera Cajamarca- Ciudad de Dios.

3.9. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.9.1. Técnicas de recolección de datos

Para la recolección de información se emplearon técnicas de campo, laboratorio y gabinete, orientadas a caracterizar las condiciones del talud y los factores que pueden desencadenar deslizamientos.

- ✓ Observación directa en campo: Se efectuó la inspección in situ de los taludes, registrando sus condiciones actuales e identificando evidencias o indicadores de inestabilidad que pudieran generar deslizamientos.
- ✓ Revisión documental Se revisaron planos de la carretera y documentación técnica complementaria, a fin de sustentar y contrastar la información obtenida en campo y laboratorio.

3.9.2. Instrumentos de recolección de datos

Para la observación directa se usaron fichas de control, fotografías.

Para los ensayos de mecánica de suelos, se usarán formatos de laboratorio y protocolos de ensayos, formatos para la clasificación geomecánica y para la recopilación de data para luego encontrar el factor de seguridad en los taludes.

Para la revisión documental se usaron investigaciones, planos y normas.

3.10. Técnicas e instrumentos para el tratamiento de la información

3.10.1. Técnicas de tratamiento de la información.

Análisis Geotécnico: Evaluar las propiedades físicas y mecánicas del suelo y rocas en los taludes.

Modelación y Simulación Computacional: Usar software de simulación para modelar los taludes y analizar escenarios de estabilidad.

Evaluación de Factores de Seguridad: Calcular el factor de seguridad para determinar el riesgo de deslizamiento en los taludes.

3.10.2. Instrumentos para el tratamiento de la información.

- ✓ Software Rocdata(Rocscience Inc.), para determinar los parámetros de resistencia de roca.
- ✓ Software Slide 6.0(Rocscience Inc.) , que fue usado para determinar el factor de seguridad.

3.11. Equipos materiales e insumos.

Equipos:

- ✓ Brújula
- ✓ Equipos para ensayo de suelos (contenido de humedad, granulometría, límites de Atterberg, corte directo)
- ✓ Computadora

3.12. Procedimientos.

1. Para evaluar la estabilidad de taludes en el tramo de carretera, primero se realizó una inspección de campo, con levantamiento topográfico y muestreo de suelo y roca en puntos críticos.
2. Para la determinación de parámetros geotécnicos, se usó el método empírico, la toma de datos en campo y análisis de laboratorio de suelos. De las 06 estaciones, 02 corresponden a macizo rocoso, por lo que se realizó el mapeo de taludes y la caracterización con la clasificación geomecánica de RMR76, en sinergia con el software RocData para determinarse las propiedades de la roca, criterio generalizado de Hoek & Brown, para el análisis del FS en el software Slide.

3. En el laboratorio, se llevaron a cabo ensayos de contenido de humedad, granulometría, límites de consistencia, corte directo para determinar propiedades geomecánicas, como cohesión y ángulo de fricción de los suelos finos.
3. Para los suelos granulares se determinó el ángulo de fricción y cohesión de acuerdo a tablas de valores típicos de ángulo de fricción y cohesión de suelos y rocas de acuerdo a Hoek y Bray (1991); Terzaghi, Peck y Mesri (1996) y el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (MTC, 2014).
4. Estos datos se procesaron en programas de modelado geotécnico, como RocData y Slide, los cuales simulaban condiciones de estabilidad y permitieron determinar el factor de seguridad y analizar la sensibilidad de variables clave.
5. A partir de los resultados, se identificaron zonas críticas de deslizamiento y se compararon con normas y estudios previos para validar el análisis.
6. Finalmente se planteó propuestas de estabilización para los taludes críticos.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

4.1. Presentación de resultados

4.1.1. Geología local.

El área de estudio está conformada por Formaciones Cajamarca, Quilquiñán – Mujarrún y Pulluicana. Se conforma por calizas grisáceas o blanquecinas con estratificación regular y uniforme con intercalación de calizas grises, lutitas friables gris oscura a negras y niveles de margas.

4.1.2. Estaciones en estudio.

Se evaluaron 06 estaciones para analizar la estabilidad de taludes de la carretera Cajamarca – Ciudad de Dios:

Tabla 15.

Ubicación de las muestras

Estación	Coordenadas UTM		Cota	Tipo de material
	Este	Norte		
Estación 1	772948.07	9194871.42	1927.82	Roca
Estación 2	773216.57	9194486.59	1943.43	Suelo
Estación 3	774366.71	9193793.25	1990.23	Suelo
Estación 4	773524.54	9194464.19	2093.47	Roca
Estación 5	773089.20	9194769.56	2138.65	Suelo
Estación 6	774886.68	9193621.17	2192.29	Suelo

Nota: Elaboración propia.

Tabla 16.

Parámetros de resistencia del macizo rocoso

Estación	RMR	RCU (MPa)	mb	s	a
Estación 1	49	70	0.769	0.0007	0.506
Estación 4	53	140	2.308	0.0129	0.501

Nota: Elaboración propia

Tabla 17:

Parámetros de resistencia del suelo

Estación	Clasificación SUCS	Peso específico (g/cm3)	Cohesión (kg/cm2)	Fricción (°)
Estación 2	SC	1,67	0,15	28°
Estación 3	GC	1.61	0,08	34°
Estación 5	CH	1.62	0,57	17.91°(Ensayo) 0°(Normativa)
Estación 6	CL	1,70	0,69	14.18°(Ensayo) 0°(Normativa)

Nota: Ver Anexo 7,8,9 y 10: Ensayos de laboratorio

ESTACIONES GEOTÉCNICAS

-ESTACIÓN 1: (MACIZO ROCOSO-KM 43+400)

Coordenadas UTM: Este: 772948.07 / Norte: 9194871.42

Tabla 18.

Resistencia RCU en campo

Símbolo	Descripción	Características de Terreno	Resistencia a la Compresión Uniaxial (Mpa)	Puntuación
R4	Dura	Se rompe con más de un golpe del martillo geológico.	50-100	7

Tabla 19.

RMR₇₆ – Estación 1

ESTACIÓN 1		
Criterio	Descripción	Valoración
Resistencia de la roca inalterada	50 - 100 Mpa	7
Calidad de testigo perforado (RQD)	50 -75%	13
Espaciamiento de fracturas	50 - 300 mm	10
Condición de juntas	Superficies algo rugosas Separación < 1mm Paredes de roca	12
Agua Subterránea	Totalmente seco	7

Tabla 20.

Clasificación Geomecánica RMR₇₆– Estación 1

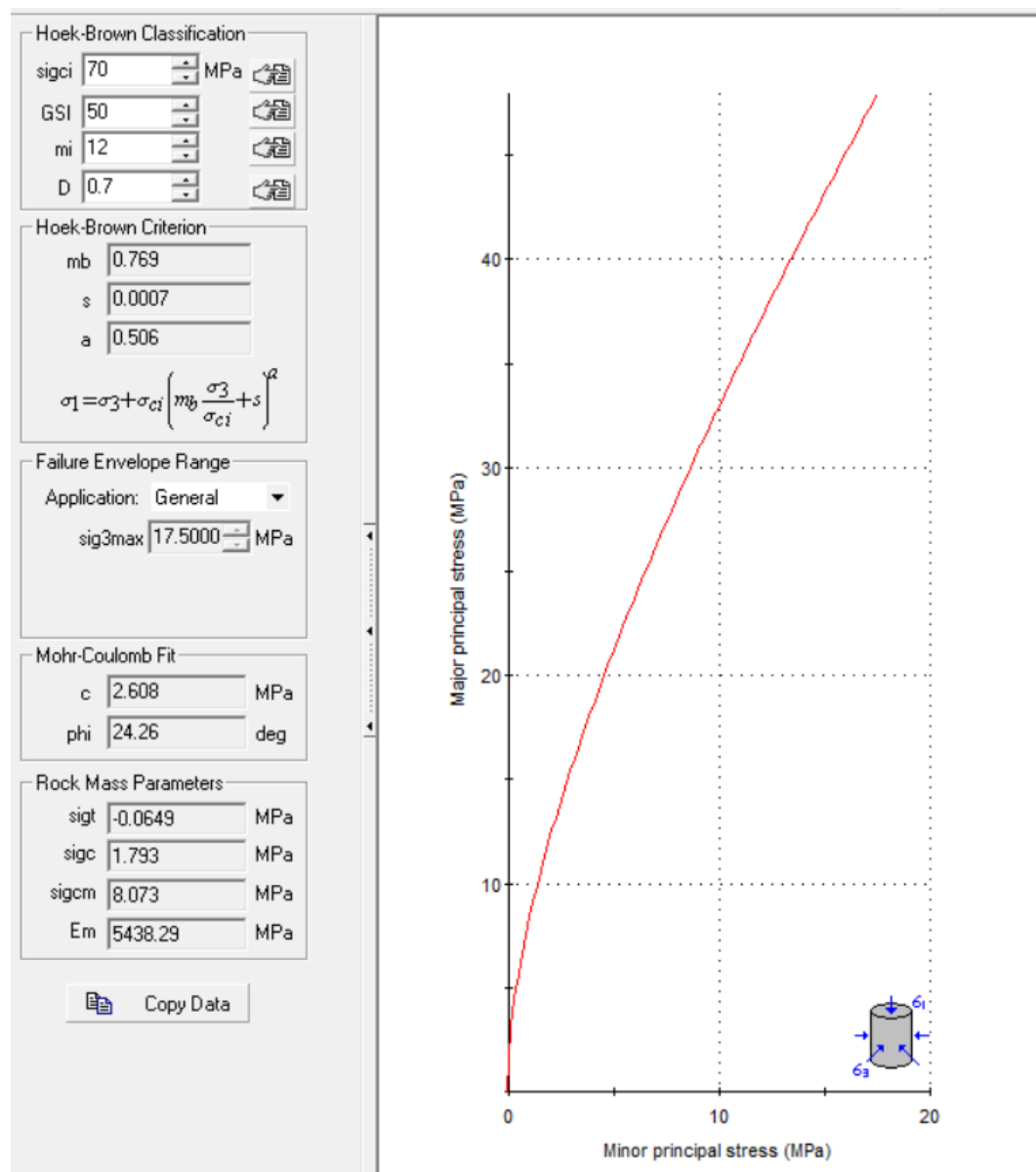
Clase	Calidad	Valoración RMR
III	Media	60 – 41

Análisis en RocData

Se realizó el análisis para el cálculo de los parámetros de resistencia de la roca.

Figura 11.

Gráfica de Esfuerzos Mayor – Esfuerzo Menor, Estación 1.



Nota. Software RocData

-ESTACIÓN 2: (SUELO ARENA ARCILLOSA-KM 42+600)

Coordenadas UTM: Este: 773216.57/ Norte: 9194486.59

Tabla 21.

Cuadro resumen de la muestra tomada en la estación N°2.

Cuadro de resumen (E2)	
Clasificación SUCS	SC
Peso específico(g/cm ³)	1.67
Cohesión(kg/cm ²)	0.15
Ángulo de fricción interna	28.0°

Nota: Ver anexo 7

-ESTACIÓN 3: (SUELO GRAVA ARCILLOSA- KM 41+500)

Coordenadas UTM: Este: 774366.71/ Norte: 9193793.25

Tabla 22.

Cuadro resumen de la muestra tomada en la estación N°3.

Cuadro de resumen (E3)	
Clasificación SUCS	GC
Peso específico(g/cm ³)	1.61
Cohesión(kg/cm ²)	0.08
Ángulo de fricción interna	34°

Nota: Ver Anexo 8

-ESTACIÓN 4: (MACIZO ROCOSO- KM 40+200)

Coordenadas UTM: Este: 773524.54/ Norte: 9194464.19

El macizo rocoso observado en esta estación se encuentra conformado litológicamente por roca caliza perteneciente a la Formación Quilquiñán – Mujarrún y Pulluicana

Tabla 23.

Resistencia RCU en campo

Símbolo	Descripción	Características de Terreno	Resistencia a la Compresión Uniaxial (Mpa)	Puntuación
R5	Muy Dura	Se requieren muchos golpes del martillo geológico para romper la roca.	100-200	12

Nota: Bieniawski, (1976)

Tabla 24.

RMR₇₆ – Estación 4

ESTACIÓN 4		
Criterio	Descripción	Valoración
Resistencia de la roca inalterada	100 - 200 Mpa	90
Calidad de testigo perforado (RQD)	50 -75%	13
Espaciamiento de fracturas	0.3 - 1 m	20
Condición de juntas	Superficies algo rugosas Separación < 1mm Paredes de roca	12
Agua Subterránea	Totalmente seco	7

Tabla 25.

Clasificación Geomecánica RMR₇₆– Estación 4

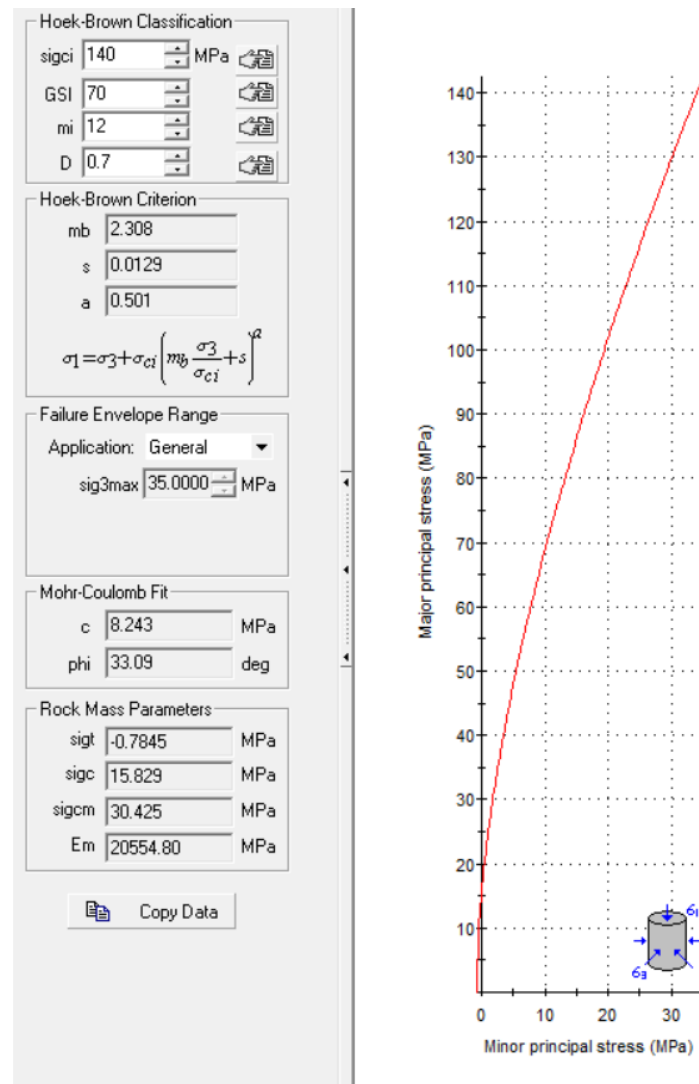
Clase	Calidad	Valoración RMR
III	Media	60 – 41

Análisis en RocData

Se realizó el análisis para el cálculo de los parámetros de resistencia de la roca:

Figura 12.

Gráfica de Esfuerzos Mayor – Esfuerzo Menor, Estación 4.



Nota: RocData

-ESTACIÓN 5: (SUELO ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA-KM 39+100)

Coordenadas UTM: Este: 773089.20/ Norte: 9194769.56

Tabla 26.

Cuadro resumen de la muestra tomada en la estación N°5.

Cuadro de resumen (E5)	
Clasificación SUCS	CH
Peso específico(g/cm ³)	1.62
Cohesión(kg/cm ²)	0.57
Ángulo de fricción interna	17.91°

Nota: Ver anexo 9

-ESTACIÓN 6: (SUELO ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD-KM 38+400)

Coordenadas UTM: Este: 774886.68/ Norte: 9193621.17

Tabla 27.

Cuadro resumen de la muestra tomada en la estación N°6.

Cuadro de resumen (E6)	
Clasificación SUCS	CL
Peso específico(g/cm ³)	1.70
Cohesión(kg/cm ²)	0.69
Ángulo de fricción interna	14.18°

Nota: Ver anexo 10

4.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados.

4.2.1. Análisis de resultados.

Factores de Seguridad

ESTACIÓN 1: (MACIZO ROCOSO-KM 43+400)

Coordenadas UTM: Este: 772948.07 / Norte: 9194871.42

Tabla 28.

Factor de seguridad-Estación 1.

Factor de Seguridad		
	Spencer	Morgenstern Price
Estático	0.650	0.645
Pseudoestático	0.425	0.403

Nota: Software Slide.

ESTACIÓN 2: (SUELO ARENA ARCILLOSA-KM 42+600)

Coordenadas UTM: Este: 773216.57/ Norte: 9194486.59

Tabla 29.

Factor de seguridad-Estación 2.

Factor de Seguridad		
	Spencer	Morgenstern Price
Estático	1.113	1.111
Pseudoestático	0.802	0.801

Nota: Software Slide.

ESTACIÓN 3: (SUELO GRAVA ARCILLOSA- KM 41+500)

Coordenadas UTM: Este: 774366.71/ Norte: 9193793.25

Tabla 30.

Factor se seguridad-Estación 3.

Factor de Seguridad		
	Spencer	Morgenstern Price
Estático	1.124	1.100
Pseudoestático	0.816	0.817

Nota: Software Slide.

ESTACIÓN 4: (MACIZO ROCOSO- KM 40+200)

Coordenadas UTM: Este: 773524.54/ Norte: 9194464.19

Tabla 31.

Factor se seguridad-Estación 4

Factor de Seguridad		
	Spencer	Morgenstern Price
Estático	1.4	1.4
Pseudoestático	1.5	1.1

Nota: Software Slide.

ESTACIÓN 5: (SUELO ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA-KM 39+100)

Coordenadas UTM: Este: 773089.20/ Norte: 9194769.56

El análisis de estabilidad de este talud, se obtuvieron los siguientes factores de seguridad

Tabla 32.

Factor se seguridad-Estación 5.

Factor de Seguridad		
	Spencer	Morgenstern Price
Estático	3.194	2.91
Pseudoestático	1.755	1.753

Nota: Software Slide.

ESTACIÓN 6: (SUELO ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD-KM 38+400)

Coordenadas UTM: Este: 774886.68/ Norte: 9193621.17

El análisis de estabilidad de este talud, se obtuvieron los siguientes factores de seguridad

Tabla 33.

Factor se seguridad-Estación 6.

Factor de Seguridad		
	Spencer	Morgenstern Price
Estático	5.013	3.271
Pseudoestático	2.321	2.325

Nota: Software Slide.

Tabla 34.

Resumen del factor de seguridad de las estaciones en estudio.

Estabilidad de Taludes: EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD DE TALUDES ENTRE EL KM 38 AL KM 44 DE LA CARRETERA CAJAMARCA – CIUDAD DE DIOS					
Estación	Consideración	Método de Análisis: Spencer		Método de Análisis: Morgenstern Price	
		Factor de Seguridad		Factor de Seguridad	
		Estático	Pseudoestático	Estático	Pseudoestático
		1,53	1,1	1,53	1,1
Estación 1	Talud global	0.650	0.425	0.645	0.403
	Condición	Estabilidad baja	Estabilidad baja	Estabilidad baja	Estabilidad baja
Estación 2	Talud global	1.113	0.802	1.111	0.801
	Condición	Estabilidad baja	Estabilidad baja	Estabilidad baja	Estabilidad baja
Estación 3	Talud global	1.124	0.816	1.100	0.817
	Condición	Estabilidad baja	Estabilidad baja	Estabilidad baja	Estabilidad baja
Estación 4	Talud global	1.400	1.115	1.400	1.100
	Condición	Estabilidad media	Estabilidad alta	Estabilidad media	Estabilidad alta
Estación 5	Talud global	3.194	1.755	2.910	1.753
	Condición	Estabilidad alta	Estabilidad alta	Estabilidad alta	Estabilidad alta
Estación 6	Talud global	5.013	2.321	3.271	2.325
	Condición	Estabilidad alta	Estabilidad alta	Estabilidad alta	Estabilidad alta

Nota: Elaboración propia.

4.2.2. Interpretación de resultados.

Según la Tabla 20, en la Estación 1, correspondiente a un macizo rocoso calizo de la Formación Cajamarca, se obtuvo un desempeño crítico, con factores de seguridad muy inferiores a la unidad (Spencer: $FS_s=0.650$ y $FS_{ps}=0.425$; Morgenstern-Price: $FS_s=0.645$ y $FS_{ps}=0.403$) (Tabla 28), por lo que no cumple los criterios en ninguna condición. Este resultado es coherente con la descripción geomecánica del macizo, que presenta meteorización, ligera oxidación y presencia de relleno suave en discontinuidades, además de estratos bien definidos con espaciamientos reducidos (50 a 300 mm) y otra familia de discontinuidades con espaciamiento de 1 a 3 m. Si bien la resistencia de la roca intacta es moderada ($RCU \approx 70$ MPa), el comportamiento global del talud estaría dominado por la baja resistencia al corte movilizable a lo largo de superficies de debilidad (discontinuidades meteorizadas y con rellenos), lo que explica la marcada reducción del factor de seguridad y la condición de inestabilidad incluso en régimen estático. En términos de gestión del riesgo, esta estación representa el sector más desfavorable del tramo y requiere priorización en medidas de estabilización y control de desprendimientos.

Según la Tabla 21, la Estación 2, correspondiente a un talud conformado por un depósito coluvio-aluvial clasificado como SC (arena arcillosa con grava), con $\gamma \approx 1.67$ g/cm³, $c \approx 0.15$ kg/cm² y $\phi \approx 28^\circ$. Los factores de seguridad obtenidos (Spencer: $FS_s=1.113$ y $FS_{ps}=0.802$; Morgenstern-Price: $FS_s=1.111$ y $FS_{ps}=0.801$) (Tabla 29) indican que el talud no alcanza los niveles de seguridad exigidos en condición estática ni pseudoestática. Este comportamiento es congruente con un material heterogéneo, cuya resistencia se sustenta en un componente friccional intermedio y una cohesión baja a moderada asociada a finos plásticos; por ello, su respuesta puede ser sensible a variaciones de humedad y compactación, incrementándose la susceptibilidad a deformaciones y a pérdida de resistencia efectiva, especialmente ante solicitaciones adicionales representadas por el escenario pseudoestático.

Según la Tabla 22, la Estación 3 corresponde a un suelo clasificado como GC (grava arcillosa con arena), con $\gamma \approx 1.61$ g/cm³, $c \approx 0.08$ kg/cm² y $\phi \approx 34^\circ$. A pesar de que el ángulo de fricción interna es mayor que en la Estación 2, los factores de seguridad calculados (Spencer: $FS_s=1.124$ y $FS_{ps}=0.816$; Morgenstern-Price: $FS_s=1.100$ y $FS_{ps}=0.817$) (Tabla 30) también resultan insuficientes respecto a los umbrales del proyecto. Este resultado sugiere que, además de los parámetros resistentes, estarían influyendo de manera determinante condiciones geométricas del talud y/o particularidades del depósito (heterogeneidad interna, posibles

superficies preferenciales de deformación, erosión o debilitamiento localizado), lo que limita la capacidad del talud para desarrollar un margen de seguridad adecuado en escenarios estáticos y, con mayor razón, pseudoestáticos.

