

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS PROFESIONAL

**ANÁLISIS DE LOS TALUDES DE LA CARRETERA YAUYUCAN - CRUCE
CONEJO TRANCA (KM 0+000 – KM 6+635), Y ALTERNATIVAS DE
SOLUCIÓN DTO. YAUYUCAN – PROV. SANTA CRUZ –DPTO. CAJAMARCA.**

Para Optar Título Profesional de:
INGENIERO GEÓLOGO

Presentado por:
Bach. SEGUNDO JESÚS AYALA VILLA

Asesor:
Mg. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO

CAJAMARCA - PERÚ

2017

AGRADECIMIENTO:

Mi agradecimiento especial a los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica, quienes volcaron sus conocimientos y experiencias en bien de mi formación Profesional.

Mi especial agradecimiento a mi Alma Mater, Universidad Nacional de Cajamarca, al Ing. José Alfredo Siveroni Morales, Director de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica y al Ing. Reinaldo Rodríguez Cruzado, asesor de la presente tesis que me brindó todo su apoyo para la realización de la misma.

Un sincero agradecimiento al Ing. Leiser T. Carrera Plasencia, Gerente de TLS CONTRATISTAS E INVERSIONES S.R.L., quien me brindo todas las facilidades y su apoyo para desarrollar mi tesis en el Proyecto.

A todos ellos mi eterna gratitud.

DEDICATORIA.

A Dios todo poderoso por guiarme en su camino y realizar esta tesis, a mi madre María, quien día a día me apoyó incansablemente.

A mi padre Guillermo, quien me apoyo de igual manera seguir con mis estudios depositando su confianza y esperanza en mi persona.

A Emigio, que me apoyó y alentó a seguir con el objetivo trazado.

De manera muy especial agradezco a mi hijita Any Esmeralda, quien fue mi motivación para seguir adelante.

Jesús.

GLOSARIO

| | | |
|----------|---|--|
| SUCS | : | Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. |
| AASHTO | : | Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes. |
| ASTM | : | Sociedad Americana de Prueba de Materiales. |
| INGEMMET | : | Instituto geológico, minero metalúrgico. |
| GEMMA | : | Grupo de Estándares para Movimientos en Masa. |
| PMA | : | Programa Multinacional Andino. |
| GCA | : | Geociencias para las Comunidades Andinas. |
| MIT | : | Instituto de Tecnología de Massachusetts |

RESUMEN

La investigación, se realizó en la carretera Yauyucan - Cruce Conejo Tranca, Km 0+000 – Km 6+635, al noroeste de la ciudad de Cajamarca, se encuentra emplazada sobre afloramientos de rocas volcánicas con derrames andesíticos brechados de color gris verdoso a amarillento, con alto grado de alteración, los cuales se comportan como suelos areno-limosos; también encontramos depósitos cuaternarios aluviales, fluviales, coluviales y deluviales, que son propensos a fuertes proceso de erosión, meteorización física y química las mismas que posteriormente generan inestabilidad de los taludes. Se realizó el cartografiado litomorfoestructural a lo largo de todo el tramo de la carretera, con fines de investigación geomecánica y geotécnica, identificando zonas de inestabilidad, conformadas por rocas alteradas las cuales se comportan como suelos. Para todos los taludes se realizó la toma de muestras para su análisis en laboratorio de mecánica de suelos y su clasificación en el sistema SUCS, y de esta manera generar la base de datos para la aplicación del RocData v.5.0 y Slide v.7.0; Con los resultados se calcularon los Factores de Seguridad de los taludes obteniéndose cuatro puntos críticos del cual en el tramo 7 se identificó un deslizamiento por lo que este presenta un FS muy bajo, del mismo modo se analizó la precipitación en la inestabilidad de los taludes siendo esta una variable detonante en la inestabilidad. Los resultados que se obtuvieron sirvieron para proponer alternativas de solución en las cuatro zonas críticas donde los taludes son inestables utilizando el Software Gawacwin.

Palabras Claves: Talud, Inestabilidad, Litología, Factor de Seguridad.

ABSTRACT

The research was carried out on the Yauyucan - Cruce Conejo Tranca highway, Km 0 + 000 - Km 6 + 635, northwest of the city of Cajamarca, located on outcrops of volcanic rocks with greenish gray to yellowish gray andesitic spills , with a high degree of alteration, which behave as sandy-loam soils; we also find alluvial, fluvial, colluvial and deluvial quaternary deposits, which are prone to strong processes of erosion, physical and chemical weathering, which subsequently generate instability of the slopes. The lithomorphostructural mapping was carried out along the entire length of the road, for the purposes of geomechanical and geotechnical research, identifying zones of instability, formed by altered rocks which behave as soils. For all slopes, samples were taken for laboratory analysis of soil mechanics and their classification in the SUCS system, and in this way to generate the database for the application of RocData v.5.0 and Slide v.7.0; With the results the Safety Factors of the slopes were calculated obtaining four critical points of which in the section 7 a slip was identified so that it presents a very low FS, in the same way the precipitation in the instability of the slopes was analyzed is a detonating variable in instability. The results obtained were used to propose alternative solutions in the four critical areas where slopes are unstable using Gawacwin Software.

Keywords: Slope, Instability, Litology, Safety Factor.

ÍNDICE

| | Pág. |
|--|------|
| AGRADECIMIENTO: | ii |
| DEDICATORIA. | iii |
| GLOSARIO | iv |
| RESUMEN | v |
| ABSTRACT | vi |
| ÍNDICE..... | vii |
| LISTA DE CUADROS | x |
| LISTA DE FIGURAS | xi |
| LISTA DE FOTOS..... | xiii |
| CAPÍTULO I | 1 |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO II | 4 |
| MARCO TEÓRICO | 4 |
| 2.1 Antecedentes Teóricos De La Investigación | 4 |
| 2.2 Bases Teóricas..... | 6 |
| 2.2.1 Descripción y Clasificación de los Suelos..... | 6 |
| 2.2.1.1 Clasificación SUCS | 7 |
| 2.2.1.2 Clasificación de la AASHTO..... | 9 |
| 2.2.2 Tensiones Efectivas. | 12 |
| 2.2.3 Análisis de Taludes | 16 |
| 2.2.3.1 Análisis de Taludes en Suelos..... | 17 |
| 2.2.3.2 Análisis de Estabilidad..... | 21 |
| 2.2.3.3 Ángulos de Talud para Facilitar su Estabilidad | 27 |
| 2.2.4 Remoción de masas..... | 27 |
| 2.3 Definición de términos básicos | 31 |

| | Pág. |
|--|------|
| CAPÍTULO III | 33 |
| MATERIALES Y MÉTODOS..... | 33 |
| 3.1 Ubicación de la Investigación | 33 |
| 3.1.1 Ubicación Geográfica | 33 |
| 3.1.2 Ubicación Política | 33 |
| 3.1.3 Longitud de la Carretera | 34 |
| 3.1.4 Accesibilidad | 34 |
| 3.1.5 Clima | 35 |
| 3.1.6 Metodología de la investigación..... | 36 |
| 3.1.7 Definición de Variables | 37 |
| 3.1.8 Técnicas..... | 37 |
| 3.1.9 Instrumentos y equipos de recolección de datos | 37 |
| 3.1.10 Control de Calidad de Datos..... | 39 |
| 3.2 Geología..... | 39 |
| 3.2.1 Estratigrafía | 39 |
| 3.2.1.1 Grupo Calipuy | 40 |
| 3.2.1.2 Formación Volcánico Huambos | 40 |
| 3.2.1.3 Depósitos Cuaternarios | 41 |
| 3.2.2 Geología Estructural..... | 43 |
| 3.2.2.1 Fallas..... | 43 |
| 3.2.2.2 Plegamientos..... | 43 |
| 3.2.2.3 Diaclasas..... | 43 |
| 3.2.3 Geomorfología..... | 44 |
| 3.2.3.1 Laderas | 44 |
| 3.2.3.2 Montañas..... | 44 |
| 3.2.3.3 Colinas | 45 |
| 3.2.3.4 Quebradas..... | 45 |

| | Pág. |
|--|------------|
| 3.2.4 Geodinámica | 46 |
| 3.3 Geotecnia | 48 |
| 3.3.1 Comportamiento Geotécnico de la Carretera..... | 48 |
| 3.3.1.1 Tramo 01 - Progresivas Km. 0+675 - 0+685 | 48 |
| 3.3.1.2 Tramo 02 - Progresivas Km. 1+390 - 1+460 | 56 |
| 3.3.1.3 Tramo 03 - Progresivas Km. 1+570 - 1+670 | 63 |
| 3.3.1.4 Tramo 04 - Progresivas Km. 4+100 - 4+120 | 70 |
| 3.3.1.5 Tramo 05 - Progresivas Km. 4+350 - 4+400 | 77 |
| 3.3.1.6 Tramo 06 - Progresivas Km. 5+300 - 5+340 | 84 |
| 3.3.1.7 Tramo 07 - Progresivas Km. 6+475 - 6+518 | 91 |
| 3.4 Tratamiento y análisis de datos y presentación de resultados | 99 |
| 3.5 Alternativas de Solución | 102 |
| 3.5.1 Software empleado para el análisis. | 102 |
| 3.5.2 Solución de los taludes de los tramos críticos | 104 |
| CAPÍTULO IV | 108 |
| ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 108 |
| 4.1 Procesamiento de la Información | 108 |
| 4.2 Discusión y análisis de investigación | 108 |
| 4.3 Contrastación de Hipótesis. | 110 |
| CAPÍTULO V | 111 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 111 |
| 5.1 CONCLUSIONES | 111 |
| 5.2 RECOMENDACIONES..... | 112 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 113 |
| ANEXOS | 116 |

LISTA DE CUADROS

| | Pág. |
|---|------|
| Cuadro N° 1: Norma de clasificación de los suelos. | 7 |
| Cuadro N° 2: Sistema de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.) | 8 |
| Cuadro N° 3: Sistema de clasificación AASHTO | 11 |
| Cuadro N° 4: Sistema de clasificación SUCS y AASHTO..... | 12 |
| Cuadro N° 5: Cuadro de densidades de suelos..... | 21 |
| Cuadro N° 6: Taludes de corte | 26 |
| Cuadro N° 7: Tabla comparativa para el corte y relleno de los taludes..... | 27 |
| Cuadro N° 8: Coordenadas y progresivas del límite de estudio..... | 33 |
| Cuadro N° 9: Ubicación política..... | 34 |
| Cuadro N° 10: Accesos a la zona de estudio, | 35 |
| Cuadro N° 11: Unidades de geomorfología con sus respectivas pendientes..... | 45 |
| Cuadro N° 12: Análisis granulométrico de la calicata M – 01 | 50 |
| Cuadro N° 13: Resultados del primer tramo. | 56 |
| Cuadro N° 14: Análisis granulométrico de la calicata M – 02 | 57 |
| Cuadro N° 15: Resultados del segundo tramo. | 63 |
| Cuadro N° 16: Análisis granulométrico de la calicata M – 03 | 64 |
| Cuadro N° 17: Resultados del tercer tramo. | 70 |
| Cuadro N° 18: Análisis granulométrico de la calicata M – 04 | 71 |
| Cuadro N° 19: Resultados del cuarto tramo. | 77 |
| Cuadro N° 20: Análisis granulométrico de la calicata M – 05 | 78 |
| Cuadro N° 21: Resultados del quinto tramo. | 84 |
| Cuadro N° 22: Análisis granulométrico de la calicata M – 06 | 85 |
| Cuadro N° 23: Resultados del sexto tramo..... | 91 |
| Cuadro N° 24: Análisis granulométrico de la calicata M – 07 | 93 |
| Cuadro N° 25: Resultados del séptimo tramo..... | 99 |
| Cuadro N° 26: Síntesis de Factores de Seguridad en los 7 tramos | 110 |

LISTA DE FIGURAS

Pág.

| | |
|---|----|
| Figura N° 1: Fases del suelo. | 13 |
| Figura N° 2: Esquema de tensiones totales, efectivas y poropresion. | 14 |
| Figura N° 3: Envolventes de Mohr - Coulomb en términos de esfuerzos tangenciales y normales. | 15 |
| Figura N° 4: Tipos de superficies de rotura en suelos. | 18 |
| Figura N° 5: Esquema de un deslizamiento traslacional. | 30 |
| Figura N° 6: Perfil del deslizamiento. | 30 |
| Figura N° 7: Esquema de un deslizamiento rotacional mostrando sus partes y los rasgos morfológicos característicos | 31 |
| Figura N° 8: Mapa de localización de la carretera | 34 |
| Figura N° 9: Gráfico de esfuerzos para el tramo 01. Suelo GM-GC. | 51 |
| Figura N° 10: Gráfico de esfuerzos para el tramo 01. Suelo ML. | 52 |
| Figura N° 11: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 2.431. | 53 |
| Figura N° 12: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 1.612. | 54 |
| Figura N° 13: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 1.648. | 55 |
| Figura N° 14: Gráfico de esfuerzos para el tramo 02. Suelo GM-GC. | 58 |
| Figura N° 15: Gráfico de esfuerzos para el tramo 02. Suelo ML. | 59 |
| Figura N° 16: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 2.560. | 60 |
| Figura N° 17: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 1.798. | 61 |
| Figura N° 18: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 1.785. | 62 |
| Figura N° 19: Gráfico de esfuerzos para el tramo 03. Suelo GM-GC. | 65 |
| Figura N° 20: Gráfico de esfuerzos para el tramo 03. Suelo SM. | 66 |
| Figura N° 21: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.928. | 67 |
| Figura N° 22: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.617. | 68 |
| Figura N° 23: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.943. | 69 |
| Figura N° 24: Gráfico de esfuerzos para el tramo 03. Suelo GM-GC. | 72 |
| Figura N° 25: Gráfico de esfuerzos para el tramo 03. Suelo ML. | 73 |
| Figura N° 26: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 1.347. | 74 |
| Figura N° 27: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.914. | 75 |
| Figura N° 28: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.848. | 76 |
| Figura N° 29: Gráfico de esfuerzos para el tramo 05. Suelo GM-GC. | 79 |

| | |
|---|-----|
| Figura N° 30: Gráfico de esfuerzos para el tramo 05. Suelo ML..... | 80 |
| Figura N° 31: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 1.813 | 81 |
| Figura N° 32: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 1.225 | 82 |
| Figura N° 33: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 1.195 | 83 |
| Figura N° 34: Gráfico de esfuerzos para el tramo 06. Suelo GM-GC | 86 |
| Figura N° 35: Gráfico de esfuerzos para el tramo 06. Suelo MH | 87 |
| Figura N° 36: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.842 | 88 |
| Figura N° 37: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.617 | 89 |
| Figura N° 38: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.568 | 90 |
| Figura N° 39: Gráfico de esfuerzos para el tramo 06. Suelo GM-GC | 94 |
| Figura N° 40: Gráfico de esfuerzos para el tramo 07. Suelo SM | 95 |
| Figura N° 41: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.447 | 96 |
| Figura N° 42: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.287 | 97 |
| Figura N° 43: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.211 | 98 |
| Figura N° 44: Gaviones tipo caja..... | 103 |
| Figura N° 45: Datos necesarios para el análisis de gaviones tipo caja | 104 |
| Figura N° 46: Método Bishop simplificado con banquetas en condiciones de equilibrio limite evalúa el talud con un FS = 1.681..... | 105 |
| Figura N° 47: Método Bishop simplificado con banquetas en condiciones de sismicidad más agua evalúa el talud con un FS = 1.099..... | 106 |

LISTA DE FOTOS

Pág.

| | |
|---|-----|
| Foto N° 1: Deslizamiento rotacional de un suelo Areno-Limoso en el tramo Km 6+475 - 6+518..... | 47 |
| Foto N° 2: Caída de rocas muy alteradas en la progresiva Km 1+390 - 1+460 | 47 |
| Foto N° 3: Reptación de suelo areno-limoso en la progresiva 1+570 - 1+670 | 48 |
| Foto N° 4: Talud inestable sobre deposito Coluvio-Aluvial en la progresiva Km 0+675 - 0+685..... | 49 |
| Foto N° 5: Deslizamiento de roca volcánica de en la progresiva Km 1+390 - 1+460. | 57 |
| Foto N° 6: Vista de un deslizamiento rotacional antiguo en la progresiva Km 1+570 - 1+670 | 64 |
| Foto N° 7: Deslizamiento antiguo de unos 13m de ancho por 12m altura en la progresiva Km 4+100 - 4+120..... | 71 |
| Foto N° 8: Deslizamiento de roca volcánica muy deleznable producto de la alteración en la progresiva Km 4+350 - 4+400..... | 78 |
| Foto N° 9: Roca volcánica andesítica de color amarillento en la progresiva Km 5+300 - 5+340..... | 84 |
| Foto N° 10: Vista panorámica de la zona más crítica de todo el tramo de la carretera donde se aprecia un deslizamiento rotacional en el Km 6+475 - 6+518..... | 92 |
| Foto N° 11: Roca volcánica andesítica alterada con talud inestable en la progresiva Km 6+475 - 6+518 | 92 |
| Foto N° 12: Instalación de Gaviones | 104 |
| Foto N° 13: Bajando ángulo de talud a 45°..... | 106 |
| Foto N° 14: Como se va a colocar los gaviones en este tramo..... | 107 |

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El tramo de la carretera Yauyucan - Cruce Conejo Tranca (km 0+000 – km 6+635) tiene problemas de inestabilidad de taludes, los cuales están relacionados con la litología, estructuras, el comportamiento geomecánico y las precipitaciones, las cuales son analizadas mediante las ciencias geológicas, estructurales y geotécnicas; las que son importantes para la ejecución en los proyectos de carreteras, como es el caso del tramo Yauyucan - Cruce Conejo Tranca, sin embargo siempre será indispensable hacer un estudio de inestabilidad de taludes para asegurar transitabilidad de los vehículos.

Con la evaluación de los taludes en la zona de estudio definiremos que la inestabilidad de taludes está asociado a las características litológicas, estructurales y fundamentalmente la precipitación.

Planteamiento del Problema

La carretera Yauyucan - Cruce Conejo Tranca (Km 0+000 – Km 6+635), está conformado por afloramientos de rocas volcánicas constituidas por derrames andesíticos brechados, medianamente fracturados, en los cuales se evidencia inestabilidad de los taludes con presencia de deslizamientos.

Las continuas vibraciones del paso de vehículos producen movimientos sísmicos pequeños y el alto régimen torrencial de lluvias y la infiltración, producen alteraciones en las propiedades de las rocas disminuyendo los esfuerzos de resistencia como la cohesión y el ángulo fricción interna, los cuales son necesarios para análisis de inestabilidad de los taludes y las alternativas de solución.

Formulación del Problema

¿La inestabilidad de los taludes del tramo de la carretera Yauyucan - Cruce Conejo Tranca está relacionada con las formaciones rocosas y suelos así como con las precipitaciones continuas en la zona?

Objetivos

General

Determinar la inestabilidad de los taludes del tramo de la carretera Yauyucan - Cruce Conejo Tranca y definir alternativas de solución.

Específicos

Determinar el comportamiento geomecánico de las zonas críticas frente a procesos geodinámicos mediante el software Slide.

Identificar zonas de deslizamiento, que permitan definir y cuantificar las principales medidas que deben ser adoptadas para reducir la vulnerabilidad durante la futura ejecución del proyecto.

Analizar el comportamiento de la precipitación en la inestabilidad de taludes.

Plantear obras de arte de ingeniería para mejorar la estabilidad de los taludes.

Hipótesis

La inestabilidad de taludes en el tramo de la carretera Yauyucan - Cruce Conejo Tranca están directamente relacionados con las condiciones litológicas, estructurales y la variable detonante precipitación. La mayor parte del tramo son rocas volcánicas meteorizadas y fracturadas los cuales en época de lluvia se vuelven más inestables.

Alcances

Esta investigación será de modo descriptivo correlacional en donde vamos a determinar la inestabilidad de taludes de zonas puntuales del tramo de la carretera Yauyucan - Cruce Conejo Tranca y analizar su factor de seguridad.

Justificación de la Investigación

La carretera Yauyucan - Cruce Conejo Tranca es la única entrada hacia el distrito de Yauyucan en dirección Cajamarca-Yauyucan y es la más transitada. Con realización de esta tesis y los resultados que se obtengan serán de gran importancia para conocer con el mayor detalle las zonas inestables de la carretera, información que servirá para complementar el proyecto: “Mejoramiento de la transitabilidad a nivel de asfaltado bicapa desde la localidad de Yauyucan, hasta el cruce Conejo Tranca distrito de Yauyucan, provincia de Santa Cruz departamento de Cajamarca.”. Se efectúa esta investigación en vista de que no se cuenta con un estudio a detalle de este tramo y que se pueda dar una solución a los problemas de inestabilidad de taludes que se presentan y sean tomados en cuenta en la futura ejecución del proyecto, beneficiando a los pobladores de la zona.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Teóricos de la Investigación

No se han encontrado estudios locales sobre inestabilidad de taludes para la zona de Cajamarca-Santa Cruz. A nivel regional tenemos que el INGEMMET brinda información de años anteriores y recientes; para el análisis e interpretación de las áreas o zonas en que han investigado.

Entre las investigaciones relacionadas con la inestabilidad de taludes y movimientos de masas tenemos:

- Mancera Alejándrez, J. (2010). En su tesis “Estudio para la estabilización de corte ubicado en el lado izquierdo de la carretera federal N°. 54 Guadalajara -Saltillo, en el subtramo Guadalajara – Ixtlahuacán del río, estado de Jalisco”. Hizo un estudio de un talud ubicado en el lado izquierdo subtramo Km 17+200 al Km 18+000 de la carretera federal Guadalajara-Saltillo a corto plazo el cual presenta mecanismos de falla Además concluye que el agua es un factor decisivo para que el talud sea inestable, tipificando al tramo como medio a alto riesgo de inestabilidad.
- Granados López, AR. (2006). En su tesis “Estabilización del talud de la Costa Verde en la zona del distrito de Barranco”. Desarrolló el análisis y diseño de ingeniería, así como la propuesta de una solución para estabilizar bajo las condiciones críticas de un sismo en un tramo representativo de 560 metros de longitud del talud de la Costa Verde

- INGEMMET, (2011). en el Boletín N° 44 Serie C “Riesgo geológicos en la región Cajamarca”. Evaluó la ocurrencia de peligros geológicos (movimientos en masa e inundaciones y erosión fluvial), en términos de susceptibilidad así mismo analizó los factores detonantes precipitaciones y sismicidad para determinar el grado de peligrosidad a lo que están expuestas las infraestructuras, poblaciones urbanas, rurales, y áreas agrícolas existentes en la región, de manera de que se identifiquen las zonas críticas y sirva como prevención de desastres en zonas locales y con toda la data recolectada terminó de realizar la cartografía e inventario sistemático de peligros geológicos de la región.
- Montoya Toroverero, FR. (2014). En su tesis “Evaluación Geotécnica de los Taludes de la carretera Cruz Blanca – El Gavilán”. Analiza la inestabilidad de los taludes de la carretera, teniendo en cuenta el contexto geológico local, regional y su relación estrecha que existen con los agentes geodinámicos, además se establece las diferencias entre los factores de seguridad de los taludes calculados con esfuerzos totales, efectivos y un factor sísmico. También identifica zonas críticas altamente peligrosas, sectorizando y caracterizando por tramos los problemas de índole geotécnico.
- Ocon Paico, V. (2015). En su tesis “Evaluación Geotécnica de inestabilidad de taludes en carrera Hualgayoc - Apan Alto”. Realizó el cartografiado litomorfoestructural a lo largo de todo el tramo de carretera, con fines de investigación: geomecánica y geotécnica, identificando zonas críticas conformadas por rocas y suelos, para las zonas conformadas por rocas se caracterizó geomecánicamente según el método: RMR - Bieniawski 1989, RQD - Deere 1967 y GSI - Hoek 1994, y para los taludes conformados por suelos realizó toma de muestras para su posterior análisis en laboratorio de mecánica de suelos. Y generó la base de datos para la aplicación del programas informáticos geotécnicos Slide v.6.0 y RocData v.4.0.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Descripción y Clasificación de los Suelos.

Para estudiar un material complejo como es el suelo, donde encontramos diferente tamaño de partículas y composición química; es necesario seguir una metodología con definiciones y sistemas de evaluación de propiedades, de forma que se constituya un lenguaje fácilmente comprensible por los técnicos de diferentes especialidades y países. Así, se han clasificado los suelos en cuatro grandes grupos en función de su granulometría (Norma MIT. Cuadro N° 1):

Gravas, con tamaño de grano entre unos 8-10 cm y 2 mm; se caracterizan porque los granos son observables directamente. No retienen el agua por la inactividad de su superficie y los grandes huecos existentes entre partículas.

Arenas, con partículas comprendidas entre 2 y 0,060 mm, todavía son observables a simple vista. Cuando se mezclan con el agua no se forman agregados continuos, sino que se separan de ella con facilidad.

Limos, con partículas comprendidas entre 0,060 y 0,002 mm (algunas normativas indican que este último valor debe de ser 0,005 mm, pero no hay apenas consecuencias prácticas entre ambas distinciones). Retienen el agua mejor que los tamaños superiores. Si se forma una pasta agua-limo y se coloca sobre la mano, al golpear con la mano se ve cómo el agua se exhuda con facilidad.

Arcillas, formadas por partículas con tamaños inferiores a los limos (0,002 mm). Se trata ya de partículas tamaño gel y se necesita que haya habido transformaciones químicas para llegar a estos tamaños. Están formadas, principalmente, por minerales silicatados, constituidos por cadenas de elementos tetraédricos y octaédricos (el ión silicio se encuentra en el centro de cada una de estas estructuras regulares), unidas por enlaces covalentes débiles, pudiendo entrar las moléculas de agua entre las cadenas produciendo, a veces, aumentos de volumen (recuperables cuando el agua se evapora). Todo ello hace que la capacidad de retención del agua sea muy grande (pequeños huecos con una gran superficie de

absorción en las partículas y una estructura que permite retener el agua), por lo que son generalmente los materiales más problemáticos (tiempos muy elevados de consolidación o de expulsión de agua bajo esfuerzos).

Cuadro N° 1: Norma de clasificación de los suelos.

M.I.T. y NORMAS BRITANICAS

| ARCILLA | LIMO | | | ARENA | | | GRAVA |
|---------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|
| | Fino | Medio | Grueso | Fina | Media | Gruesa | |
| 0.002 | 0.006 | 0.02 | 0.06 | 0.2 | 0.6 | 2 | |

MIT (Massachusetts Institute of Technology)

2.2.1.1 Clasificación SUCS

El “Sistema Unificado de Clasificación de Suelos” deriva de un sistema desarrollado por A. Casagrande para agrupar e identificar en forma rápida en obras militares durante la guerra y es la clasificación más usada actualmente y que las siglas en ingles son USCS (Unified Soil Classification System), también denominada Clasificación ASTM o de Casagrande modificada.

En primera instancia este sistema divide los suelos en dos grandes grupos: de grano grueso y de grano fino. Pertenecen al primero aquellos suelos que cuentan con más del 50 % que se retiene en peso de partículas de tamaño mayor a 0,080 mm. O llamados también suelos granulares se designan con estos símbolos.

Para suelos Granulares o de grano grueso: Los prefijos que representan por el símbolo “G” (de gravas) si más de la mitad de las partículas gruesas son retenidas en tamiz 5 mm, y por el símbolo “S” (de arenas, en inglés) sí más de la mitad de las mismas pasa por tamiz 5 mm.

Cuadro N° 2: Sistema de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.)

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S.)

INCLUYENDO IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN

| DIVISIÓN MAYOR | SIMBOLO | NOMBRES TÍPICOS | CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO | |
|---|---|--|---|--|
| SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 [⊕] Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 [⊕] son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista. GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4 PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE 1/2 cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4 ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4 | GW Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos | GP Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos | COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD C_u : mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA C_c : entre 1 y 3. $C_u = D_{60} / D_{10}$ $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$ NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW. | |
| | | | | GM Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo |
| | GC Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla | LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7. | $C_u = D_{60} / D_{10}$ mayor de 6; $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$ entre 1 y 3. | |
| | SW Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos. | SP Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos. | | No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW |
| | SM Arenas limosas, mezclas de arena y limo. | | LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4. | Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles. |
| | SC Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla. | LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7. | | |
| | SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 [⊕] Las partículas de 0.074 mm de diámetro (la malla No. 200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista. LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor de 50 LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido Mayor de 50 SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS | ML Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos. | G—Grava, S—Arena, O—Suelo Orgánico, P—Turba, M—Limo C—Arcilla, W—Bien Graduada, P—Mal Graduada, L—Baja Compresibilidad, H—Alta Compresibilidad | |
| | | CL Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres. | <div style="text-align: center;"> CARTA DE PLASTICIDAD (S.U.C.S.) </div> | |
| | | OL Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad. | | |
| | | MH Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos. | | |
| CH Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas. | | | | |
| OH Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad. | | | | |
| P Turbas y otros suelos altamente orgánicos. | | | | |

** CLASIFICACIÓN DE FRONTERA - LOS SUELOS QUE POSEAN LAS CARACTERÍSTICAS DE DOS GRUPOS SE DESIGNAN CON LA COMBINACIÓN DE LOS DOS SÍMBOLOS; POR EJEMPLO GW - GC, MEZCLA DE ARENA Y GRAVA BIEN GRADUADAS CON CEMENTANTE ARCILLOSO.