Según la Tabla 24, la Estación 4 correspondiente a un macizo rocoso calizo de las formaciones Quilquiñán – Mujarrún y Pulluicana, con $RCU \approx 90$ MPa, control estructural y ligera meteorización, se estimó un RMR promedio de 56, clasificándose como roca de calidad “Regular”. Los resultados (Spencer: $FSs=1.400$ y $FSps=1.115$; Morgenstern-Price: $FSs=1.400$ y $FSps=1.100$)(Tabla 31) evidencian incumplimiento en condición estática, pero cumplimiento en condición pseudoestática. En términos interpretativos, el talud se ubica en un estado cercano al umbral de aceptabilidad, con una reserva limitada en estático de acuerdo con el criterio adoptado. Dado que el macizo se describe seco y con presencia de tres familias de discontinuidades y estratificación marcada, es razonable considerar que el riesgo predominante pueda vincularse a inestabilidades controladas por discontinuidades y desprendimientos localizados de bloques más que a efectos de saturación.

Según la Tabla 26, la Estación 5 conformada por un suelo CH con $\gamma \approx 1.62$ g/cm³, $c \approx 0.57$ kg/cm² y $\phi \approx 17.91^\circ$, presenta factores de seguridad que cumplen los criterios en ambas condiciones (Spencer: $FSs=3.194$ y $FSps=1.755$; Morgenstern Price: $FSs=2.91$ y $FSps=1.753$) (Tabla 32). Estos resultados reflejan un comportamiento global aceptable, atribuible a una combinación favorable de resistencia disponible y cohesión moderada, lo cual proporciona un margen de seguridad suficiente incluso bajo sollicitación pseudoestática.

Finalmente, según la Tabla 27, la Estación 6, clasificada como CL, muestra el desempeño más favorable del tramo, con $\gamma \approx 1.70$ g/cm³, $c \approx 0.69$ kg/cm² y $\phi \approx 14.18$, alcanzando factores de seguridad elevados (Spencer: $FSs=5.013$ y $FSps=2.321$; Morgenstern Price: $FSs=3.271$ y $FSps=2.325$)(Tabla 33). Esta condición evidencia una estabilidad robusta y una reserva significativa frente a perturbaciones, por lo que, en principio, las acciones pueden enfocarse en el mantenimiento del drenaje superficial, control de erosión y monitoreo preventivo más que en intervenciones estructurales mayores.

Según la Tabla 34, los resultados permiten establecer una zonificación preliminar de criticidad: la Estación 1(macizo rocoso) constituye el sector más desfavorable por su marcada inestabilidad; la estación 2 (SC) y la estación 3(GC) presentan estabilidad insuficiente y requieren corrección; la Estación 4(macizo rocoso) se mantiene cercana al umbral y demanda medidas de mitigación principalmente orientadas a control de desprendimientos y protección

de infraestructura; mientras que las Estaciones 5(CH) y 6(CL) cumplen los criterios de seguridad, mostrando condiciones estables. Esta interpretación resalta que la seguridad del talud está controlada no solo por la resistencia del material, sino por la interacción entre geometría, estado de meteorización, condiciones estructurales (en roca) y heterogeneidad del depósito (en suelos), así como por la demanda adicional incorporada en la evaluación pseudoestática.

4.2.3. Discusión de resultados.

Según la Tabla 34, los resultados evidencian una variabilidad marcada de la estabilidad, atribuible a la interacción entre litología, estructura del macizo (en roca), heterogeneidad del depósito (en suelos) y geometría del talud, lo cual es coherente con lo señalado en la literatura geotécnica aplicada a taludes, donde el desempeño no depende solo de los parámetros resistentes, sino también de los controles estructurales y geométricos (Cuevas et al., 2019).

Según la Tabla 21, La Estación 1, correspondiente a un macizo calizo de la Formación Cajamarca (Tabla 20), presentó la condición más desfavorable: FS muy por debajo de la unidad tanto en estático como en pseudoestático (Tabla 28). Este comportamiento se interpreta principalmente por control estructural del macizo: discontinuidades meteorizadas, con rellenos y espaciamientos reducidos, que gobiernan superficies de falla preferenciales y reducen la resistencia movilizable del conjunto, aun cuando la resistencia de la roca intacta sea moderada. En taludes rocosos, esta diferencia entre resistencia intacta y respuesta del macizo discontinuo explica que sectores con buena RCU puedan presentar inestabilidad si la fábrica estructural es crítica, situación comparable a lo reportado en evaluaciones de carreteras donde el fracturamiento y la orientación/condición de discontinuidades controlan desprendimientos y fallas (Prado González et al., 2020).

Según la Tabla 21 y 22, las Estaciones 2 (SC) y 3 (GC) registraron FS insuficientes en ambos escenarios (Tablas 29 y 30), lo que refuerza que, en depósitos coluvio-aluviales o heterogéneos, la estabilidad puede quedar limitada por una combinación de resistencia global moderada/baja y efectos geométricos del talud. En particular, el hecho de que la Estación 3, pese a presentar mayor fricción interna que la Estación 2, no alcance los umbrales (Tabla 30) sugiere que la geometría, la heterogeneidad interna del depósito y/o superficies débiles locales pueden ser tan determinantes como los parámetros c y ϕ , en concordancia con la discusión de Cuevas et al. (2019) respecto al rol dominante de la configuración geométrica en la respuesta del talud.

Según la Tabla 24, La Estación 4, corresponde a un macizo rocoso calizo con RMR promedio 56 (calidad “Regular”) (Tabla 23), y mostró un comportamiento cercano al umbral: incumple en estático según el criterio adoptado, pero cumple en pseudoestático (Tabla 31). Esta proximidad al umbral respalda que el riesgo operativo se asocie principalmente a inestabilidades controladas por discontinuidades y desprendimientos localizados (bloques), más que a una falla global por pérdida de resistencia del material. Además, la evidencia reportada en análisis con Slide en carreteras andinas muestra que los resultados pueden variar significativamente cuando cambian condiciones de contorno (por ejemplo, humedad/lluvias), aun manteniendo geometría similar (Ccahuana Pucllas y Sánchez Castro, 2019); por ello, aunque aquí se trabajó con escenarios estático y pseudoestático, se reafirma la importancia de evaluar escenarios representativos adicionales cuando el régimen hídrico sea relevante para el tramo.

Según las Tablas 26 y 27, las Estaciones 5 (CH) y 6 (CL) cumplieron holgadamente los criterios en ambos escenarios (Tablas 32 y 33), reflejando una reserva de seguridad importante. Sin embargo, tal como se documenta para otros tramos de la misma vía, la estabilidad puede degradarse con el tiempo por efectos de infiltración, meteorización, erosión superficial y solicitaciones de servicio (tránsito pesado), lo que justifica priorizar mantenimiento de drenaje y control superficial incluso en sectores actualmente estables (Salazar Sáenz, 2018).

Según la Tabla 34, la zonificación preliminar de criticidad es consistente con el patrón observado: Estación 1 crítica por control estructural del macizo; Estaciones 2 y 3 críticas por resistencia global insuficiente combinada con heterogeneidad y geometría; Estación 4 cercana al umbral y susceptible a desprendimientos por discontinuidades; y Estaciones 5 y 6 estables. Esta discusión confirma que la estabilidad del tramo está gobernada por la interacción material–estructura–geometría, y que la modelación en Slide, apoyada en caracterización de campo y laboratorio, permite discriminar sectores prioritarios para medidas de mitigación y estabilización.

4.3. Contrastación de hipótesis.

La hipótesis de investigación plantea que la estabilidad de taludes en el tramo km 38 al km 44 de la carretera Cajamarca–Ciudad de Dios es baja.

Según la Tabla 34, los resultados muestran que las Estaciones 1, 2, 3 y 4 presentan incumplimiento tanto con Spencer como con Morgenstern–Price, mientras que las Estaciones 5 y 6 cumplen dicho criterio. En términos proporcionales, esto implica que 4 de 6 estaciones

(66.7%) no cumplen el requisito mínimo de estabilidad en estático, evidenciando la presencia de varios sectores críticos dentro del tramo evaluado.

En consecuencia, al verificarse que en condición estática 66.7% de las estaciones evaluadas no cumplen con el factor de seguridad; y al evidenciarse además la persistencia de incumplimiento en condición pseudoestática en las Estaciones 1–3, se concluye que el tramo presenta múltiples sectores críticos y márgenes de seguridad insuficientes. Por lo tanto, se rechaza H_0 y se acepta H_1 , determinándose que la estabilidad de taludes en el tramo km 38 al km 44 de la carretera Cajamarca–Ciudad de Dios es baja.

CAPÍTULO V. PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN.

5.1. Propuesta de Medidas de Estabilización para el Talud – Estación 1

El presente informe describe las alternativas de solución para la estabilización del talud ubicado en la Estación 1, correspondiente a un macizo rocoso de caliza de la Formación Cajamarca. El análisis geomecánica realizado mediante el índice RMR (valor promedio de 54) y los factores de seguridad obtenidos (0.650 en condición estática y 0.425 en condición pseudoestática) evidencian una situación de inestabilidad significativa. Dada la restricción de espacio por la cercanía de la pista y la altura del talud (23 m), se proponen medidas de estabilización adecuadas a las condiciones observadas.

Alternativas de Estabilización

✓ Instalación de Pernos Galvanizados de Acero

La estabilización de taludes rocosos mediante pernos de acero galvanizado es una técnica ampliamente empleada para reforzar la masa rocosa y controlar la movilidad a lo largo de las discontinuidades principales (Hoek & Brown, 1997). Se recomienda instalar pernos galvanizados de acero en la cresta y el pie del talud, inyectados con lechada de cemento para mejorar la adherencia y la capacidad de carga.

- **Tipo de perno:** Galvanizado de acero de alta resistencia
- **Diámetro:** 25 mm
- **Longitud:** 4 a 6 m (según profundidad de las discontinuidades)
- **Espaciado:** 1.5 m (en malla, tanto en la cresta como en el pie)
- **Instalación:** Inyección con lechada de cemento, orientados perpendicularmente a las principales discontinuidades

✓ Instalación de Malla MINAX® de Alta Resistencia

Para contener los bloques sueltos y prevenir desprendimientos superficiales, se recomienda cubrir la superficie del talud con malla MINAX® de alta resistencia a tracción, compuesta por alambre de al menos 1.770 N/mm². Esta malla es capaz de soportar cargas estáticas y dinámicas superiores a las mallas convencionales, absorbiendo mayor cantidad de energía en caso de estallido de rocas (Geobrugg AG, s.f.).

Figura 13.

Propiedades de la malla de acero de alta resistencia MINAX®

Datos técnicos	Tipo MINAX G80/3mm
Diámetro del alambre	3 mm
Resistencia del alambre de acero	$\geq 1'770 \text{ N/mm}^2$
Resistencia a tracción directa	$\geq 110 \text{ kN/m}$
Dimensiones de la malla	102 x 177 mm
Diámetro de la circunferencia inscrita en el rombo	80 mm
No. de mallas transversal	9.8 pcs./m
No. de mallas longitudinal	5.6 pcs./m
Peso por m ²	1.45 kg/m ²
Protección contra la corrosión	GEOBRUGG SUPERCOATING
Composición de la protección	95% Zn / 5% Al
Densidad de la protección	$\geq 150 \text{ g/m}^2$

Nota: GeoBrugg, 2026. Extraído de: <https://www.geobrugg.com>

- Cobertura: Toda la superficie expuesta del talud
- Fijación: La malla debe ser asegurada mediante los pernos galvanizados instalados en la cresta y pie del talud

✓ **Sistema de Drenaje Superficial**

Aunque actualmente no se observa presencia de agua, se recomienda hacer zanjas en la coronación del talud para desviar el agua de lluvia y evitar la saturación del macizo rocoso. El drenaje superficial es fundamental para mantener la estabilidad y evitar la disminución de la resistencia del macizo por saturación (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2014).

Justificación Técnica

La combinación de pernos galvanizados y malla MINAX® ofrece una solución eficiente y económica para incrementar el factor de seguridad del talud (Hoek & Brown, 1997; Geobrugg AG, s.f.). Los pernos permiten estabilizar los bloques más grandes y controlar la movilidad a lo largo de las discontinuidades, mientras que la malla de alta resistencia contiene los bloques sueltos y absorbe la energía de posibles desprendimientos. La implementación de drenaje superficial previene la disminución de resistencia por saturación y erosión (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2014).

5.2.Propuesta de Medidas de Estabilización para el Talud – Estación 2

En la Estación 2, el talud está constituido por un depósito coluvio–aluvial de composición heterogénea, con predominio de arenas con contenido de finos arcillosos y presencia de grava. De acuerdo con SUCS, el suelo se clasifica como SC (arena arcillosa con grava). Los ensayos de mecánica de suelos reportan un peso específico de 1.824 g/cm^3 , así como parámetros de resistencia al corte de cohesión $c=0.15 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de fricción interna $\phi=23.7^\circ$.

Evaluación de estabilidad

El talud presenta una altura aproximada de 10 m y un ángulo de corte de 73° , geometría que resulta crítica para un suelo SC. El análisis de estabilidad entregó los siguientes factores de seguridad:

FS estático: 1.113 (Spencer) y 1.111 (Morgenstern-Price)

FS pseudoestático: 0.802 (Spencer) y 0.801 (Morgenstern-Price)

Estos valores evidencian condición marginal en estático y no aceptable en pseudoestático, por lo que se requiere una intervención que incremente el factor de seguridad global y reduzca la sensibilidad del talud frente a erosión e infiltración (Abramson et al., 2002; Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2014).

Restricciones y condicionantes

- Espacio en el pie: 0.5 m, lo que impide ensanchar la base o construir bermas amplias hacia la vía.
- Cuneta existente: ubicada junto a la pista, con ancho aproximado 1 m, funcionando como receptor potencial de descargas.
- Espacio disponible en corona: sí existe, permitiendo el retiro de material hacia atrás para lograr una geometría más tendida.

Alternativas de Estabilización

- ✓ **Reperfilado del talud**

Se propone el perfilado del talud con maquinaria para reducir el ángulo global desde 73° hasta 56°, dado que con dicho ángulo el talud se vuelve estable según el modelamiento. Por la restricción del pie, el perfilado se plantea manteniendo el pie prácticamente fijo, logrando la nueva inclinación mediante retroceso de la corona.

Talud inicial (1H: 3.5V) y se debe perfilar a un talud de (1H:1.5V)

✓ **Drenaje superficial y control de erosión**

Dado que el agua puede disminuir la resistencia efectiva y generar erosión superficial, se recomienda implementar control hidráulico y protección del paramento como parte integral de la solución (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2014).

✓ **Intercepción en corona**

Construcción de zanja/cuneta de coronación (revestida o con geotextil y filtro granular, según disponibilidad), con pendiente hacia un punto de entrega.

✓ **Protección del paramento (anti-erosión)**

Conformación y compactación superficial del talud reperfilado. Colocación de geomanta/manta anti-erosiva y revegetación (hidrosiembra o plantación) cuando sea viable.

Figura 14.

Factor de seguridad, condición estática por el método de Spencer y GLE/Morgenstern-Price, estación 2, nueva geometría

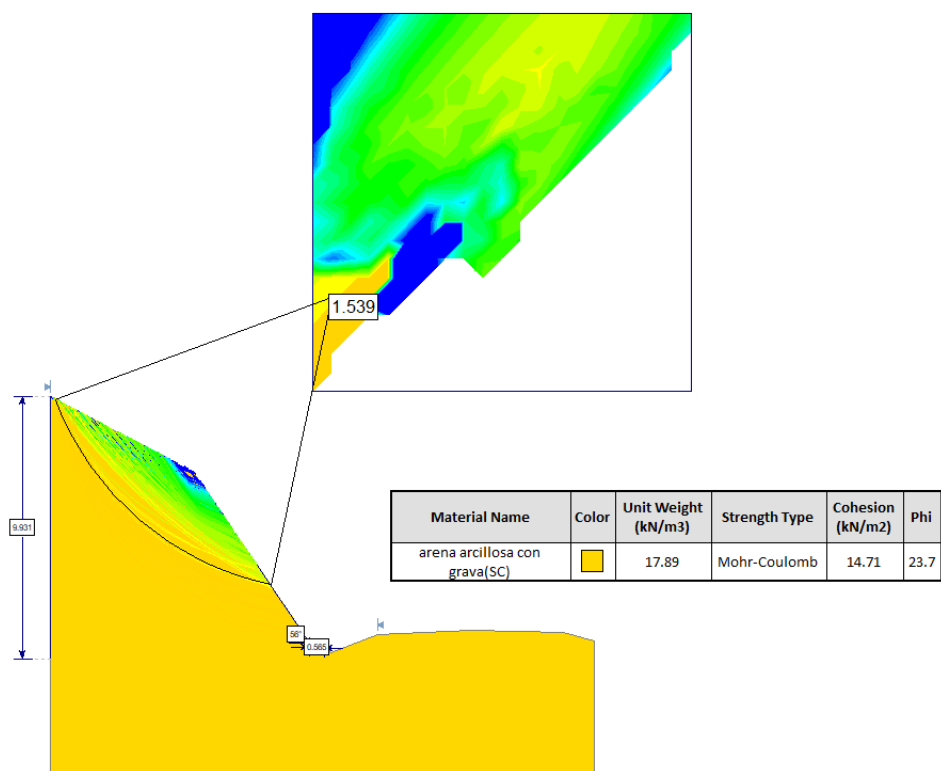
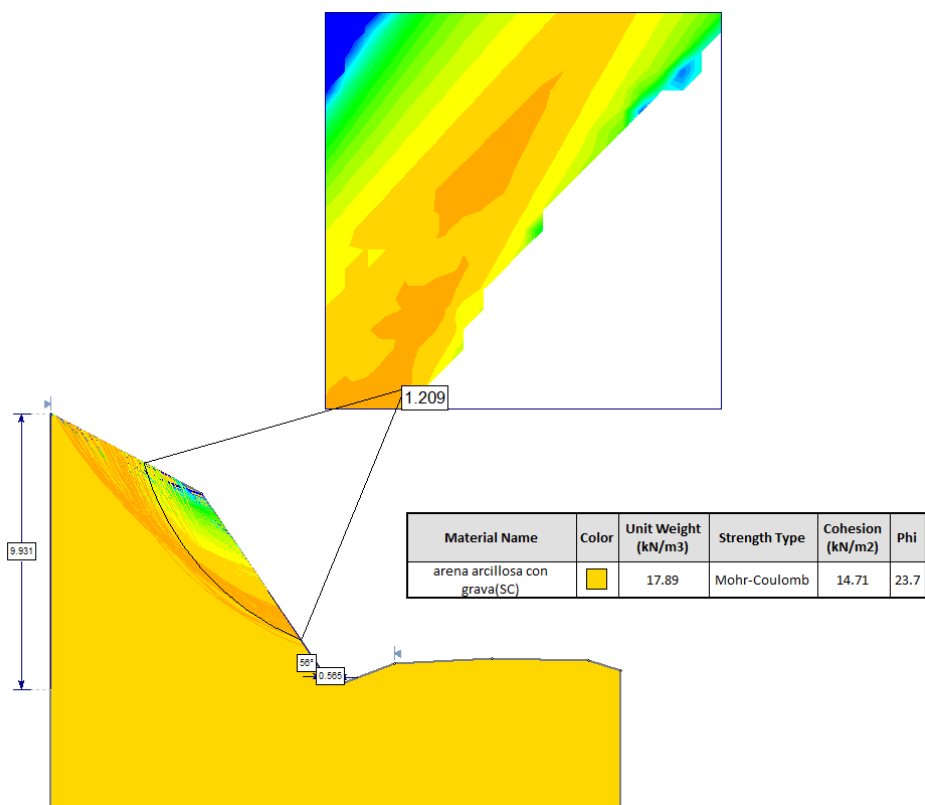


Figura 15.

Factor de seguridad, condición pseudo-estática por el método de Spencer y GLE/Morgenstern-Price, estación 2, nueva geometría



5.3.Propuesta de Medidas de Estabilización para el Talud – Estación 3

Descripción del material y parámetros geotécnicos

En la Estación 3, el material que conforma el talud corresponde a un depósito de tipo suelo con predominio de fracción gruesa. De acuerdo con la clasificación SUCS (ASTM D2487), el suelo se identifica como GC, correspondiente a grava arcillosa con arena (NTP 339.134), y presenta una coloración beige. Esta denominación sugiere una matriz granular dominada por gravas, acompañada de arena y finos arcillosos que actúan como material ligante, configurando un medio heterogéneo y con variación granulométrica característica de depósitos de ladera y/o acumulaciones de origen coluvio–aluvial.

Desde el punto de vista geotécnico, el material presenta un peso específico de 2.151 g/cm³, así como parámetros de resistencia al corte representados por una cohesión de $c=0.17$ kg/cm² y un ángulo de fricción interna de $\phi=31.8^\circ$.

Alternativas de Estabilización

✓ Perfilar el talud.

Se propone como alternativa principal el reperfilado del talud con maquinaria, reduciendo el ángulo global desde 83° hasta 69°, debido a que con dicho ángulo el talud pasa a condición estable según el análisis realizado en Slide. La reducción del ángulo disminuye las fuerzas desestabilizadoras asociadas al componente del peso paralelo a la superficie potencial de falla y, por tanto, incrementa el factor de seguridad global (Abramson et al., 2002).

El talud inicial tiene una relación de 1H:8V, y se recomienda perfilar para que el talud tenga una relación de 1H:2V

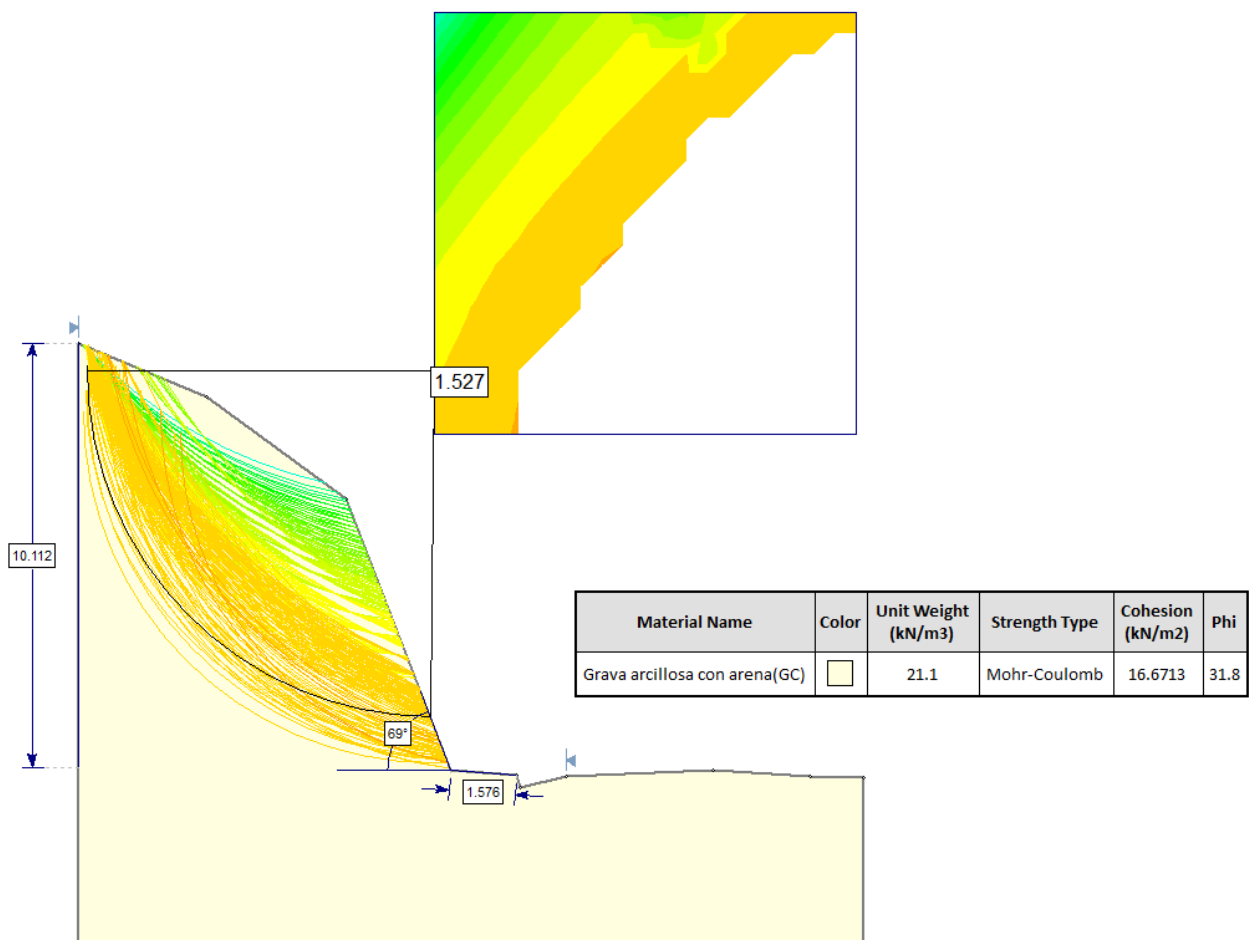
✓ Control de agua y erosión

Considerando la presencia de finos arcillosos en un suelo GC y la cercanía de una cuneta ubicada al lado de la pista, se recomienda implementar medidas de manejo de escorrentía y protección superficial para asegurar el desempeño a largo plazo (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2014):

- ✓ Interceptación en corona: ejecución de una cuneta/zanja de coronación para evitar que el agua ingrese al paramento reperfilado.
- ✓ Conducción controlada: instalación de bajantes hacia la cuneta existente junto a la pista, evitando escurrimiento libre sobre el talud.
- ✓ Protección de descargas: disipación de energía (enrocado u obra equivalente) en los puntos de descarga para prevenir erosión localizada y socavación.
- ✓ Protección del paramento: conformación y compactación superficial del talud reperfilado y, de ser viable, colocación de manta anti-erosiva y revegetación; en zonas puntuales, enrocado localizado.

Figura 16.

Factor de seguridad, condición estática por el método de Spencer y GLE/Morgenstern-Price, estación 3, nueva geometría.



Factor de seguridad, condición estática por el método de Spencer y GLE/Morgenstern-Price, estación 3, nueva geometría



5.4.Propuesta de Medidas de Estabilización para el Talud – Estación 4

En la Estación 4, el talud corresponde a un macizo rocoso de caliza de la Formación Quilquiñán – Mujarrún y Pulluicana, con ligera meteorización y control estructural por estratos y discontinuidades. La resistencia de la roca intacta se estimó en $RCU = 90 \text{ MPa}$. El macizo presenta tres familias de discontinuidades, superficies ligeramente rugosas, espaciamiento cercano a 1 m o menor y condición seca, sin evidencia de presencia de agua. La calidad del macizo, determinada mediante el sistema RMR, alcanza un valor promedio de 56, clasificándose como roca Regular. El talud presenta $H=13 \text{ m}$ y una inclinación de 67° ; el análisis global de estabilidad por Spencer y Morgenstern-Price reporta un FS estático = 1.4, inferior al criterio objetivo $FS = 1.53$, por lo que se plantea una medida de mitigación orientada a incrementar la seguridad operacional.

Alternativas de Estabilización

✓ Construcción de gaviones.

En función de la disponibilidad de 2.5 m en el pie y la presencia de una cuneta adyacente a la vía, se propone la construcción de un muro de gaviones en el pie del talud como obra de protección y captura ante desprendimientos, complementada con el saneo de bloques sueltos del paramento, a fin de disminuir el riesgo de caída de rocas hacia la infraestructura vial.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones

1. La estabilidad de taludes del tramo (km 38 al km 44) en estudio, varía significativamente a lo largo del tramo debido a diferencias litológicas, geomecánicas, geotécnicas y geométricas. El tramo presenta sectores con alta susceptibilidad a inestabilidad, especialmente bajo sollicitación pseudoestática, por lo que el nivel de estabilidad de taludes en el intervalo evaluado es bajo.
2. Las causas principales de la inestabilidad responden a mecanismos distintos según el tipo de material y condición del talud. En la Estación 1 (macizo rocoso), la condición crítica se explica por el control estructural del macizo calizo, la meteorización y la presencia de discontinuidades con rellenos y espaciamientos reducidos, las cuales disminuyen la resistencia al corte movilizable y favorecen superficies de falla. En las Estaciones 2 (SC) y 3 (GC), la inestabilidad se atribuye a la combinación de parámetros resistentes globalmente insuficientes, heterogeneidad del depósito y efectos geométricos del talud. En la Estación 4 (macizo rocoso), el comportamiento cercano al umbral se relaciona principalmente con inestabilidades controladas por discontinuidades en un macizo de calidad regular ($RMR=56$). Por el contrario, las Estaciones 5 (CH) y 6 (CL) presentan condiciones geotécnicas y geométricas favorables.
3. Los taludes evaluados en el tramo comprendido entre los km 38 y km 44 de la carretera Cajamarca–Ciudad de Dios presentan, en general, condiciones de inestabilidad, de acuerdo con los factores de seguridad obtenidos en condición estática y pseudoestática mediante los métodos de Spencer y Morgenstern–Price. No obstante, las estaciones con mejor desempeño fueron la Estación 5 (CH), con $FSs=3.194$ y $FSps=1.755$ (Spencer) y $FSs=2.910$ y $FSps=1.753$ (Morgenstern–Price), y la Estación 6 (CL), con $FSs=5.013$ y $FSps=2.321$ (Spencer) y $FSs=3.271$ y $FSps=2.325$ (Morgenstern–Price), las cuales cumplen los criterios de estabilidad en ambos escenarios de análisis.

4. Las propuestas de estabilización para la Estación 1 (macizo rocoso), es el soil nailing (pernos y malla en la cara del talud) para incrementar la resistencia global del macizo. Para las Estaciones 2 (SC) y 3 (GC), se planteó la ejecución de zanjas de coronación y el reperfilado del talud con el objetivo de reducir el ingreso de agua superficial y disminuir los esfuerzos actuantes. Para la Estación 4 (macizo rocoso), se propuso la implementación de gaviones como solución de estabilización y protección del pie, destinada a brindar confinamiento, limitar procesos erosivos y reducir la probabilidad de degradación progresiva. Estas medidas, priorizadas según criticidad, permiten orientar una estabilización progresiva y eficiente del tramo km 38–km 44.

Recomendaciones.

1. En futuras investigaciones realizar la comparación de resultados de equilibrio límite (p. ej., Spencer y Morgenstern–Price) con otros modelos numéricos con el fin de evaluar diferencias en mecanismo de falla, deformaciones y distribución de esfuerzos.
2. En futuras investigaciones, realizar la evaluación sísmica pseudoestática con análisis dinámicos (historia de tiempo) y estimación de desplazamientos permanentes (Newmark u otros), con el propósito de expresar el desempeño del talud en términos de desplazamiento esperado además de FS, en todos los estudios de estabilidad de taludes en cualquier carretera.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abramson, L. W., Lee, T. S., Sharma, S., & Boyce, G. M. (2002). Slope stability and stabilization methods (2nd ed.). Wiley.
- Breña, L. (2019). Estabilidad de taludes de la carretera Longitudinal de la Sierra: tramo Cochabamba - Cutervo - Chiple, Cajamarca - Perú [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Mayor de San Marcos].
- Cabana Ticona, O. (2016). Evaluación geotécnica para la estabilidad de taludes desde la progresiva Km. 09+000 - 18+000 de la obra: Mejoramiento de la carretera tramo I Dv. Cara Cara - Lampa. Puno-Perú: Tesis de pregrado. Universidad Nacional del Altiplano.
- Cabrera, E. (2000). Estudio sobre la geología y las condiciones climáticas de Cajamarca: Impacto de las lluvias y sequías en la estabilidad de los taludes. *Revista Peruana de Geología y Minería*, 32(4), 45-58.
- Ccahuana Pucllas, S. Y., & Sánchez Castro, J. R. (2019). Análisis de estabilidad de talud mediante métodos de equilibrio límite para la carretera Huancavelica–Lircay entre las progresivas del km 02+700 al km 02+800 [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Huancavelica].
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. (2014). Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2.^a ed.). CENEPRED.
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. (2014). Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (2.^a ed.). CENEPRED.
- Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). Landslide types and processes. En A. K. Turner & R. L. Schuster (Eds.), *Landslides: Investigation and mitigation* (Special Report 247, pp. 36-75). Transportation Research Board.
- Cuevas Videá, R., Rixis Mabeli, M., & Martínez Miranda, R. E. (2019). Análisis de la inestabilidad de ladera en la carretera NN-4 en el tramo San Lucas-las Sabanas km 233-235, departamento de Madriz [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua].
- Diario Panorama Cajamarquino. (2023). Deslizamiento de rocas en la ruta Cajamarca – Ciudad de Dios. Extraído de:

<https://cajamarcaopina.com/2023/03/15/deslizamiento-de-rocas-en-la-ruta-cajamarca-ciudad-de-dios/>

- Díaz, J., & Rodríguez, L. (2018). Inestabilidad de laderas y sus causas. Editorial Geotécnica.
- Espinoza, R., González, J., & Rodríguez, G. (2013). Impactos de los deslizamientos de tierra en las zonas montañosas del centro y sur de Chile. *Revista Geográfica de Chile*, 61(2), 135-152.
- Falla Melo, D. K., Ramírez Segura, J. S., & Rivera Tarquino, V. A. (2022). Análisis de la estabilidad de un talud ubicado en el K1+120 de la vía El País- La Mina en la ciudad de Ibagué, Departamento del Tolima. Universidad Cooperativa de Colombia, Campus Ibagué Espinal, Facultad de Ingeniería Civil.
- Federal Highway Administration. (2010). Design and construction of mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes—Volume I (FHWA-NHI-10-024). U.S. Department of Transportation.
- Fredlund, D. G., & Rahardjo, H. (1993). *Soil mechanics for unsaturated soils*. John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9780470172759>
- Geobrugg AG. (s.f.). MINAX® High-tensile Steel Wire Mesh. Recuperado de <https://www.geobrugg.com>
- Gravusob B., 2002. Lithology. Genetic Types And Lithological Species Of Parent And Underlying Rocks. In: Stolbovoi V Savin I Sheremet B & Kolesnikova L 2002.
- Highland, L. M., & Bobrowsky, P. (2008). The Landslide Handbook—A Guide to Understanding Landslides (Circular 1325). U.S. Geological Survey.
- Hoek, E., & Bray, J. (1991). *Rock Slope Engineering* (3rd ed.). CRC Press / Institute of Mining and Metallurgy.
- Hoek, E., & Brown, E. T. (1997). *Rock Slope Engineering* (3rd ed.). CRC Press.
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. (2007). Movimientos en masa en la región andina: Una guía para la evaluación de amenazas (Publicación Geológica Multinacional No. 4). INGEMMET.
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. (2007). Movimientos en masa en la región andina: Una guía para la evaluación de amenazas. INGEMMET.
- Jaime, L., Torres, P., & González, F. (2010). Impacto de los deslizamientos de tierra asociados al fenómeno de El Niño en las regiones costeras y andinas del Perú.

- Revista de Geografía y Ciencias de la Tierra, 14(2), 25-40.
<https://doi.org/10.1016/j.geot.2010.04.003>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. (2014). Manual de Estabilidad de Taludes en Obras Viales.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). Manual de carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos (SGGP). Gobierno del Perú.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2012). Norma técnica E.020: Suelos y taludes (R.M. N.º 010-2012-VIVIENDA).
<https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/20965-010-2012-vivienda>
- Mujica Maldonado, J. C., & Reymundo Cangana, J. E. (2022). “Análisis de estabilidad de taludes desde el Puente Posanca hasta el Poblado Licahuasi de la Carretera LM 111 en el Distrito de Arahua” [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica del Perú].
- Osinergmin. (2017). Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas. Osinergmin. Lima, Perú.
- Prado González, A. A., Aguilar Guevara, J. R., & Cruz Talavera, R. J. (s. f.). Análisis de estabilidad de talud de la carretera NIC.7 en el km 176, municipio de Santo Tomás, del departamento de Chontales [Seminario de graduación, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua].
- Rivera Huaranga, N. (2022). Estabilidad de taludes en la carretera Cruz Blanca–Choten, Cajamarca [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú].
- Salazar Sáenz, P. O. (2018). Evaluación geotécnica de los taludes de la carretera Cajamarca–Ciudad de Dios en el tramo km 142+000 – km 150+000 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca].
- Schuster, R. L., & Kockelman, W. J. (1996). Principles of landslide hazard reduction. Transportation Research Board, National Academy of Sciences.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2026). Datos hidrometeorológicos de la estación San Juan - Cajamarca.
<https://www.senamhi.gob.pe>
- Smirnov, V. I. (1982). Geología de los yacimientos minerales. Editorial Mir.
- Suárez Díaz, J. (2009). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Ingeniería de Suelos Ltda.

- Takahashi, T., Ikeya, M., & Sassa, K. (2003). Landslide disaster mitigation in Japan and the role of research. Proceedings of the International Symposium on Landslides, 9th, Sapporo, Japan.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). Soil Mechanics in Engineering Practice (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- U.S. Army Corps of Engineers. (2003). Slope stability (Engineer Manual No. EM 1110-2-1902). Department of the Army.
- Valiente Sanz, R., Sobrecases Martí, S., & Díaz Orrego, A. (2015). Estabilidad de taludes: Conceptos básicos, parámetros de diseño y métodos de cálculo. Revista Civilízate, (7).
- Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. En R. L. Schuster & R. J. Krizek (Eds.), Landslides: Analysis and control (Special Report 176, pp. 11-33). Transportation Research Board.
- Villegas, M., Castro, R., & Ruiz, P. (2017). Efectos de los deslizamientos de tierra en la infraestructura vial de Cajamarca: Impacto en el comercio y transporte. Revista de Ingeniería Civil de Perú, 41(2), 33-46. <https://doi.org/10.1016/j.ripv.2017.01.004>

ANEXOS.

ANEXO 1. FACTOR DE SEGURIDAD DE LA ESTACIÓN 1 (MACIZO ROCOSO-KM 43+400)

Gráfico 1.

Factor de seguridad, condición estática por el método de Spencer, estación 1

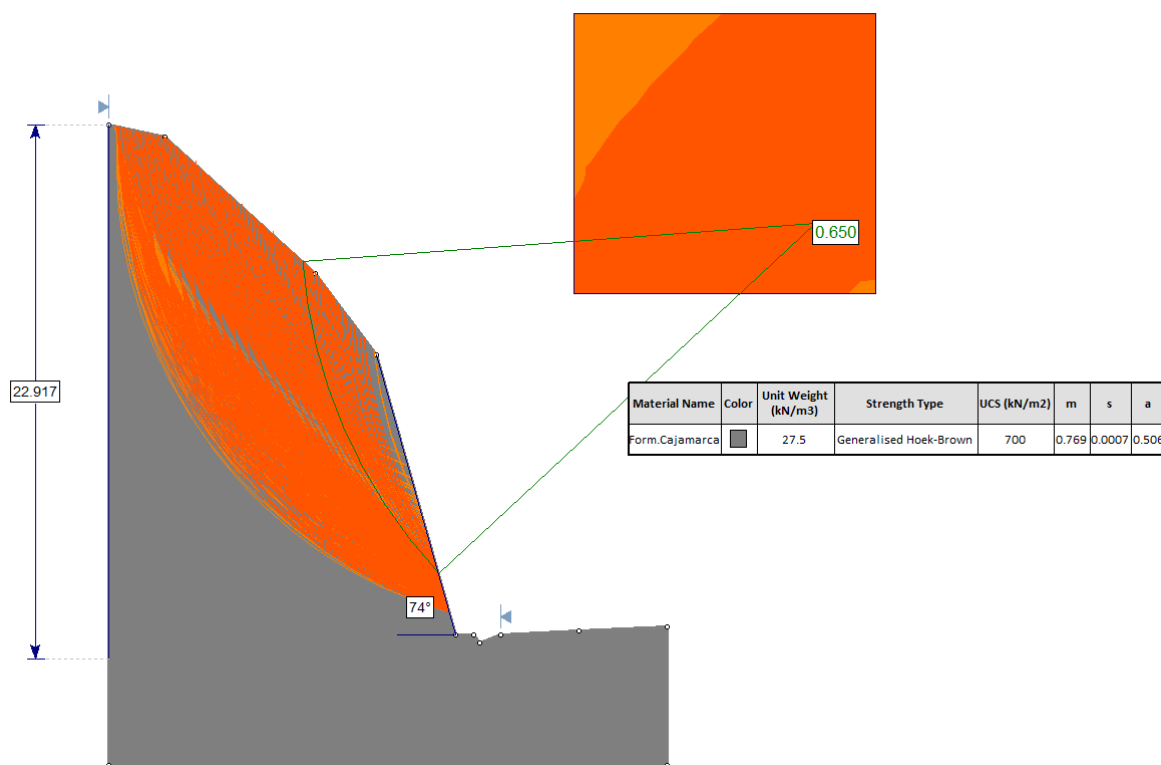


Gráfico 2.

Factor de seguridad, condición estática por el método de GLE/Morgenstern-Price, estación 1

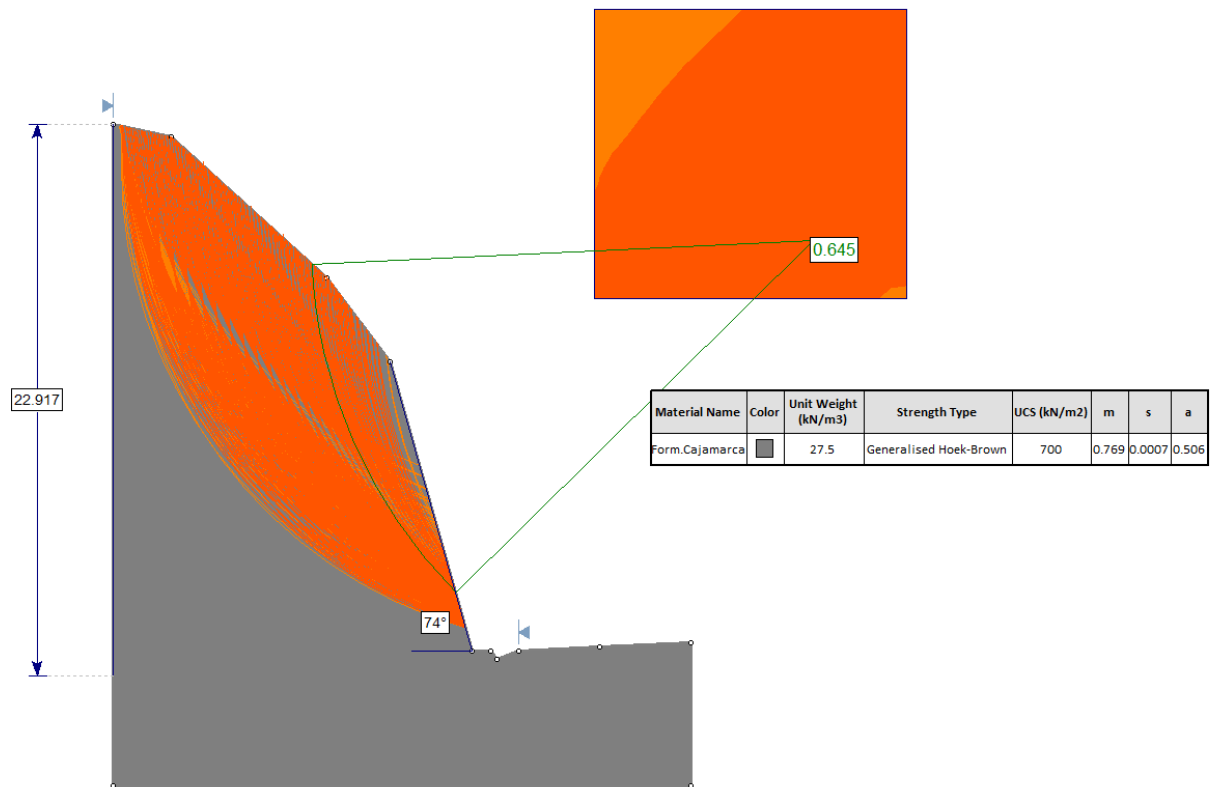


Gráfico 3.