⊕ TODOS LOS TAMAÑOS DE LAS MALLAS EN ESTA CARTA SON LOS U.S. STANDARD

* LA DIVISIÓN DE LOS GRUPOS GM Y SM EN SUBDIVISIONES d Y u SON PARA CAMINOS Y AEROPUERTOS UNICAMENTE, LA SUBDIVISIÓN ESTA BASADA EN LOS LÍMITES DE ATTERBERG EL SU FIJO d SE USA CUANDO EL L.L. ES DE 28 O MENOS Y EL I.P. ES DE 6 O MENOS. EL SUFIJO u ES USADO CUANDO EL L.L. ES MAYOR QUE 28.

Fuente: Eliud, C. (s.f.)

A la "G" o a la "S" se les agrega una segunda letra que describe la graduación y la presencia de finos o llamados sufijos (partículas de tamaño inferior a 0.080 mm), donde los sufijos W, P, M y C. Donde sí menos del 5% pasa el T200, los sufijos son

W o P, según los valores de Cu y Cc. Si más del 12% pasa el T# 200, los sufijos son M o C, dependiendo de W_L e IP. Si el porcentaje de finos está entre el 5% y el 12%, se utilizan sufijos dobles (clase intermedia).

Donde:

- “W” para suelos con buena graduación, con poco o ningún fino.
- “P” para suelos de graduación pobre, uniforme o discontinua con poco o ningún fino
- “M” para suelos que contienen limo o limo y arena
- “C” para suelos que contienen arcilla o arena y arcilla.

Para suelos finos o de grano fino: Los prefijos se designan con estos símbolos los prefijos son M (Limo), C (Arcilla) y O (Orgánico) y los sufijos L (Baja plasticidad) y H (Alta plasticidad), Ambos en la carta de plasticidad separados por la línea B.

2.2.1.2 Clasificación de la AASHTO.

Este es el sistema del Departamento de Caminos de U.S.A., introducido en 1929 y adoptado por la “American Association of State Highway Officials” entre otras. Es de uso especial para la construcción de vías, en especial para manejo de subrasantes y terraplenes. Los grupos de suelos son 7, subdivididos en otros más (para llegar a 12)

Este es el sistema del Departamento de Caminos de U.S.A., introducido en 1929 y ha sido en Estados Unidos donde se han desarrollado la mayor parte de clasificaciones empíricas de suelos. Una de las más populares en carreteras es la empleada por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), y que fue originalmente desarrollada por los ilustres geotécnicos Terzaghi y Hogentogler para el Bureau of Public Roads norteamericano.

Inspirada en el modelo de Casagrande, considera siete grupos básicos de suelos, numerados desde el A-1 hasta el A-7. A su vez, algunos de estos grupos presentan subdivisiones; así, el A-1 y el A-7 tienen dos subgrupos y el A-2, cuatro.

Los únicos ensayos necesarios para encuadrar un suelo dentro de un grupo u otro son el análisis granulométrico y los límites de Atterberg. Si queremos determinar su posición relativa dentro del grupo, es necesario introducir el concepto de índice de grupo (IG), expresado como un número entero con un valor comprendido entre 0 y 20 en función del porcentaje de suelo que pasa a través del tamiz #200 ASTM (0.080 UNE):

a) Grueso granulares: 35% o menos pasa el T-200 comprende.

A-1 Gravas y Arenas

A-2 Gravas limosas o arcillosas, Arenas limosas o arcillosas

A-3 Arenas finas

b) Suelos fino granulares (grupo limo arcilla): más del 35% pasa el T-200.

A-4 Suelos limosos

A-5 Suelos limosos

A-6 Suelos arcillosos

A-7 Suelos arcillosos

Para la evaluación de la calidad de un suelo como material para subrasante de carreteras, se incorpora también un número llamado índice de grupo (GI) junto con los grupos y subgrupos del suelo. Este número se escribe en paréntesis después de la designación de grupo o de subgrupo. El índice de grupo está dado por la ecuación

$$GI = (F - 35) [0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(PI - 10) \quad \text{Ec: 1}$$

Donde F = por ciento que pasa la malla No. 200

 LL = límite líquido

 PI = índice de plasticidad.

- Si la ecuación (1) da un valor negativo para GI, éste se toma igual a 0.
- El índice de grupo calculado con la ecuación (1) se redondea al número entero más cercano (por ejemplo, GI = 3.4 se redondea a 3; GI = 3.5 se redondea a 4).
- No hay un límite superior para el índice de grupo.
- El índice de grupo de suelos que pertenecen a los grupos A-I-a, A-I-b, A-2-4, A-2-5, y A-3 siempre es 0.
- Al calcular el índice de grupo para suelos que pertenecen a los grupos A-2-6 y A-2-7, use el índice de grupo parcial para PI. O
- El valor del IG debe ir siempre en paréntesis después del símbolo de grupo.
- Cuando el suelo es NP (no plástico) o el LL no puede ser determinado, el IG es cero.
- Si un suelo es altamente orgánico, se debe clasificar como A-8 por inspección visual y diferencia en humedades.

En el siguiente cuadro se muestra la tabla de clasificación de suelos AASHTO, en la que se recogen todas las características exigibles a cada grupo -y subgrupo, en el caso de que exista- de suelo.

Cuadro N° 3: Sistema de clasificación AASHTO

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS AASHTO

| Clasif. General | Materiales Granulares (35% o menos pasa la malla n° 200) | | | | | | Limos y Arcillas (35% pasa malla n° 200) | | | | |
|--------------------|---|-----------|------------|--------------------------------------|-----------|-----------|--|----------------|--------|-------------------|-------------|
| Grupos | A - 1 | | A - 3 | A - 2 | | | | A - 4 | A - 5 | A - 6 | A - 7 |
| Subgrupos | A - 1 - a | A - 1 - b | | A - 2 - 4 | A - 2 - 5 | A - 2 - 6 | A - 2 - 7 | | | | A-7-5/A-7-6 |
| % que pasa tamiz | | | | | | | | | | | |
| N° 10 | 50 máx | | | | | | | | | | |
| N° 40 | 30 máx | 50 máx | 51 mín | | | | | | | | |
| N° 200 | 15 máx | 25 máx | 10 máx | 35 máx | 35 máx | 35 máx | 35 máx | 36 mín | 36 mín | 36 mín | |
| Caract. Bajo N° 40 | | | | | | | | | | | |
| LL | | | | 40 máx | 41 mín | 40 máx | 41 mín | 40 máx | 41 mín | 40 máx | 41 mín |
| IP | 6 máx | 6 máx | NP | 10 máx | 10 máx | 11 mín | 11 mín | 10 máx | 10 máx | 11 mín | 11 mín |
| IG | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 máx | 4 máx | 8 máx | 12 máx | 16 máx | 20 máx |
| Tipo de material | Gravas y Arenas | | Arena fina | Gravas y arenas limosas y arcillosas | | | | Suelos Limosos | | Suelos arcillosos | |
| Terreno fundación | Excelente | | Excelente | Excelente a bueno | | | | Regular a malo | | | |

El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es menor o igual a (LL-30)
 El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor a (LL-30)

Cuadro N° 4: Sistema de clasificación SUCS y AASHTO

| SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|---|---|---|--|--|--|--|--|--|
| INCLUYENDO IDENTIFICACION Y DESCRIPCION | | | | | | | | | | | |
| | | | | SUCS | AASHTO | | | | | | |
| PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACIÓN EN EL CAMPO (Excluyendo las partículas mayores de 7.5 cm (3") y basando las fracciones en pesos estimados) | | | | SIMBOLOS DEL GRUPO | SIMBOLOS DEL GRUPO | NOMBRES TIPICOS | | | | | |
| SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla N° 200 (Las partículas más pequeñas visibles a simple vista) | SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida en la malla N° 4 | GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida en la malla N° 4 | GRAVAS CON LIMPIAS (Poco o nada de partículas finas) | Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios | GW | A-1-a | Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, con poco o nada de finos | | | | |
| | | | | Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios | GP | A-1-a | Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena, con poco o nada de finos | | | | |
| | | | | Fracción fina poco o nada plástica (para identificación véase grupo ML abajo) | GM | A-1-b | Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo | | | | |
| | | | | Fracción fina plástica (Para identificación véase grupo CL abajo) | GC | A-1-b | Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla | | | | |
| | | | | Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios | SW | A-1-b | Arenas bien graduadas, arenas con grava, con poco o nada de finos | | | | |
| | | | | | Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios | SP | A-1-b / A-3 | Arenas mal graduadas, arenas con grava, con poco o nada de finos | | | |
| | | | | Fracción fina poco o nada plástica (para identificación véase grupo ML abajo) | SM | A-2-4 / A-2-5 | Arenas limosas, mezclas de arena y limo | | | | |
| | | | | Fracción fina plástica (Para identificación véase grupo CL abajo) | SC | A-2-6 / A-2-7 | Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla | | | | |
| | | | | SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material pasa la malla N° 200 (Las partículas de 0.074 mm de diámetro) | SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla N° 4 | ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla N° 4 | ARENAS CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas) | PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACION EN LA FRACCION QUE PASA LA MALLA N° 40 | | | |
| | | | | | | | | LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido menor de 50 | RESISTENCIA EN ESTADO SECO (características al | DILATANCIA (Reacción al agitado) | TENACIDAD (Consistencia cerca del |
| Nula o ligera | Rápida o lenta | Nula | ML | | | | | | A-4 | Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos | |
| Media a alta | Nula a muy lenta | Media | CL | | | | | | A-6 | Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres | |
| LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido mayor de 50 | LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido mayor de 50 | Ligera a media | Lenta | | | | | Ligera | OL | A-4 | Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad |
| | | Ligera a media | Lenta a nula | | | | | Ligera a media | MH | A-5 | Limos inorgánicos, limos micáceos o diatómáceos, limos elásticos |
| | | Alta a muy alta | Nula | | | | | Alta | CH | A-7-6 | Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas |
| | | Media a alta | Nula a muy lenta | Ligera a media | OH | A-7-5 | Arcillas orgánicas de media a alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad | | | | |
| SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS | | | | Fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa | PT | A-8 | Turba y otros suelos altamente orgánicos | | | | |

Fuente: Burnham, SW. (s.f.). Descargado de <http://www.cbrplusllc.com>

2.2.2 Tensiones Efectivas.

El suelo es un material compuesto por un conjunto de partículas entre las que existen huecos o poros. En el caso más general. El suelo puede contener tres fases distintas como se aprecia en la figura N° 1

- Fase sólida: partículas.
- Fase líquida: agua, relleno total o parcial-mente los poros.
- Fase gaseosa: aire, ocupando total o parcial-mente los poros.

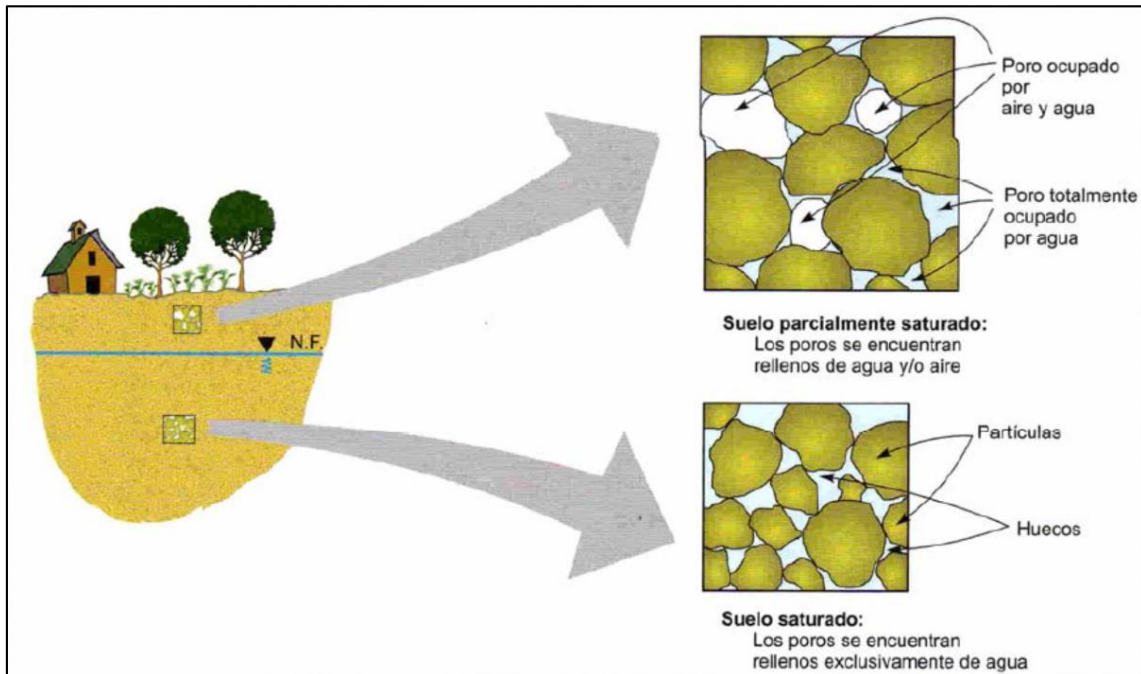


Figura N° 1: Fases del suelo.

Fuente: Gonzáles de Vallejo, LI. (2004)

De este carácter multifásico deriva la principal dificultad para comprender el comportamiento del suelo frente a sollicitaciones externas, ya que su respuesta depende de la compleja interacción entre las diversas fases que lo componen. Si se observa «a escala microscópica» el proceso de sedimentación natural de un suelo (suponiendo que está formado por partículas granulares) se comprobaría que sus granos tienden a agruparse formando «cadenas», preferentemente subverticales. Si además se observa cómo se transmiten las fuerzas existentes (básicamente las debidas a la gravedad: el peso del suelo), se comprobaría que dicha transmisión se produce precisamente a través de los contactos grano-grano de estas cadenas, y que las partículas situadas fuera de ellas apenas reciben o transmiten carga alguna. Si sobre el suelo anterior se añaden nuevos esfuerzos, bien debidos a nuevos procesos geológicos o a la actividad constructiva, éste podrá tender hacia un nuevo estado, representado por una nueva estructura y nuevas direcciones preferenciales. Admitiendo que las partículas del suelo y el agua son

indeformables, lo que a efectos prácticos y para los niveles de tensiones de las actividades constructivas habituales es aceptable, la nueva estructura corresponderá a un nuevo ordenamiento de partículas que habrán deslizado y rodado unas sobre otras hasta alcanzar el nuevo estado.

2.2.2.1 Principio de tensiones efectivas

En cualquier punto y dirección de un suelo saturado existe una tensión total (σ) y una presión intersticial (μ), esta última corresponde a la de la fase líquida.

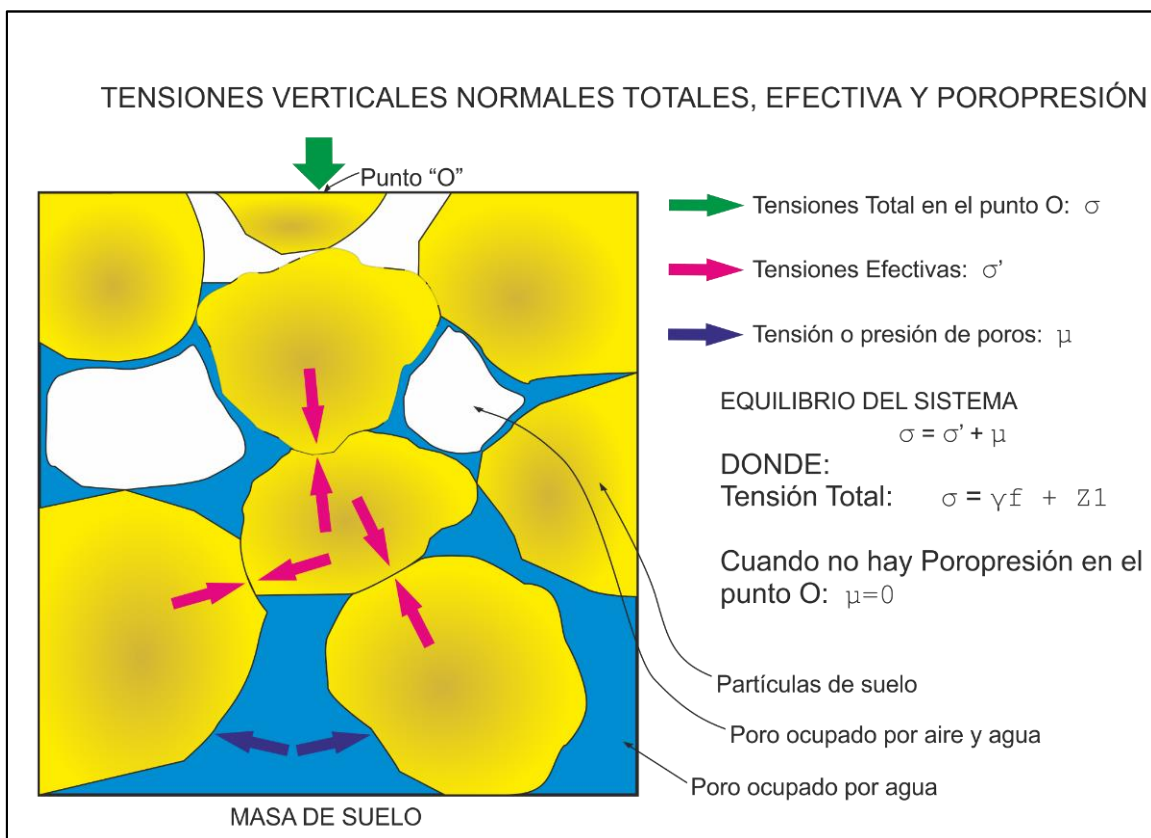


Figura N° 2: Esquema de tensiones totales, efectivas y poropresión.

Con estas variables y en el marco de los suelos saturados, se define tensión efectiva (σ') como la diferencia entre el valor de la tensión total y la presión intersticial:

$$\sigma' = \sigma - \mu$$

Esta variable, obtenida por Terzaghi, es quizá la más importante de la Mecánica de Suelos, ya que controla en gran medida la compresión del esqueleto y la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo. Así el principio de Terzaghi o de principio de tensiones efectivas, ampliamente demostrado experimentalmente, enuncia que un terreno sólo se deforma si varían sus tensiones efectivas.

2.2.2.2 Criterios de Mohr – Coulomb

El criterio de rotura Mohr – Coulomb, fue propuesto por primera vez por Coulomb en el año 1773, inicialmente pensado para el estudio en suelos, siendo un criterio lineal. Este criterio expresa la resistencia al corte a lo largo de un plano en un estado triaxial de tensiones, obteniéndose la relación entre los esfuerzos normal y tangencial actuantes en el momento de la rotura mediante la expresión matemática:

$$\tau = c + \sigma_n \tan \phi \quad \text{Ec: 2}$$

Donde:

τ y σ_n son las tensiones tangencial y normal sobre el plano de rotura c y ϕ son la cohesión y ángulo de rozamiento de la matriz rocosa.

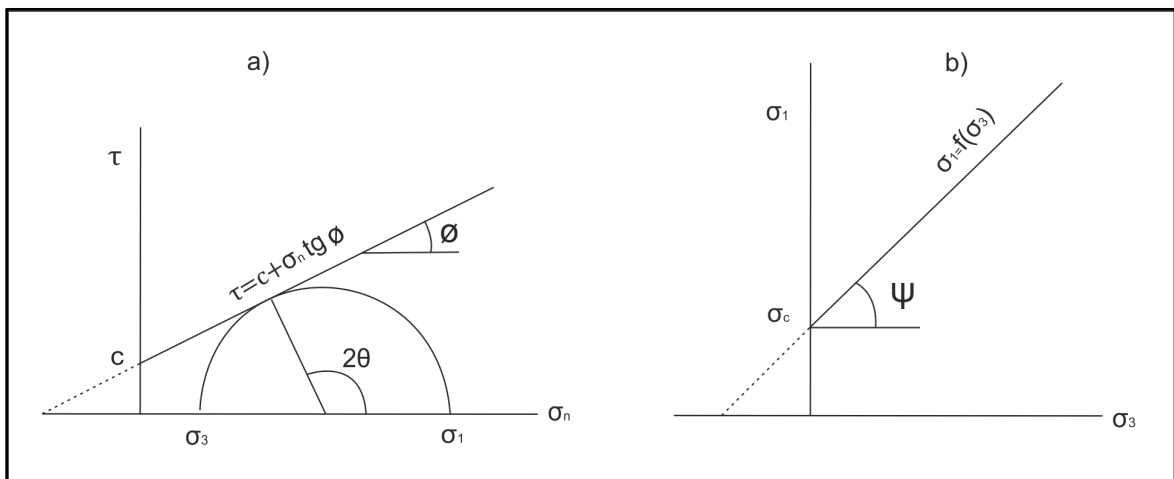


Figura N° 3: Envolturas de Mohr - Coulomb en términos de esfuerzos tangenciales y normales.

Fuente: Gonzáles de Vallejo, LI. (2004)

El criterio de Mohr-Coulomb implica que tiene lugar una fractura por corte al alcanzarse la resistencia de pico del material. La gran ventaja de este criterio es su sencillez. Sin embargo presenta inconvenientes debido a que:

- Las envolventes de la resistencia en roca no son lineales; se ha comprobado experimentalmente que la resistencia de las rocas aumenta menos con el incremento de la presión normal de confinamiento que lo obtenido al considerar una ley lineal, lo que puede implicar errores al considerar los esfuerzos actuantes, sobre todo en zonas de bajos esfuerzos confinantes como se muestra en la Figura 3. Donde (a) y esfuerzos principales (b). Para un estado tensional situado por debajo de las rectas o envolventes no se producirá la rotura (González de Vallejo, LI. 2004)
- La dirección del plano de la fractura según este criterio no siempre coincide con los resultados experimentales.
- El criterio sobrevalora la resistencia a la tracción.

2.2.3 Análisis de Taludes

Los criterios descriptivos sobre la estabilidad de taludes son de al menos desde la mitad del siglo XIX. Una obra que se destaca para esa época es la del ingeniero francés Alexander Collin de 1846 titulada Investigación experimental de deslizamientos espontáneos en suelos arcillosos, tomando en cuenta algunos principios de mecánica terrestre (Experimental research on spontaneous landslides in clay soils, together with considerations on some principles of terrestrial mechanics).

Sin embargo, son alrededor de los 100 años que pasaron desde los primeros intentos en 1961 para determinar la estabilidad de estos cortes (taludes) a través de un proceso de matematización. En ese entonces, esta solución cuantitativa se lograba por métodos de cálculo a mano.

De este proceso, finalmente se dio lugar al método de equilibrio límite conocido como el método sueco, también llamado método ordinario o método de Fellenius; publicado primero en idioma sueco en 1918, luego en idioma alemán en 1927 y finalmente en idioma inglés en 1936.

Con el inicio de la era de las computadoras en los años 50 del siglo XX, pero extensivo a finales de la década de los 60 y todos los 70, la tarea de cálculo a mano fue acelerada con la publicación de tablas y ábacos de diseño a través de la variable llamada coeficiente de estabilidad (e.g. ábacos de Bishop y Morgenstern, o de Hoek & Bray. Asimismo, la investigación en este campo fue direccionada a la creación de algoritmos más eficientes y más generales. En aquellos tiempos, los algoritmos de análisis de estabilidad de taludes fueron considerados programas altamente complicados, e inclusive se consideró el más complicado que se haya escrito para un computador de origen británico (Ludger O. Suárez-Burgoa 2016)

2.2.3.1 Análisis de Taludes en Suelos

Los taludes en suelos rompen generalmente a favor de superficies curvas, con forma diversa condicionada por la morfología y estratigrafía del talud, Puede ser aproximadamente circular (la más frecuente), con su extremo inferior en el pie del talud, (deslizamiento de pie), cuando éste está formado por terreno homogéneo o por varios estratos de propiedades geotécnicas homogéneas.

Las roturas de taludes en suelos a favor de un único plano paralelo al talud son prácticamente inexistentes. Aunque este modelo puede ser válido en el caso de laderas naturales con recubrimientos de suelos sobre rocas (Figura 4 a) o en el caso de taludes rocosos, donde la presencia de discontinuidades paralelas al talud puede definir superficies de roturas planas, aunque en general éstas no alcanzan la cabecera del talud. El modelo del talud «infinito», (su longitud puede considerarse infinita con respecto al espesor de la masa que rompe) puede adoptarse en muchas laderas naturales donde la superficie de rotura está definida por el contacto, prácticamente paralelo al talud, entre el terreno superficial (coluvial o suelo residual) y la roca subyacente.

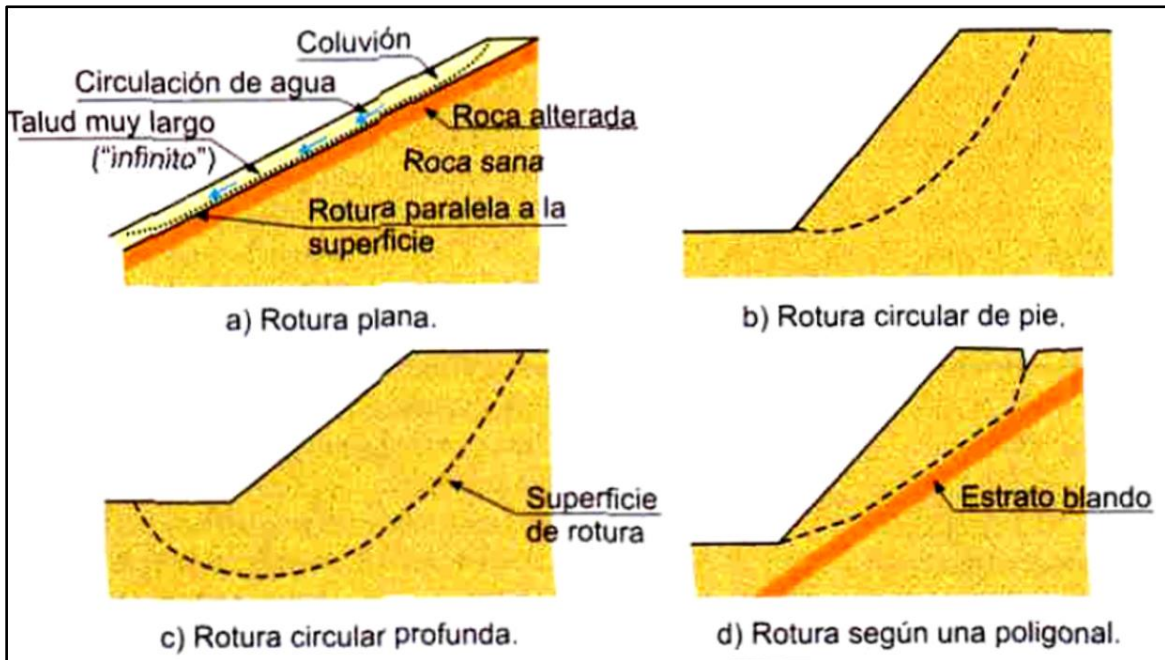


Figura Nº 4: Tipos de superficies de rotura en suelos.

Fuente: Gonzáles de Vallejo, LI. (2004)

Como métodos clásicos para análisis de estabilidad en suelos se pueden considerar:

- El análisis de roturas planas en taludes «infinitos».
- El análisis de varios bloques de terreno que interaccionan entre sí. aplicable a superficies de rotura de tipo poligonal (método de las cuñas).
- Los métodos que analizan el equilibrio total de una masa deslizante, de desarrollo circular o logarítmico, para análisis de roturas curvas.
- Los métodos de rebanadas.

Método de las Dovelas. Método de Bishop

La hipótesis de Taylor asume que las tensiones normales en la superficie de rotura están concentradas en un único punto, lo que supone un cierto error, aunque, en general, queda del lado de la seguridad. Además, el ábaco de Taylor solo permite introducir la presencia de agua en el caso de suelo homogéneo y nivel freático horizontal. Para evitar estos inconvenientes.

Bishop desarrolló en 1955 un método de las dovelas o «de rebanadas», el cual tiene las siguientes hipótesis, y además se consideraron las propiedades mecánicas de los suelos, como se indican a continuación:

- Se supone una superficie de rotura circular.
- La masa deslizante se divide en n rebanadas o fajas verticales.
- Se establece el equilibrio de momentos de las fuerzas actuantes en cada rebanada respecto al centro del círculo.
- De la condición de equilibrio de fuerzas verticales en cada rebanada se obtienen las fuerzas N (normales a la superficie de rotura) y se sustituyen en la ecuación resultante de equilibrio de momentos.
- El método de Bishop simplificado (el más conocido y utilizado) supone, además, que las fuerzas de contacto entre cada dos rebanadas no influyen, por estar equilibradas.
- Se obtiene, así, la expresión del coeficiente de seguridad. F , de la superficie considerada.

Resistencia al Cortante

La resistencia al cortante se define como el máximo valor de esfuerzo cortante que el suelo puede soportar. Los dos tipos de resistencia al cortante utilizados en el análisis de estabilidad son: la resistencia no-drenada y la resistencia drenada. La resistencia no-drenada se utiliza en análisis con esfuerzos totales mientras la resistencia drenada se utiliza en análisis con esfuerzos efectivos.

La forma más común de obtener los parámetros de resistencia al corte, son los ensayos de laboratorio. No obstante, los valores de resistencia al cortante determinado en los ensayos de laboratorio, dependen de factores tales como la calidad de las muestras, su tamaño y el método de ensayo.

Ángulo de Fricción

Es la representación matemática del coeficiente de rozamiento, el cual es un concepto básico de la física:

$$\text{Coeficiente de rozamiento} = \text{Tan } \phi$$

El ángulo de fricción en suelos granulares secos coincide con el ángulo de reposo. Todos los suelos poseen fricción. Sin embargo, a los suelos arcillosos con fricción muy baja o despreciable, se les denomina suelos cohesivos $\phi = 0$

Cohesión

Es la adherencia de los fragmentos, partículas o granos de las rocas, que ejercen unos a otros ayudados por la matriz o cementante. La cohesión en la mecánica de suelos, es utilizada para representar la resistencia al cortante producida por la cementación entre las partículas, un suelo sin cohesión pierde completamente su resistencia al corte y pasa a comportarse como un fluido. Un ejemplo típico de este caso son las arenas movedizas.

En los suelos granulares en los cuales no existe ningún tipo de cementante o material que pueda producir adherencia, la cohesión se supone igual a cero y a estos suelos se les denomina suelos friccionantes o “no cohesivos” ($C = 0$).

Y para los datos anteriores se usaron tablas de datos como se muestra en el Cuadro N° 5.

Cuadro N° 5: Cuadro de densidades de suelos.

| DENSIDADES DE SUELOS. | | | | | | | | | |
|------------------------|------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------|--|----------------|---------------|--------------------|----------------------|
| COMPONENTE MAYORITARIO | SUCS | CARACTERÍSTICAS | DENSIDAD SECA (Kg/m ³) | POROSIDAD | DENSIDAD SATURADA (Kg/m ³) | COHESION (Kpa) | TENSION (Kpa) | ÁNGULO DE FRICCIÓN | ÁNGULO DE DILATACIÓN |
| Grava | GW | Bien gradada, fina a gruesa grava | 2000 | 0.5 | 2500 | 0 | 0 | 40 | 0 |
| | GP | Pobremente gradada | 2000 | 0.5 | 2500 | 0 | 0 | 38 | 0 |
| | GM | Grava limosa | 2100 | 0.5 | 2600 | 0 | 0 | 36 | 0 |
| | GC | Grava arcillosa | 2100 | 0.5 | 2600 | 0 | 0 | 34 | 0 |
| | | Uniforme | 1600 | 0.5 | 2100 | 0 | 0 | 34 | 0 |
| | | Arenosa con pocos finos | 2100 | 0.5 | 2600 | 0 | 0 | 35 | 0 |
| | GM-CL | Arenosa con limo o arcillas | 2100 | 0.5 | 2600 | 1 | 0 | 35 | 0 |
| | Combinación de grava y arena | 2000 | 0.5 | 2500 | 3 | 0 | 38 | 0 | |
| Arena | SW | Bien gradada gruesa | 1600 | 0.5 | 2100 | 0 | 0 | 38 | 0 |
| | SW | Bien gradada fina | 1800 | 0.5 | 2300 | 0 | 0 | 33 | 0 |
| | SP | Pobremente gradada | 1600 | 0.5 | 2100 | 0 | 0 | 36 | 0 |
| | SM | Arena limosa | 1600 | 0.5 | 2100 | 0 | 0 | 34 | 0 |
| | SC | Arena arcillosa | 1600 | 0.5 | 2100 | 0 | 0 | 32 | 0 |
| | | Uniforme-fina | 1600 | 0.5 | 2100 | 0 | 0 | 32 | 0 |
| | Uniforme-gruesa | 1600 | 0.5 | 2100 | 0 | 0 | 34 | 0 | |
| Limo | ML | Baja plasticidad | 1750 | 0.5 | 2000 | 2 | 0 | 28 | 0 |
| | MH | Media a Alta plasticidad | 1700 | 0.5 | 2200 | 3 | 0 | 25 | 0 |
| Arcilla | CL | Baja plasticidad | 1900 | 0.5 | 2400 | 6 | 0 | 24 | 0 |
| | CL-CH | Mediana plasticidad | 1800 | 0.5 | 2300 | 8 | 0 | 20 | 0 |
| | CH | Alta plasticidad | 1650 | 0.5 | 2150 | 10 | 0 | 17 | 0 |
| | OL-OH | Limo o arcilla orgánica | 1550 | 0.5 | 2050 | 7 | 0 | 20 | 0 |

Fuente: Itasca. (2000)

2.2.3.2 Análisis de Estabilidad.

El análisis de estabilidad se aplica al diseño de taludes cuando estos presentan problemas de inestabilidad, en el cual se debe elegir un coeficiente de seguridad adecuado, dependiendo de la finalidad de la excavación y del carácter temporal o

definitivo del talud, combinando los aspectos de seguridad, costos de ejecución, consecuencias o riesgos que podrían causar su rotura.

Basándose en un método de análisis de inestabilidad en un planeamiento físico-matemático en la que se intervienen las fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras que interactúan sobre el talud y que determinan su comportamiento y condiciones de estabilidad. Se pueden agrupar en:

Métodos determinísticos: Si el talud tiene un factor de seguridad mayor a 1 se espera que el mismo sea estable, mientras que si el talud tiene un factor de seguridad menor o igual a 1 se espera que este sea inestable. Se asume un análisis determinista cuando se tiene como respuesta un solo factor de seguridad, que es resultado de dar también un solo valor a cada una de las variables de entrada del modelo. Sin embargo, se reconoce que existen muchas incertidumbres en la estimación de las variables de entrada de estos modelos. La variabilidad y la incertidumbre de los parámetros de la resistencia a corte del material se deben a la variación del suelo en el espacio, y a los diferentes sesgos y propagación de errores que se pudieron haber producido en su determinación a través de los ensayos de campo y ensayos de laboratorio, así como a las consideraciones de la escala del problema analizado. Por ejemplo, los niveles de las aguas subterráneas tienen una variación espacial y una variación temporal.

Todas estas incertidumbres y variabilidades atentan contra el concepto de precisión del valor del factor de seguridad, aun cuando el modelo analítico-numérico tenga todas las consideraciones físicas válidas y completas para representar el modelo. Es por estas razones que se observa que algunos taludes con un factor de seguridad de por ejemplo 0:9 no se rompen todavía, y otro con un factor de seguridad calculado de 1:1 si se rompe. En las normas se establecen valores del factor de seguridad de diseño de 1:2 y 1:5 como valores para dar al ingeniero un colchón conservador contra toda esta incertidumbre y variabilidad. Existen dos grupos: métodos de equilibrio límite (los más utilizados) y métodos tenso deformacionales.

Métodos probabilísticos: consideran la probabilidad de rotura de un talud bajo unas condiciones determinadas. Es necesario conocer las funciones de distribución de los diferentes valores considerados como variables aleatorias en los análisis (lo que supone su mayor dificultad por la gran cantidad de datos necesarios, dadas las incertidumbres sobre las propiedades de los materiales), realizándose a partir de ellas los cálculos del factor de seguridad mediante procesos iterativos. Se obtienen las funciones de densidad de probabilidad y distribución de probabilidad del factor de seguridad, y curvas de estabilidad del talud, con el factor de seguridad asociado a una determinada probabilidad de ocurrencia.

La elección del método de análisis más adecuado en cada caso dependerá de:

- Las características geológicas y geomecánicas de los materiales (suelos o macizos rocosos).
- Los datos disponibles del talud y su entorno (geométricos, geológicos, geomecánicos, hidrogeológicos, etc.).
- Alcance y objetivos del estudio, grado de detalle y resultados que se espera obtener.

Estos factores son a su vez, interdependientes entre sí; no se podrá efectuar un análisis detallado si no se dispone de los datos necesarios y suficientes, al igual que un caso de estabilidad complejo no podrá ser abordado con un método simple por el hecho de disponer de pocos datos de campo o laboratorio. Asimismo, hay que tener en cuenta que tanto los datos de campo como los de laboratorio, deberían ser obtenidos en función del método de análisis de estabilidad que se vaya a emplear y del tratamiento que se les vaya a dar. Tras conocer los parámetros necesarios e influyentes en la estabilidad de un talud, habrá de elegirse un modelo o método que represente las condiciones particulares de cada caso. Dada la dificultad de los métodos probabilísticos no es frecuente su aplicación.

Métodos de equilibrio límite

Los métodos de equilibrio límite (los más utilizados) analizan el equilibrio de una masa potencialmente inestable, y consisten en comparar las fuerzas tendentes al

movimiento con las fuerzas resistentes que se oponen al mismo a lo largo de una determinada superficie de rotura. Se basan en:

- La selección de una superficie teórica de rotura en el talud.
- El criterio de rotura de Mohr-Coulomb.
- La definición de «coeficiente de seguridad».

Los problemas de estabilidad son estáticamente indeterminados, y para su resolución es preciso considerar una serie de hipótesis de partida diferentes según los métodos. Asimismo, se asumen las siguientes condiciones:

- La superficie de rotura debe ser postulada con una geometría tal que permita que ocurra el deslizamiento, es decir, será una superficie cinemáticamente posible.
- La distribución de las fuerzas actuando en la superficie de rotura podrá ser computada utilizando datos conocidos (peso específico del material, presión de agua, etc.).
- La resistencia se moviliza simultáneamente a lo largo de todo el plano de rotura.

Con estas condiciones, se establecen las ecuaciones del equilibrio entre las fuerzas que inducen el deslizamiento y las resistentes. Los análisis proporcionan el valor del coeficiente de seguridad del talud para la superficie analizada, referido al equilibrio estricto o límite entre las fuerzas que actúan. Es decir, el coeficiente de seguridad o llamado también factor de seguridad (FS) es el cociente entre las Fuerzas estabilizadoras y las Fuerzas desestabilizadoras:

$$FS = \frac{\text{Fuerzas estabilizadoras}}{\text{Fuerzas desestabilizadoras}}$$

o expresado en términos de tensiones:

$$FS = \frac{\text{Tensiones tan genciales resistentes}}{\text{Tensiones tan genciales deslizantes}}$$

Una vez evaluado el coeficiente de seguridad de la superficie supuesta, es necesario analizar otras superficies de rotura, cinemáticamente posibles, hasta encontrar aquella que tenga el menor coeficiente de seguridad, F_{min} , la cual se admite como superficie potencial de rotura del talud, y F_{mm} se toma como el correspondiente al talud en cuestión.

Las fuerzas actuando sobre un plano de rotura o deslizamiento potencial, suponiendo que no existen fuerzas externas sobre el talud, son las debidas al peso del material, W , a la cohesión, c , y a la fricción, θ , del plano. El coeficiente de seguridad viene dado por:

$$F = (R_c + R_\theta) / S$$

Siendo:

R_c = fuerzas cohesivas = cA

R_θ = fuerzas friccionales = $W \cos \alpha \tan \theta$

S = fuerzas que tienden al deslizamiento = $W \sin \alpha$

A = área del plano de rotura

En caso de existir presión de agua sobre la superficie de rotura, siendo U la fuerza total debida al agua sobre la superficie A :

$$R_\theta = (W \cos \alpha - U) \tan \theta$$

Existen varios métodos para el cálculo del coeficiente de seguridad por equilibrio límite, más o menos complejos, desarrollados fundamentalmente para su aplicación a materiales tipo suelo. Los métodos analíticos proporcionan el coeficiente de seguridad a partir de la resolución inmediata de ecuaciones simples (método de Taylor, de FeMenius), mientras que los métodos numéricos necesitan, para su resolución, sistemas de ecuaciones y procesos de cálculo iterativo: en esta categoría se encuentran los métodos de Morgenstern y Price, de Spencer, etc.

Los métodos de equilibrio límite se clasifican en:

- Métodos que consideran el análisis del bloque o masa total.
- Métodos que consideran la masa dividida en rebanadas o fajas verticales.

Mientras que los primeros son válidos para materiales homogéneos, y únicamente realizan el cómputo y la comparación de fuerzas en un punto de la superficie de rotura, los segundos pueden considerar materiales no homogéneos, y conllevan una serie de hipótesis propias sobre la localización, posición y distribución de las fuerzas que actúan sobre las rebanadas; el cálculo de las fuerzas actuantes se hace para cada una de las rebanadas en que se ha dividido el talud, integrándose finalmente los resultados obtenidos.

Los métodos de rebanadas más comunes son el de Bishop modificado y el de Jambu, válidos para el análisis de roturas curvas el primero y de roturas curvas, planas y poligonales el segundo.

Los taludes de corte dependerán de la naturaleza del terreno y de su estabilidad, pudiendo utilizarse (a modo referencial) las relaciones de corte en talud siguientes los que son apropiados para los tipos de materiales (rocas y suelos) indicados en el cuadro N° 6 extraído del Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito del MTC (Ministerio de Transportes y comunicaciones).

Cuadro N° 6: Taludes de corte

| Clase de terreno | Talud (V: H) | | |
|--|------------------|------------|--------|
| | H < 5 | 5 < H < 10 | H > 10 |
| <i>Roca fija</i> | 10:1 | (*) | (**) |
| <i>Roca suelta</i> | 6:1-4:1 | (*) | (**) |
| <i>Conglomerados cementados</i> | 4:1 | (*) | (**) |
| <i>Suelos consolidados compactos</i> | 4:1 | (*) | (**) |
| <i>Conglomerados comunes</i> | 3:1 | (*) | (**) |
| <i>Tierra compacta</i> | 2:1-1:1 | (*) | (**) |
| <i>Tierra suelta</i> | 1:1 | (*) | (**) |
| <i>Arenas sueltas</i> | 1:2 | (*) | (**) |
| <i>Zonas blandas con abundante arcillas o zonas humedecidas por filtraciones</i> | 1:2 hasta 1:3 | (*) | (**) |

(*) Requiere banqueteta o análisis de estabilidad

(**) Requiere análisis de estabilidad

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008)

2.2.3.3 Ángulos de Talud para Facilitar su Estabilidad

Para la estabilidad de los macizos rocosos muy blandos, por efecto de una densa fracturación y/o meteorización, se pueden emplear métodos que permiten el cálculo en superficies cualquiera, las cuales pueden ser definidos por criterios geológicos geotécnicos y topográficos; en tanto que otros sitúan las superficies de ruptura al azar, dentro de unos límites pre establecidos.

Los ángulos del talud están íntimamente relacionados al tipo de roca y a la altura del talud. Para la estabilidad de los taludes en el corte de la carretera se deberán considerar en estricto aplicación el tipo del material (roca o sedimento), talud de corte o relleno de la pendiente y el ángulo de reposo de acuerdo al cuadro N° 7.

Cuadro N° 7: Tabla comparativa para el corte y relleno de los taludes.

| TALUDES DE CORTE | | |
|------------------------------------|---------------|----------------------|
| MATERIAL | TALUD(V:H) | Angulo Sexagesimales |
| Material Común | 3:1 | 71° |
| Conglomerados Cementados | 4:1 | 75° |
| Conglomerados Comunes | 3:1 | 71° |
| Tierra Compacta | 2:1, 1:1 | 63° - 45° |
| Tierra Suelta | 1:1 | 45° |
| Roca Fija | 10:1 | 84° |
| Suelos consolidados Compactos | 4:1 | 75° |
| Arenas sueltas o zonas humedecidas | 1:2 hasta 1:3 | 26° - 18° |
| TALUDES DE RELLENO | | |
| MATERIAL | TALUD (V:H) | |
| Material Común (mayoría suelto) | 1:1,5 | 33° |
| Arena Compacta | 1:2 | 26° |
| Enrocado | 1:1 | 45° |

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008)

2.2.4 Remoción de masas

Las teorías afines a la investigación de remoción en masa son procesos de transporte de material definidos como procesos de movilización lenta o rápida de

determinado volumen de suelo, roca o ambos, en diversas proporciones, generados por una serie de factores (Hauser, 1993). Estos movimientos tienen carácter descendente ya que están fundamentalmente controlados por la gravedad (Cruden, 1991).

Clasificación de Procesos de Remoción de Masas

En esta sección se presentan definiciones para las siguientes clases de movimientos en masa: caídas, vuelcos, deslizamientos, flujos, propagaciones laterales, reptaciones; se describe además cierto tipo de deformaciones gravitacionales profundas; clasificación tomada del Proyecto Multinacional Andino (PMA) hecho a través del Grupo de Estándares para Movimientos en Masa (GEMMA).

Tabla N° 1: Tipos de movimientos en masa

| Tipo | Subtipo |
|---|---|
| Caídas | Caída de roca (detritos o suelo) |
| Volcamiento | Volcamiento de roca (bloque) Volcamiento flexural de roca o del macizo rocoso |
| Deslizamiento de roca o suelo | Deslizamiento traslacional, deslizamiento en cuña Deslizamiento rotacional |
| Propagación lateral | Propagación lateral lenta Propagación lateral por licuación (rápida) |
| Flujo | Flujo de detritos Crecida de detritos Flujo de lodo Flujo de tierra Flujo de turba Avalancha de detritos Avalancha de rocas Deslizamiento por flujo o deslizamiento por licuación (de arena, limo, detritos, roca fracturada) |
| Reptación | Reptación de suelos Soliflucción, geliflucción (en permafrost) |
| Deformaciones gravitacionales profundas | |

Fuente: GEMMA (2007). PMA (2007)

a) Deslizamiento (Slide)

Es un movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante.

En el sistema de Varnes (1978), se clasifican los deslizamientos, según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material, en traslacionales y rotacionales.

Los deslizamientos traslacionales a su vez pueden ser planares o en cuña. Sin embargo, las superficies de rotura de movimientos en masa son generalmente más complejas que las de los dos tipos anteriores, pues pueden consistir de varios segmentos planares y curvos, caso en el cual se hablará de deslizamientos compuestos (Hutchinson, 1988)

El Deslizamiento Traslacional, Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada. En general, estos movimientos suelen ser más superficiales que los rotacionales y el desplazamiento ocurre con frecuencia a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y el suelo residual o transportado que yace sobre ella (Cruden y Varnes, 1996). En un macizo rocoso, este mecanismo de falla ocurre cuando una discontinuidad geológica tiene una dirección aproximadamente paralela a la de la cara del talud y buza hacia ésta con un ángulo mayor que el ángulo de fricción (Hoek y Bray, 1981).

En los casos en que la traslación se realiza a través de un sólo plano se denomina deslizamiento planar (Hoek y Bray, 1981). El deslizamiento en cuña (wedge slide) es un tipo de movimiento en el cual el cuerpo del deslizamiento está delimitado por dos planos de discontinuidad que se intersectan entre si e intersectan la cara de la ladera o talud como se muestra en la figura N° 5 donde: (a) y (b) es un esquema de un deslizamiento traslacional, llamado resbalamiento y corrimiento según Corominas Dulcet y García Yagué (1997) (c) Esquema de deslizamiento traslacional de roca (la disgregación del material no puede observarse debido a la escala de la figura). Según Antronico, 1993 en Dikau, (1996).

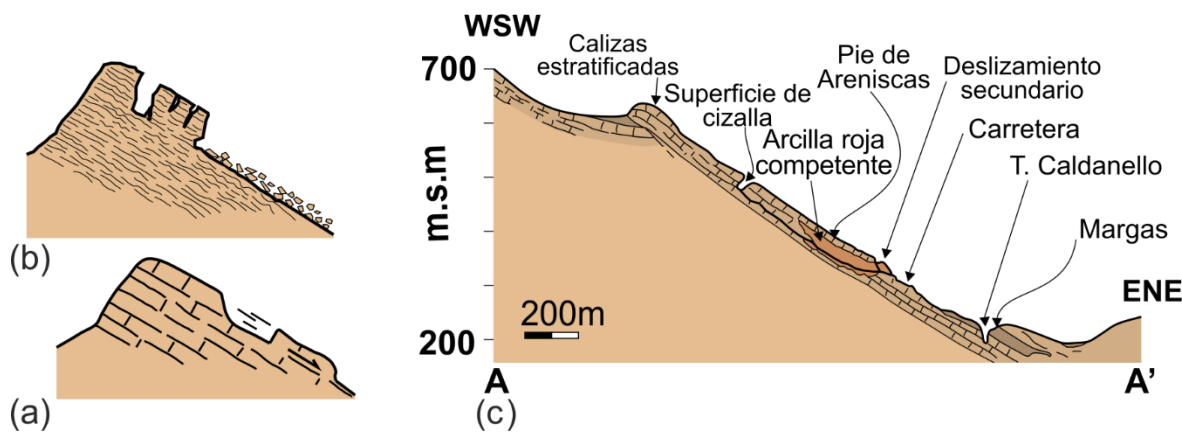


Figura N° 5: Esquema de un deslizamiento traslacional.

Fuente: GEMMA (2007). PMA (2007).

El Deslizamiento Rotacional, Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava. Los movimientos en masa rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y una contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal. La deformación interna de la masa desplazada es usualmente muy poca. Debido a que el mecanismo rotacional es auto-estabilizante, y éste ocurre en rocas poco competentes, la tasa de movimiento es con frecuencia baja, excepto en presencia de materiales altamente frágiles como las arcillas sensitivas. Los deslizamientos rotacionales pueden ocurrir lenta a rápidamente, con velocidades menores a 1 m/s.

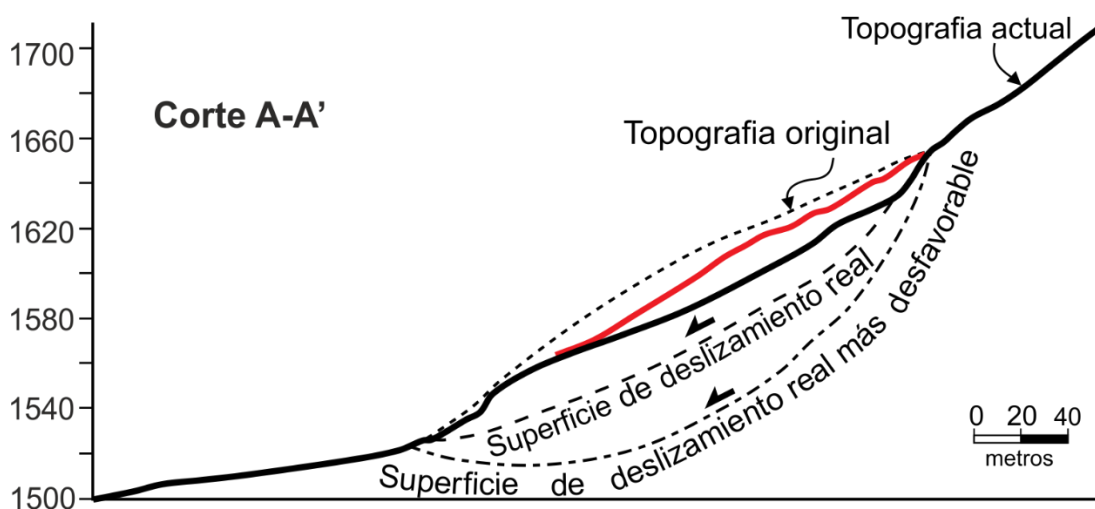


Figura N° 6: Perfil del deslizamiento

Fuente: Sales, D., Origlia, D., Yenes Ortega, M., y Gardini, C., (2002)

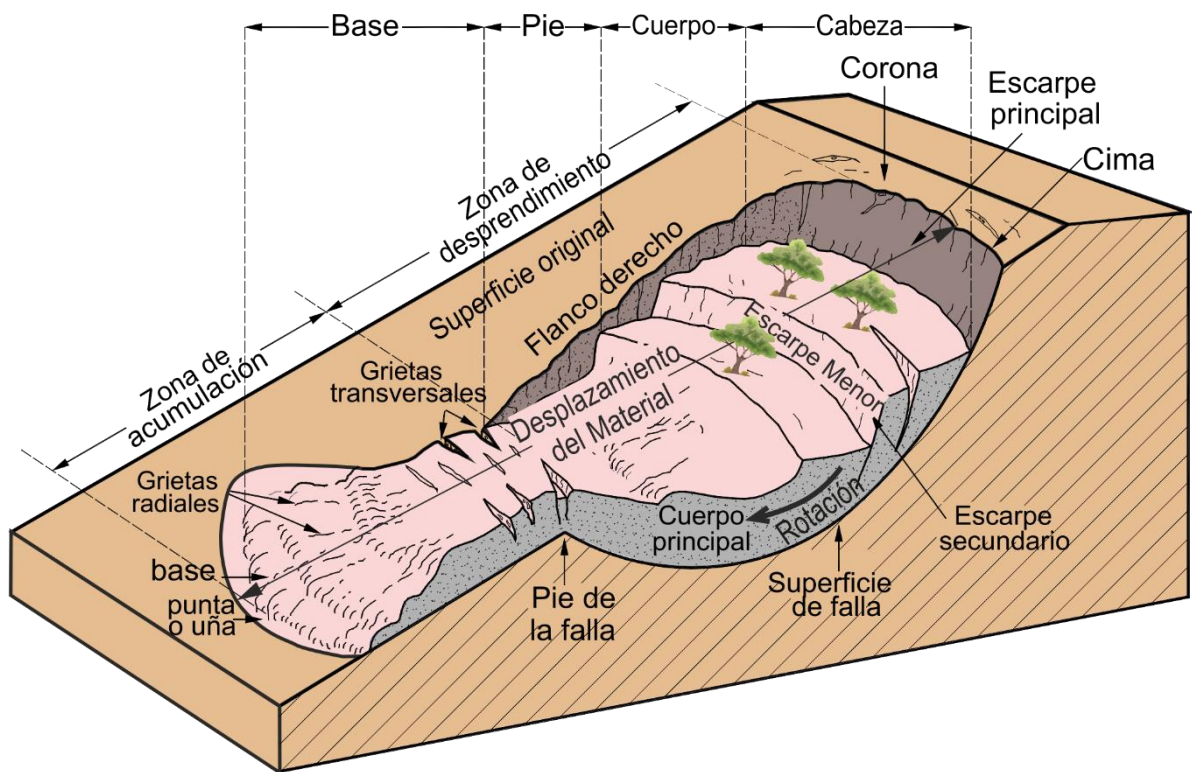


Figura N° 7: Esquema de un deslizamiento rotacional mostrando sus partes y los rasgos morfológicos característicos

Fuente: Suárez Díaz, J. (2009)

2.3 Definición de términos básicos

Talud. Un “talud” o ladera es una masa de tierra que no es plana sino que presenta una pendiente o cambios significativos de altura. En la literatura técnica se define como “ladera” cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y “talud” cuando se conformó artificialmente. Suarez Díaz, J. (2009).

Factor de Seguridad (F. S.). El factor de seguridad es empleado por los ingenieros para conocer cuál es el factor de amenaza para que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña (Jaime Suarez). El coeficiente de seguridad (también conocido como factor de seguridad) es el cociente entre el valor calculado de la capacidad máxima de un sistema y el valor del requerimiento esperado real a que se verá sometido. Por este motivo es un número mayor que uno, que indica la capacidad en exceso que tiene el sistema por sobre sus requerimientos (Eurocódigos estructurales).

Superficie de Falla. El término superficie de falla se utiliza para referirse a una superficie asumida a lo largo de la cual puede ocurrir el deslizamiento o la rotura del talud. Suarez Díaz, J. (2009)

Tensiones Totales. Las tensiones en cualquier punto de un plano que atraviesa una masa de suelo pueden ser calculadas a partir de las tensiones principales totales $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ que actúan en ese punto. Si los poros del suelo se encuentran rellenos de agua bajo una presión μ , las tensiones principales totales se componen de dos partes. Una parte, μ , llamada presión neutra o presión intersticial, actúa sobre el agua y sobre las partículas sólidas en todas direcciones y con igual intensidad. Gonzales de Vallejo, LI, (2004)

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación de la Investigación

3.1.1 Ubicación Geográfica

Geográficamente se encuentra ubicado en la vertiente occidental de la cordillera de los andes del norte del Perú, Todo el tramo de la carretera se encuentra en la vertiente del Pacífico; en la Cuenca Río Chancay – Lambayeque, El proyecto se encuentra en el cuadrángulo 14-F de la Carta Nacional Geográfica; con coordenadas UTM – DATUM - WGS84 – ZONA - 17S

Cuadro N° 8: Coordenadas y progresivas del límite de estudio.