Factor de seguridad, condición pseudo-estática por el método de Spencer, estación 1

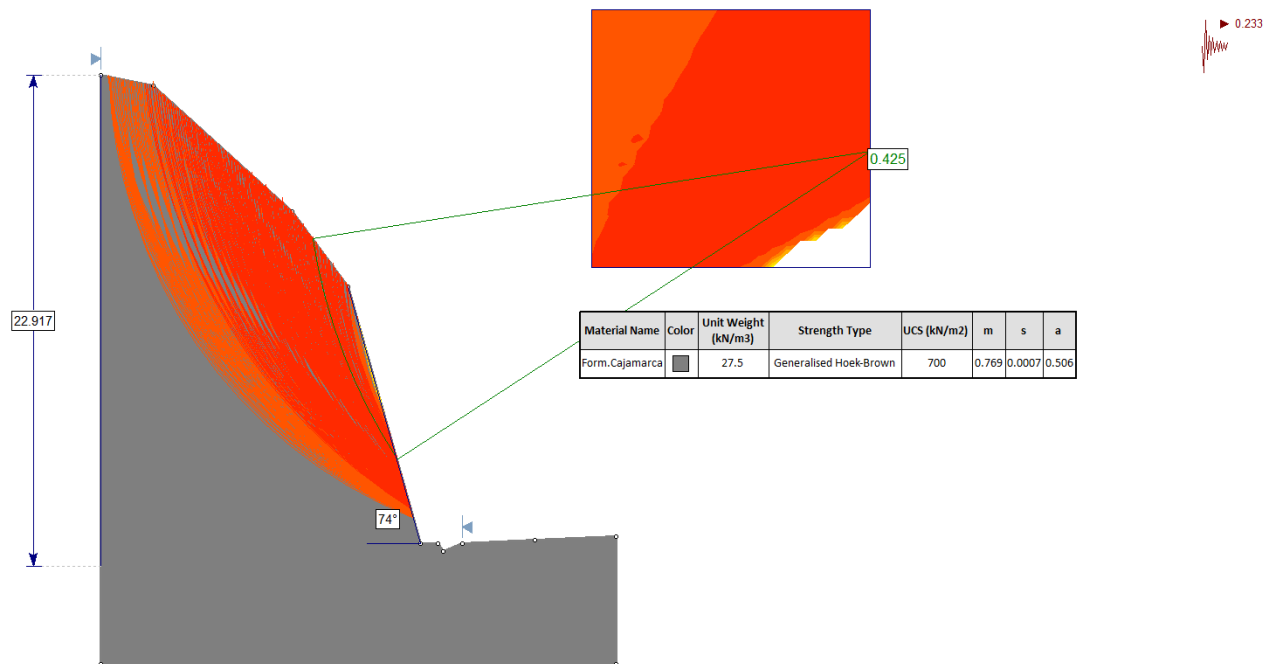
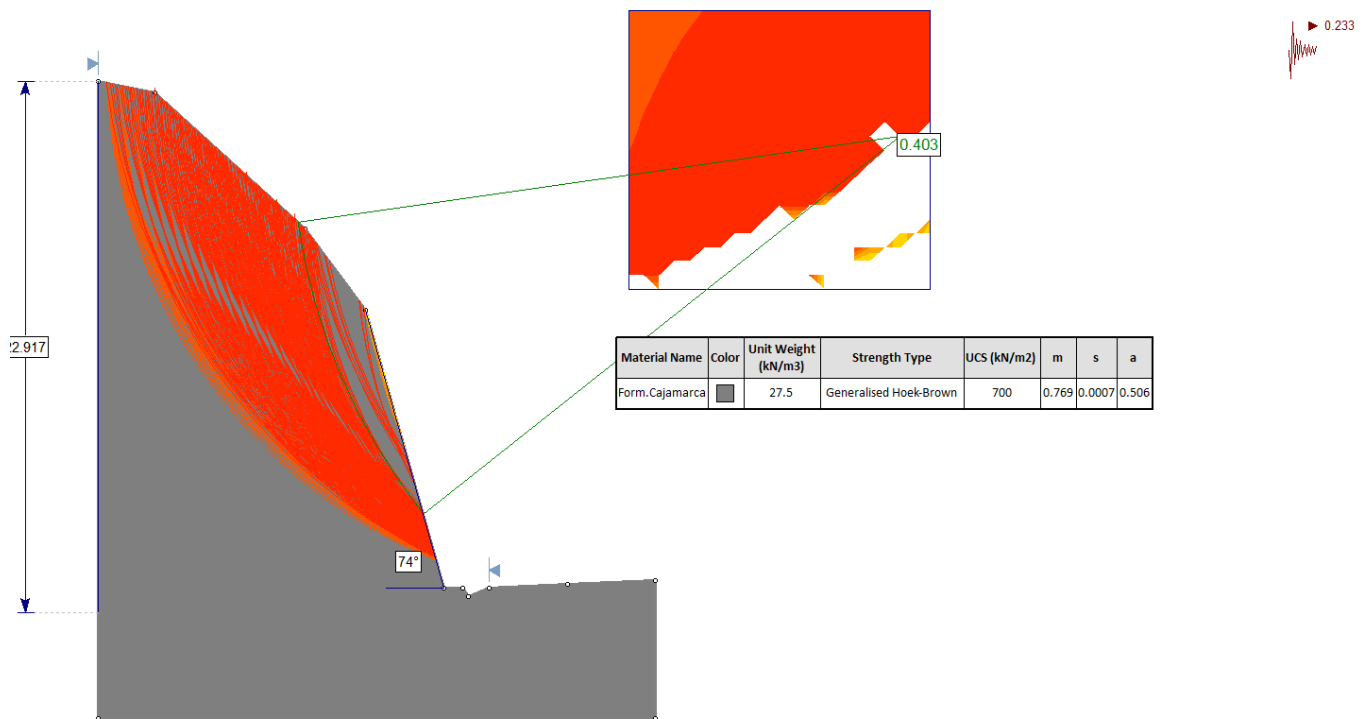


Gráfico 4.

Factor de seguridad, condición pseudo-estática por el método de GLE/Morgenstern-Price, estación 1



ANEXO 2. FACTOR DE SEGURIDAD DE LA ESTACIÓN 2 (SUELO ARENA ARCILLOSA-KM 42+600)

Gráfico 5.

Factor de seguridad, condición estática por el método de Spencer, estación 2

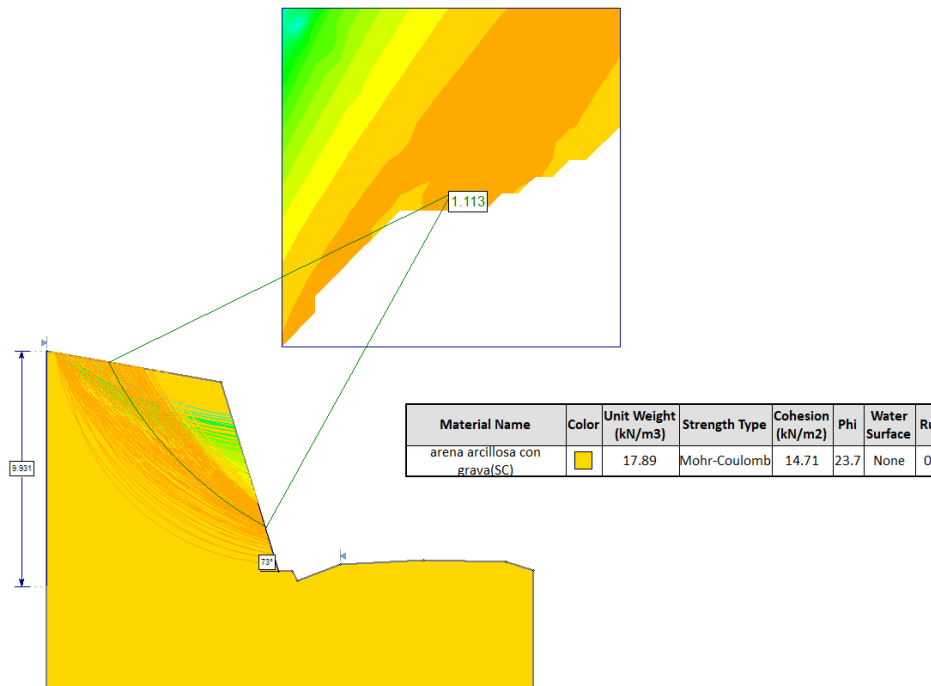


Gráfico 6.

Factor de seguridad, condición estática por el método de GLE/Morgenstern-Price estación 2

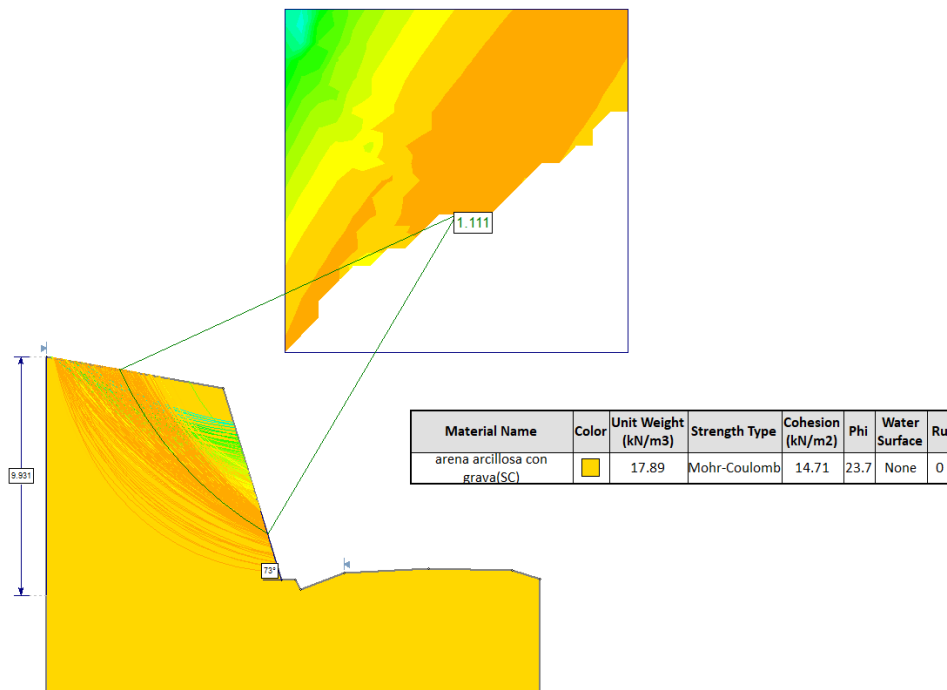


Gráfico 7.

Factor de seguridad, condición pseudo-estática por el método de Spencer, estación 2

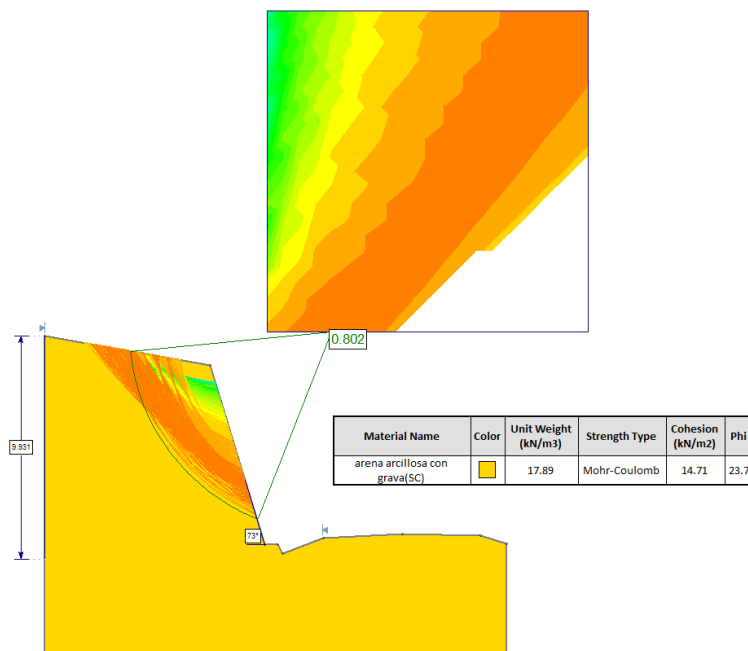
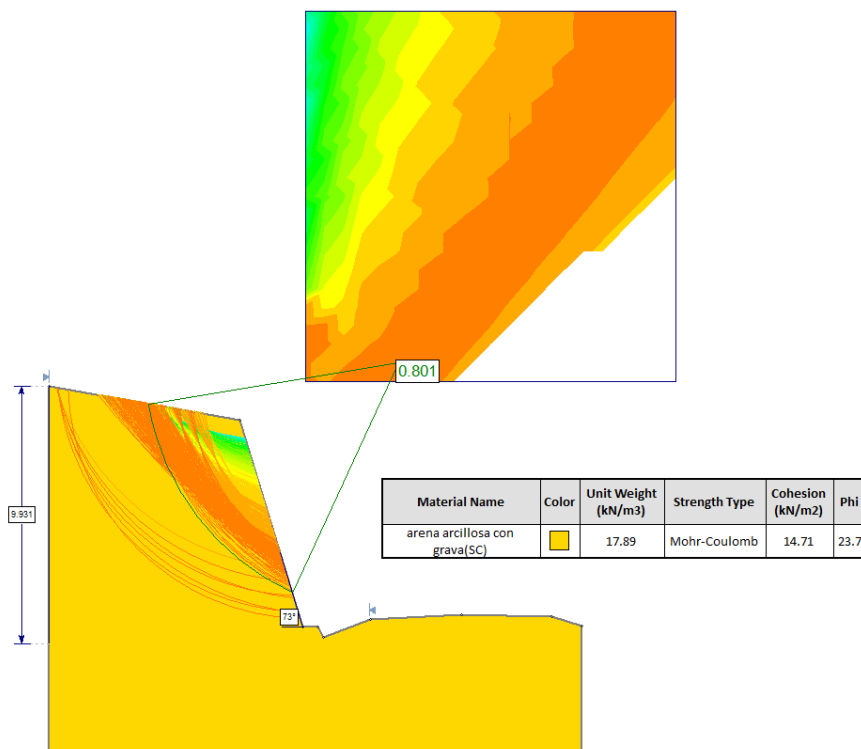


Gráfico 8.

Factor de seguridad, condición pseudo-estática por el método de GLE/Morgenstern-Price, estación 2



ANEXO 3. FACTOR DE SEGURIDAD DE LA ESTACIÓN 3 (SUELO GRAVA ARCILLOSA-KM 41+500)

Gráfico 9.

Factor de seguridad, condición estática por el método de Spencer, estación 3

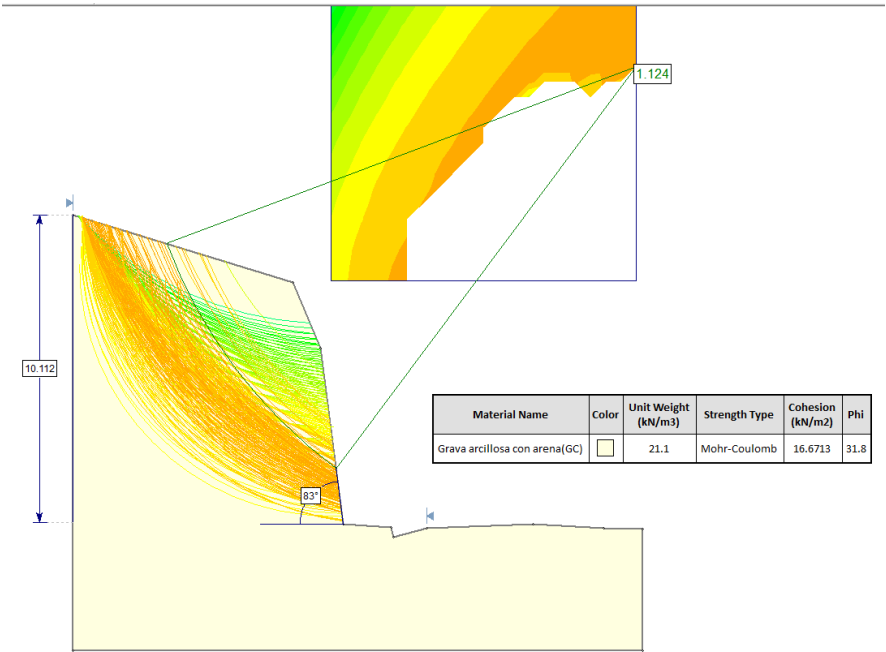


Gráfico 10.

Factor de seguridad, condición estática por el método de GLE/Morgenstern-Price estación 3

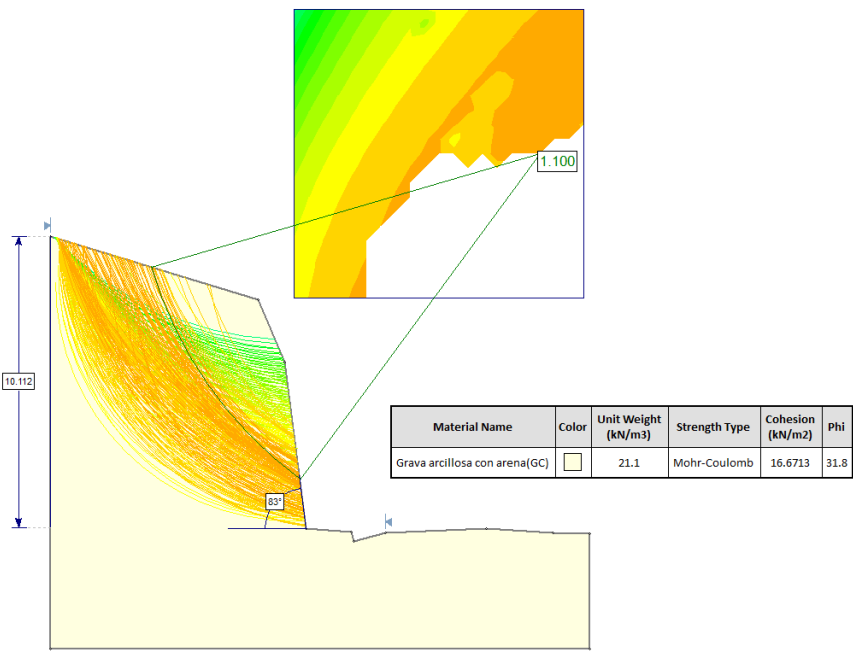


Gráfico 11.

Factor de seguridad, condición pseudo-estática por el método de Spencer, estación 3

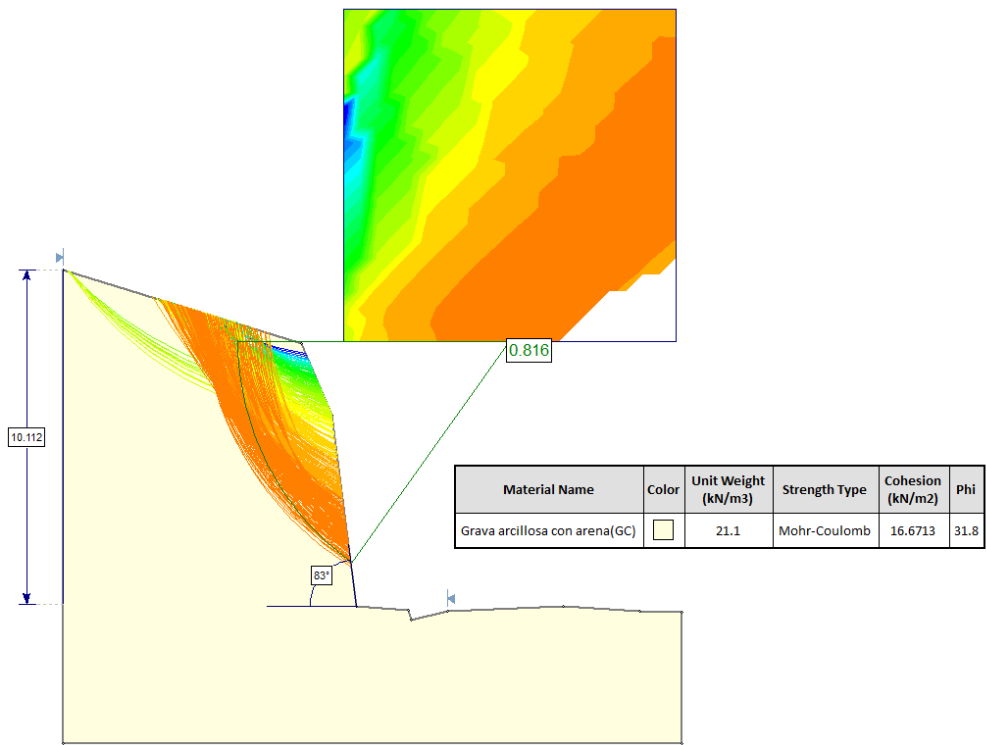
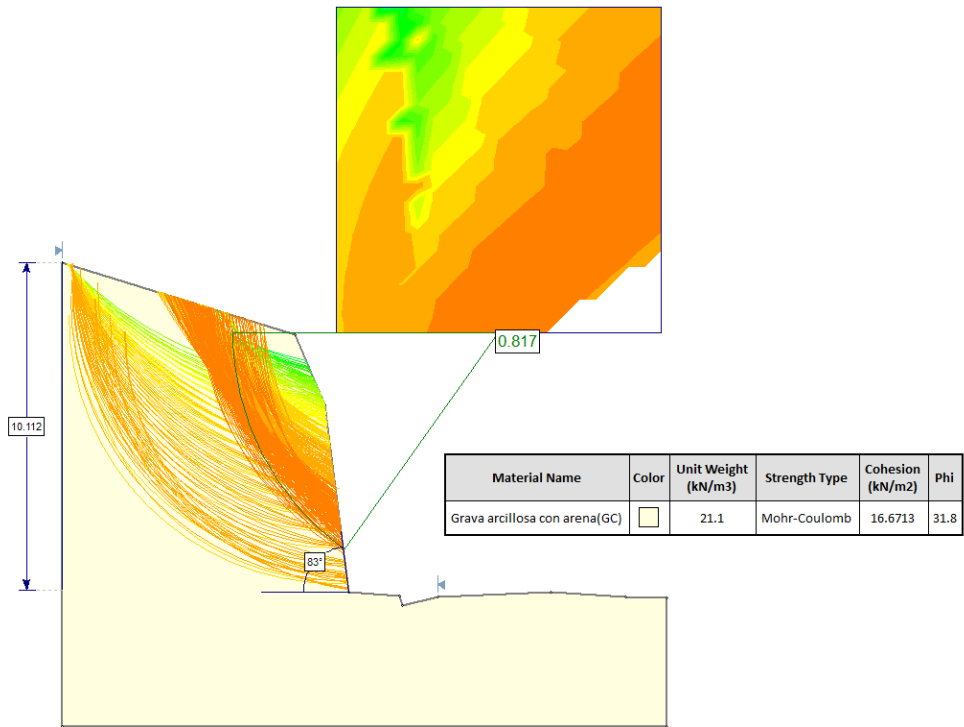


Gráfico 12.

Factor de seguridad, condición pseudo-estática por el método de GLE/Morgenstern-Price, estación 3



ANEXO 4. FACTOR DE SEGURIDAD DE LA ESTACIÓN 4 (MACIZO ROCOSO-KM 40+200)

Gráfico 13.

Factor de seguridad, condición estática por el método de Spencer, estación 4

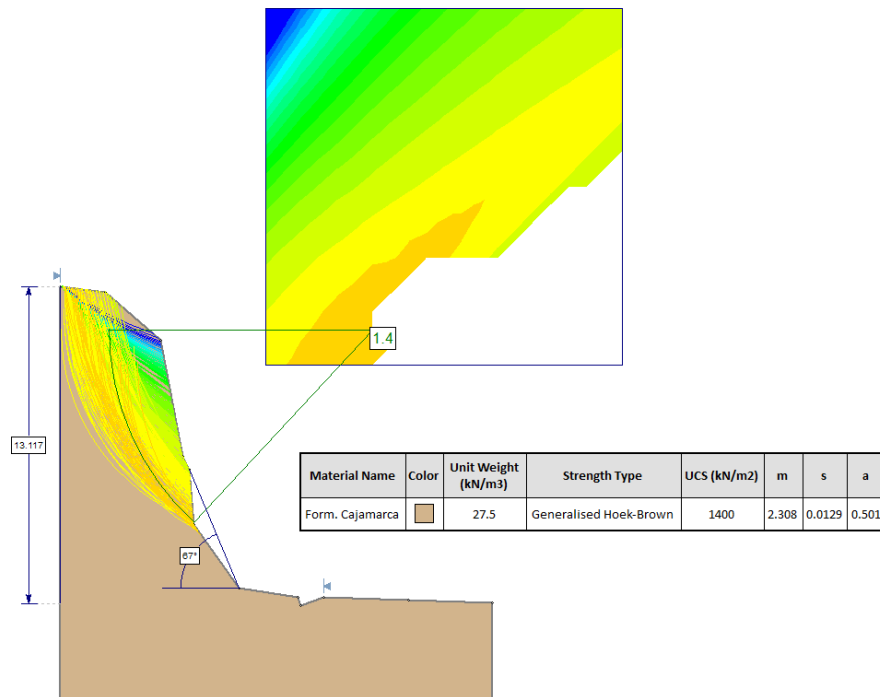


Gráfico 14.