Punto inicial:

| Latitud | Longitud | Altitud (m.s.n.m) | Progresiva(Km) | Lugar |
|------------|-----------|-------------------|----------------|----------|
| 9261477.31 | 740958.29 | 2535.30 | 0+000 | Yauyucan |

Punto final:

| Latitud | Longitud | Altitud (m.s.n.m) | Progresiva(Km) | Lugar |
|------------|-----------|-------------------|----------------|---------------------|
| 9258695.09 | 738200.03 | 2849.55 | 6+635 | Cruce conejo tranca |

3.1.2 Ubicación Política

Políticamente el proyecto se encuentra ubicado en. (Ver fig. 08)

Cuadro N° 9: Ubicación política.

| | |
|--------------|------------|
| Departamento | Cajamarca |
| Provincia | Santa Cruz |
| Distrito | Yauyucan |

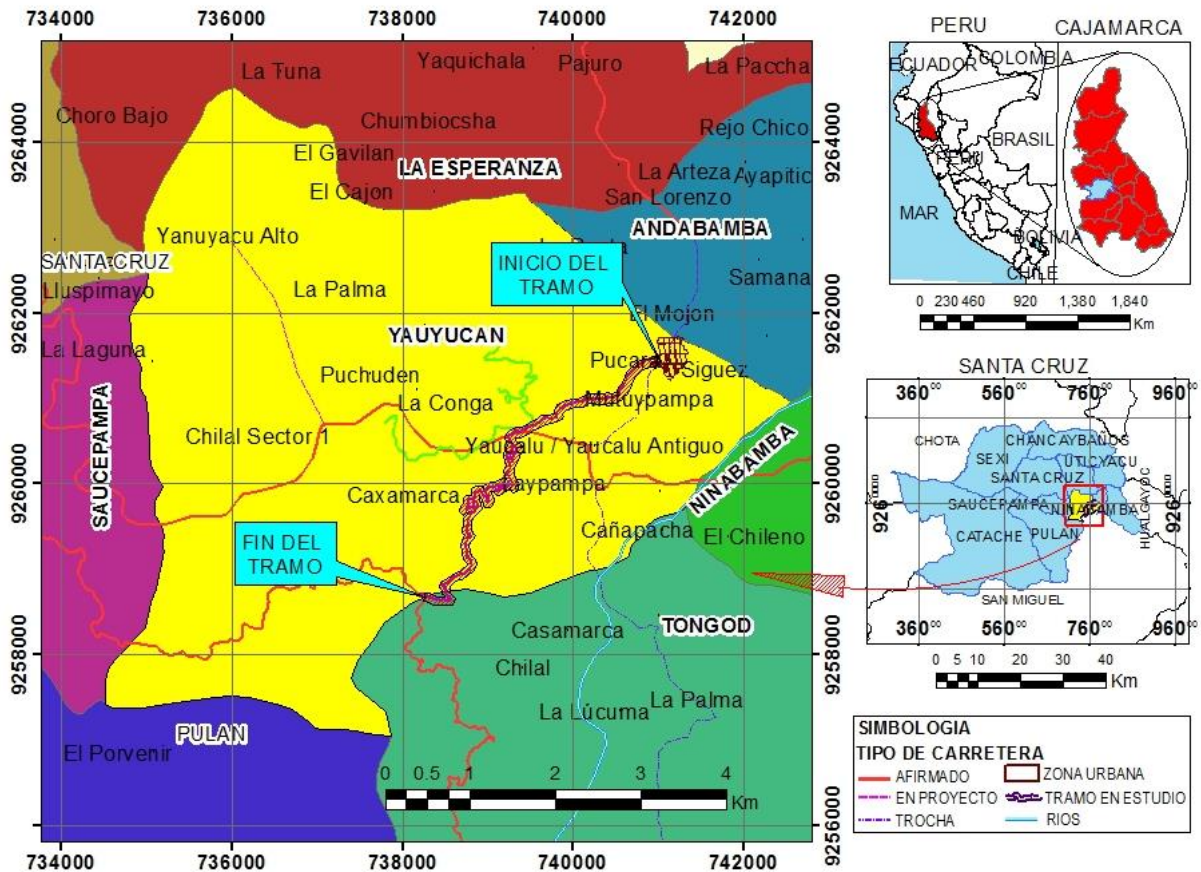


Figura N° 8: Mapa de localización de la carretera

3.1.3 Longitud de la Carretera

La carretera de estudio abarca desde el Distrito de Yauyucan km 0+000 hasta el cruce conejo tranca km 6+635.

3.1.4 Accesibilidad

Para llegar al punto de inicio del tramo se puede realizar desde la Ciudad de Cajamarca a través de la Carretera asfaltada Cajamarca Hualgayoc, luego afirmada Hasta el Empalme Km 80, (San Miguel) -Romero Circa -Tongod- Cruce Conejo luego hacia Yauyucan lugar inicio del proyecto. Teniendo como vías de acceso la

carretera principal Cajamarca-Hualgayoc-Bambamarca; los cuales se detallan en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 10: Accesos a la zona de estudio,

| CARRETERA DE ACCESO | KM. | TIEMPO (H) | TIPO DE CARRETERA |
|---|-----------|------------|-------------------------------------|
| <i>Cajamarca – Empalme, Catilluc, Tongod, Cruce Conejo Tranca</i> | <i>67</i> | <i>3.5</i> | <i>Asfaltado- afirmado</i> |
| <i>Santa Cruz, Mitopampa, Iluspimayo Cruce la Conga</i> | <i>20</i> | <i>1.0</i> | <i>Afirmado – Trocha carrozable</i> |
| <i>Santa Cruz, la Esperanza, Andabamba, Yauyucan.</i> | <i>30</i> | <i>1.5</i> | <i>Afirmado – Trocha carrozable</i> |
| <i>Chota, Iajas, cruce Chiriconga, Utcyaco, Ninabamba, Yauyucan</i> | <i>45</i> | <i>2.5</i> | <i>Afirmado – Trocha carrozable</i> |

3.1.5 Clima

La zona del proyecto de la carretera se presenta un cuadro climático variado identificándose las siguientes características:

La temperatura promedio anual fluctúa entre los 13° C, las temperaturas extremas máximas llegan a superar los 20° C, mientras que las temperaturas mínimas promedio se encuentran por debajo de los 3° C llegando inclusive a registrar temperaturas bajo cero ocasionando las famosas heladas, según las regiones naturales.

El clima es húmedo con rangos de temperatura que oscila entre los 3° - 21° y con estaciones de lluvia entre los meses de octubre-abril y de verano de mayo-setiembre.

La vegetación típica del lugar es pastos naturales y muchos arbustos, alisos, pino y árboles silvestres propios del lugar.

Tabla N° 2: Serie Histórica de precipitación Máxima en 24 horas-Estación Quilcate.

| Estación Meteorológica: CO.Quilcate | | | Latitud Sur: 06°49'22" | | | | | | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Departamento: Cajamarca | | | Longitud:Oeste:78°44'38" | | | | | | | | | | |
| Provincia: San Miguel | | | Altura: 2930 m.s.n.m. | | | | | | | | | | |
| DATOS DE : PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24Hrs. (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| AÑO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
| 1992 | 34 | 34 | 28 | 20.5 | 16 | 15 | 17.5 | 17.5 | 30.5 | 7 | 15.7 | 27 | 34.0 |
| 1993 | 61 | 34.5 | 72.3 | 41 | 30.5 | 29 | 11.5 | 18.5 | 58.5 | 116 | 25.5 | 124.5 | 124.5 |
| 1994 | 116 | 101.5 | 172.7 | 49.7 | 58.5 | 18 | 20.5 | 12.5 | 23.5 | 18.5 | 80 | 59 | 172.7 |
| 1995 | 116.8 | 89.1 | 179.8 | 143.3 | 49.7 | 9.7 | 24.2 | 22 | 20.1 | 87.7 | 129.4 | 200.7 | 200.7 |
| 1996 | 93 | 216.9 | 217.8 | 109.5 | 51.5 | 15.3 | 4.7 | 46.8 | 56 | 144.6 | 75.7 | 38.4 | 217.8 |
| 1997 | 63.1 | 170.5 | 77.3 | 146 | 40.6 | 69.3 | 1.3 | 0.4 | 55.2 | 67.1 | 213 | 124.2 | 213.0 |
| 1998 | 108.3 | 217.5 | 191.4 | 171.9 | 78.8 | 2.3 | 0.4 | 13.6 | 77.2 | 188.5 | 50.8 | 72.4 | 217.5 |
| 1999 | 116.8 | 306.4 | 99.5 | 112.4 | 132.1 | 91.5 | 23.1 | 23.6 | 201.3 | 85.7 | 72.8 | 161.3 | 306.4 |
| 2000 | 69.5 | 189.1 | 224.7 | 118.5 | 83.6 | 40.2 | 7.2 | 22.8 | 122.4 | 15.1 | 52.3 | 160.7 | 224.7 |
| 2001 | 195.2 | 91.5 | 305.5 | 140.4 | 74.4 | 12.2 | 14.8 | 0 | 108.7 | 132.7 | 143.9 | 143.1 | 305.5 |
| 2002 | 53.6 | 116.7 | 245.1 | 193.1 | 62.1 | 16.3 | 30.6 | 0 | 56.5 | 154.8 | 185 | 168.6 | 245.1 |
| 2003 | 64.3 | 82.9 | 133.8 | 133 | 80.7 | 73.8 | 18.1 | 12.9 | 76.6 | 66.2 | 117.2 | 118.7 | 133.8 |
| 2004 | 93.6 | 84.7 | 110.5 | 86.7 | 76.8 | 15 | 44 | 5.9 | 90.4 | 146.3 | 184.7 | 164.8 | 184.7 |
| 2005 | 88.2 | 117.9 | 313.7 | 65.1 | 28.1 | 12.9 | 0.6 | 11.5 | 57.4 | 205.1 | 55.1 | 137.9 | 313.7 |
| 2006 | 125.2 | 194.3 | 349.3 | 131.9 | 13.6 | 76.9 | 20 | 26.3 | 64.2 | 91.5 | 131.9 | 203.1 | 349.3 |
| 2007 | 124.7 | 61.3 | 212.9 | 145 | 51.2 | 0.5 | 35.8 | 30.3 | 19.1 | 183 | 156.7 | 71.9 | 212.9 |
| 2008 | 120.1 | 206 | 186.1 | 134.7 | 150.4 | 23.8 | 25.6 | 26.3 | 115.2 | 191.9 | 117.4 | 25.3 | 206.0 |
| 2009 | 244.9 | 142.6 | 312.8 | 93.7 | 139.1 | 35.4 | 46.3 | 4.3 | 35.7 | 139.8 | 162.4 | 117.9 | 312.8 |
| 2010 | 69 | 176.3 | 172.8 | 144 | 55.1 | 12.5 | 36 | 9.4 | 58.2 | 71.3 | 115.8 | 130.1 | 176.3 |
| 2011 | 123.4 | 150 | 187 | 185.1 | 26.9 | 14.7 | 35.5 | 5.6 | 68.9 | 91.3 | 97.1 | 168.6 | 187.0 |
| MAX | 244.9 | 306.4 | 349.3 | 193.1 | 150.4 | 91.5 | 46.3 | 46.8 | 201.3 | 205.1 | 213.0 | 203.1 | 349.3 |

Fuente: Carmona Mantilla, N. (2013)

3.1.6 Metodología de la investigación

La metodología de investigación empleada en la Tesis es:

Tipo de Investigación: Descriptiva-Explicativa, porque se describe la inestabilidad de los taludes y se explica el porqué de la misma.

Nivel de Investigación: Correlacional, porque junta dos variables e intentar predecir un valor aproximado.

Diseño de Investigación: Transeccional, debido a que se estudia en un momento determinado de tiempo.

Método de Investigación: Inductivo-Deductivo, porque induce de principios explicativos a partir de los fenómenos observados, y después en una segunda etapa, se construyen enunciados que los contengan y se refieran a los fenómenos.

3.1.7 Definición de Variables

| VARIABLES | DEFINICIÓN |
|---------------|--|
| LITOLOGIA | <i>Característica del tipo de roca, asociado a los sedimentos depositados.</i> |
| ESTRUCTURA | <i>Es la disposición, arreglo y cohesión de los materiales constituyentes de un determinado cuerpo rocoso.</i> |
| PRECIPITACION | <i>Es la cantidad de agua de lluvia que cae sobre la superficie.</i> |
| TALUD | <i>Superficie inclinada del terreno que se extiende de la base a la cumbre de un cerro y se conformó de manera artificial.</i> |

3.1.8 Técnicas

Se utilizó una computadora Laptop para procesar los datos de campo y gabinete mediante los softwares indicados anteriormente, lográndose el análisis de los datos para obtener los planos que demuestren el comportamiento de los taludes.

Los resultados tuvieron la consistencia y valides necesaria, debido a que las técnicas y análisis de datos fueron verificados adecuadamente, para que los planos temáticos, cuadros y gráficos muestren la realidad de la información de los taludes y plantear alternativas de solución con obras de ingeniería, necesarias para mantener estable la carretera en todo el trayecto de la carretera Yauyucan - Cruce Conejo Tranca.

3.1.9 Instrumentos y equipos de recolección de datos

Los instrumentos utilizados fueron libreta de campo, imágenes satelitales, plano topográfico, Carta Nacional Geográfica 14-F y Cámara Fotográfica.

El equipo utilizado para la toma de datos fueron: Estación Total leyca TS 02, Nivel de Ingeniero, brújula geotécnica, GPS Garmin 60 CSX, protactor, lupa, rayador, picota, ácido clorhídrico 20%, wincha y flexómetro.

Etapa De Gabinete

Esta etapa se conforman en dos fases: la primera, antes de comenzar el trabajo, conformada por una planificación de tareas a realizar anexado a una recopilación de información y varios análisis de ortofotos e imágenes satelitales para un mejor estudio estructuras y geomorfomas. La segunda fase lo conforma campañas de campo constituyendo un análisis e interpretaciones de los datos obtenidos en campo.

Etapa de Campo

Se realizó el cartografiado geológico, caracterización geomecánico; de la Carretera Yauyucan - Cruce Conejo Tranca 1: 2 000; logrando un análisis comparativo y descriptivo, permitiendo definir las condiciones geotécnicas.

Así mismo se realizó muestreos de calicatas, Las calicatas se realizaron manualmente con pala y pico a un costado del suelo cada 500 m y hasta una profundidad de 1.50 m.

Etapa de Laboratorio

Las muestras tomadas en campo se analizaron en el laboratorio de suelos de la empresa privada NEO TERRA INGENIEROS E.I.R.L para hallar los parámetros físicos como:

Las muestras representativas fueron sometidas a los siguientes ensayos:

- Análisis granulométrico por tamizado (NTP 400,012).
- Material pasante la malla N°200 (NTP 339.132).
- Límites de consistencia (NTP 339.129).
- Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad.

- Clasificación SUCS (NTP 339.134)
- Clasificación AASHTO (NTP 339.135)
- Contenido de humedad (NTP 339.127)
- Proctor modificado (NTP 339.141)
- California Bearing Ratio (NTP 339.145).
- Parámetros geomecánico.

Etapas Final

Con la información obtenida en las etapas anteriores, se procesó e interpreto luego se utilizó softwares como: ArcGis 10.3, AutoCad Civil 3D 2016, Corel Draw e Illustrator, Photoshop, DIPS V7, Rocdata v5, Slide V7, SAS. Planet. V16, con los cuales se logró obtener los mapas temáticos y finales. Pudiéndose terminar con la redacción del informe.

3.1.10 Control de Calidad de Datos

La calidad de datos es un aspecto muy importante a considerar debido a que se pueden cometer errores en la toma de datos con los equipos de campo, como pueden ser Estación Total, GPS, y la brújula; siendo muy importante un previo análisis instrumental tanto de los propios equipos y su calibración, para minimizar los errores generados por el descuido de los equipos.

Otro aspecto es controlar la calidad del muestreo utilizando protocolos estándares conocidos, teniendo en cuenta siempre obtener contramuestras y evitar la contaminación insitu y en la operatividad en laboratorio.

3.2 Geología

3.2.1 Estratigrafía

La carretera Yauyucan - Cruce Conejo Tranca, Km 0+000 – Km 6+635. Se encuentra emplazada sobre afloramientos de rocas volcánicas con derrames

andesíticos brechados de color gris verdoso a amarillento; pertenecientes al cretáceo inferior conformada por las Formaciones: Volcánica Llama, Volcánico Huambos y depósitos cuaternarios que se presentan en todo el tramo de la zona.

3.2.1.1 Grupo Calipuy

El grupo Calipuy son rocas Volcánicas pertenecientes al Paleógeno – Neógeno

A. Formación Llama

Unidad que descansa discordantemente sobre rocas del Basamento Cretáceo (Cobbing, EJ.1981). Comprenden varias secuencias volcánicas, originadas en diferentes centros volcánicos, agrupados todos como Volcánicos Llama.

En algunos taludes del área de estudio, se observan depósitos de avalancha de andesitas y sedimentos volcanoclásticos estratificados, con alteración argílica, denominados Volcánicos Tembladera, (Reyes Benítez, P. 1980) y son equivalentes a la Formación Llama (Tuzo Wilson, J. 1984). La Formación Llama consiste de flujos de cenizas tufáceas félsicas e intrusiones dacíticas con bandeamiento de flujo. Han sido datadas como del Paleógeno y representa una fase de vulcanismo continental cuyo foco principal estuvo situado en la parte occidental de la región (Noble, D. 1980).

En el proyecto de la carretera se encuentra en un 75% de los afloramientos del total, consistiendo como litología rocas volcánicas derrames andesíticos brechados de color gris verdoso en las rocas frescas (sin alteración) y flujos piroclásticos de pomes y cenizas en algunos tramos con alteraciones argílica, pero la mayor parte del tramo referido las rocas volcánicas se encuentran con alteración débil a fuerte es por este motivo que el color que se observa es anaranjado a amarillento.

3.2.1.2 Formación Volcánico Huambos

Son depósitos muy posteriores conformados por piroclastos (bloques y cenizas) con altos contenidos de clastos de composición dacítica a riodacítica, dispuestos

en forma sub horizontal, de distribución regional en bancos potentes, rellenan los relieves bajos. A esta unidad que representa la última fase importante del vulcanismo Cenozoico regional en Cajamarca, se le asigna una edad del Neógeno por datación K/Ar de 8.4 ± 0.05 Ma. (Turner, FJ.1996).

Se encuentra exclusivamente al sur oeste y nor oeste de la ciudad de Cajamarca consiste de rocas volcánicas extrusivos tales como, lavas, brechas de flujo aglomerados y tubos de naturaleza andesítica, dacítica, traquítica y riolítica organizados en lechos casi horizontales recortados por una red de quebradas profundas, tiene sus afloramientos bastante extensos, cerca al pueblo de Huambo en la Carretera que va de Chiclayo a Chota. Se trata de volcánicos generalmente tobáceos, brechoides de colores blancos grisáceos en bancos gruesos deleznales.

Son a veces traquíticos, andesíticos encontrándose generalmente en posición horizontal. Sus afloramientos se extienden tanto al Norte como al Sur de Huambo, en nuestro recorrido lo encontramos en la progresiva Km 0+200 muy cercano al distrito de Yauyucan y este volcánico es explotado como cantera.

3.2.1.3 Depósitos Cuaternarios

Los depósitos cuaternarios están constituidos por los depósitos clásticos: coluvial, aluvial, y derrubios o fragmentos de roca generalmente angulosos, inconsolidados que se encuentran en la superficie terrestre como producto de la desintegración de las rocas, generalmente cubriendo a las formaciones, conteniendo cantos rodados y blocks rocosos grandes, de diferente litología, englobados en una matriz limo arcillosa, areno-arcillosa de colores variados marrón rojizo, amarillento, negruzco y hasta gris claro.

A. Depósitos Aluviales.

Son depósitos recientes y están compuestos por fragmentos de rocas de diferentes tamaños y composiciones.; ubicados en pequeñas depresiones y en los niveles inferiores de los cerros. Presentan coloraciones blanco amarillentas, grisáceas,

pero en nuestro caso las diferentes composiciones de estas rocas son de origen volcánico.

Estos depósitos se tiene principalmente en las proximidades de Yauyucan desde la progresiva Km. 0+355 hasta el Km. 0+990, luego tenemos otro tramo desde el Km.125 hasta el cruce La Conga, en muchos casos se encuentran cubiertos por suelo orgánico en el cual crece la vegetación.

B. Depósitos Fluviales.

Son depósitos que se encuentran en los cursos de los ríos o quebradas y, principalmente en zonas planas, consiste de clastos de diferentes tamaños y composiciones, dispuestos en forma de capas. En nuestro tramo de estudio este tipo de depósitos se encuentran en pequeñas dimensiones.

C. Depósitos Coluviales.

Estos depósitos se encuentran cubriendo parcialmente las diferentes laderas de los cerros y lomadas que se han originado por procesos de meteorización y acción de la gravedad. Están compuestos por fragmentos del tamaño de cantos y gravas (aisladamente fragmentos mayores), englobados en una matriz areno-limo y/o limo-arcillosa.

Estos depósitos, por lo general, tienen poca distancia de transporte en relación a la roca de origen, estos tipos de depósitos se encuentran a lo largo de la vía en diferentes tramos

D. Depósitos Deluviales.

Es toda cobertura vegetal sea natural o sembríos que lo encontramos en toda la zona de estudio o también se le denomina con este nombre al suelo orgánico, formado por la incorporación de materia orgánica bien descompuesta y distribuida como partículas finas, constituyendo lo que se llama humus.

3.2.2 Geología Estructural

La zona de estudio está comprendido dentro del dominio estructural de la Cordillera Occidental, que es franja plegada de estructuras regionales con orientación regional NW – SE paralelas a la dirección andina.

La deformación de las rocas preexistentes ha sido mínima, ya que el levantamiento fue uniforme; sin embargo ha reactivado fallas antiguas con movimientos de bloques, que se transmitieron a las formaciones modernas a través de flexuras y algunas ondulaciones locales.

3.2.2.1 Fallas

En la zona de estudio no se ha identificado fallamiento intenso pero si se aprecia fracturas, el mismo que tienen como rumbo NE-SW perpendicular al corredor estructural regional sin embargo esto no es relevante en cuanto a la estabilidad de un talud en el proyecto porque se encuentra ubicado en zonas de taludes bajos en altura.

3.2.2.2 Plegamientos

En la zona del proyecto no se encuentran pliegues de envergadura ya que afloran rocas Volcánicas del Grupo Calipuy; uno de los motivos por lo que no se aprecia plegamientos esto se debe a que la zona en estudio está cubierta por abundante vegetación.

3.2.2.3 Diaclasas

En las rocas Volcánicas expuestas en nuestro proyecto se encuentran desclasamiento principalmente en la formación volcánico Huambos las que tienen direcciones NE-SW y NW-SE, los mismos tienen tendencia al flujo de las lavas y perpendiculares; es por esta razón que fue necesario hacer un estudio de Mecánica de rocas por lo que se iniciaron solo dos estaciones geomecánicas al

inicio del tramo porque es aquí donde principalmente se puede observar diaclasamiento y fracturamiento no tan intenso.

3.2.3 Geomorfología

Como parte de la evaluación geomorfológica, se ha identificado geoformas activas dentro de la carretera.

En todos los casos se ha observado y/o identificado las huellas de escarpas recientes o antiguas, grietas tensionales, forma del relieve, altura del talud, tipo de material, grado de alteración, presencia de agua, uso de la tierra, factores antrópicos (actividad del hombre).

A continuación se procede a describir las diferentes unidades geomorfológicas encontradas a lo largo del referido tramo.

3.2.3.1 Laderas

Esta unidad corresponde a las faldas de que tienen una topografía suave a moderada, que se encuentran cubiertas por depósitos coluviales, residuales y aluviales. Con pendientes que fluctúan entre los 35% y los 50%. que, Corresponde a las progresivas Km. 0+800-1+265, 1+410-4+695, 5+250-5+360, 5+465 - 5+645, 6+055 - 6+415, 6+565-6+635.

3.2.3.2 Montañas

Unidades caracterizadas por presentar topografía abrupta y accidentada con pendientes mayores a 50%. Los principales agentes modeladores son los cambios físicos, químicos y mecánicos. Esta unidad es la que mayor influencia tiene dentro de la inestabilidad de los taludes de la carretera, Corresponde a las progresivas Km. 0+125 - 0+800, 1+265-1+410, 6+415-6+565.

3.2.3.3 Colinas

Conformada por superficies de relieve suave con pendientes de 10 % a 25 %, predominando depósitos cuaternarios, que generan poco espesor de suelo pero que es aprovechado para sembríos y corresponde a las progresivas Km 4+980 - 5+640 - 5+760 - 5+245, 5+355 - 5+465, 5+640-6+050.

3.2.3.4 Quebradas

Las quebradas del tramo se caracterizan por ser de régimen irregular con cauces abiertos por un evidente predominio en efectos erosivos moderados que los laterales que son favorecidos por las gradientes hidráulicas, los materiales de acarreo, predominantemente finos y gruesos conforman eventuales huaycos.

Cuadro N° 11: Unidades de geomorfología con sus respectivas pendientes

| UNIDAD | | DESCRIPCIÓN |
|----------|---------------------------------|--|
| LADERAS | Laderas moderadamente empinadas | Se trata de relieves con pendientes que fluctúan entre los 35% y los 50%. El material que lo compone en su mayoría es de cobertura (derrubio) y en las partes bajas son residuales, los fenómenos son: excavaciones y cárcavas profundas y pendientes en 1 ^{ro} y 2 ^{do} orden, esta zona tiene mayor intervención agrícola, por ende mayor problema de erosión. |
| | Laderas fuertemente empinadas | Su pendiente va de 35% a 50%, Los fenómenos que se presentan son a menudo deslizamientos y desprendimiento de rocas en su mayoría en suelos paleozoicos. |
| MONTAÑAS | Montañas altas | Unidades caracterizadas por presentar topografía abrupta y accidentado con pendientes mayores a 50%, su presencia se da con inicio de la faja Subandina. Los principales agentes modeladores son los cambios físicos, químicos y mecánicos. |
| | Media Montaña | Ubicada en una zona de transición entre las montañas altas y montañas bajas, con pendientes de 35% a 50%, con vegetación densa y morfología variada, con presencia de la erosión fluvial como agente principal modelador. |
| | Montañas bajas | Representa la parte más bajas de las montañas con pendientes de 25% a 35%, presentando una topografía variada por efectos de erosión irregular. |
| COLINAS | Colinas Altas | Ubicados en el flanco NE de la faja Subandina, con pendientes de 10 % a 25 %, predominando afloramiento de rocas duras, que generan poco espesor de suelo hecho que explica la formación de escarpes. |

Fuente: DPE-UE-IMA, (s.f.)

3.2.4 Geodinámica

El entorno geológico del tramo de la carretera nos da una apreciación más clara de la inestabilidad que está ocurriendo. Los fenómenos geológicos que están ocurriendo en la carretera se clasifican en movimientos de masas por deslizamientos y derrumbes, fenómenos condicionados por los agentes y causas externas, internas e intermedias.

Debe tenerse en cuenta que las causas y agentes han predispuesto a la zona para inestabilizar los taludes; teniendo como causa el modo de accionar de determinado agente y de la mejor manera entendiéndose como que los agentes son expresados por una o más causas.

Considerando estos conceptos, en la zona han accionado causas internas que que han hecho colapsar el talud del tramo 7 produciendo remoción de masas, las que cambiarían estructuralmente la geometría del talud y que tienen directa relación con la disminución de la resistencia interna del material que está en función directa con el incremento de la presión hidrostática cuando se satura el suelo, disminución del factor de cohesión y efecto directo en el ángulo de fricción interna.

Así mismo se tiene causas externas que inciden en incrementos de las tensiones de cizallamiento, aun cuando no haya disminución de la resistencia del material; los que se están verificando en nuestra zona por el aumento de la pendiente por los trabajos de erosión y meteorización natural.

La carretera en estudio, se ve afectada por diferentes acciones naturales a lo largo de todo el tramo, la ocurrencia es la siguiente: deslizamientos, caída de rocas y reptación de suelos.

A. Deslizamientos

De acuerdo al cartografiado geológico realizado a lo largo de la carretera en estudio y áreas cercanas, fue reconocido un tramo de zona inestable entre las progresiva 06+474 – 06+518, denominados deslizamientos rotacionales. El hecho fue

originado por saturación del suelo, pérdida de resistencia al corte, saturación de las grietas y pendientes de las laderas de lomas y cerros que va entre 35° y 65°.



Foto N° 1: Deslizamiento rotacional de un suelo Areno-Limoso en el tramo Km 6+475 - 6+518

B. Caída de rocas

De acuerdo al cartografiado geológico realizado a lo largo del tramo de la carretera Yauyucan – Cruce Conejo Tranca, fueron reconocidas zonas donde se han producido caída de rocas muy alteradas hacia la carretera, producto del fracturamiento y las precipitaciones.



Foto N° 2: Caída de rocas muy alteradas en la progresiva Km 1+390 - 1+460

C. Reptación de suelos.

En el cartografiado a lo largo del tramo en estudio, fue originado por infiltración de aguas por la corona del talud a la estructura estratigráfica superficial del suelo residual de limo arenoso, con movimiento lento en dirección de la pendiente de ladera de una loma, como es en el tramo del Km 1+570 - 1+670



Foto N° 3: Reptación de suelo areno-limoso en la progresiva 1+570 - 1+670

3.3 Geotecnia

El desarrollo geotécnico que se ha analizado se ha hecho por tramos críticos, dentro de los cuales se analizan y definen el comportamiento geológico – geotécnico.

3.3.1 Comportamiento Geotécnico de la Carretera.

3.3.1.1 Tramo 01 - Progresivas Km. 0+675 - 0+685

| Tramo(km) | Latitud | Longitud | Cota |
|-----------|---------|----------|------|
| 0+675 | 9261055 | 740472 | 2598 |

El talud está ubicado en la carretera Yauyucan Cruce Conejo Tranca de la provincia de San Miguel y Departamento de Cajamarca; en el margen derecho.

En la foto observamos depósito cuaternario coluvio - aluvial con fragmentos de roca volcánica.

La base del talud presenta un Basamento de depósito cuaternario. En la parte intermedia conformado por un depósito coluvial y aluvial compuesta por gravas

finas a gruesas de 0.20 m de diámetro, de color gris oscuro, englobando una matriz limosa de grano fino a medio con bastantes finos, con presencia vegetación propia del lugar.

Además se puede apreciar en la foto el corte de carretera, donde se observa un depósito cuaternario aluvial compuesto por fragmentos o clastos angulosos a subangulosos de rocas de diferente composición de origen volcánico.


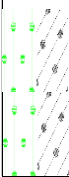
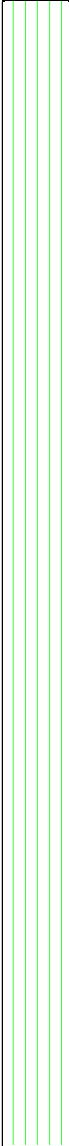


Foto N° 4: Talud inestable sobre deposito Coluvio-Aluvial en la progresiva Km 0+675 - 0+685.

Cuadro N° 12: Análisis granulométrico de la calicata M – 01

| | | | |
|-----------------|--|-------------------------|-------------|
| TESIS: | "ANÁLISIS DE LOS TALUDES DE LA CARRETERA YAUUYUCAN - CRUCE CONEJO TRANCA (KM 0+000 – KM 6+635), Y ALTERNATIVAS DE SOLUCION DTO. YAUUYUCAN – PROV. SANTA CRUZ –DPTO. CAJAMARCA" | | |
| TRAMO: | KM 0.0+00 - KM 06+635 | | |
| MUESTRA: | M- 01 | PROFUNDIDAD (m): | 0.00 - 1.50 |
| | | REGISTRO N° | 2 |

REGISTRO DE EXCAVACION: CALICATA PLATAFORMA

| PERFORACION AL TIPO CIELO ABIERTO | CALICATA C- 02 | | PANEL FOTOGRÁFICO | SIMBOLOGIA | CLASIFICACION | | CONSTANTES FISICAS | | | % PASA MALLA N° 200 |
|-----------------------------------|----------------|---|---|--|---------------|-------|--------------------|----|----|---------------------|
| | PROGR. | CARRIL | | | AASHTO | SUCS | LL | LP | IP | |
| 0.10 | 00 - 0.15 | Material clasificado: Grava arcillosa de color plumiza estado semi compacto |  |  | A-1-a(0) | GM-GC | | | | |
| 0.15 | | | | | | | | | | |
| 0.20 | 0.15 - 1.50 | Material clasificado: Limos inorganicos de baja plasticidad predominan polvo de roca color amarillento estado semi compacto, existe materia organica | |  | A-4(10) | ML | 33 | 24 | 9 | 90.93 |
| 0.30 | | | | | | | | | | |
| 0.40 | | | | | | | | | | |
| 0.50 | | | | | | | | | | |
| 0.60 | | | | | | | | | | |
| 0.70 | | | | | | | | | | |
| 0.80 | | | | | | | | | | |
| 0.90 | | | | | | | | | | |
| 1.00 | | | | | | | | | | |
| 1.10 | | | | | | | | | | |
| 1.20 | | | | | | | | | | |
| 1.30 | | | | | | | | | | |
| 1.40 | | | | | | | | | | |
| 1.50 | | | | | | | | | | |

Análisis RocData V.5:

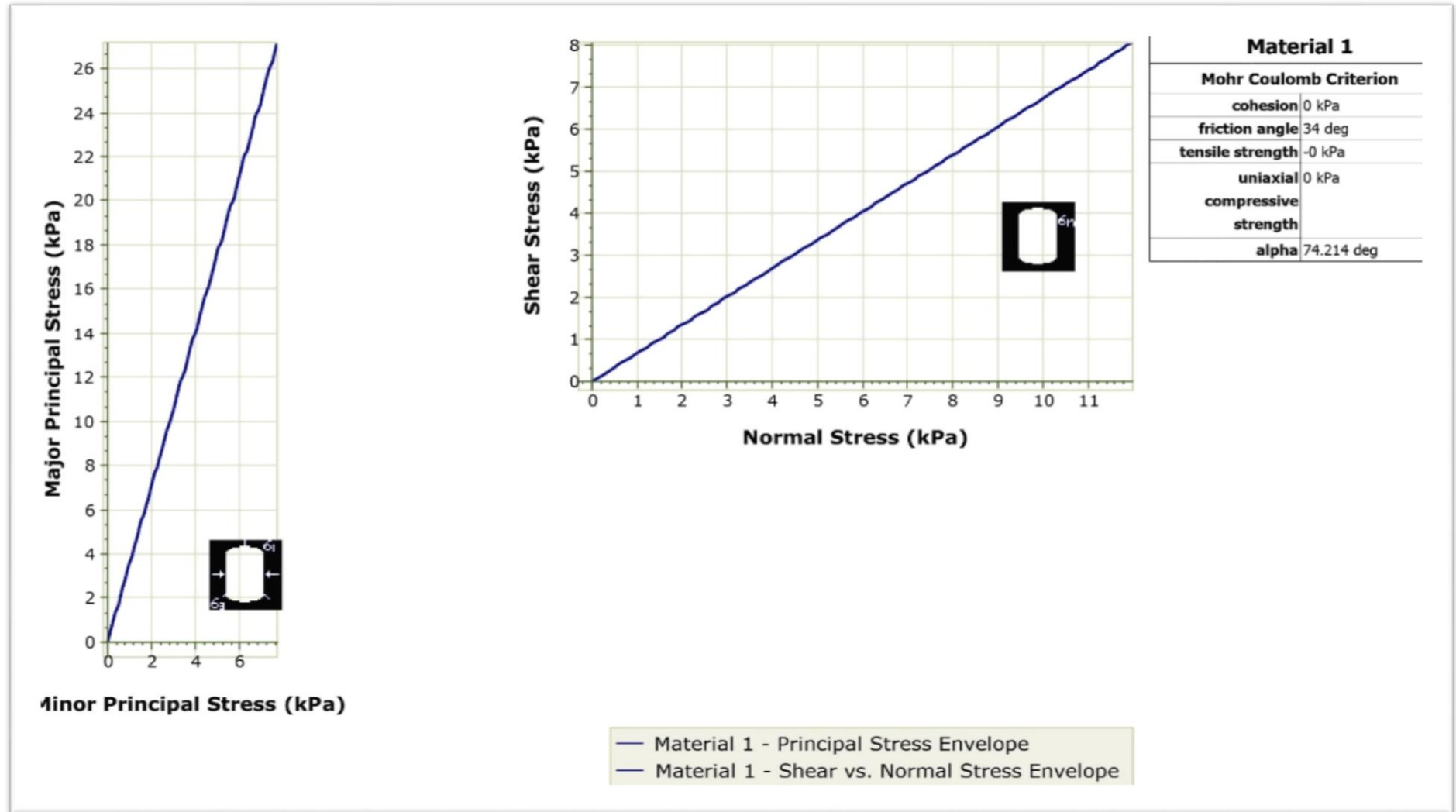


Figura N° 9: Gráfico de esfuerzos para el tramo 01. Suelo GM-GC.

Análisis RocData V.5:

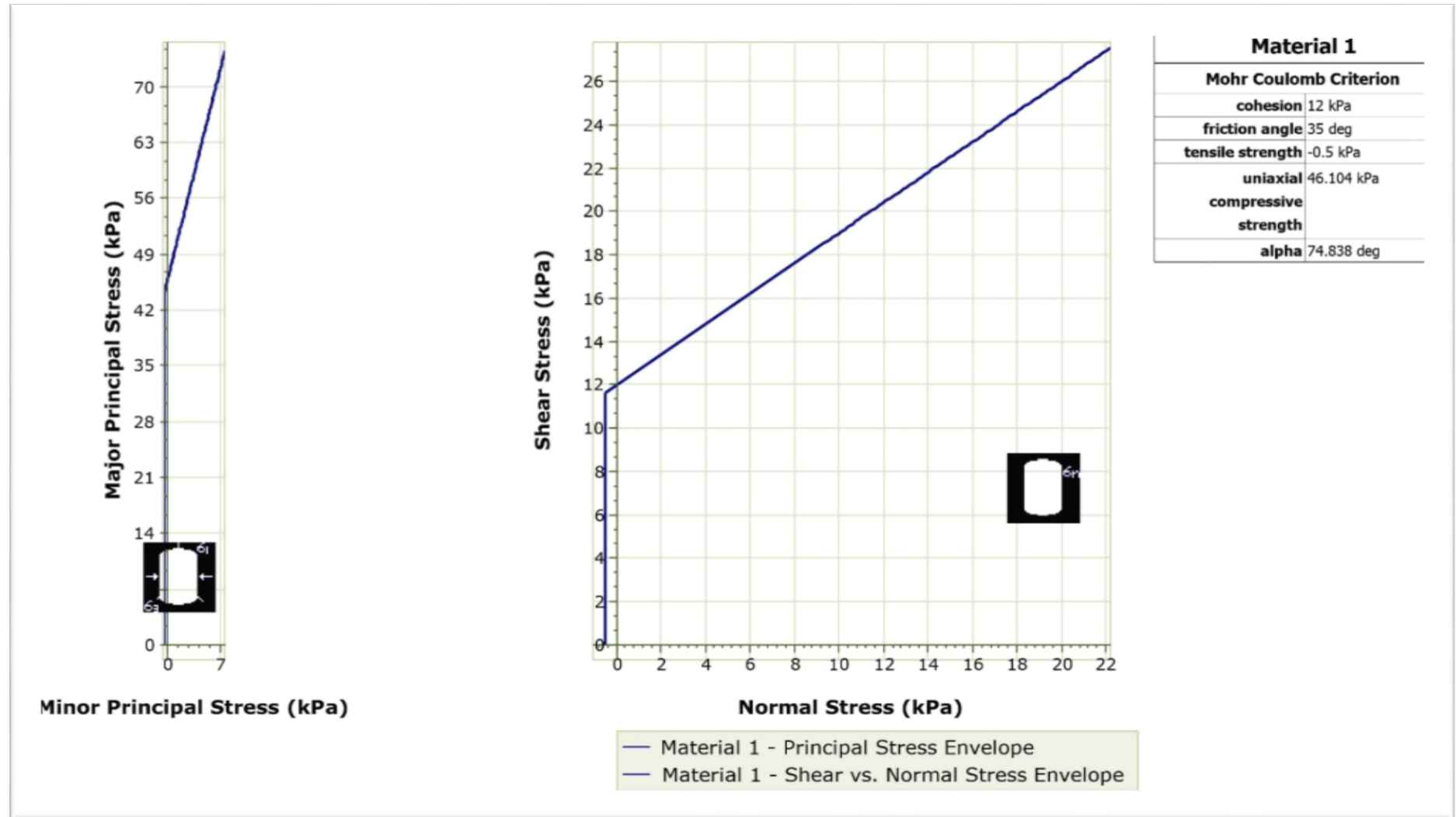


Figura N° 10: Gráfico de esfuerzos para el tramo 01. Suelo ML.

TENSIONES TOTALES

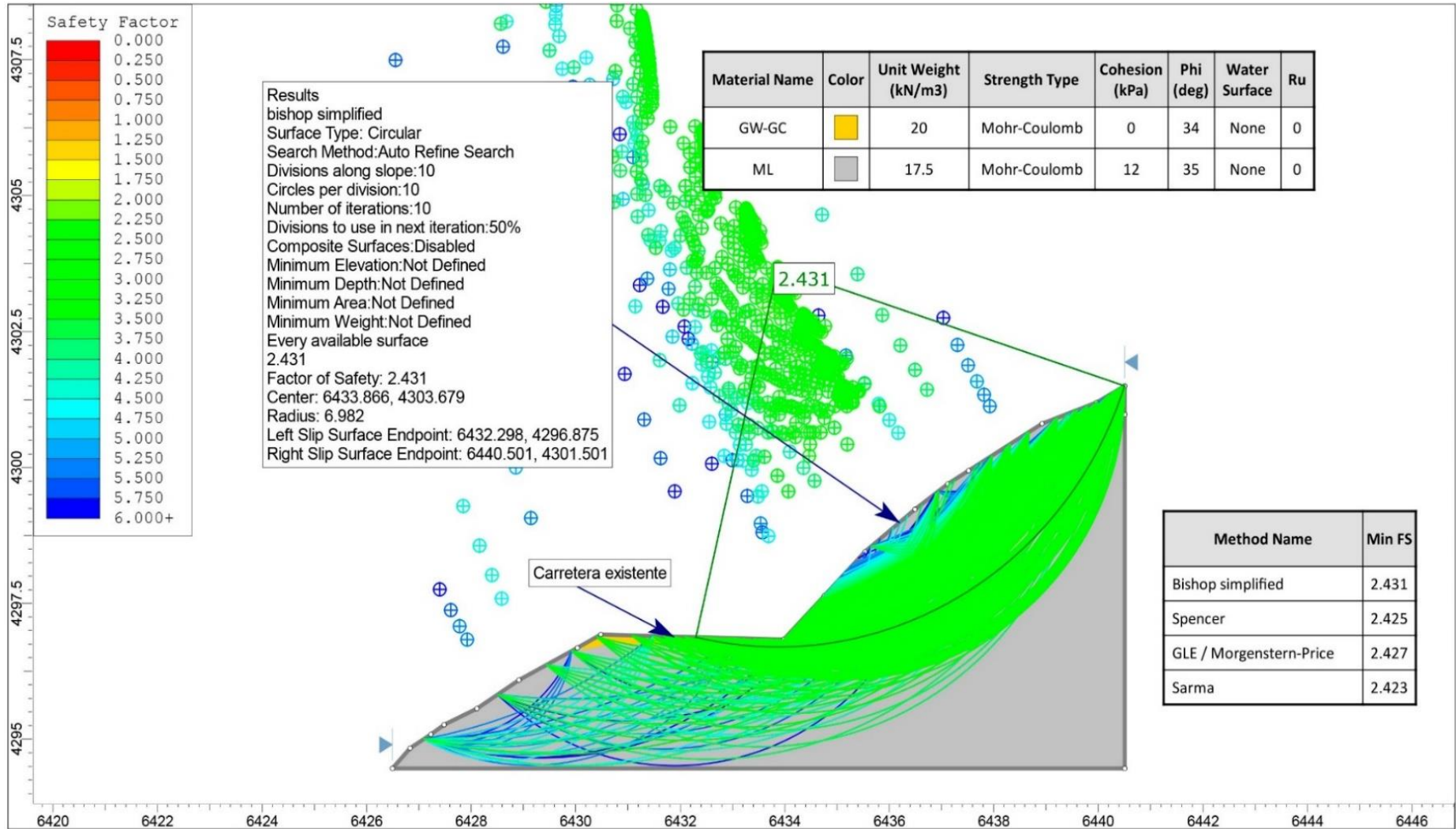


Figura N° 11: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 2.431.

TENSIONES TOTALES + SISMICIDAD

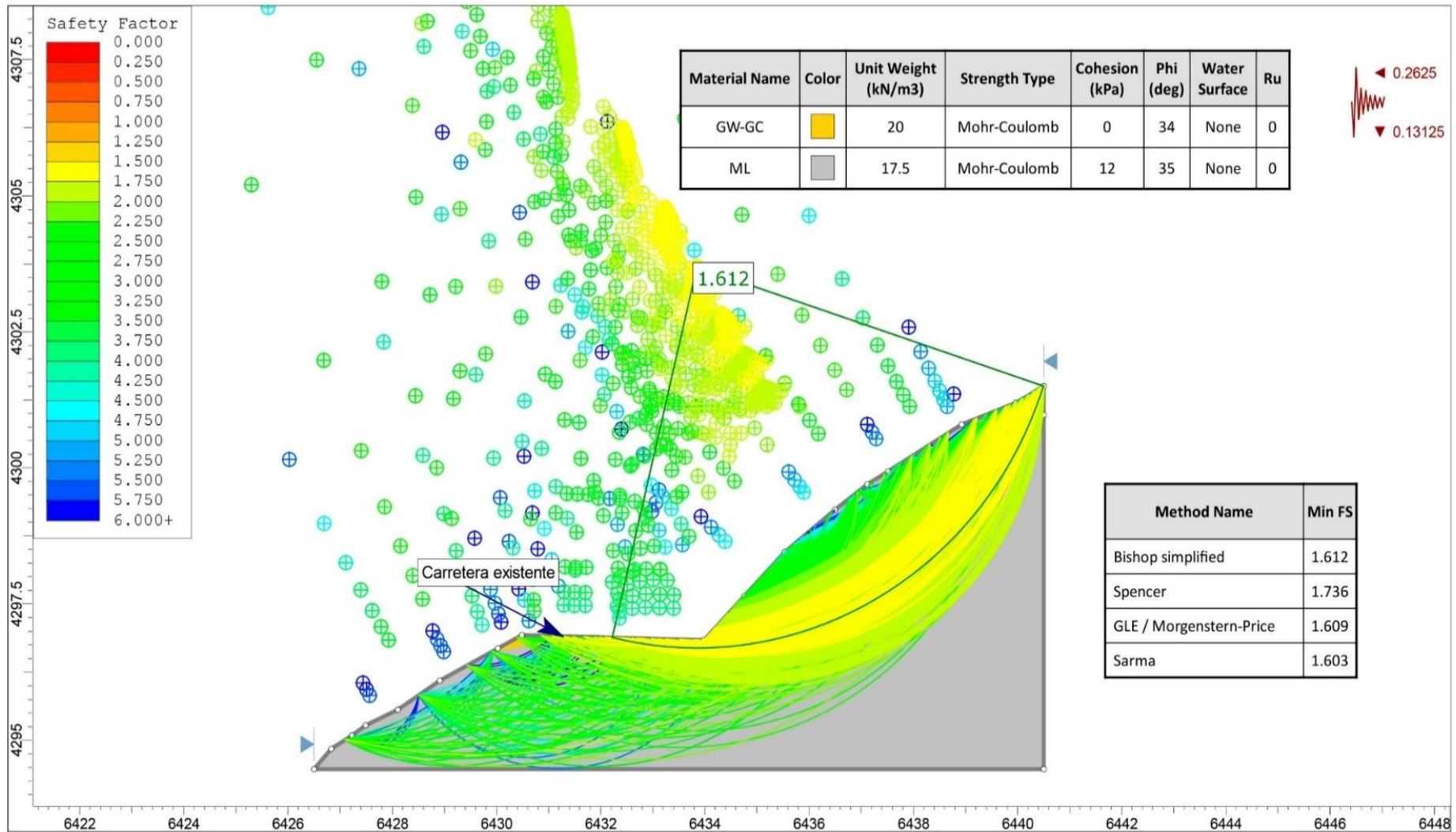


Figura N° 12: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 1.612.

TENSIONES EFECTIVAS

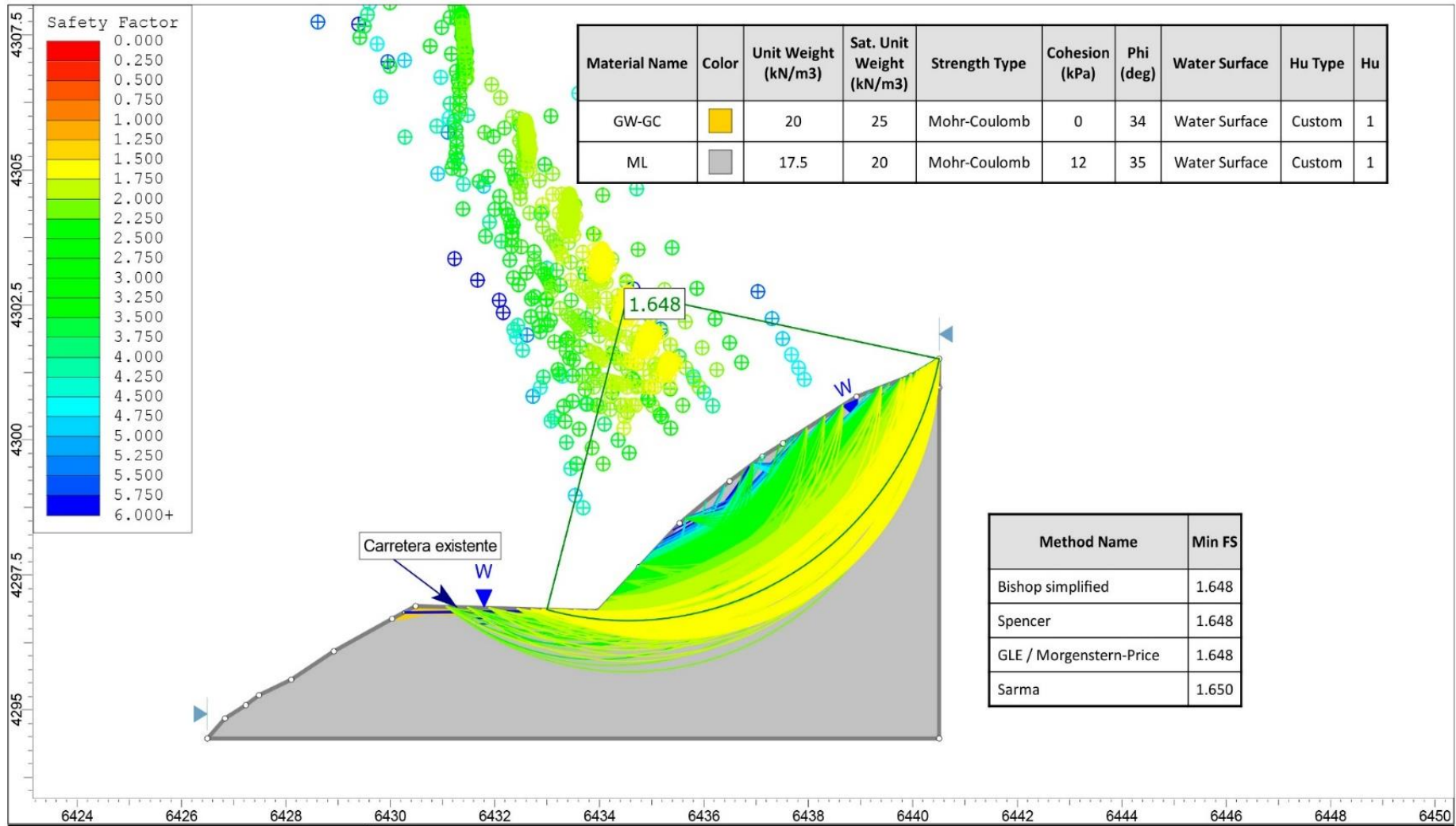


Figura N° 13: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 1.648.

Los resultados del trabajo de campo determino que el tramo está constituido por clastos angulosos a subangulosos, gravas, limos y arcillas de baja plasticidad. Utilizando el Slide para la sección A-A' se encontró que los Factores de Seguridad son variados en condiciones de tensiones totales (T.T.), tensiones totales más sismicidad (T.T. +S), y tensiones Efectivas (T.E) resultados que se muestran en el Cuadro N° 13

Cuadro N° 13: Resultados del primer tramo.

| TRAMO 01 | | | | | | |
|-------------|-----------------------|-------|--------|------------|---------------|------------|
| Potencia | Litología | SUCS | AASHTO | F.S.(T.T.) | F.S.(T.T.+S.) | F.S.(T.E.) |
| 0.00 - 0.15 | Grava Arcillosa | GM-GC | A-1-b | 2.431 | 1.612 | 1.648 |
| 0.15 - 1.50 | Limo Baja Plasticidad | ML | A-4 | | | |

3.3.1.2 Tramo 02 - Progresivas Km. 1+390 - 1+460

| Tramo(km) | Latitud | Longitud | Cota |
|-----------|---------|----------|------|
| 1+390 | 9260876 | 739831 | 2604 |

El talud está ubicado en la carretera Yauyucan Cruce Conejo Tranca de la provincia de San Miguel y Departamento de Cajamarca; en el margen derecho.

En la foto se aprecia una vista panorámica del deslizamiento de roca volcánica meteorizada y esté se ha producido a consecuencia del mal drenaje de aguas escorrentía sobre la corona del talud

La parte baja del talud se puede apreciar el material deslizado compuesta por gravas finas a gruesas de 0.30 m de diámetro, de color amarillento, englobando una matriz limosa de grano fino. La parte superior conforma un depósito aluvial generado por la meteorización de las partes altas de los macizos rocosos que arrastran rocas por gravedad y se depositan en las partes intermedias y bajas del talud.



Foto N° 5: Deslizamiento de roca volcánica de en la progresiva Km 1+390 - 1+460.

Cuadro N° 14: Análisis granulométrico de la calicata M – 02

| | | | |
|-----------------|--|-------------------------|-------------|
| TESIS: | "ANÁLISIS DE LOS TALUDES DE LA CARRETERA YAUYUCAN - CRUCE CONEJO TRANCA (KM 0+000 – KM 6+635), Y ALTERNATIVAS DE SOLUCION DTO. YAUYUCAN – PROV. SANTA CRUZ –DPTO. CAJAMARCA" | | |
| TRAMO: | KM 0.0+00 - KM 06+635 | | |
| MUESTRA: | M-02 | PROFUNDIDAD (m): | 0.00 - 1.50 |
| | | REGISTRO N° | 4 |

REGISTRO DE EXCAVACION: CALICATA PLATAFORMA

| UBIC. | CALICATA C-04 | | PANEL FOTOGRÁFICO | SIMBOLOGIA | CLASIFICACION | | CONSTANTES FISICAS | | | % PASA MALLA N° 200 |
|-----------------------------------|---------------|---|-------------------|------------|---------------|-------|--------------------|----|----|---------------------|
| | PROGR. | CARRIL | | | AASHTO | SUCS | LL | LP | IP | |
| PERFORACION AL TIPO CIELO ABIERTO | MUESTRA | DESCRIPCION | | | A-1-a(0) | GM-GC | | | | |
| 0.10 | 00 - 0.15 | Material clasificado: Grava arcillosa de color marron. | | | | | | | | |
| 0.15 | | | | | | | | | | |
| 0.20 | | | | | | | | | | |
| 0.30 | | | | | | | | | | |
| 0.40 | | | | | | | | | | |
| 0.50 | | | | | | | | | | |
| 0.60 | | | | | | | | | | |
| 0.70 | | | | | | | | | | |
| 0.80 | 0.15 - 1.50 | Material clasificado: Limos de baja plasticidad de color amarillento emicompacto. | | | | | | | | |
| 0.90 | | | | | | | | | | |
| 1.00 | | | | | | | | | | |
| 1.10 | | | | | | | | | | |
| 1.20 | | | | | | | | | | |
| 1.30 | | | | | | | | | | |
| 1.40 | | | | | | | | | | |
| 1.50 | | | | | | | | | | |

Análisis RocData V.5:

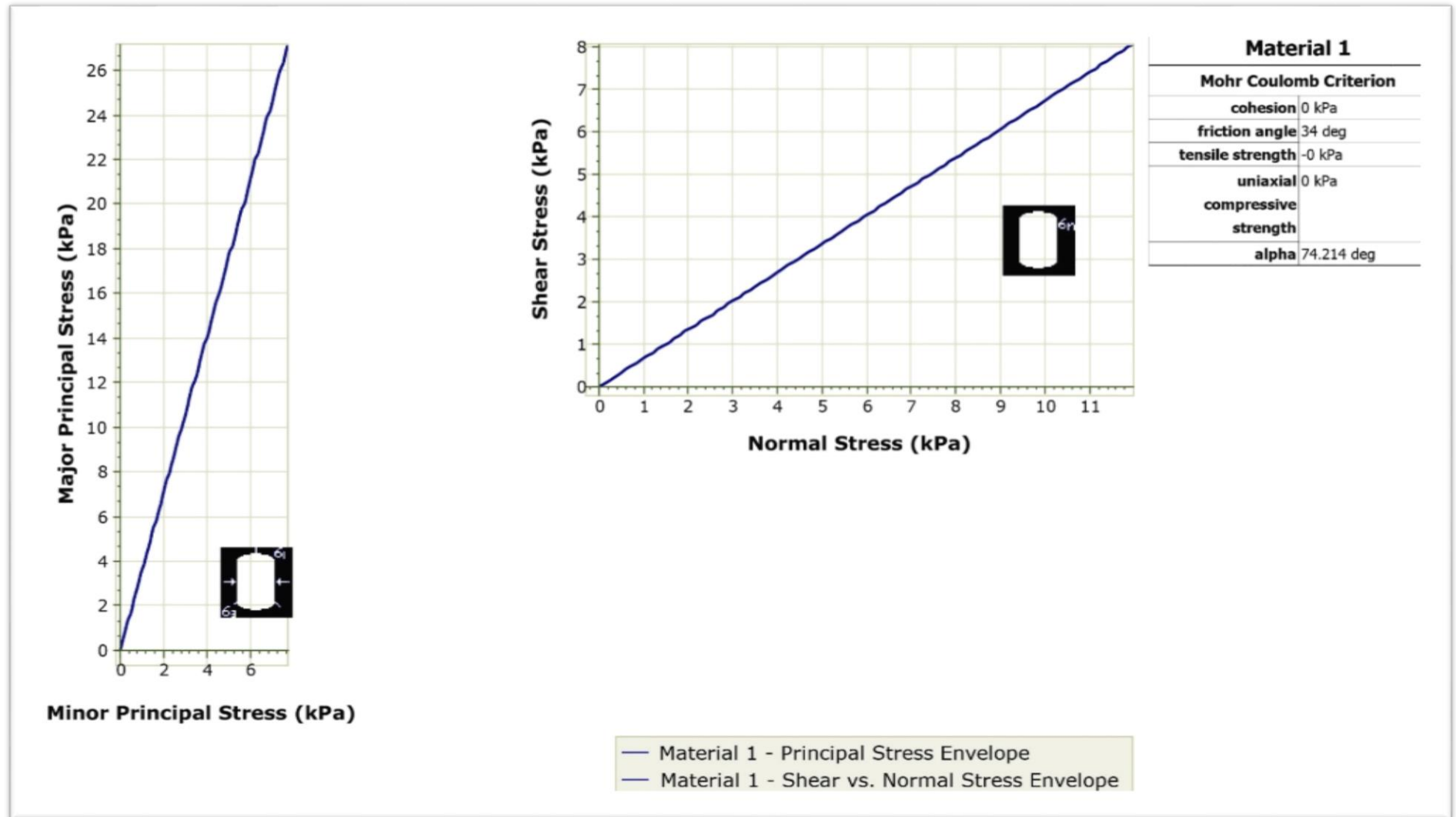


Figura N° 14: Gráfico de esfuerzos para el tramo 02. Suelo GM-GC.