Factor de seguridad, condición estática por el método de GLE/Morgenstern-Price estación 4

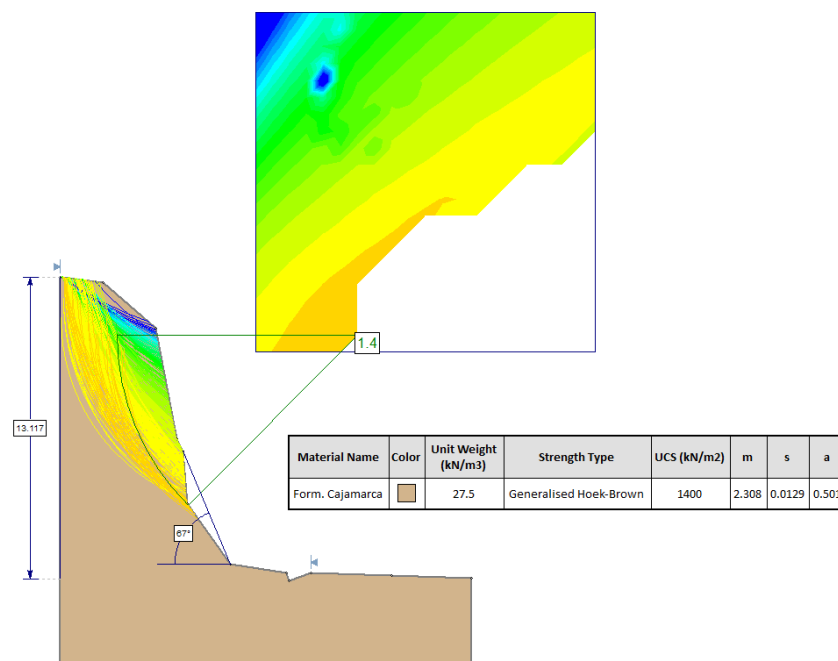


Gráfico 15.

Factor de seguridad, condición pseudo-estática por el método de Spencer, estación 4

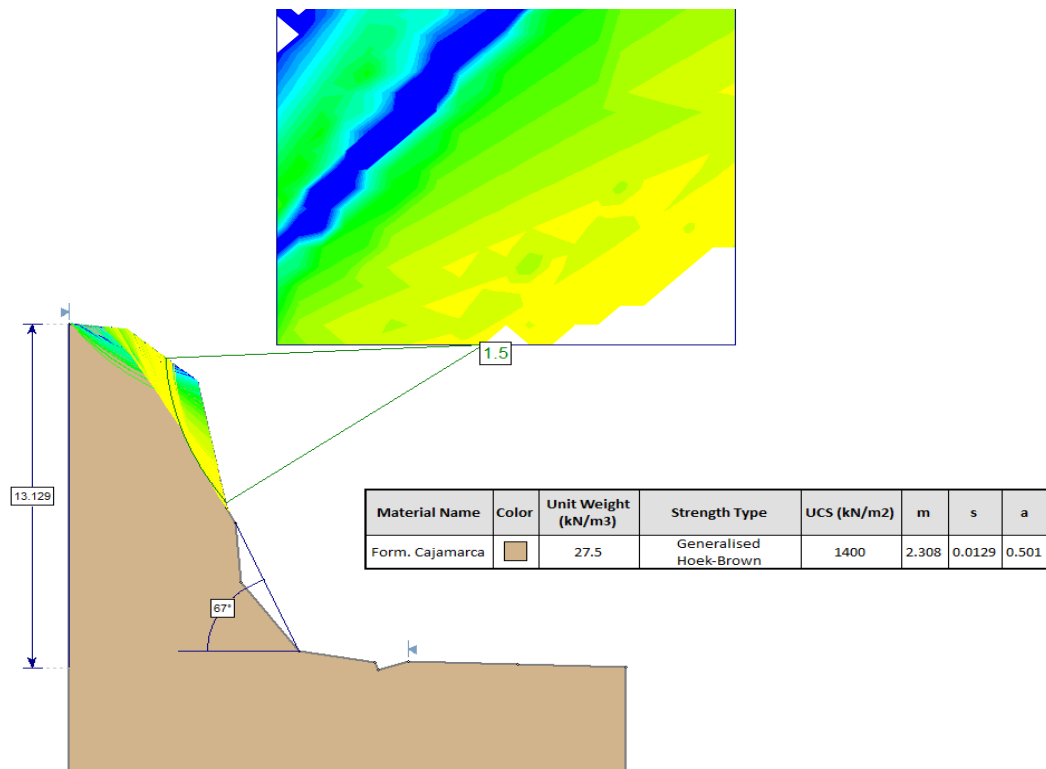
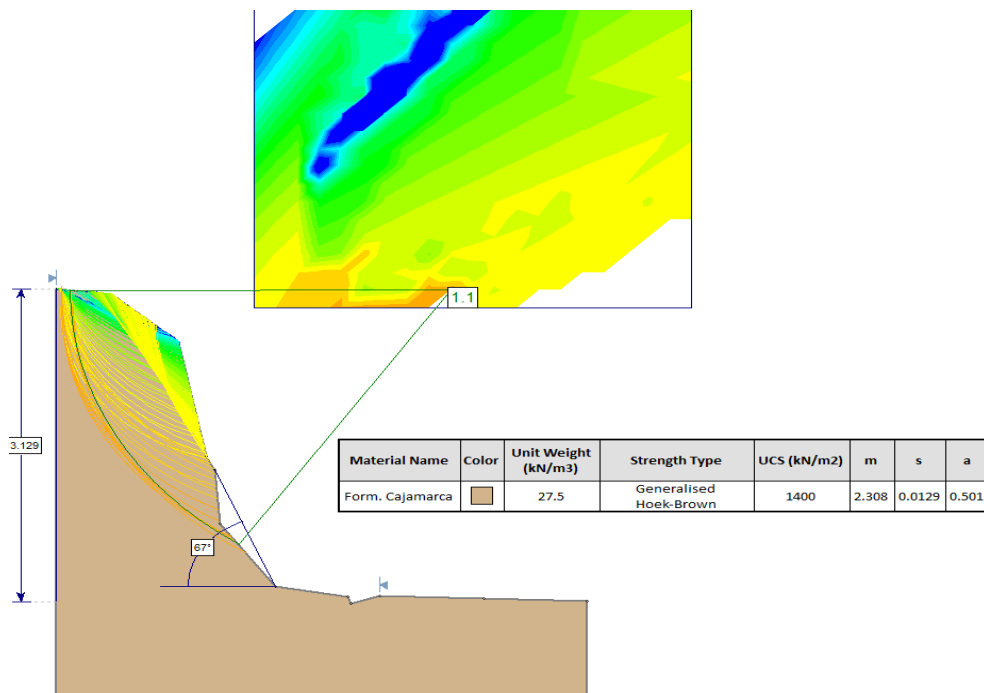


Gráfico 16.

Factor de seguridad, condición pseudo-estática por el método de GLE/Morgenstern-Price, estación 4



ANEXO 5. FACTOR DE SEGURIDAD DE LA ESTACIÓN 5 (SUELO ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA -KM 39+100)

Gráfico 17.

Factor de seguridad, condición estática por el método de Spencer, estación 5

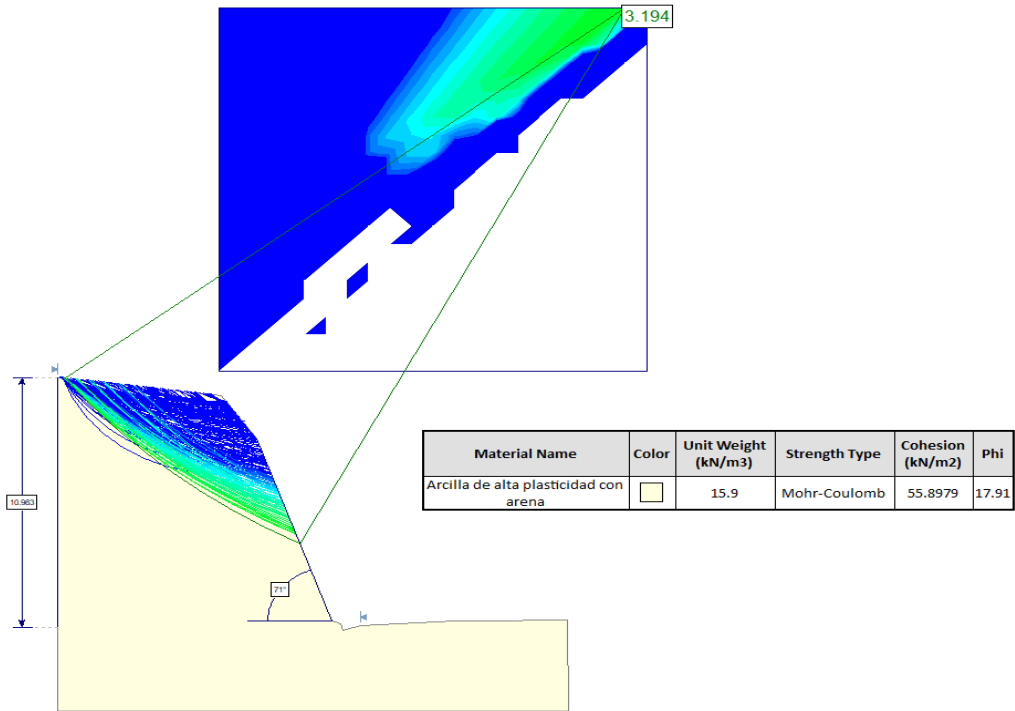


Gráfico 18.

Factor de seguridad, condición estática por el método de GLE/Morgenstern-Price estación 5

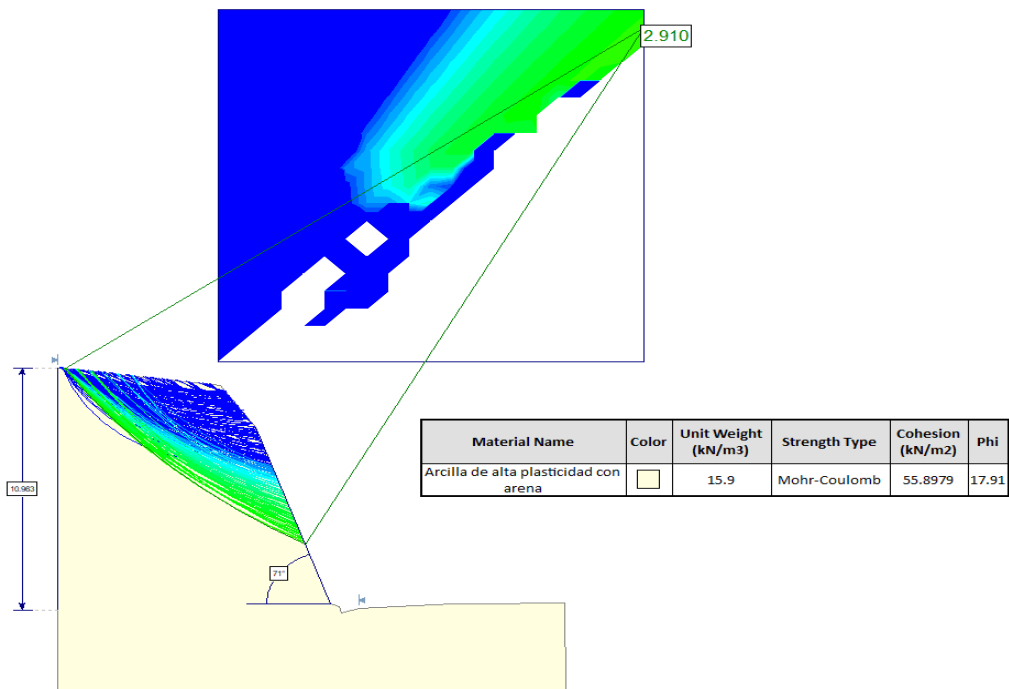


Gráfico 19.

Factor de seguridad, condición pseudo-estática por el método de Spencer, estación 5.

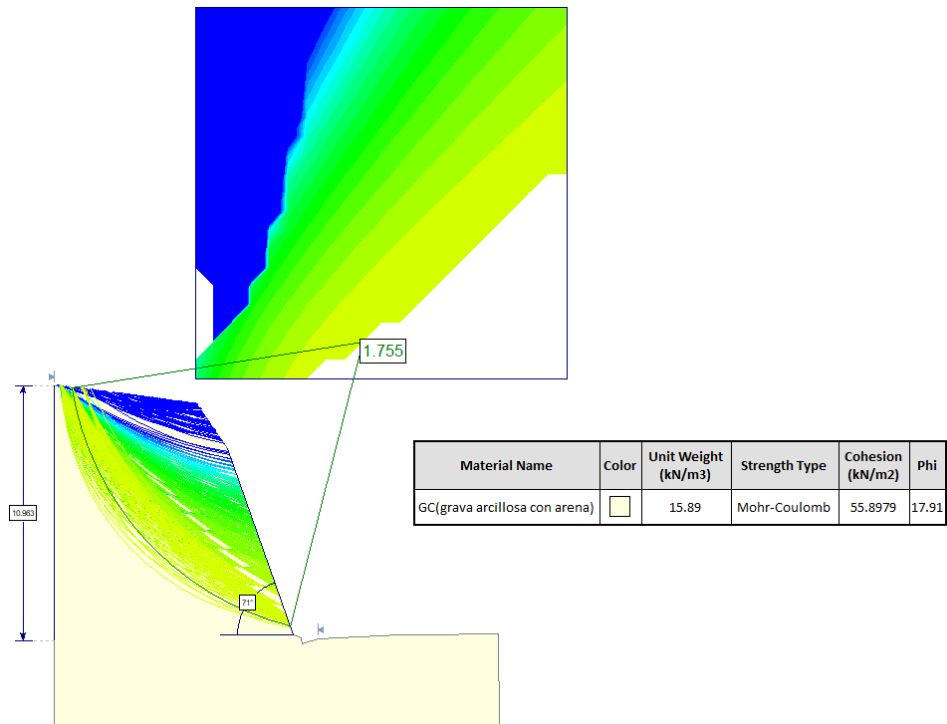
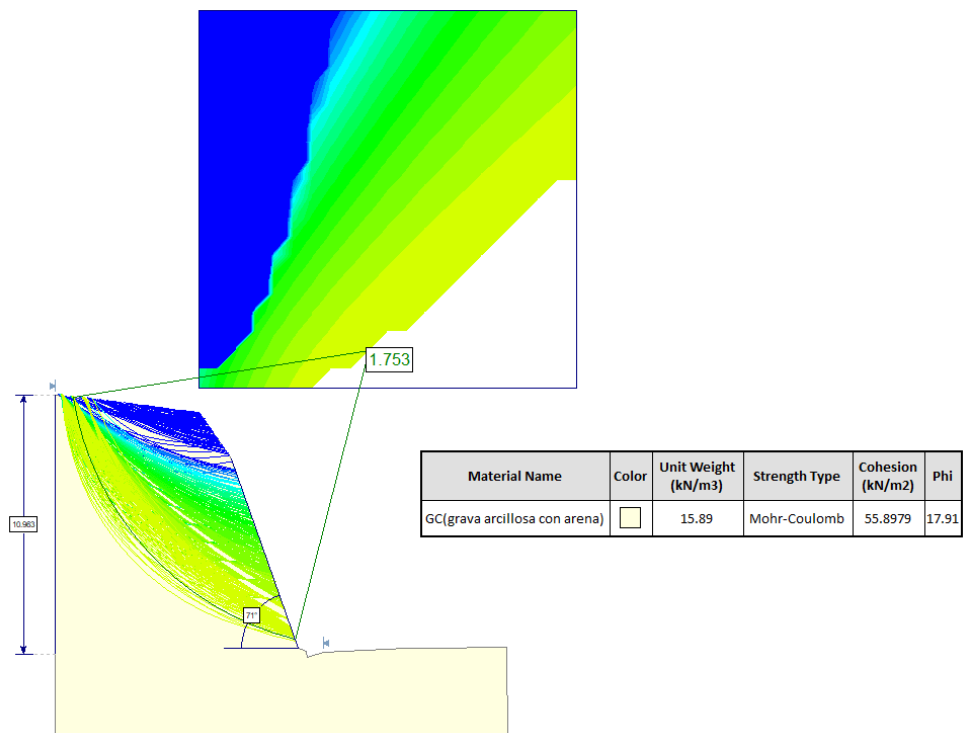


Gráfico 20.

Factor de seguridad, condición pseudo-estática por el método de GLE/Morgenstern-Price, estación 5



ANEXO 6. FACTOR DE SEGURIDAD DE LA ESTACIÓN 6 (SUELO ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD-KM 38+400)

Gráfico 21.

Factor de seguridad, condición estática por el método de Spencer, estación 6

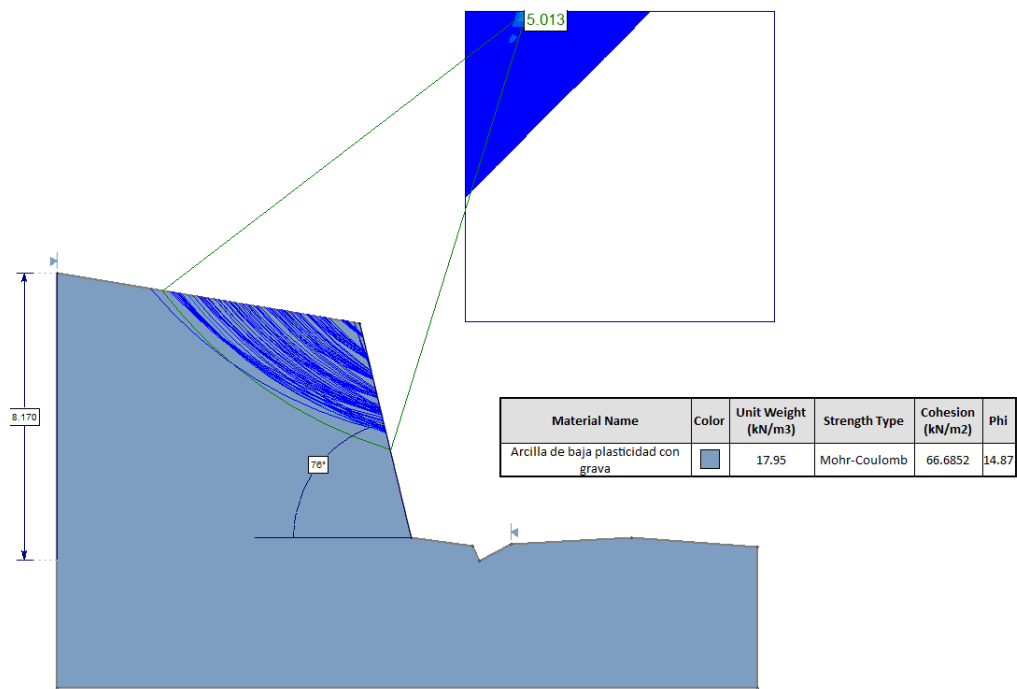


Gráfico 22.

Factor de seguridad, condición estática por el método de GLE/Morgenstern-Price estación 6

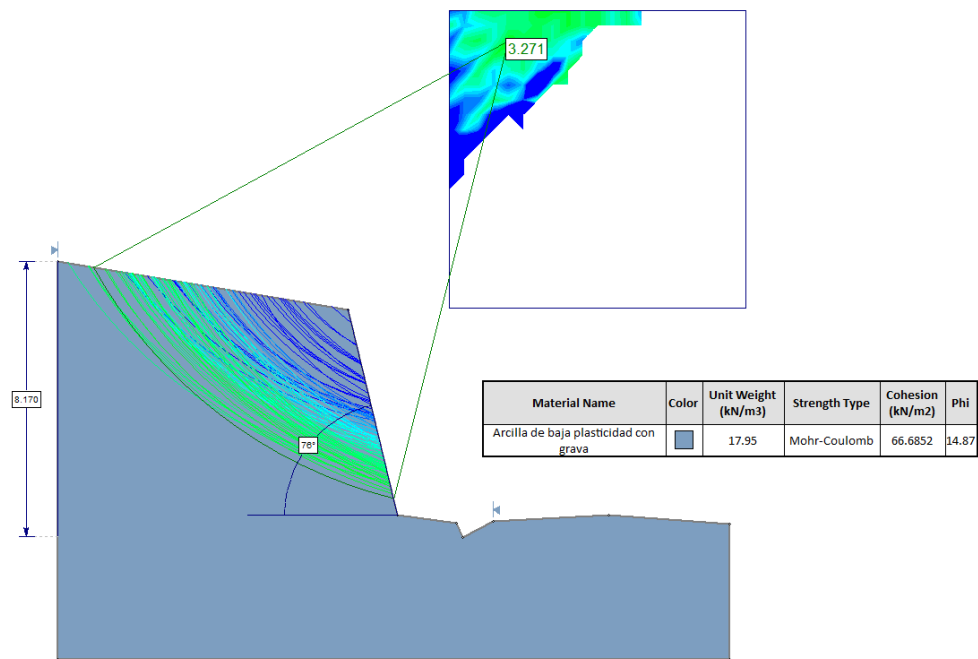


Gráfico 23.