Análisis RocData V.5:

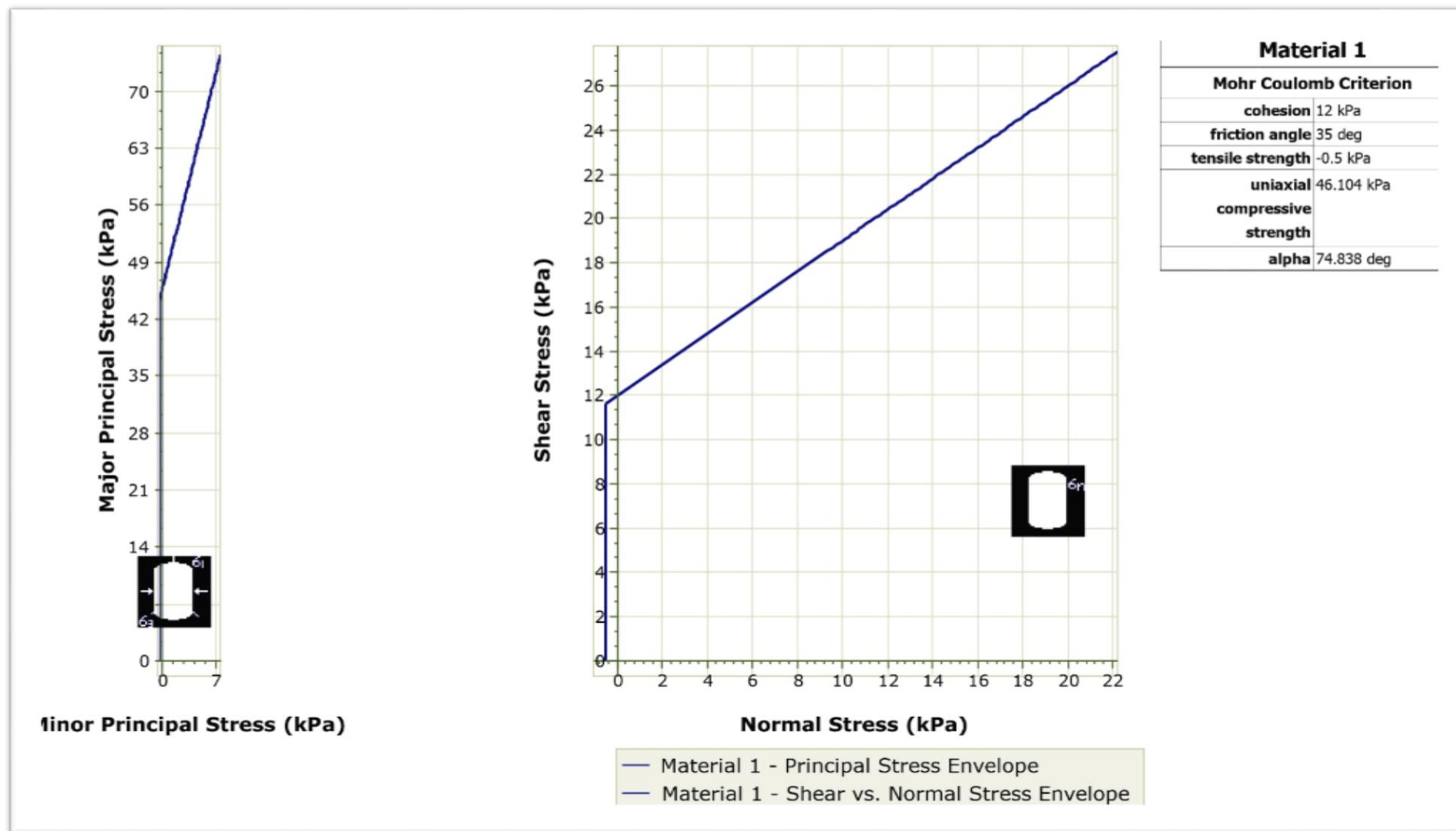


Figura N° 15: Gráfico de esfuerzos para el tramo 02. Suelo ML.

TENSIONES TOTALES

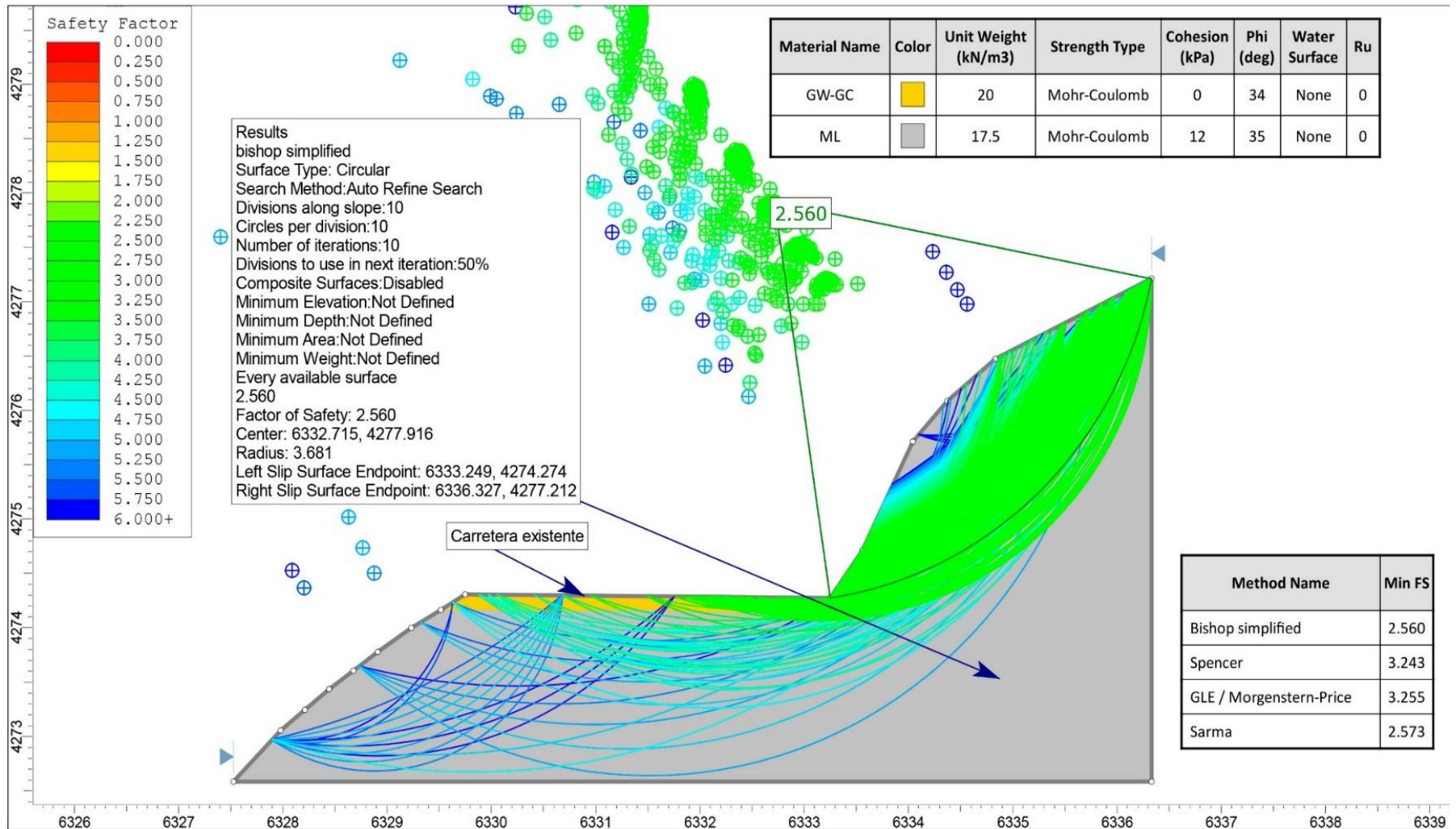


Figura Nº 16: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 2.560.

TENSIONES TOTALES + SISMICIDAD

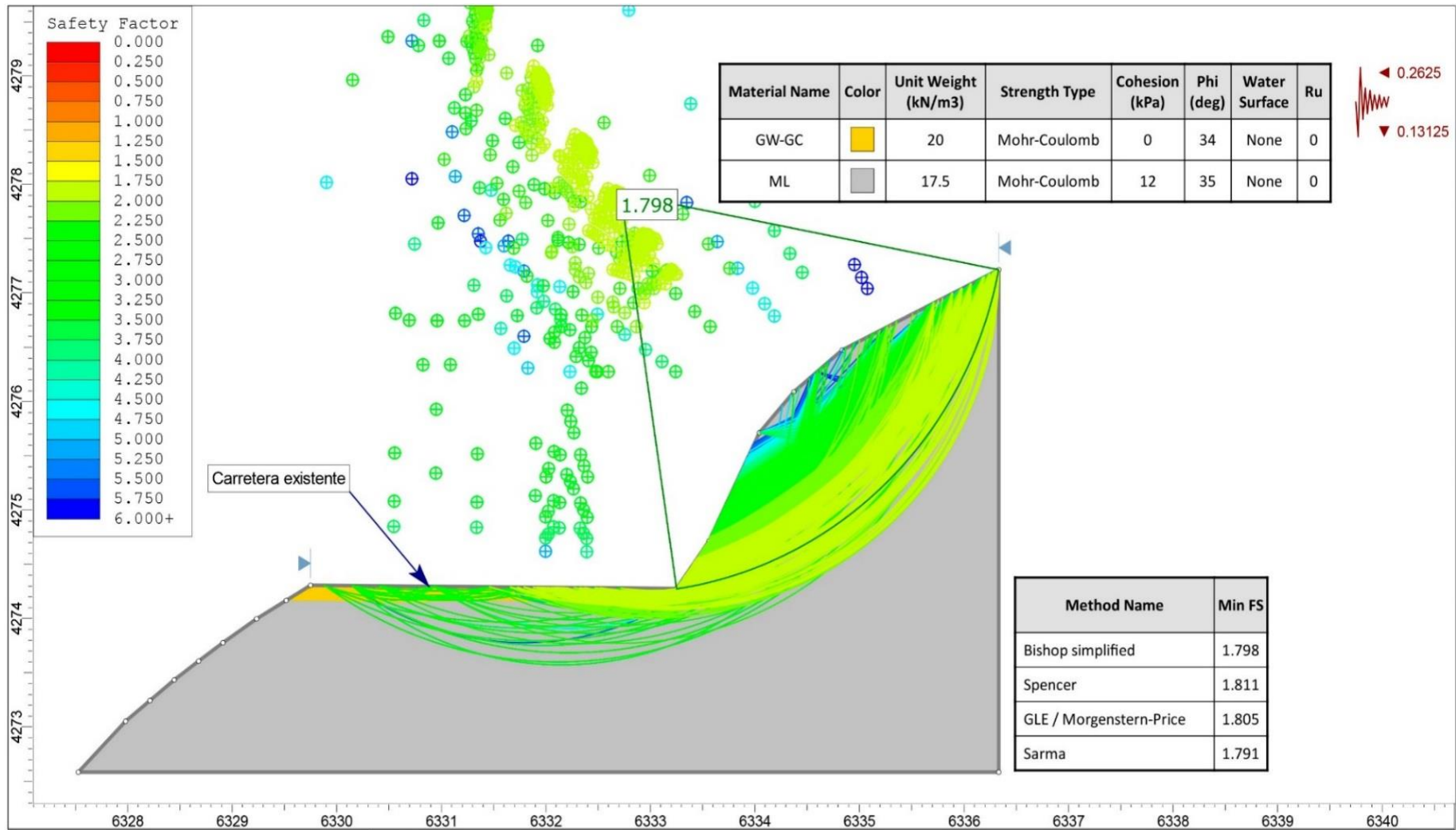


Figura N° 17: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 1.798.

TENSIONES EFECTIVAS

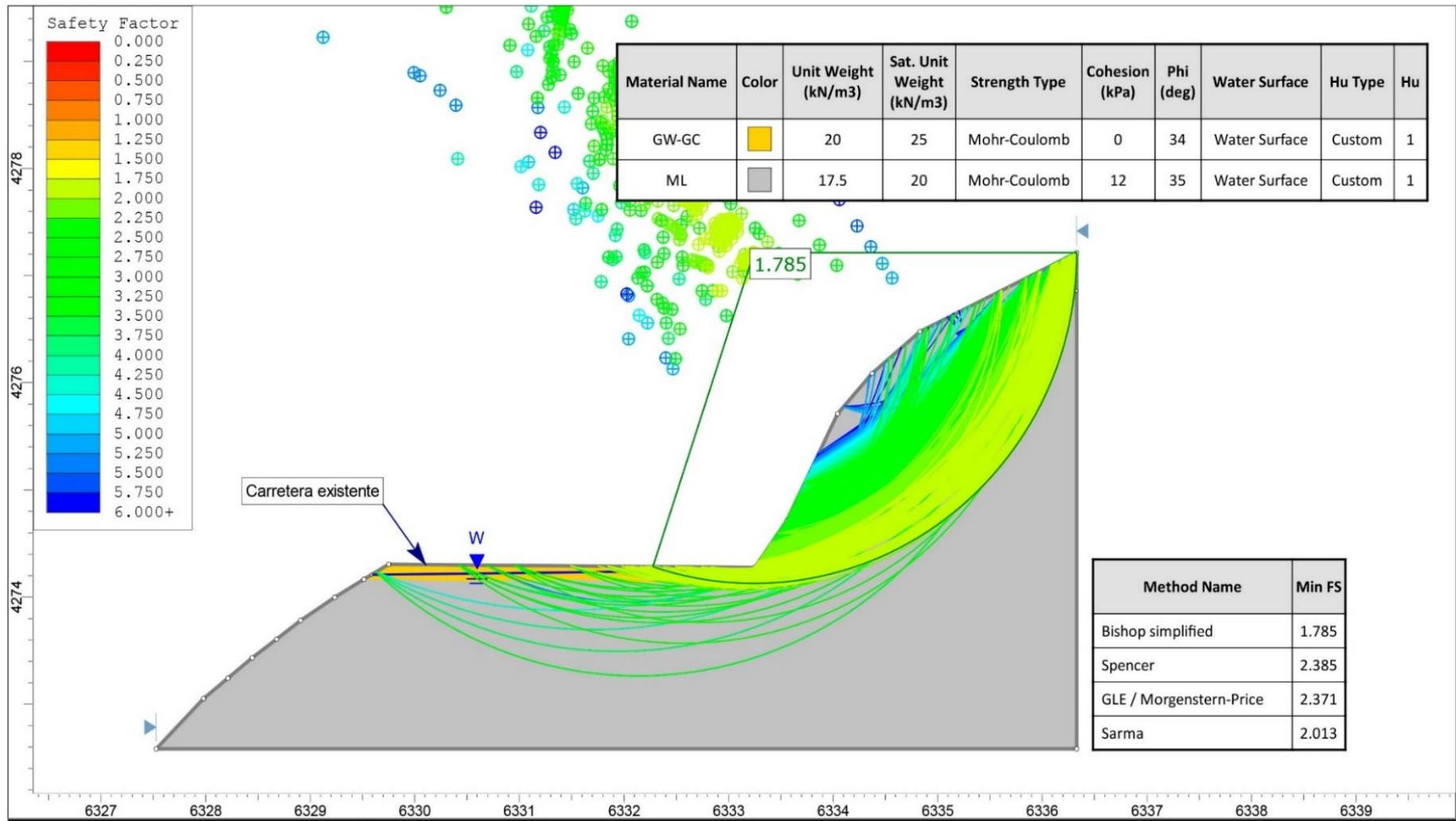


Figura Nº 18: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 1.785.

Los resultados del trabajo de campo se determinó que este tramo está constituido por gravas finas a gruesas de 0.30 m de diámetro, de color marrón, englobando una matriz de color amarillento limosa de grano fino de baja plasticidad. Utilizando el Slide para la sección B-B' se encontró que los Factores de Seguridad son variados en condiciones de tensiones totales (T.T.), tensiones totales más sismicidad (T.T. +S), y tensiones Efectivas (T.E) resultados que se muestran en el Cuadro N° 13

Cuadro N° 15: Resultados del segundo tramo.

| TRAMO 02 | | | | | | |
|-------------|-----------------------|-------|--------|------------|---------------|------------|
| Potencia | Litología | SUCS | AASHTO | F.S.(T.T.) | F.S.(T.T.+S.) | F.S.(T.E.) |
| 0.00 - 0.15 | Grava Arcillosa | GM-GC | A-1-b | 2.560 | 1.798 | 1.785 |
| 0.15 - 1.50 | Limo Baja Plasticidad | ML | A-4 | | | |

3.3.1.3 Tramo 03 - Progresivas Km. 1+570 - 1+670

| Tramo(km) | Latitud | Longitud | Cota |
|-----------|---------|----------|------|
| 1+570 | 9260764 | 739697 | 2589 |

El talud está ubicado en la carretera Yauyucan Cruce Conejo Tranca de la provincia de San Miguel y Departamento de Cajamarca; en el margen derecho.

En la foto panorámica se puede apreciar un deslizamiento rotacional antiguo además existen infiltraciones de agua cerca de la carretera como se observa en el zoom de la foto del lado izquierdo, pero la característica de estos tipos de deslizamiento es que su avance es progresivo además de ello es un depósito aluvial.





Foto N° 6: Vista de un deslizamiento rotacional antiguo en la progresiva Km 1+570 - 1+670

Cuadro N° 16: Análisis granulométrico de la calicata M – 03

| | | | |
|----------------------|--|-------------|--|
| TESIS: | "ANÁLISIS DE LOS TALUDES DE LA CARRETERA YAUUYUCAN - CRUCE CONEJO TRANCA (KM 0+000 – KM 6+635), Y ALTERNATIVAS DE SOLUCION DTO. YAUUYUCAN – PROV. SANTA CRUZ –DPTO. CAJAMARCA" | | |
| TRAMO: | KM 0.0+00 - KM 06+635 | | |
| MUESTRA: M-03 | PROFUNDIDAD (m): | 0.00 - 1.50 | |
| | REGISTRO N° | 5 | |

REGISTRO DE EXCAVACION: CALICATA PLATAFORMA

| UBIC. | CALICATA C- 05 | | PANEL FOTOGRÁFICO | SIMBOLOGIA | CLASIFICACION | | CONSTANTES FISICAS | | | % PASA MALLA N° 200 | | | |
|-------|----------------|-------------|-------------------|------------|---------------|-------|---|----|----|---------------------|--|--|--|
| | PROGR. | CARRIL | | | AASHTO | SUCS | LL | LP | IP | | | | |
| | | DERECHO | | | A-1-a(0) | GM-GC | | | | | | | |
| | 0.10 | M-03 | | | | | Material clasificado: Grava arcillosa de color marron oscuro | | | | | | |
| | 0.20 | | | | | | | | | | | | |
| | 0.30 | | | | | | | | | | | | |
| | 0.40 | | | | | | | | | | | | |
| | 0.50 | | | | | | | | | | | | |
| | 0.60 | | | | | | | | | | | | |
| | 0.70 | | | | | | | | | | | | |
| | 0.80 | | | | | | | | | | | | |
| | 0.90 | M-03 | | | | | Material clasificado: Arena limoso de color plomizo estado semi compacto, existe materia organica | | | | | | |
| | 1.00 | 0.20 - 1.50 | | | | | | | | | | | |
| | 1.10 | | | | | | | | | | | | |
| | 1.20 | | | | | | | | | | | | |
| | 1.30 | | | | | | | | | | | | |
| | 1.40 | | | | | | | | | | | | |
| | 1.50 | | | | | | | | | | | | |

Análisis RocData V.5:

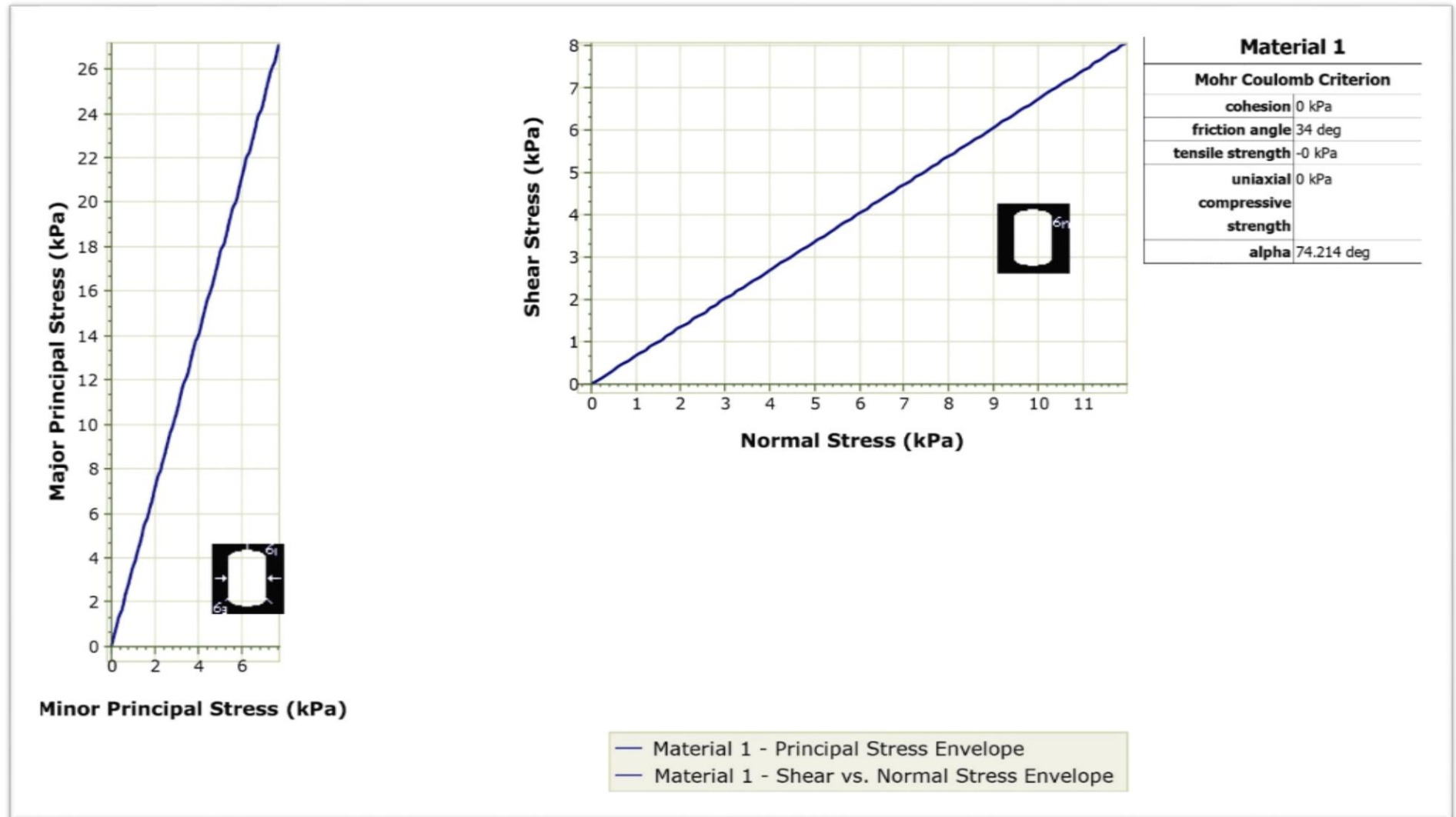


Figura N° 19: Gráfico de esfuerzos para el tramo 03. Suelo GM-GC.

Análisis RocData V.5:

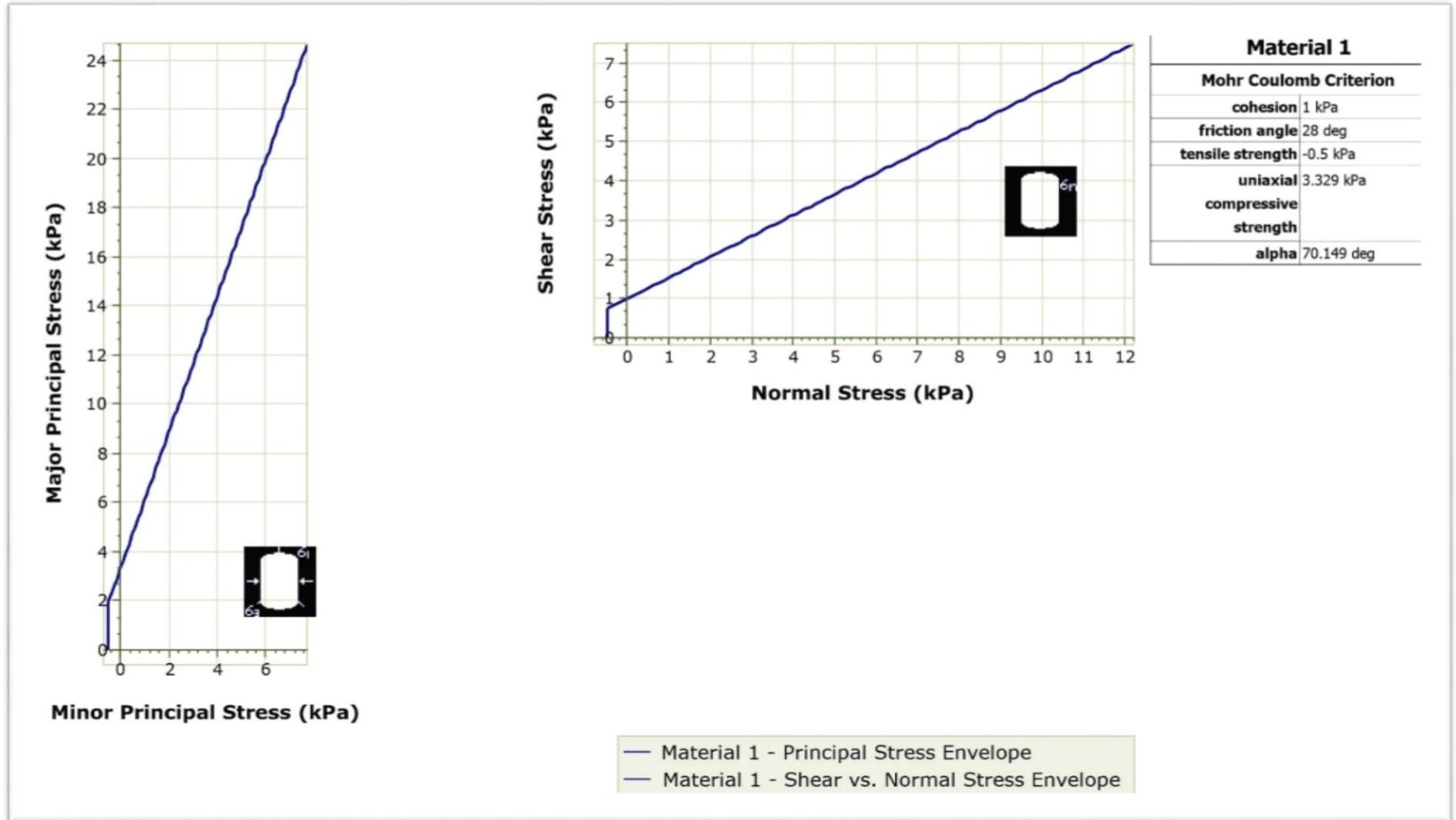


Figura N° 20: Gráfico de esfuerzos para el tramo 03. Suelo SM.

TENSIONES TOTALES

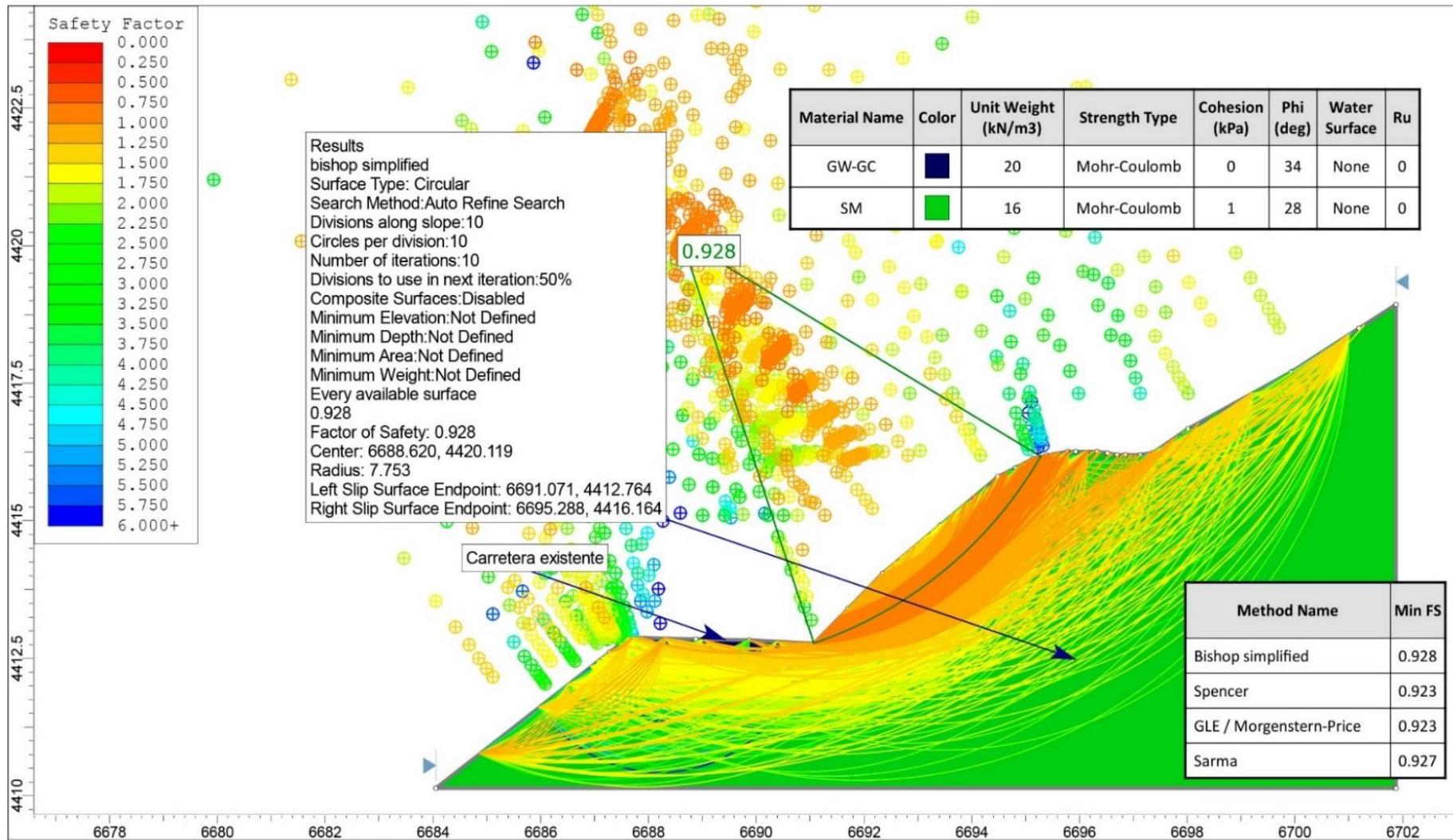


Figura Nº 21: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.928.

TENSIONES TOTALES + SISMICIDAD

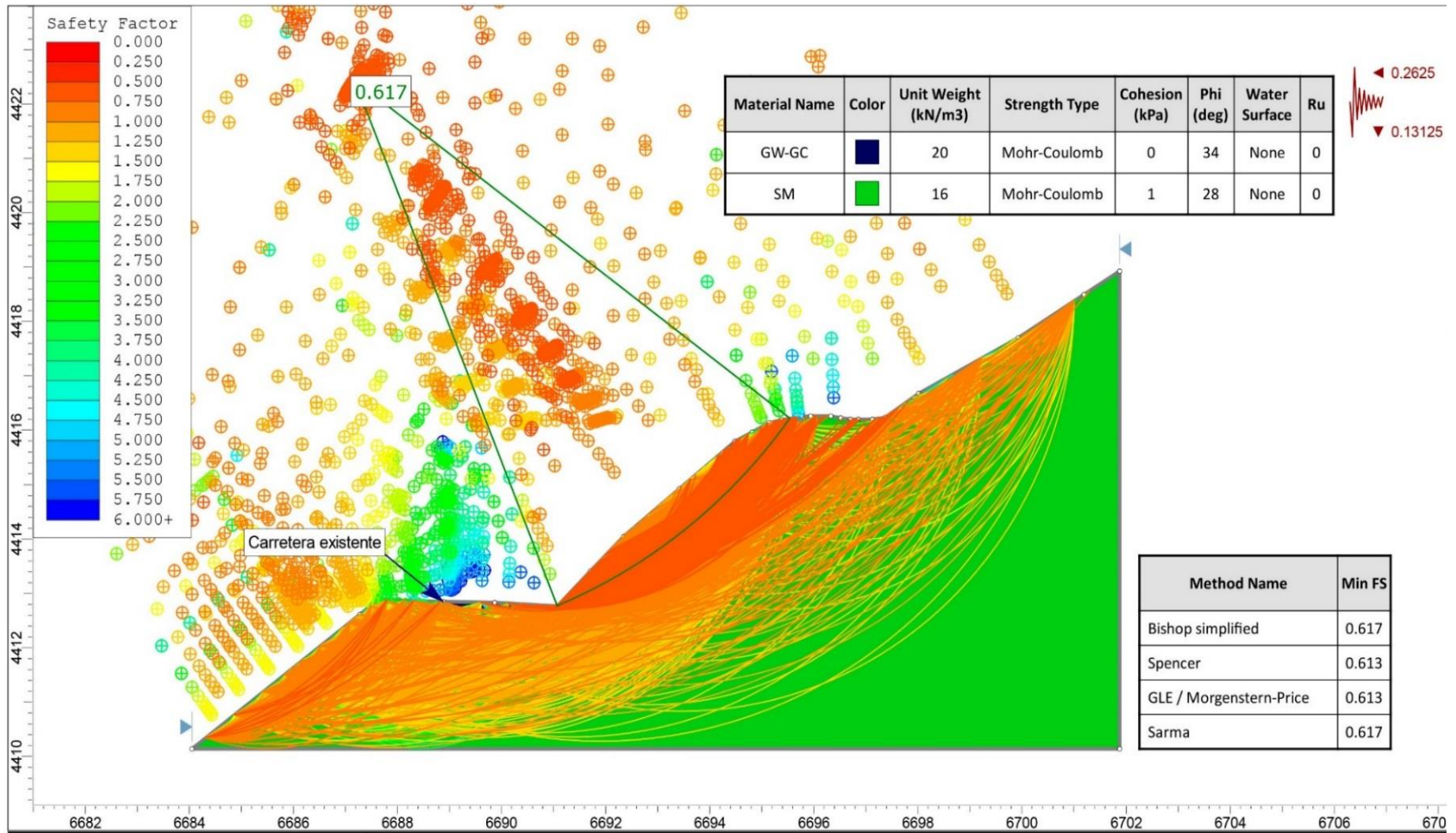


Figura N° 22: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.617.

TENSIONES EFECTIVAS

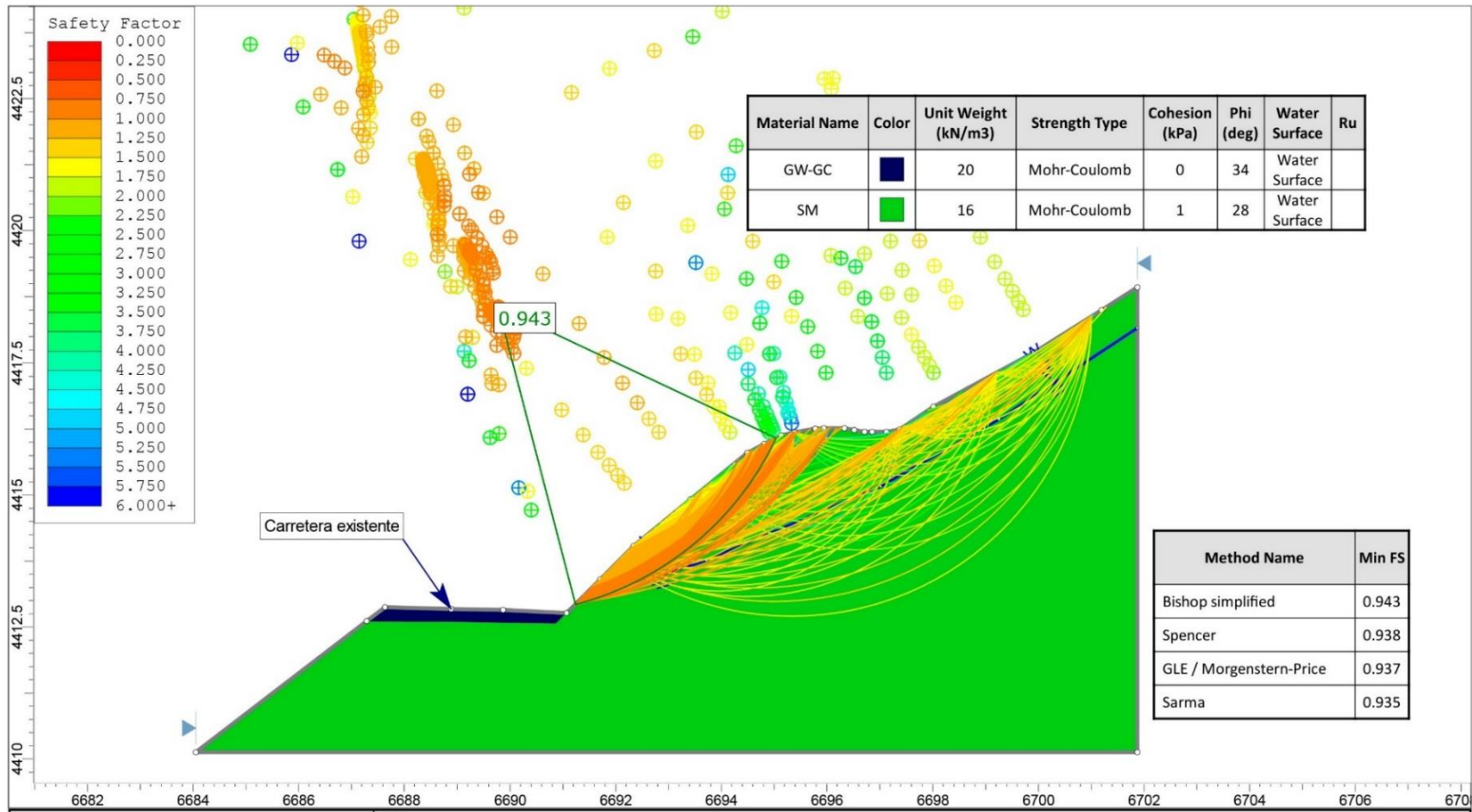


Figura N° 23: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.943.

Los resultados del trabajo de campo se determinó que en este tramo se puede apreciar un deslizamiento rotacional antiguo además existen infiltraciones de agua cerca de la carretera, pero la característica de estos tipos de deslizamiento es que su avance es progresivo además está compuesto por Gravas arcillosas de color marrón oscuro y arena limosa de color plomizo. Utilizando el Slide para la sección C-C' se encontró que los Factores de Seguridad son variados en condiciones de tensiones totales (T.T.), tensiones totales más sismicidad (T.T. +S), y tensiones Efectivas (T.E) resultados que se muestran en el Cuadro N° 17

Cuadro N° 17: Resultados del tercer tramo.

| TRAMO 03 | | | | | | |
|-------------|-----------------|-------|--------|------------|---------------|------------|
| Potencia | Litología | SUCS | AASHTO | F.S.(T.T.) | F.S.(T.T.+S.) | F.S.(T.E.) |
| 0.00 - 0.15 | Grava Arcillosa | GM-GC | A-1-b | 0.928 | 0.617 | 0.943 |
| 0.15 - 1.50 | Arena Limosa | SM | A-2-4 | | | |

3.3.1.4 Tramo 04 - Progresivas Km. 4+100 - 4+120

| Tramo(km) | Latitud | Longitud | Cota |
|-----------|---------|----------|------|
| 4+100 | 9259779 | 738976 | 2783 |

El talud está ubicado en la carretera Yauyucan Cruce Conejo Tranca de la provincia de San Miguel y Departamento de Cajamarca; en el margen izquierdo.

El talud está cercano a la curva 77 (C77) en el margen izquierdo, aquí se evidencia un deslizamiento antiguo de unos 13m de ancho por 12m altura, formado por rocas volcánicas con alteración moderada con un ángulo de reposo del talud de 59°.

La unidad geomorfológica principal lo constituye un talud de altura 12 m., formando en la parte superior una terraza de gran extensión, aprovechados para la siembra de pastos.

Su geodinámica los constituye un deslizamiento planar en toda la cara del talud arrastrando consigo plantas y depósitos cuaternarios, de la parte superior y depositándolos en la parte inferior; por lo consiguiente obstruye la cuneta.



Foto N° 7: Deslizamiento antiguo de unos 13m de ancho por 12m altura en la progresiva Km 4+100 - 4+120

Cuadro N° 18: Análisis granulométrico de la calicata M – 04

| | | | |
|-----------------|--|-------------------------|-------------|
| TESIS: | "ANÁLISIS DE LOS TALUDES DE LA CARRETERA YAUYUCAN - CRUCE CONEJO TRANCA (KM 0+000 – KM 6+635), Y ALTERNATIVAS DE SOLUCION DTO. YAUYUCAN – PROV. SANTA CRUZ –DPTO. CAJAMARCA" | | |
| TRAMO: | KM 0.0+00 - KM 06+635 | | |
| MUESTRA: | M-04 | PROFUNDIDAD (m): | 0.00 - 1.50 |
| | | REGISTRO N° | 9 |

REGISTRO DE EXCAVACION: CALICATA PLATAFORMA

| PROFUNDIDAD | UBIC. | | PANEL FOTOGRÁFICO | SIMBOLOGIA | CLASIFICACION | | CONSTANTES FISICAS | | | % PASA MALLA N° 200 | | |
|-------------|---------------|--------|-------------------|---------------------|--|-------------|--------------------|------|----|---------------------|-------|----|
| | PROGR. | CARRIL | | | MUESTRA | DESCRIPCION | AASHTO | SUCS | LL | | LP | IP |
| | CALICATA C-09 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 0.10 | | | | M4 00 - 0.15 | Material clasificado: Grava pequeña arcillosa de amarillento oscuro. | A-1-a(0) | GM-GC | LL | LP | IP | | |
| 0.15 | | | | | | | | | | | | |
| 0.20 | ■ | | | M-04 0.15 - 1.50 | Material clasificado: Arena limoso de color amarillento estado semi compacto, existe materia organic. | A-4(4) | ML | 37 | 34 | 3 | 81.56 | |
| 0.30 | ■ | | | | | | | | | | | |
| 0.40 | ■ | | | | | | | | | | | |
| 0.50 | ■ | | | | | | | | | | | |
| 0.60 | ■ | | | | | | | | | | | |
| 0.70 | ■ | | | | | | | | | | | |
| 0.80 | ■ | | | | | | | | | | | |
| 0.90 | ■ | | | | | | | | | | | |
| 1.00 | ■ | | | | | | | | | | | |
| 1.10 | ■ | | | | | | | | | | | |
| 1.20 | ■ | | | | | | | | | | | |
| 1.30 | ■ | | | | | | | | | | | |
| 1.40 | ■ | | | | | | | | | | | |
| 1.50 | ■ | | | | | | | | | | | |

Análisis RocData V.5:

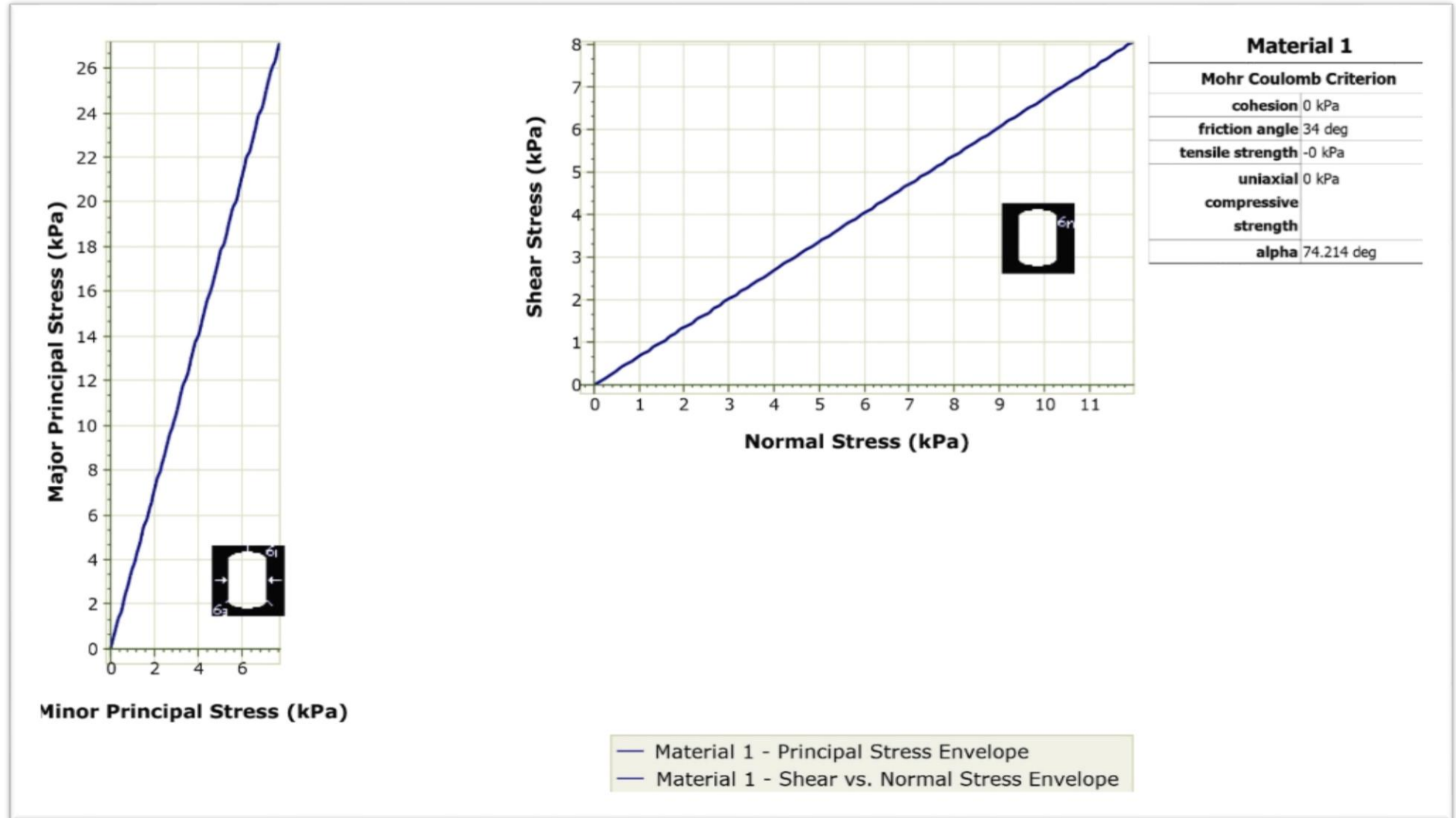


Figura N° 24: Gráfico de esfuerzos para el tramo 03. Suelo GM-GC.

Análisis RocData V.5:

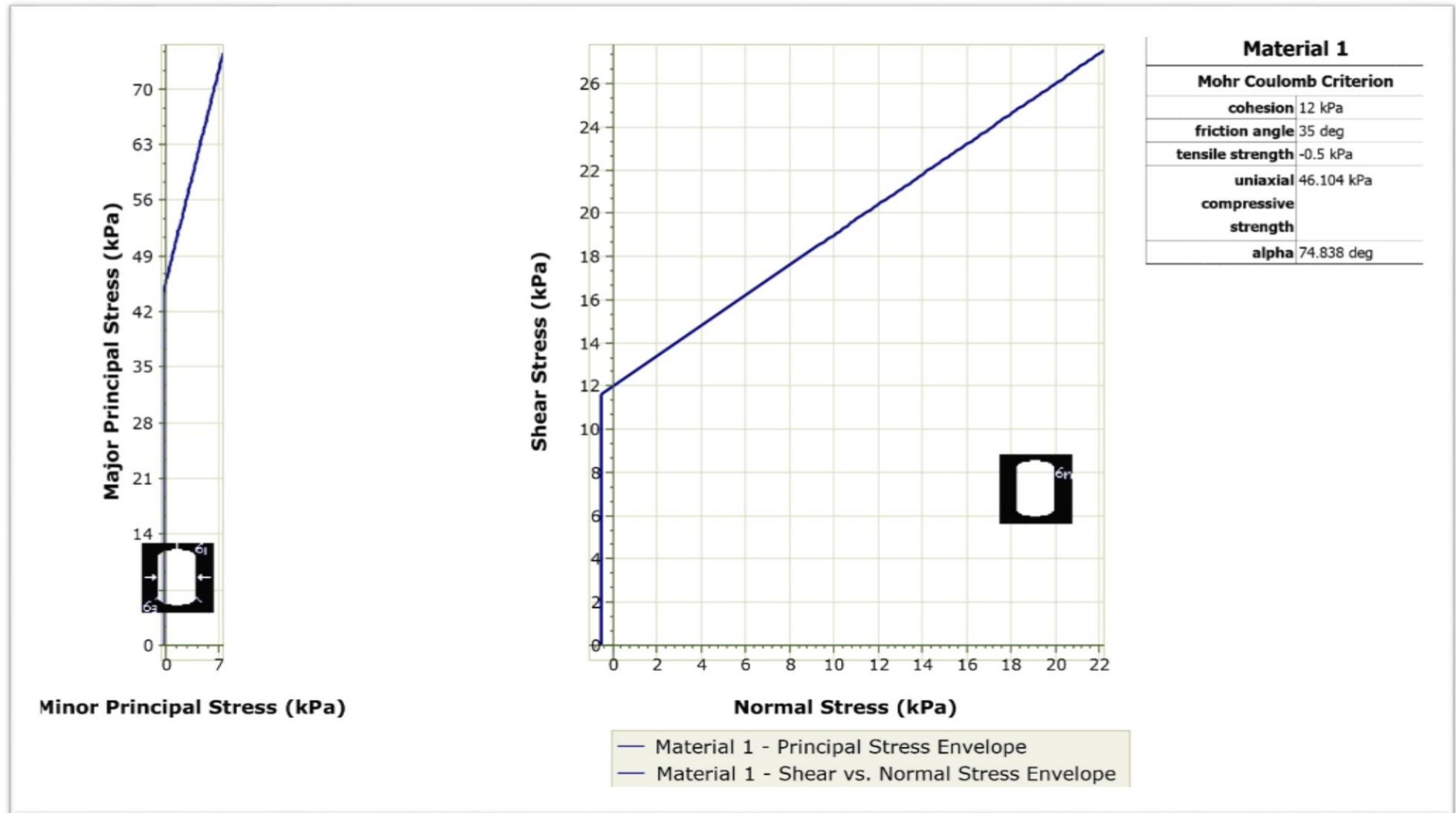


Figura N° 25: Gráfico de esfuerzos para el tramo 03. Suelo ML.

TENSIONES TOTALES

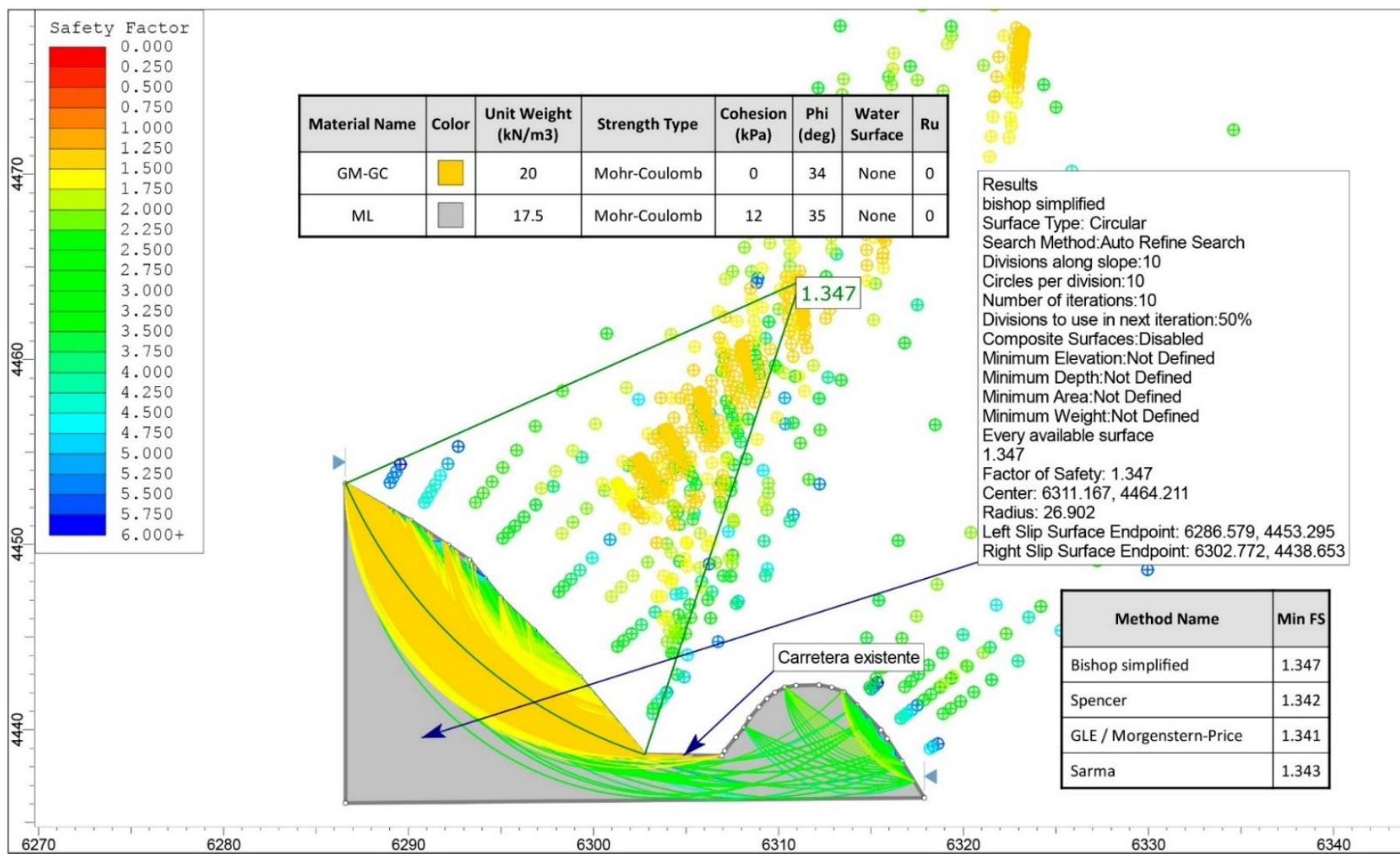


Figura N° 26: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 1.347.

TENSIONES TOTALES + SISMICIDAD

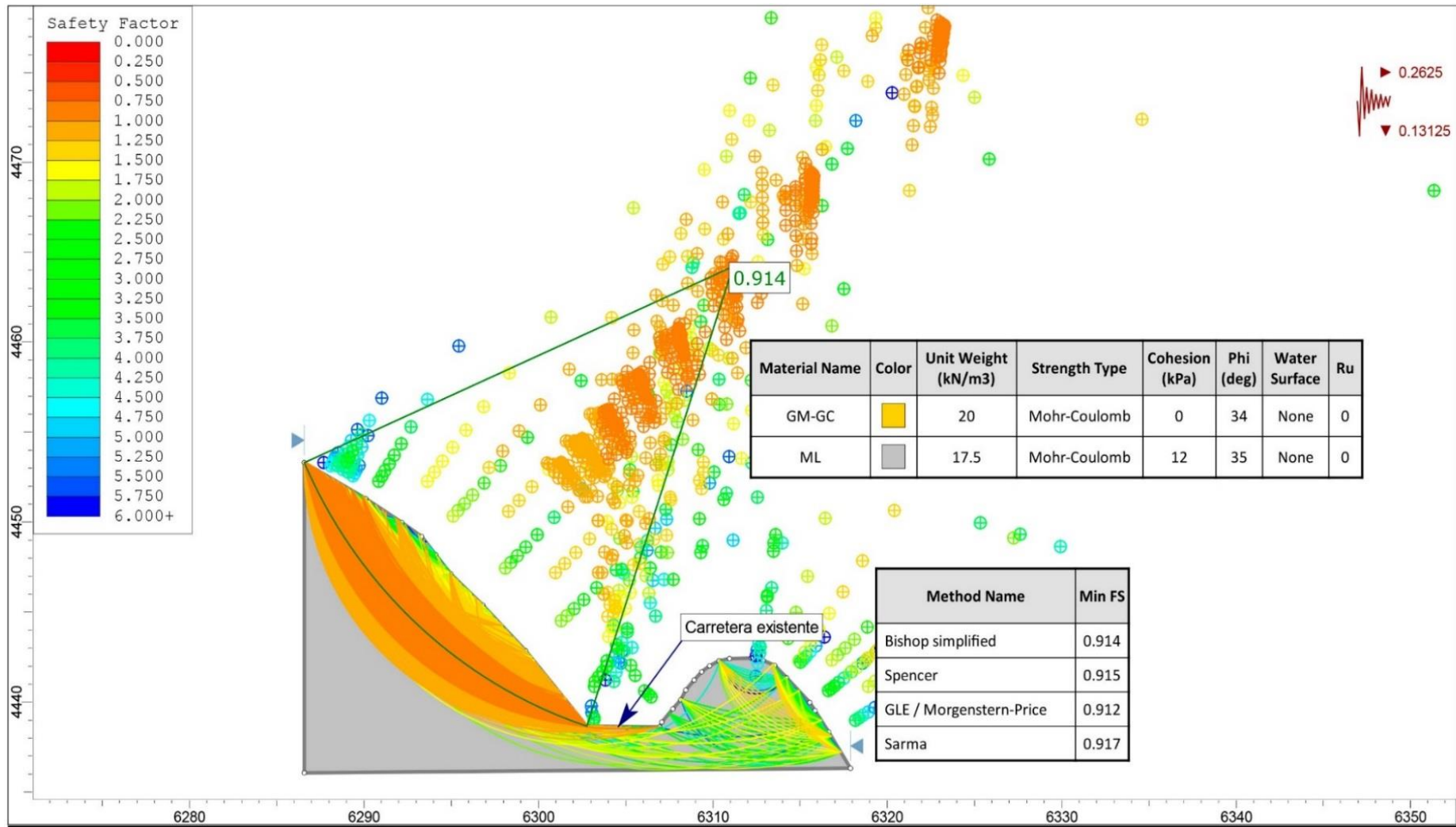


Figura N° 27: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.914.