Factor de seguridad, condición pseudo-estática por el método de Spencer, estación 6

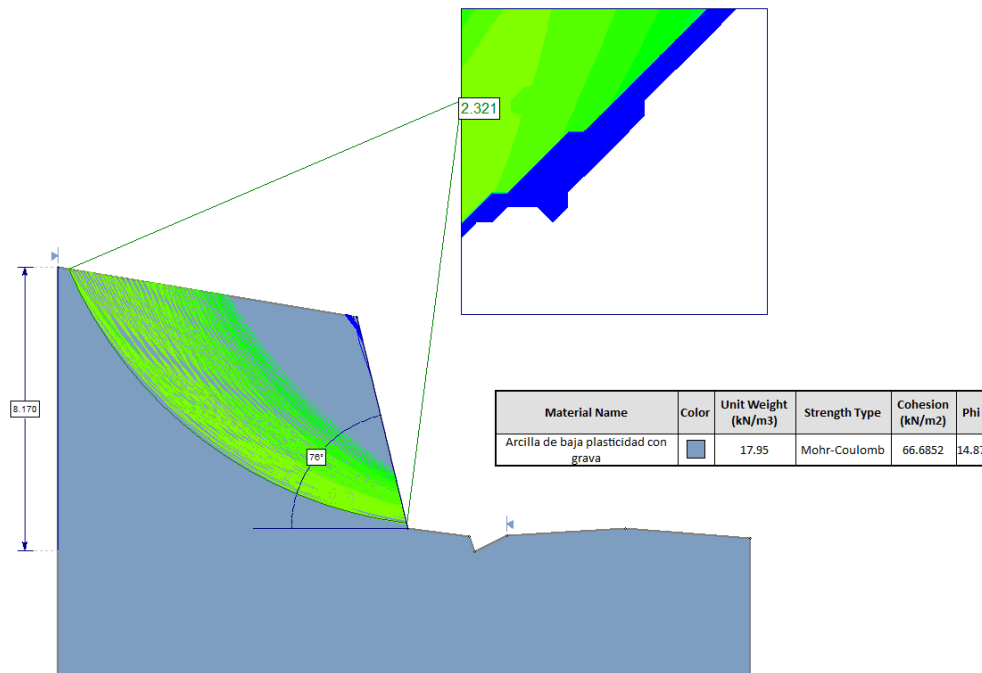
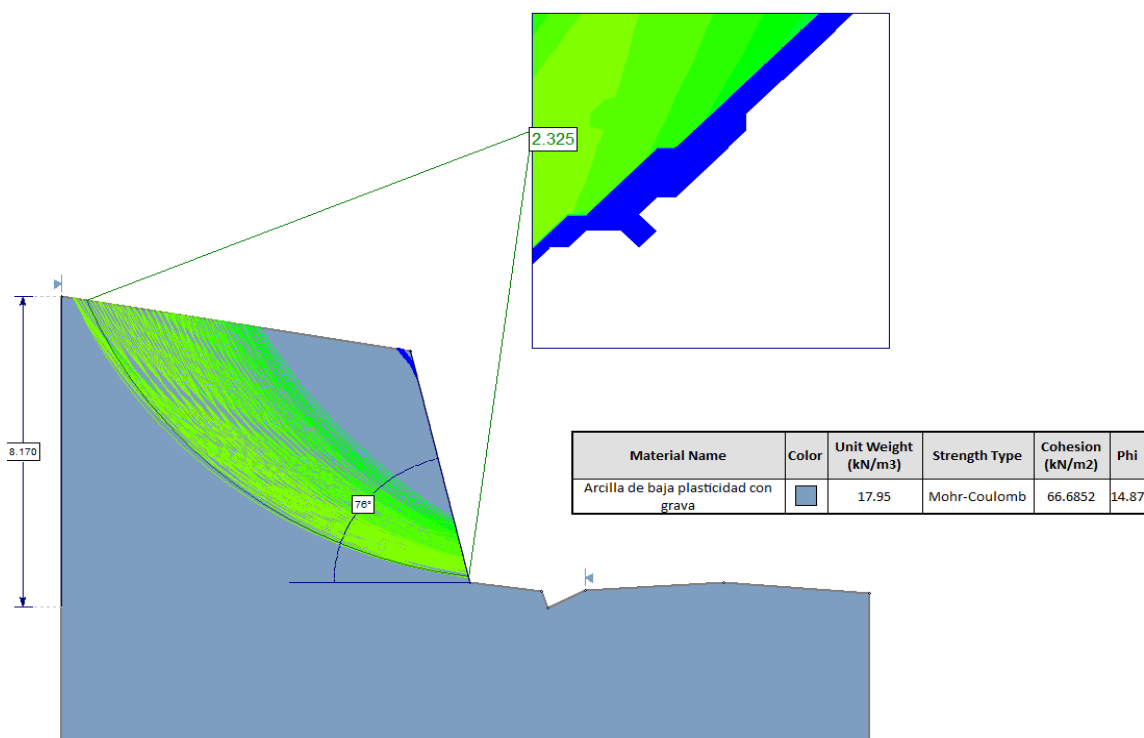


Gráfico 24.

Factor de seguridad, condición pseudo-estática por el método de GLE/Morgenstern-Price, estación 1



ANEXO 7. ENSAYOS DE SUELOS M1

MUESTRA M1

Ensayo : **CONTENIDO NATURAL DE HUMEDAD :** Norma : ASTM D 2216

Muestra	M1	M2
Identificación de tara	T1	T2
Peso tara(gr)	26.2	27.3
Peso tara+muestra humeda (gr)	235.2	242.3
Peso tara+muestra seca(gr)	223.2	230.1
Peso muestra humeda	209	215
Peso de muestra seca	197	202.8
Peso del agua	12	12.2
Contenido de humedad	6.09%	6.02%
	6.05%	

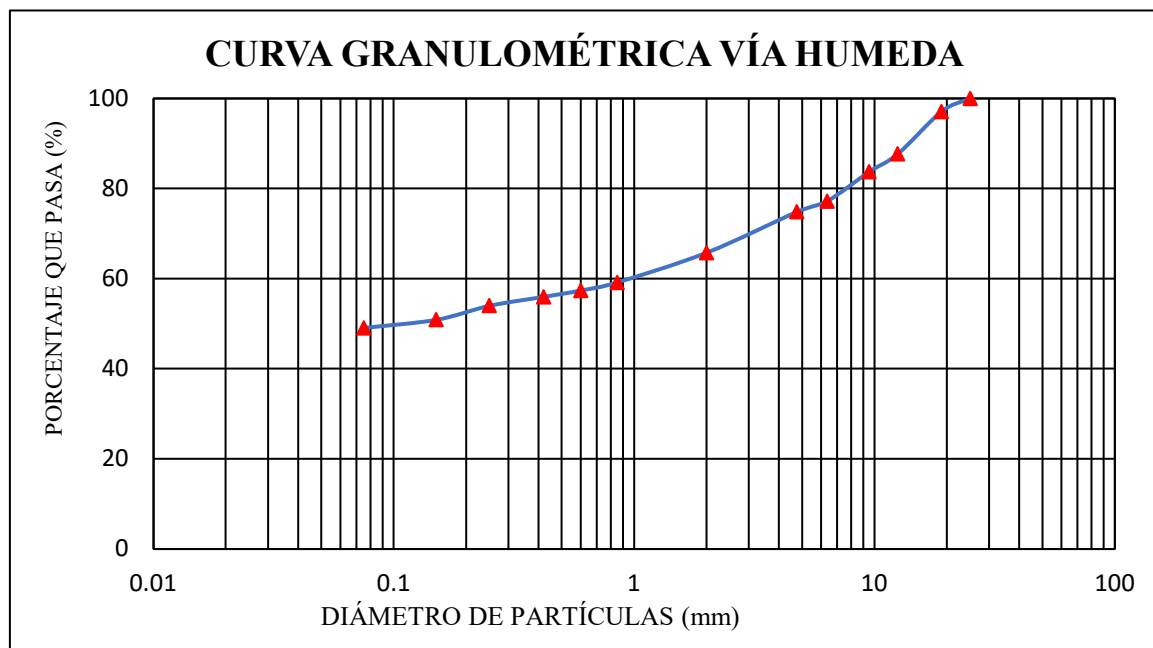
Ensayo: Peso específico del suelo

Muestra	M1
Peso del suelo seco (Ws) (gr)	100
Peso fiola + agua(Wfw) (gr)	693
Peso fiola + agua+suelo(Wfws) (gr)	733
Peso específico γ (g/cm ³)	1.67

MUESTRA M1

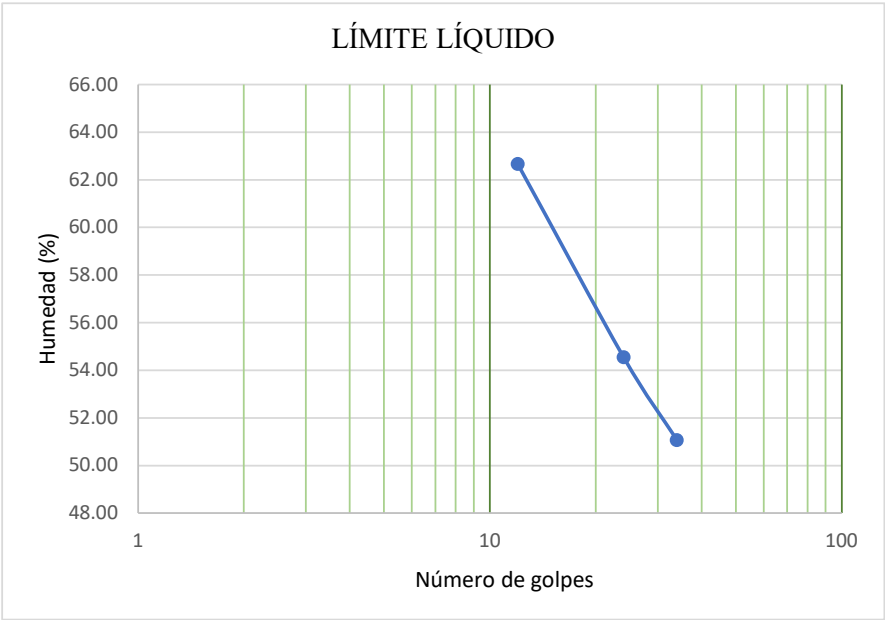
Ensayo : GRANULOMETRIA

Ws (gr)=	605				
Tamíz		PRP (gr)	%RP	%RA	% QUE PASA
N°	Abert. (mm)				
1"	25	0	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	17.7	2.93	2.93	97.07
1/2"	12.5	56.7	9.37	12.30	87.70
3/8"	9.5	24.1	3.98	16.28	83.72
1/4"	6.35	39.40	6.51	22.79	77.21
N°4	4.75	14.40	2.38	25.17	74.83
N°10	2	54.90	9.07	34.25	65.75
N°20	0.85	39.80	6.58	40.83	59.17
N°30	0.6	10.90	1.80	42.63	57.37
N°40	0.42	8.50	1.40	44.03	55.97
N°60	0.25	11.90	1.97	46.00	54.00
N°100	0.15	18.80	3.11	49.11	50.89
N°200	0.075	11.10	1.83	50.94	49.06
<200		296.80	49.06	100.00	0.00
TOTAL =		605			



MUESTRA M1
Ensayo : LIMITES DE ATTERBERG

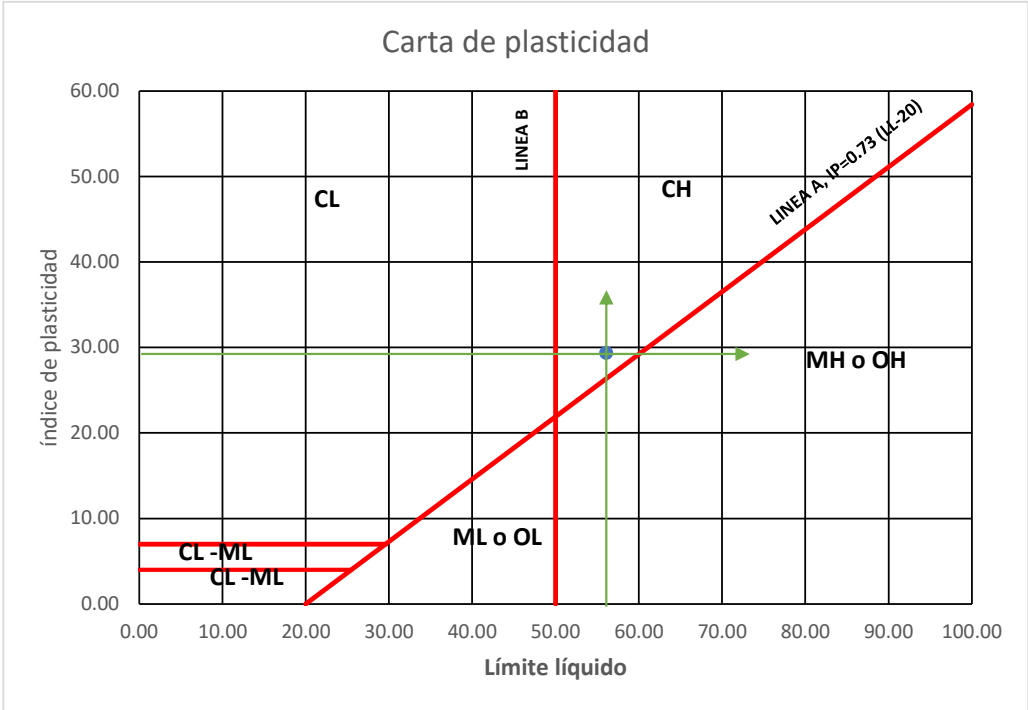
	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
Wt (gr)	26.8	26.9	26.7	27.2	28.3
Wmh + t(g)	39	42.2	40.9	32.9	35.4
Wms +t(g)	34.3	36.8	36.1	31.7	33.9
Wms (g)	7.5	9.9	9.4	4.5	5.6
Ww (g)	4.7	5.4	4.8	1.2	1.5
W(%)	62.67	54.55	51.06	26.67	26.79
N. GOLPES	12	24	34		
LL-LP	56.09			26.73	
IP	29.37				



CLASIFICACIÓN DEL SUELO POR SUCS Y AASHTO

Nº MALLA	%RA	% QUE PASA	
Nº4	25.17	74.83	Arena
Nº40	44.03	55.97	
Nº200	50.94	49.06	Suelo grueso

CLASIFICACIÓN POR SUCS



Nota: El punto de intersección cae sobre la línea "A", pero el IP es $26 > 7$

SUCS	SC	(Arena limosa)
------	----	----------------

DIVISIÓN GENERAL		Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)						Materiales Limo-arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)					
GRUPO		A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Subgrupo		A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasa por cada tamiz)													
Serie ASTM	#10	≤ 50											
	#40	≤ 30	≤ 50	≥ 51									
	#200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)													
Límite líquido			NP	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	>41 (IP < LL-30)	>41 (IP > LL-30)	
Índice de plasticidad		≤ 6		≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11	
ÍNDICE DE GRUPO		0	0	0		≤ 4		≤ 8	≤ 12	≤ 20	≤ 20		
TIPOLOGÍA		Fragmentos de piedra, grava y arena	Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos			
CALIDAD		EXCELENTE A BUENA						ACEPTABLE A MALA					

IG	11
AASHTO	A-7-6 (10)

CLASIFICACIÓN DEL SUELO		
SUCS	SC	Arena Limosa
AASHTO	A-7-6 (10)	Suelo arcilloso

ANEXO 8. ENSAYOS DE SUELOS M2

MUESTRA M2

Ensayo : **CONTENIDO NATURAL DE HUMEDAD :** Norma : ASTM D 2216

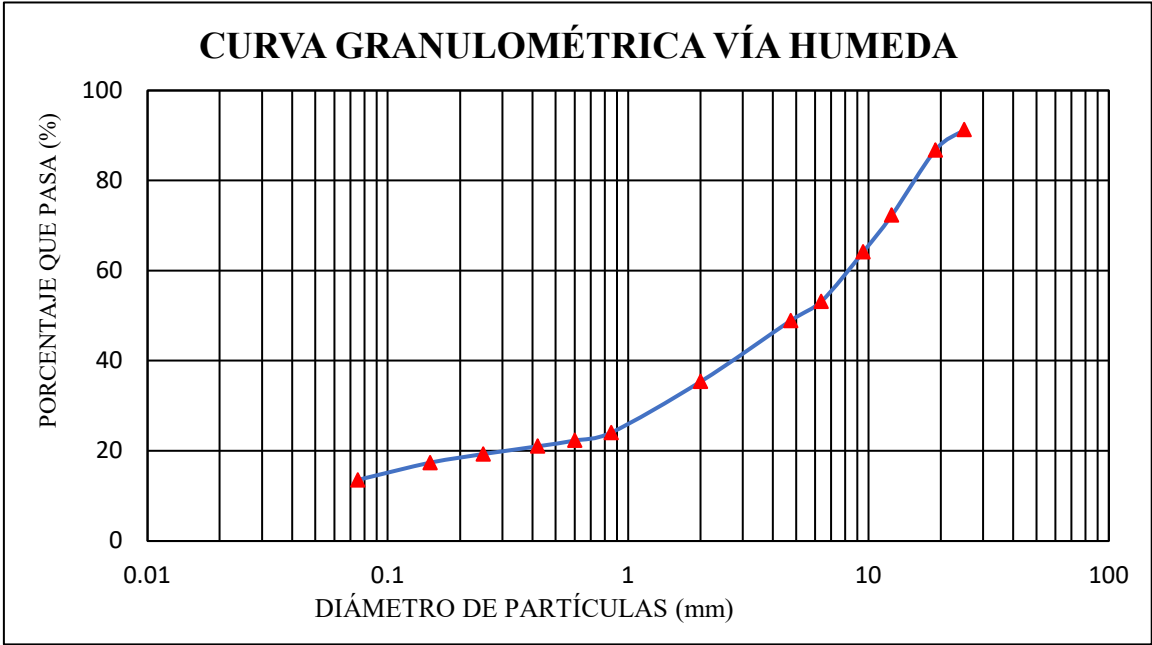
Muestra	M1	M2
Identificación de tara	CCB-01-M2	CCB-02-M2
Peso tara(gr)	28.3	27.3
Peso tara+muestra humeda (gr)	222.5	235.8
Peso tara+muestra seca(gr)	206.6	219.4
Peso muestra humeda	194.2	208.5
Peso de muestra seca	178.3	192.1
Peso del agua	15.9	16.4
Contenido de humedad	8.92%	8.54%
	8.73%	

Ensayo: Peso específico del suelo

Muestra	M1
Peso del suelo seco (Ws) (gr)	100
Peso fiola + agua(Wfw) (gr)	689
Peso fiola + agua+suelo(Wfws) (gr)	727
Peso específico γ (g/cm ³)	1.61

MUESTRA M2
Ensayo : GRANULOMETRIA

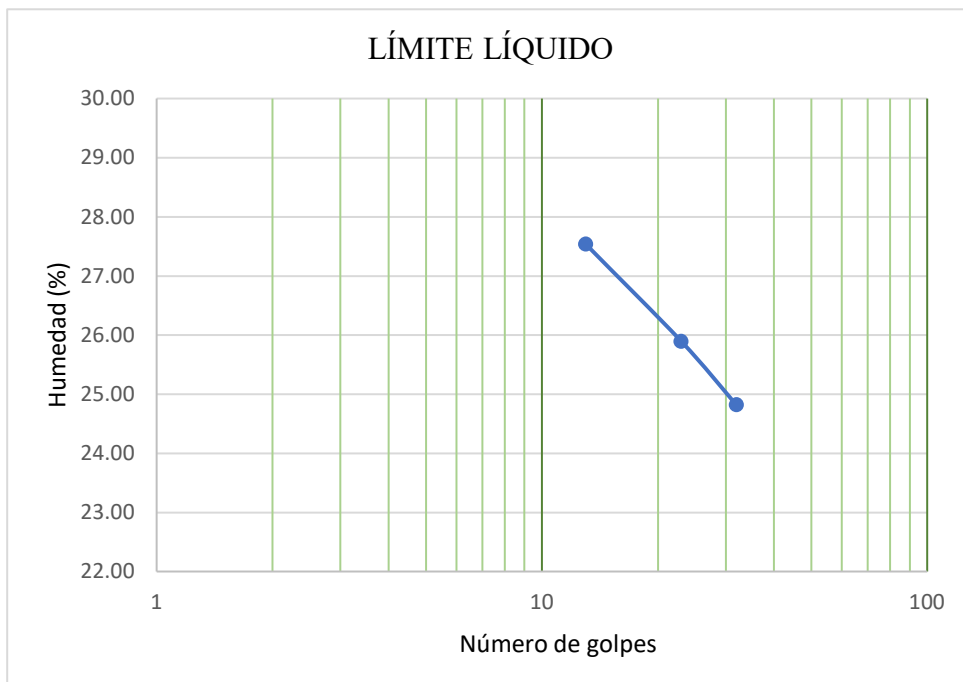
Ws (gr)=	674				
Tamíz		PRP (gr)	%RP	%RA	% QUE PASA
Nº	Abert. (mm)				
1"	25	58.7	8.71	8.71	91.29
3/4"	19	30.4	4.51	13.22	86.78
1/2"	12.5	97.3	14.44	27.66	72.34
3/8"	9.5	55.2	8.19	35.85	64.15
1/4"	6.35	74.10	10.99	46.84	53.16
Nº4	4.75	28.40	4.21	51.05	48.95
Nº10	2	91.40	13.56	64.61	35.39
Nº20	0.85	76.30	11.32	75.93	24.07
Nº30	0.6	11.80	1.75	77.69	22.31
Nº40	0.42	8.60	1.28	78.96	21.04
Nº60	0.25	11.70	1.74	80.70	19.30
Nº100	0.15	12.90	1.91	82.61	17.39
Nº200	0.075	25.70	3.81	86.42	13.58
<200		91.50	13.58	100.00	0.00
TOTAL =		674			



MUESTRA M2

Ensayo : LÍMITES DE ATTERBERG

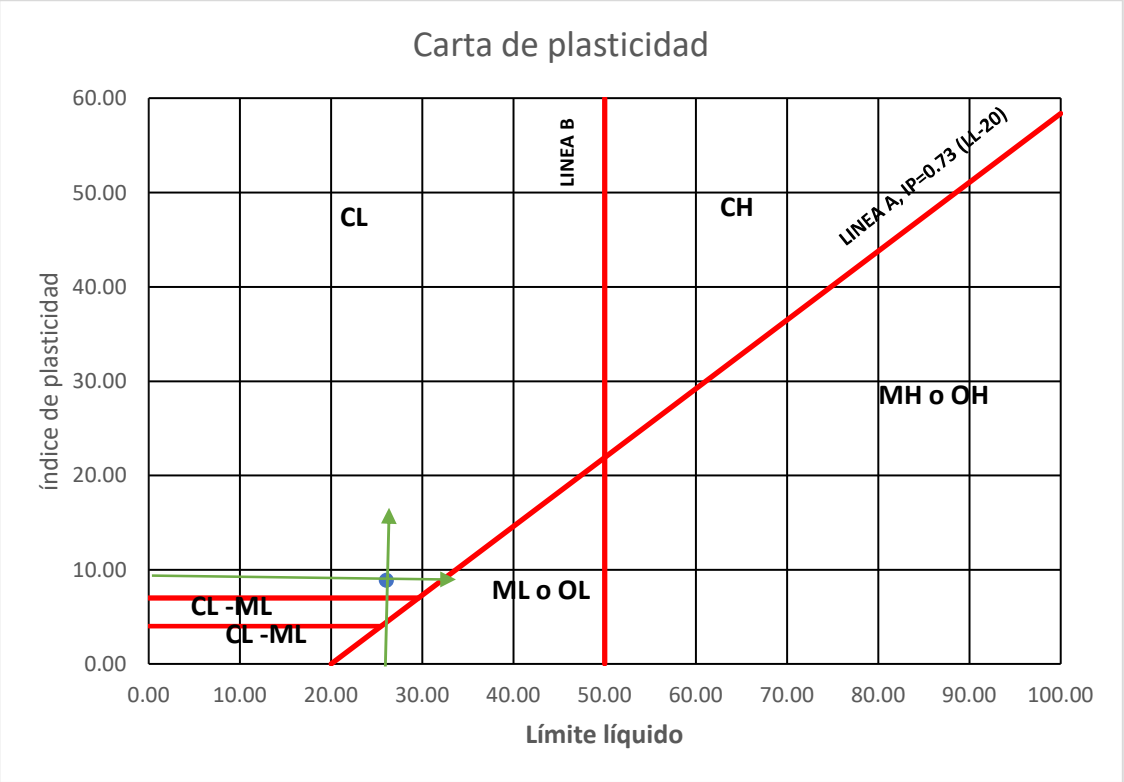
	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
Wt (gr)	27.3	27.3	27.7	27.3	27.9
Wmh + t(g)	44.9	41.4	44.8	32.1	33.3
Wms +t(g)	41.1	38.5	41.4	31.4	32.5
Wms (g)	13.8	11.2	13.7	4.1	4.6
Ww (g)	3.8	2.9	3.4	0.7	0.8
W(%)	27.54	25.89	24.82	17.07	17.39
N. GOLPES	13	23	32		
LL-LP	26.08			17.23	
IP	8.85				



CLASIFICACIÓN DEL SUELO POR SUCS Y AASHTO

Nº MALLA	%RA	% QUE PASA	
Nº4	51.05	48.95	Grava
Nº40	78.96	21.04	
Nº200	86.42	13.58	Suelo grueso

CLASIFICACIÓN POR SUCS



Nota: El punto de intersección cae sobre la línea "A", pero el IP es $26 > 7$

SUCS	GC	(Grava arcillosa con arena)
------	----	-----------------------------

DIVISIÓN GENERAL			Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)					Materiales Limo-arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)					
GRUPO		A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Subgrupo	A-1-a	A-1-b	A-2-4		A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-7-5				A-7-6	
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasa por cada tamiz)													
Serie ASTM	#10	≤ 50											
	#40	≤ 30	≤ 50	≥ 51									
	#200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36	
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)													
Límite líquido		NP	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	>41 (IP<LL-30)	>41 (IP>LL-30)		
Índice de plasticidad	≤ 6		≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11		
ÍNDICE DE GRUPO	0	0	0	≤ 4		≤ 8	≤ 12	≤ 20	≤ 20				
TIPOLOGÍA	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos			
CALIDAD	EXCELENTE A BUENA						ACEPTABLE A MALA						

IG 0

AASHTO	A-2-4 (0)
--------	-----------

CLASIFICACIÓN DEL SUELO		
SUCS	GC	(Grava arcillosa con arena)
AASHTO	A-2-4 (0)	Gravas y arenas limosas o arcillosas

ANEXO 9. ENSAYOS DE SUELOS M3

MUESTRA M3

Ensayo : **CONTENIDO NATURAL DE HUMEDAD :** Norma : ASTM D 2216

Muestra	M3	M3
Identificación de tara	CCB-01-M3	CCB-02-M3
Peso tara(gr)	28.9	27.3
Peso tara+muestra humeda (gr)	161.6	172.3
Peso tara+muestra seca(gr)	142.6	151.8
Peso muestra humeda	132.7	145
Peso de muestra seca	113.7	124.5
Peso del agua	19	20.5
Contenido de humedad	16.71%	16.47%
	16.59%	

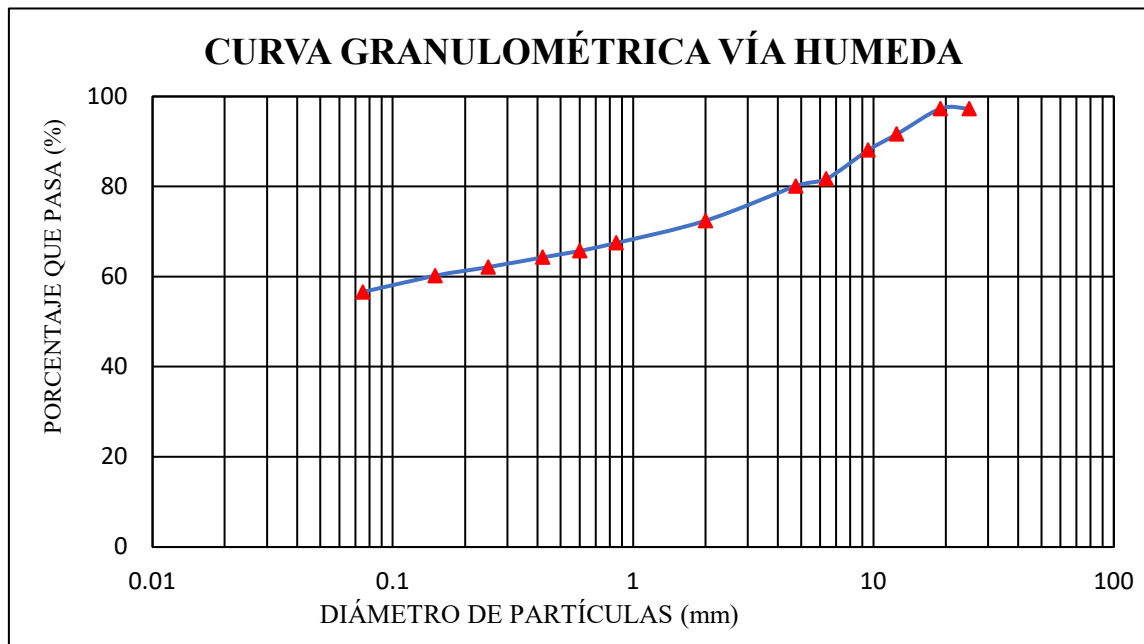
Ensayo: Peso específico del suelo

Muestra	M3
Peso del suelo seco (Ws) (gr)	94
Peso fiola + agua(Wfw) (gr)	689
Peso fiola + agua+suelo(Wfws) (gr)	725
Peso específico γ (g/cm ³)	1.62

MUESTRA M3

Ensayo : GRANULOMETRIA

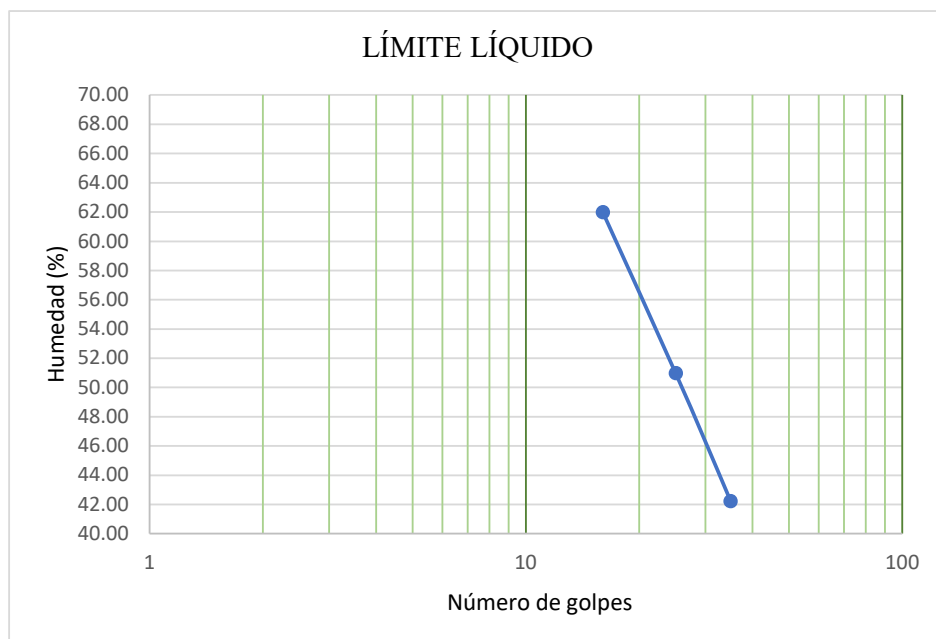
Ws (gr)=	594				
Tamíz		PRP (gr)	%RP	%RA	% QUE PASA
N°	Abert. (mm)				
1"	25	16.1	2.71	2.71	97.29
3/4"	19	0	0.00	2.71	97.29
1/2"	12.5	33.5	5.64	8.35	91.65
3/8"	9.5	21.2	3.57	11.92	88.08
1/4"	6.35	37.80	6.36	18.28	81.72
N°4	4.75	9.60	1.62	19.90	80.10
N°10	2	45.60	7.68	27.58	72.42
N°20	0.85	29.30	4.93	32.51	67.49
N°30	0.6	10.50	1.77	34.28	65.72
N°40	0.42	8.50	1.43	35.71	64.29
N°60	0.25	12.80	2.15	37.86	62.14
N°100	0.15	11.50	1.94	39.80	60.20
N°200	0.075	21.50	3.62	43.42	56.58
<200		336.10	56.58	100.00	0.00
TOTAL =		594			



MUESTRA M3

Ensayo : LÍMITES DE ATTERBERG

	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
Wt (gr)	26.4	27	28.1	26.6	28.2
Wmh + t(g)	42.6	42.4	40.9	30.6	31.6
Wms +t(g)	36.4	37.2	37.1	29.8	30.9
Wms (g)	10	10.2	9	3.2	2.7
Ww (g)	6.2	5.2	3.8	0.8	0.7
W(%)	62.00	50.98	42.22	25.00	25.93
N. GOLPES	16	25	35		
LL-LP	51.73			25.46	
IP	26.27				

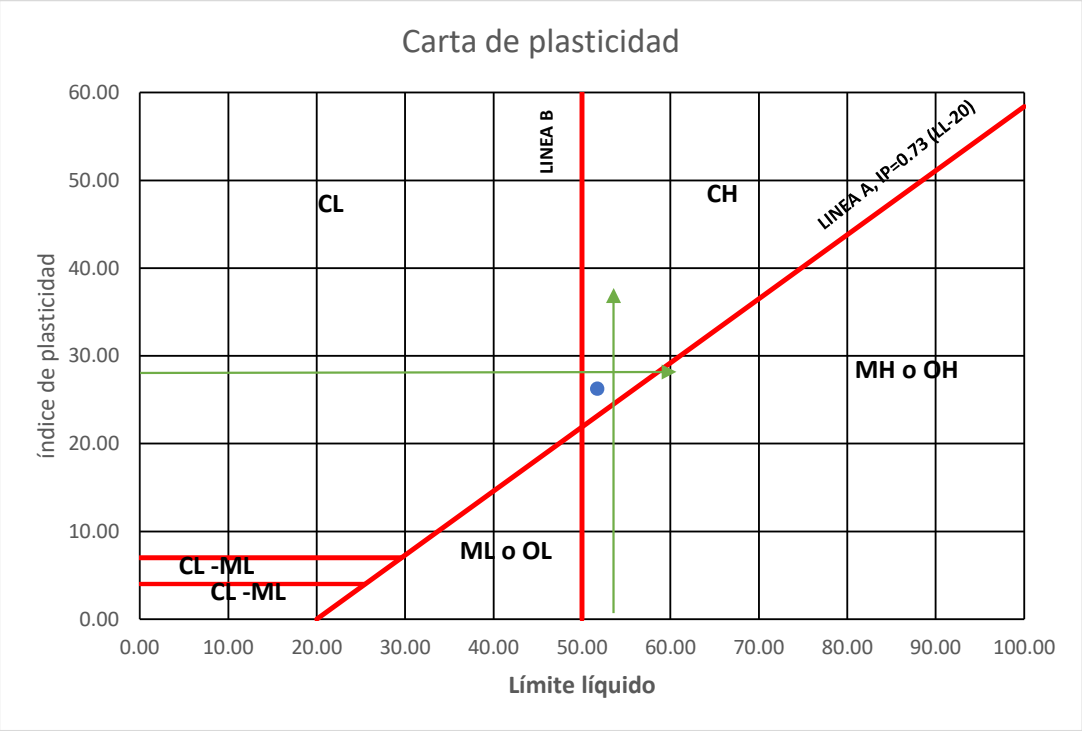


CLASIFICACIÓN DEL SUELO POR SUCS Y AASHTO

Nº MALLA	%RA	% QUE PASA
Nº4	19.90	80.10
Nº40	35.71	64.29
Nº200	43.42	56.58

Suelo fino

CLASIFICACIÓN POR SUCS



Nota: El punto de intersección cae sobre la línea "A", pero el IP es $26 > 7$

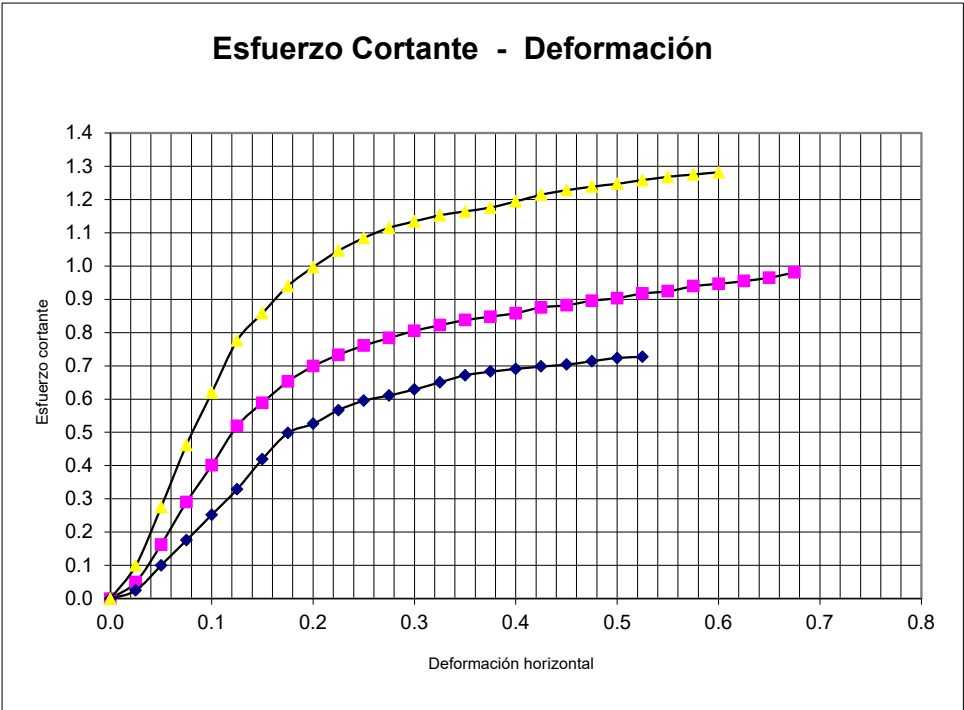
SUCS	CH	Arcilla de alta plasticidad con arena
------	----	---------------------------------------

DIVISIÓN GENERAL		Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)						Materiales Limo-arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)					
GRUPO		A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Subgrupo		A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasa por cada tamiz)													
Serie ASTM	#10	≤ 50											
	#40	≤ 30	≤ 50	≥ 51									
	#200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)													
Límite líquido		NP	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	> 41 (IP<LL-30)	> 41 (IP>LL-30)
Índice de plasticidad	≤ 6		≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11	≥ 11	≥ 11
ÍNDICE DE GRUPO	0	0	0	≤ 4				≤ 8	≤ 12	≤ 20	≤ 20		
TIPOLOGÍA	Fragmentos de piedra, grava y arena	Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas					Suelos limosos		Suelos arcillosos			
CALIDAD	EXCELENTE A BUENA						ACEPTABLE A MALA						

IG	12
AASHTO	A-7-6 (13)

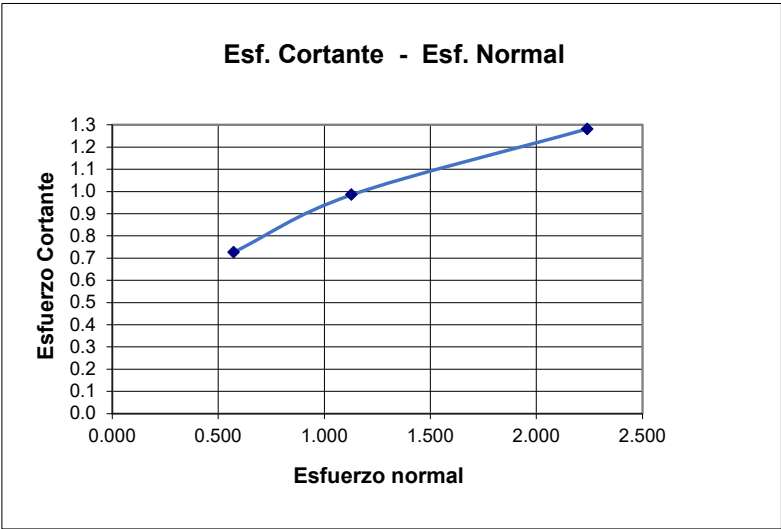
CLASIFICACIÓN DEL SUELO		
SUCS	CH	Arcilla de alta plasticidad con arena
AASHTO	A-7-6 (13)	Suelo arcilloso

15.500	0.775	31.350									
16.000	0.800	31.200									



Muestra	σ norm	Cort.máx
1	0.572	0.727
2	1.128	0.985
3	2.239	1.281

Cohesión (kg/cm ²)	0.57
Angulo de fricción	17.91



ANEXO 10. ENSAYOS DE SUELOS M3

MUESTRA M4

Ensayo : **CONTENIDO NATURAL DE HUMEDAD :** Norma : ASTM D 2216

Muestra	CCB-01-M4	CCB-02-M4
Identificación de tara	T1	T2
Peso tara(gr)	26.7	27.6
Peso tara+muestra humeda (gr)	182.3	203.2
Peso tara+muestra seca(gr)	158.1	176.4
Peso muestra humeda	155.6	175.6
Peso de muestra seca	131.4	148.8
Peso del agua	24.2	26.8
Contenido de humedad	18.42%	18.01%
	18.21%	

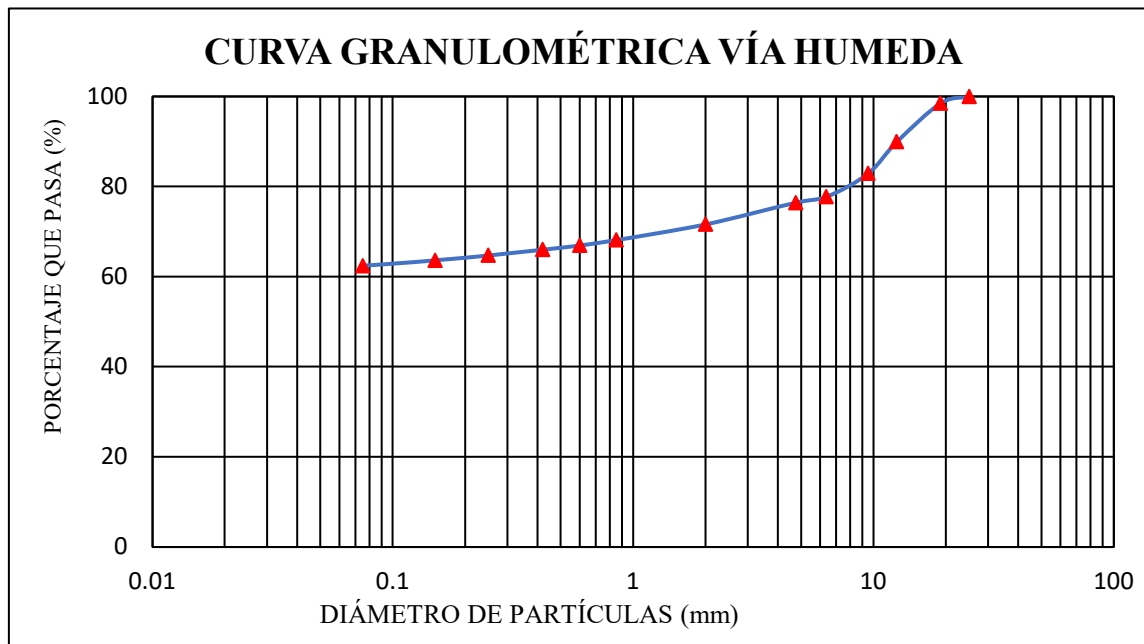
Ensayo: Peso específico del suelo

Muestra	M1
Peso del suelo seco (Ws) (gr)	95
Peso fiola + agua(Wfw) (gr)	688
Peso fiola + agua+suelo(Wfws) (gr)	731
Peso específico γ (g/cm ³)	1.83

MUESTRA M4

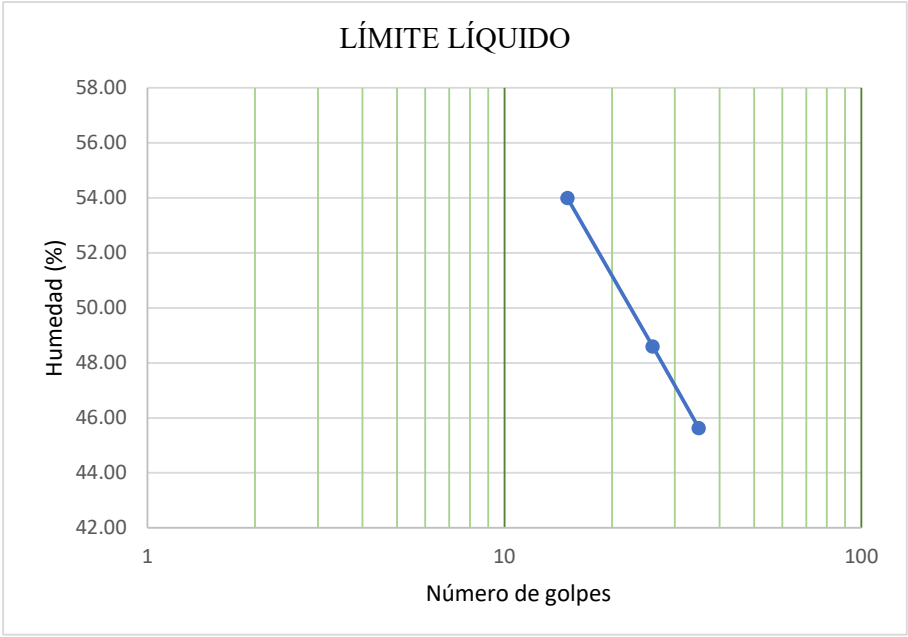
Ensayo : GRANULOMETRIA

Ws (gr)=	773				
Tamíz		PRP (gr)	%RP	%RA	% QUE PASA
N°	Abert. (mm)				
1"	25	0	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	11.9	1.54	1.54	98.46
1/2"	12.5	65.9	8.53	10.06	89.94
3/8"	9.5	54.4	7.04	17.10	82.90
1/4"	6.35	40.00	5.17	22.28	77.72
N°4	4.75	10.10	1.31	23.58	76.42
N°10	2	37.00	4.79	28.37	71.63
N°20	0.85	26.90	3.48	31.85	68.15
N°30	0.6	9.30	1.20	33.05	66.95
N°40	0.42	7.20	0.93	33.98	66.02
N°60	0.25	10.00	1.29	35.28	64.72
N°100	0.15	8.40	1.09	36.36	63.64
N°200	0.075	9.40	1.22	37.58	62.42
<200		482.50	62.42	100.00	0.00
TOTAL =		773			



MUESTRA M4
Ensayo : LIMITES DE ATTERBERG

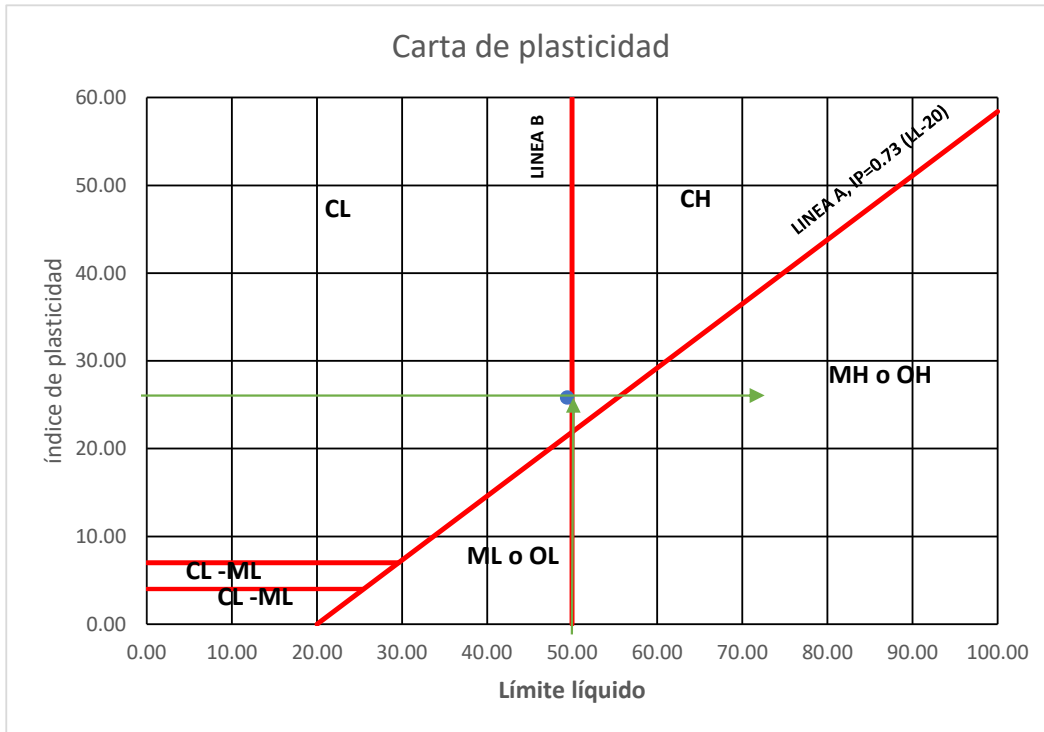
	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
Wt (gr)	28.3	26.5	26.1	28.1	29.1
Wmh + t(g)	43.7	42.4	41.1	31.8	31.7
Wms +t(g)	38.3	37.2	36.4	31.1	31.2
Wms (g)	10	10.7	10.3	3	2.1
Ww (g)	5.4	5.2	4.7	0.7	0.5
W(%)	54.00	48.60	45.63	23.33	23.81
N. GOLPES	15	26	35		
LL-LP	49.41			23.57	
IP	25.84				



CLASIFICACIÓN DEL SUELO POR SUCS Y AASHTO

Nº MALLA	%RA	% QUE PASA	
Nº4	23.58	76.42	Arena
Nº40	33.98	66.02	
Nº200	37.58	62.42	Suelo fino

CLASIFICACIÓN POR SUCS



Nota: El punto de intersección cae sobre la línea "A", pero el IP es $26 > 7$

SUCS	CL	Arcilla de baja plasticidad con grava
------	----	---------------------------------------

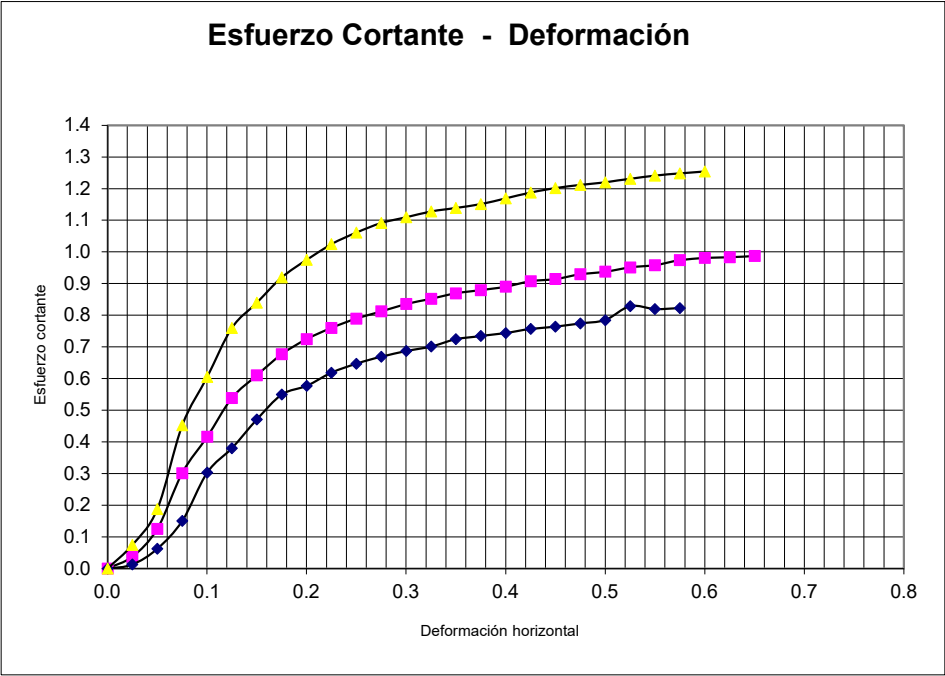
DIVISIÓN GENERAL		Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)							Materiales Limo-arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)							
GRUPO		A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7				
Subgrupo		A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6			
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasa por cada tamiz)																
Serie ASTM	#10	≤ 50														
	#40	≤ 30	≤ 50	≥ 51												
	#200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36		
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)																
Límite líquido		NP		≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41 (IP<LL-30)	≥ 41 (IP>LL-30)		
Índice de plasticidad				≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11	≥ 11	≥ 11		
ÍNDICE DE GRUPO		0		0		0		≤ 4		≤ 8		≤ 12		≤ 20	≤ 20	
TIPOLOGÍA		Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina		Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos			Suelos arcillosos			
CALIDAD		EXCELENTE A BUENA						ACEPTABLE A MALA								

IG 14

AASHTO	A-7-6 (14)
--------	------------

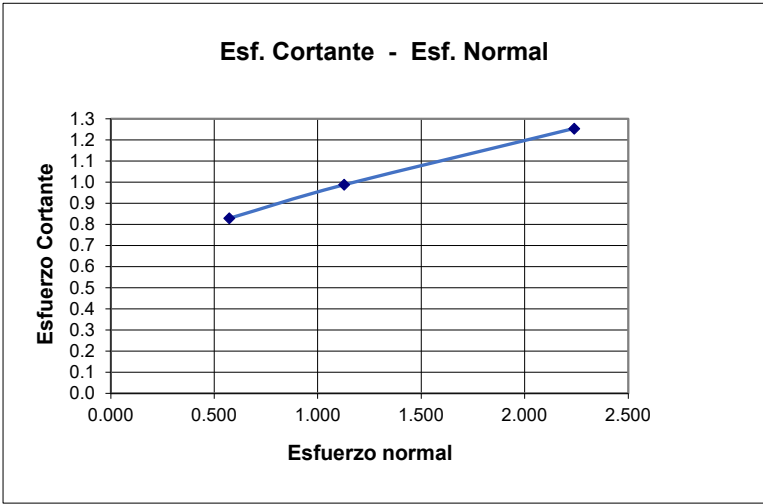
CLASIFICACIÓN DEL SUELO

SUCS	CL	Arcilla de baja plasticidad con grava
AASHTO	A-7-6 (14)	Suelo arcilloso



Muestra	σ norm	Cort.máx
1	0.572	0.829
2	1.128	0.987
3	2.239	1.254

Cohesión (kg/cm2)	0.69
Angulo de fricción	14.18



ANEXO 11. PANEL FOTOGRAFICO.

Fotografía 1.

Recolección de datos de la estación geomecánica N°1 (Km 43+400)



Fotografías 2 y 3.

Recolección de datos de la estación 1.





Fotografía 4.

Recolección de datos de los taludes del tramo en estudio.



Fotografías 5 y 6.

Afloramientos de calizas de la Formación Cajamarca, Quilquiñán – Mujarrún y Pulluicana



Fotografía 7.

Análisis de la coloración y comportamiento del suelo en los taludes del tramo en estudio.



Fotografías 8, 9 y 10.

Recolección de muestra de la estación geomecánica N°2



Fotografías 11, 12 y 13.

Recolección de muestras de la estación geomecánica N°3



Fotografías 14 y 15.

Mapeo de la estación geomecánica N°4.



Fotografía 16.

Extracción de muestra de la estación geomecánica N°5.



Fotografía 17 y 18.

Estación geomecánica N°6.



Fotografía 19 y 20.

Muestras extraídas para los ensayos de mecánica de suelos.



Fotografía 21 y 22.

Ensayo de Contenido de Humedad.



Fotografía 21 y 22.

Ensayo de Granulometría por lavado



Fotografía 23, 24 y 25.

Ensayo de peso específico





Fotografía 26 y 27.

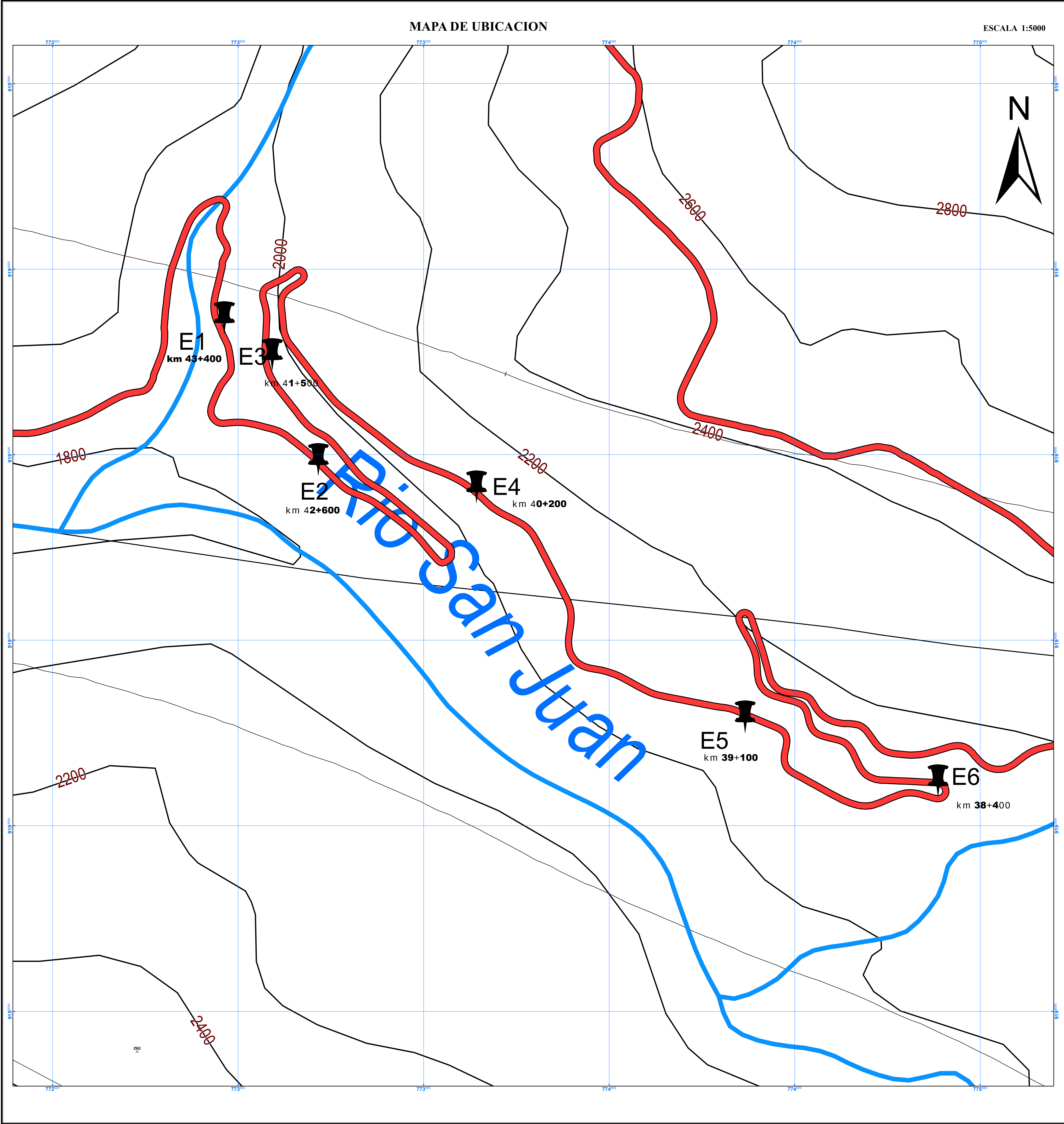
Ensayo de Limites de Atterberg



Fotografía 28, 29 y 30.

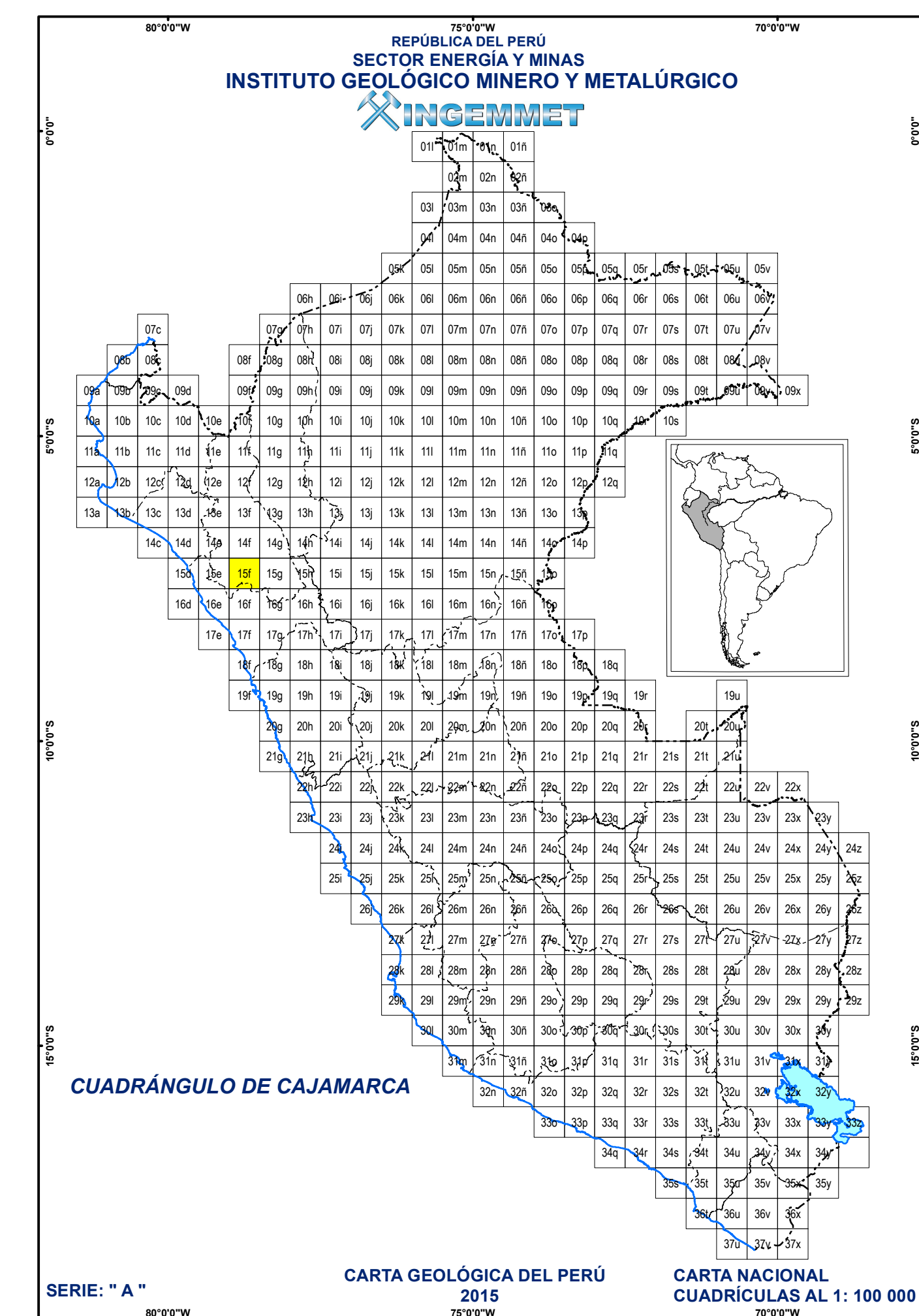
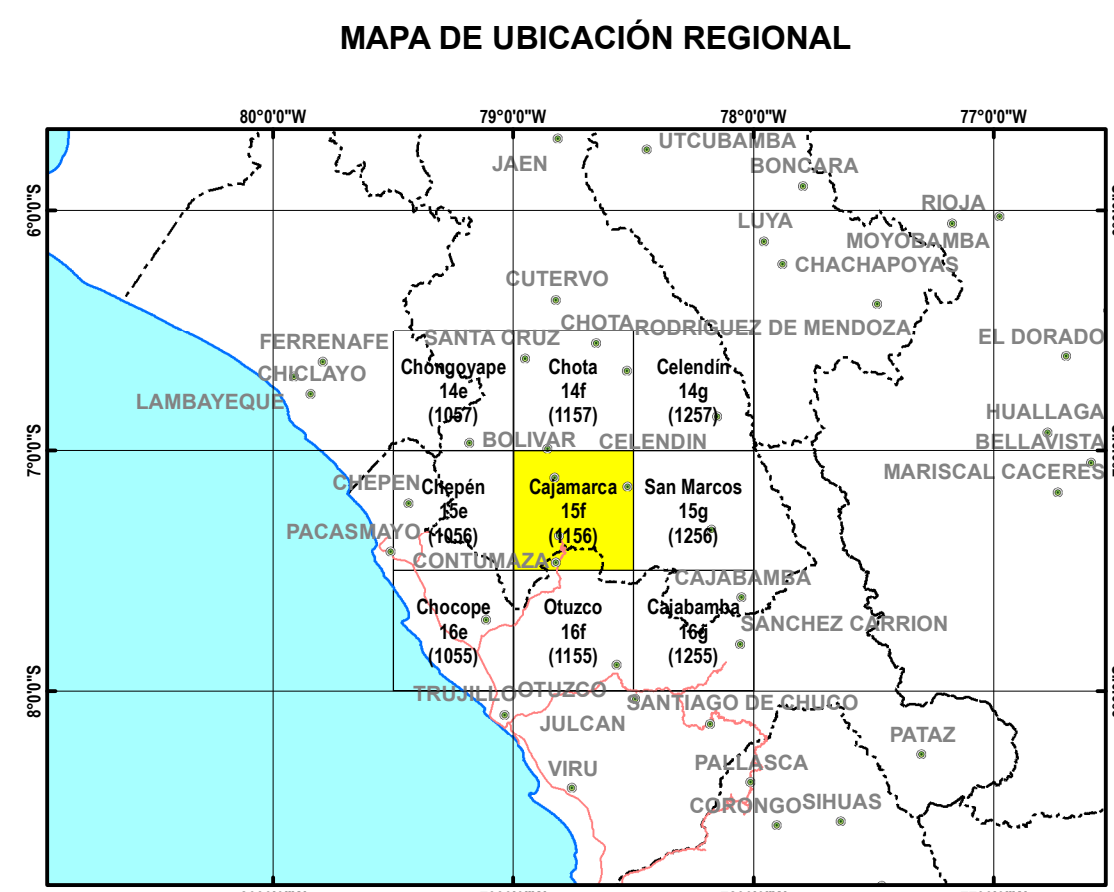
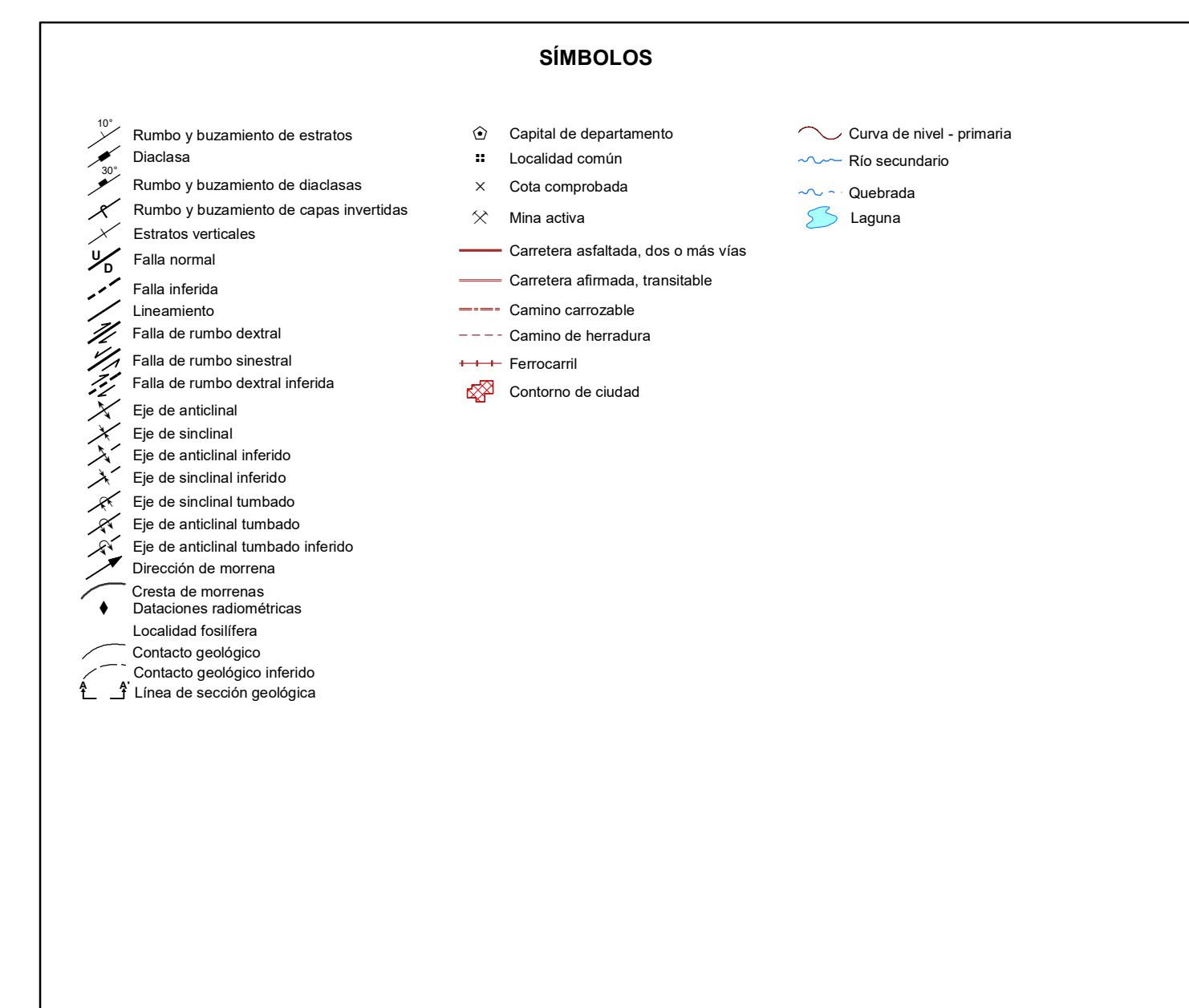
Ensayo de Corte directo.





Escala 1: 5000

Equidistancia de curvas de nivel cada 50 m



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS: EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES ENTRE EL KM 38
AL KM 44 DE LA CARRETERA CAJAMARCA - CIUDAD DE DIOS

Plano: PLANO DE UBICACIÓN

Tesista: BACH. CRISTHIAN WILDER CABRERA BOÑÓN

Asesor: DR. ING. MOSQUEIRA RAMIREZ HERMES ROBERTO

Escala: 1:5,000

Datum: WGS 84

Fecha: Diciembre 2025

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL		
	TESIS: EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES ENTRE EL KM 38 AL KM 44 DE LA CARRETERA CAJAMARCA - CIUDAD DE DIOS		
	Plano: PLANO GEOLÓGICO LOCAL		
	Tesista: BACH. CRISTHIAN WILDER CABRERA BOÑÓN		
	Asesor: DR. ING. MOSQUEIRA RAMIREZ HERMES ROBERTO		
Escala: 1:5,000	Datum: WGS 84	Fecha: Noviembre 2025	