TENSIONES EFECTIVAS

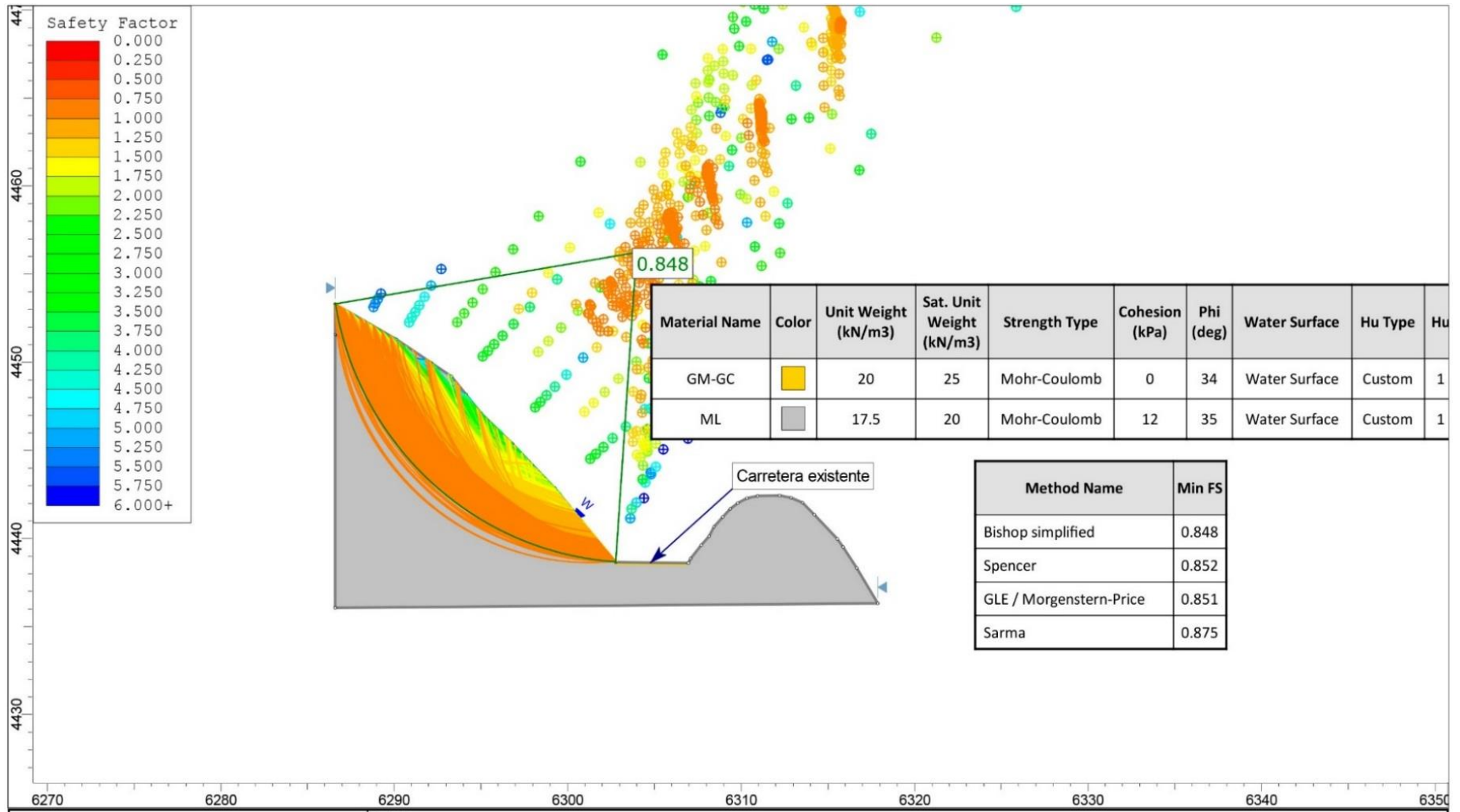


Figura N° 28: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.848.

Los resultados del trabajo de campo se evidencia un deslizamiento antiguo de más o menos 13m de ancho por 12m altura, formado por rocas volcánicas con alteración moderada con un ángulo de reposo del talud de 59°. Compuesto por grava pequeñas con arcillas de color amarillento oscuro y arenas limosas de color amarillento. Utilizando el Slide para la sección D-D' se encontró que los Factores de Seguridad son variados en condiciones de tensiones totales (T.T.), tensiones totales más sismicidad (T.T. +S), y tensiones Efectivas (T.E) resultados que se muestran en el Cuadro N° 19

Cuadro N° 19: Resultados del cuarto tramo.

| TRAMO 04 | | | | | | |
|-------------|-----------------|-------|--------|------------|---------------|------------|
| Potencia | Litología | SUCS | AASHTO | F.S.(T.T.) | F.S.(T.T.+S.) | F.S.(T.E.) |
| 0.00 - 0.15 | Grava Arcillosa | GM-GC | A-1-b | 1.347 | 0.914 | 0.848 |
| 0.15 - 1.50 | Arena Limosa | ML | A-4 | | | |

3.3.1.5 Tramo 05 - Progresivas Km. 4+350 - 4+400

| Tramo(km) | Latitud | Longitud | Cota |
|-----------|---------|----------|------|
| 4+350 | 9259888 | 738847 | 2800 |

El talud está ubicado en la carretera Yauyucan Cruce Conejo Tranca de la provincia de San Miguel y Departamento de Cajamarca; en el margen Izquierdo.

Se puede ver el escarpe de la corona del talud en la foto panorámica NE-SW mirando al SE de este tramo donde se puede apreciar un deslizamiento de roca volcánica muy deleznable producto de la alteración.

Solución: Limpiar el Talud y Adopción de taludes de 1:1.5 (V: H)

Su geodinámica está conformado por un deslizamiento de la corona del talud, siendo la lluvia uno de los principales desencadenantes de deslizamientos y derrumbes de rocas muy alteradas en forma constante, arrastrando consigo depósitos cuaternarios y plantas dejando tapado la cuneta.



Foto N° 8: Deslizamiento de roca volcánica muy deleznable producto de la alteración en la progresiva Km 4+350 - 4+400

Cuadro N° 20: Análisis granulométrico de la calicata M – 05

| | | | |
|-----------------|--|-------------------------|-------------|
| TESIS: | "ANÁLISIS DE LOS TALUDES DE LA CARRETERA YAUYUCAN - CRUCE CONEJO TRANCA (KM 0+000 – KM 6+635), Y ALTERNATIVAS DE SOLUCION DTO. YAUYUCAN – PROV. SANTA CRUZ –DPTO. CAJAMARCA" | | |
| TRAMO: | KM 0.0+00 - KM 06+635 | | |
| MUESTRA: | M-05 | PROFUNDIDAD (m): | 0.00 - 1.50 |
| | | REGISTRO N° | 10 |

REGISTRO DE EXCAVACION: CALICATA PLATAFORMA

| PROFUNDIDAD | UBIC. | | PANEL FOTOGRÁFICO | SIMBOLOGIA | CLASIFICACION | | CONSTANTES FISICAS | | | % PASA MALLA N° 200 | |
|-------------|--------|-----------------------------------|-------------------|------------|---------------|----------|--------------------|----|----|---------------------|-------|
| | PROGR. | CARRIL | | | AASHTO | SUCS | LL | LP | IP | | |
| | | CALICATA C- 10 | | | | | | | | | |
| | | Km 04+400 | | | | | | | | | |
| | | IZQUIERDA | | | | | | | | | |
| | | PERFORACION AL TIPO CIELO ABIERTO | | | | | | | | | |
| | | MUESTRA | | | | | | | | | |
| | | DESCRIPCION | | | | | | | | | |
| 0.10 | | M-05 | | | | A-1-a(0) | GM-GC | | | | |
| 0.20 | | 00 - 0.20 | | | | | | | | | |
| 0.30 | | | | | | | | | | | |
| 0.40 | | | | | | | | | | | |
| 0.50 | | | | | | | | | | | |
| 0.60 | | | | | | | | | | | |
| 0.70 | | | | | | | | | | | |
| 0.80 | | M-05 | | | | A-4(7) | ML | 32 | 27 | 5 | 87.46 |
| 0.90 | | 0.20-1.50 | | | | | | | | | |
| 1.00 | | | | | | | | | | | |
| 1.10 | | | | | | | | | | | |
| 1.20 | | | | | | | | | | | |
| 1.30 | | | | | | | | | | | |
| 1.40 | | | | | | | | | | | |
| 1.50 | | | | | | | | | | | |

Análisis RocData V.5:

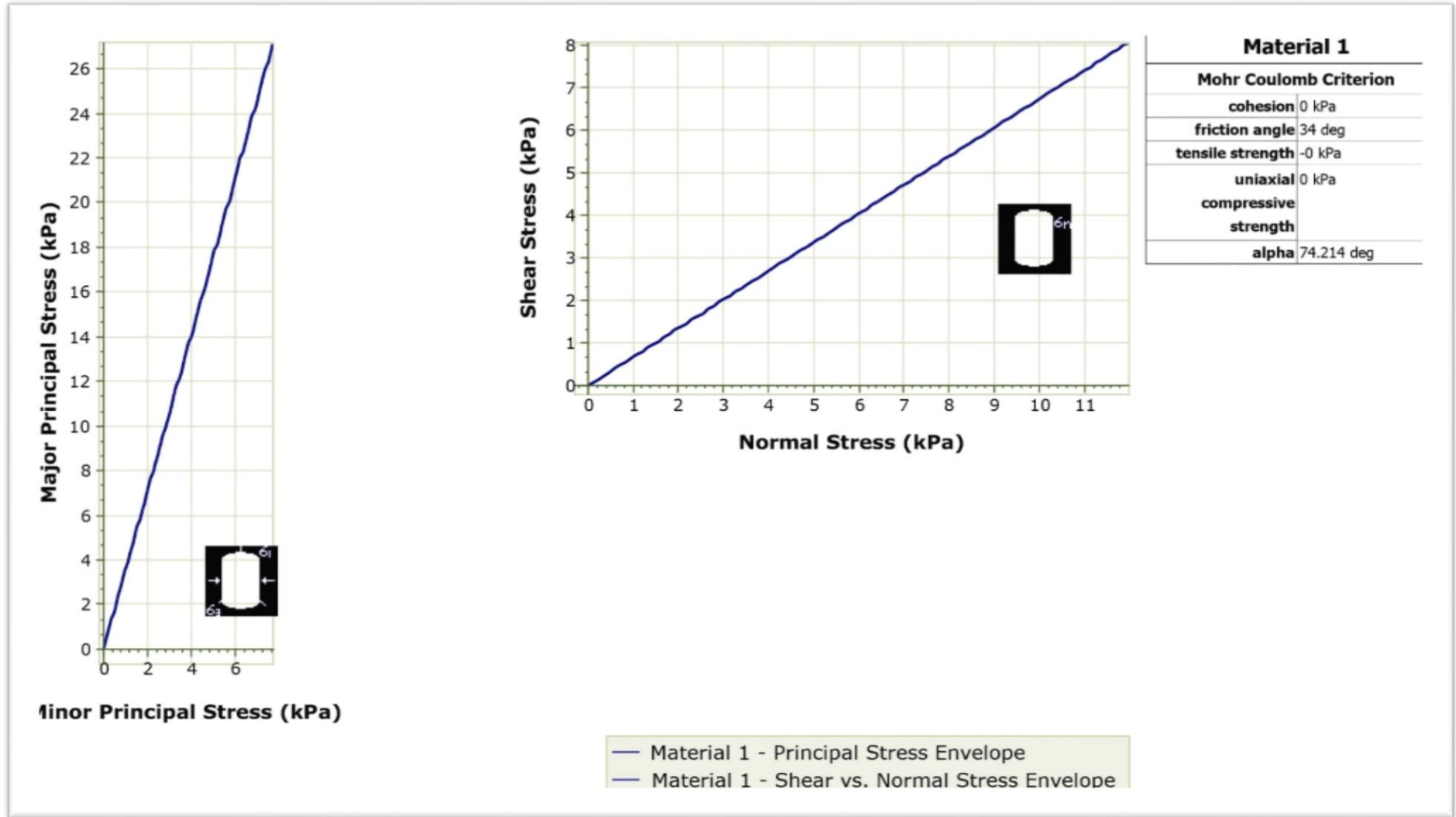


Figura N° 29: Gráfico de esfuerzos para el tramo 05. Suelo GM-GC.

Análisis RocData V.5:

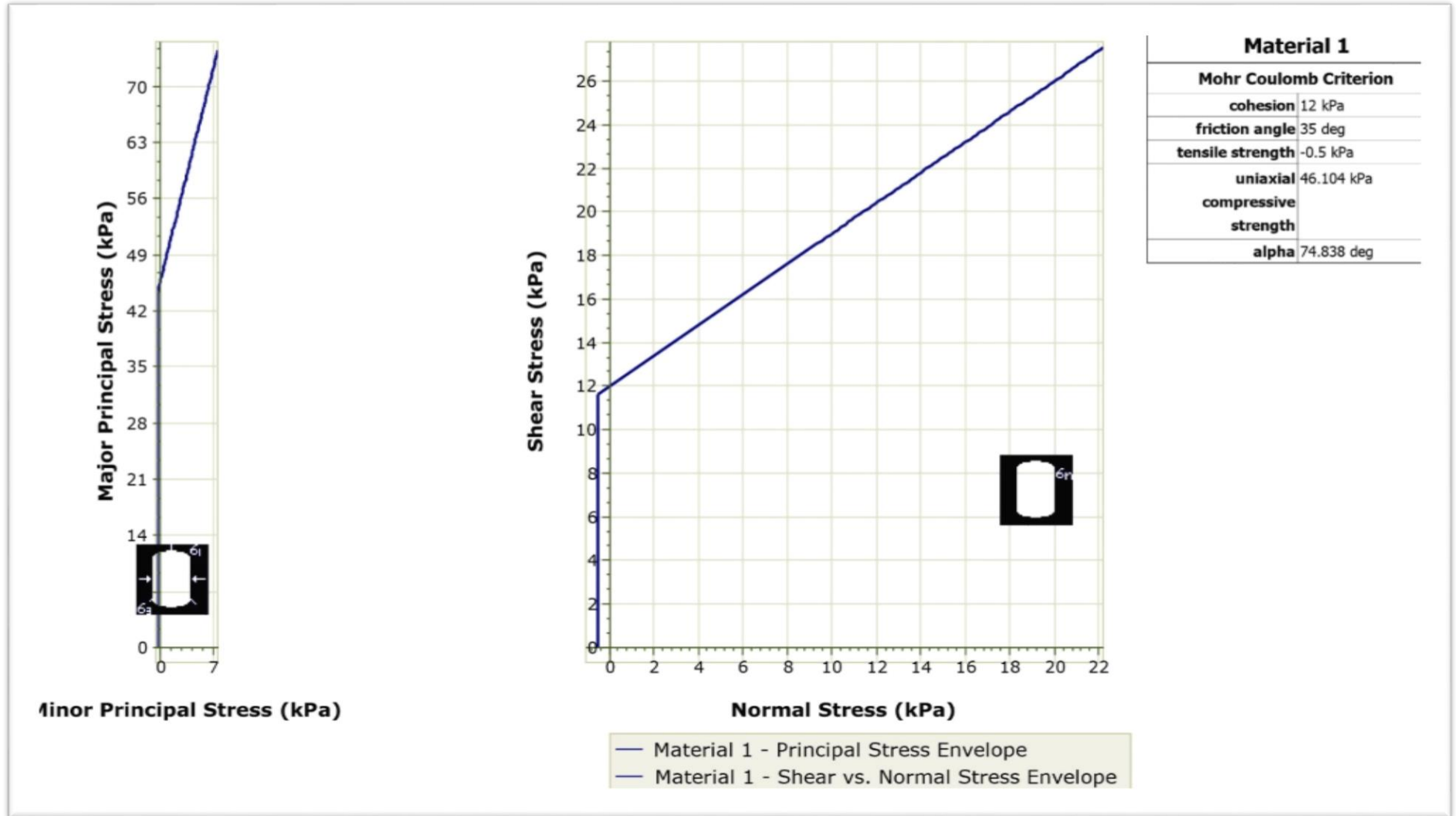


Figura N° 30: Gráfico de esfuerzos para el tramo 05. Suelo ML

TENSIONES TOTALES

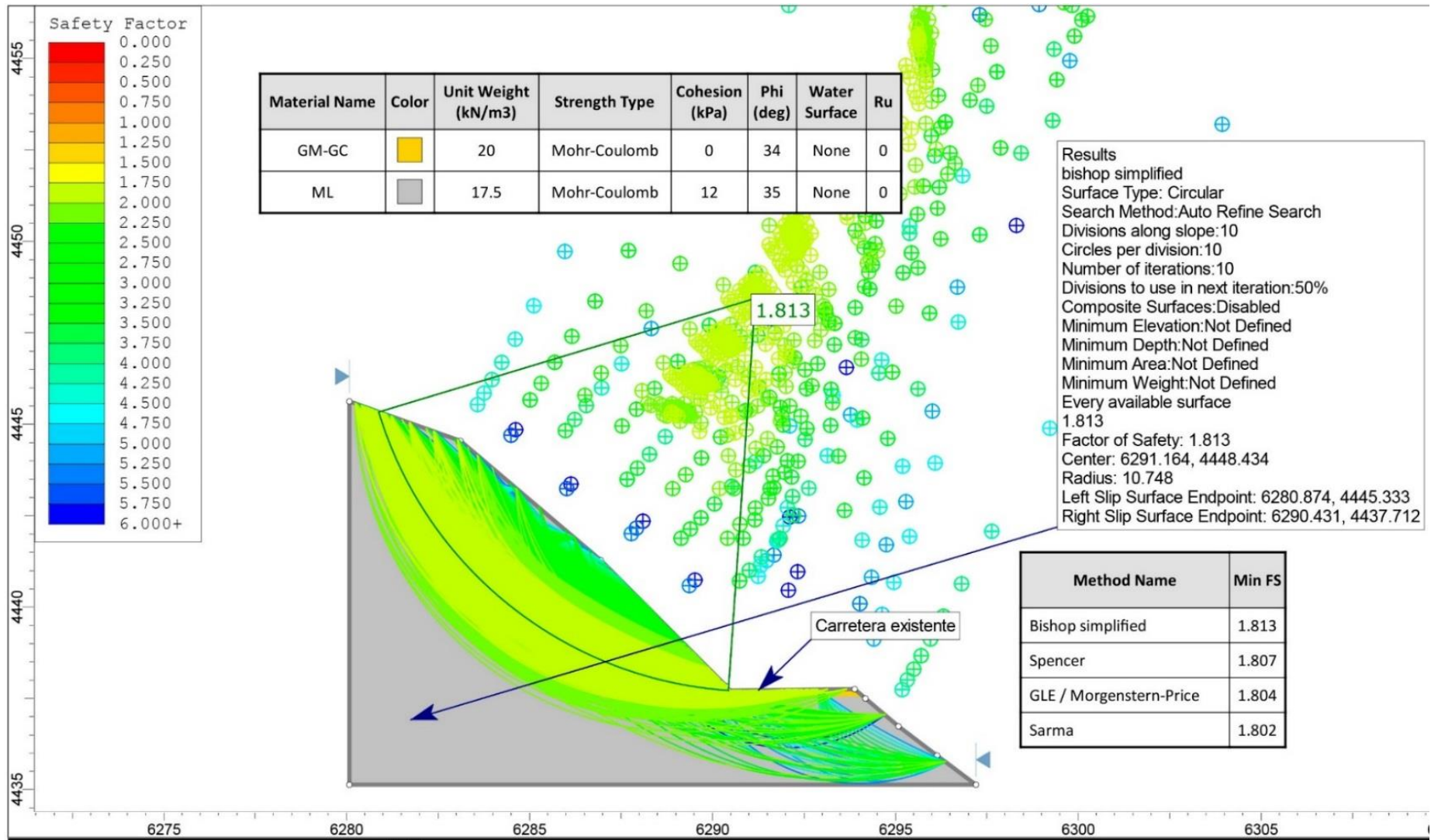


Figura N° 31: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 1.813

TENSIONES TOTALES + SISMICIDAD

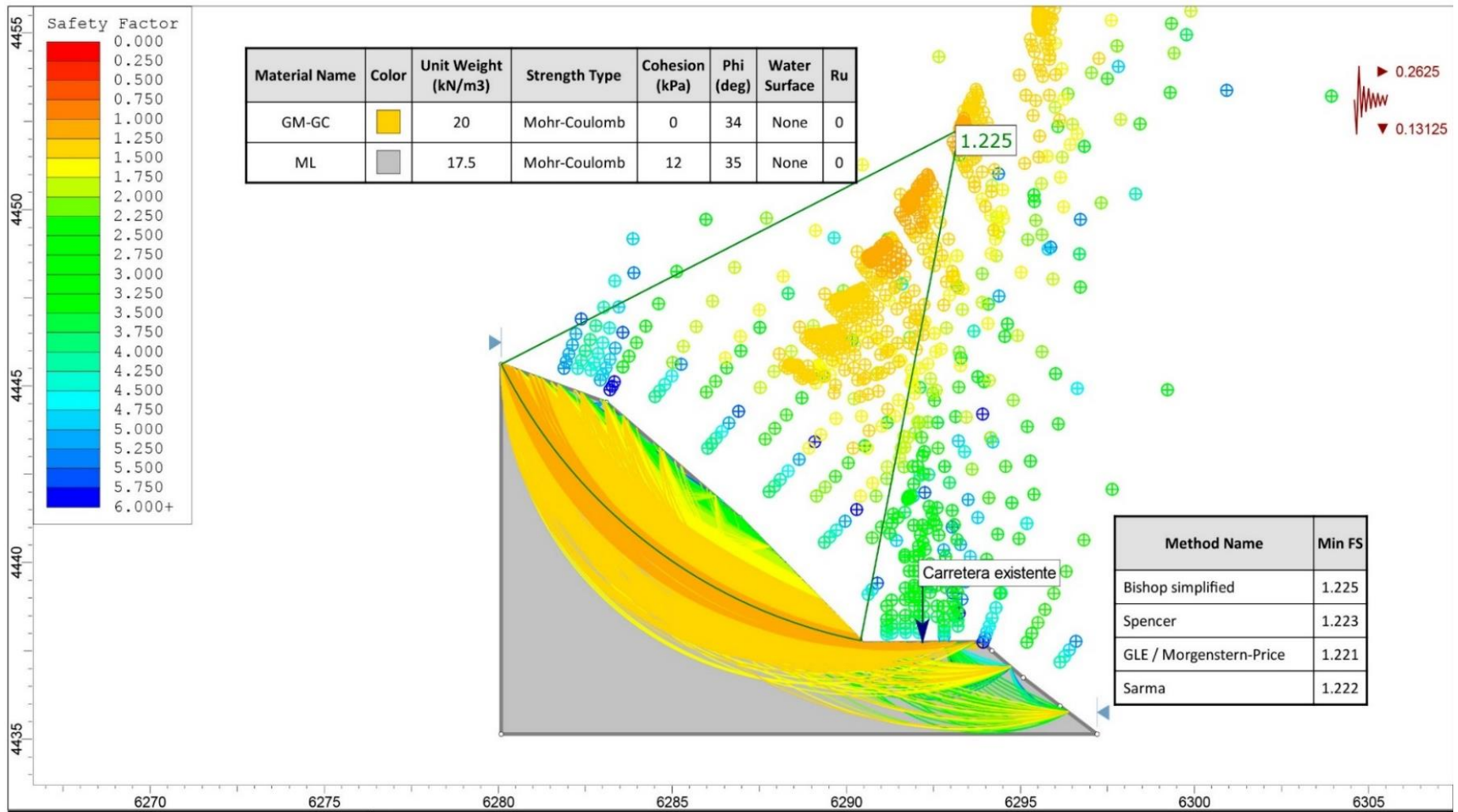


Figura N° 32: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 1.225

TENSIONES EFECTIVAS

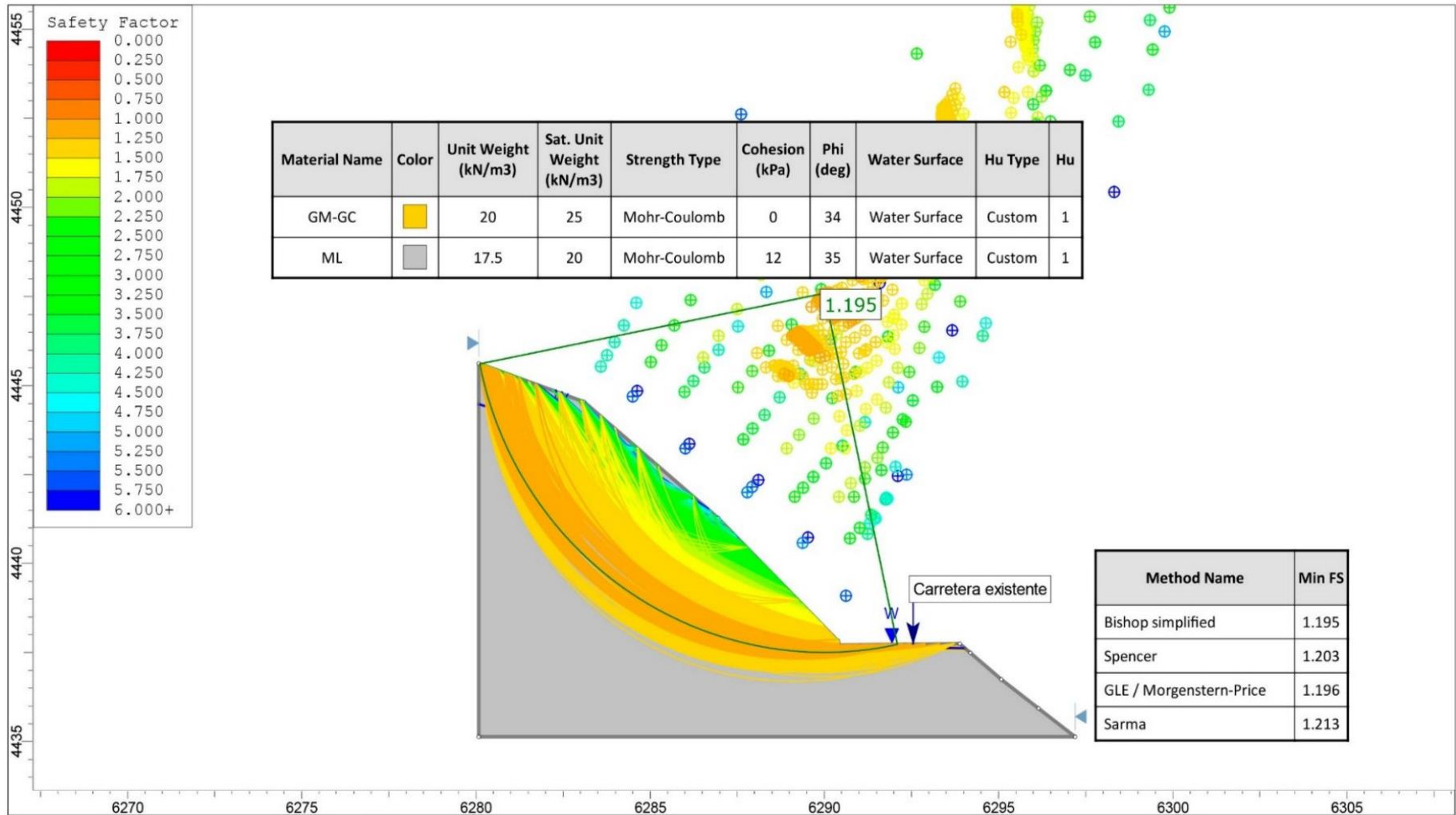


Figura N° 33: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 1.195

Los resultados del trabajo de campo determino que el tramo está constituido Gravas Arcillosas y Arenas limosas amarillentas semicompactas de color amarillento de origen volcánico donde se puede apreciar un deslizamiento de roca volcánica muy deleznable producto de la alteración. Utilizando el Slide para la sección E-E' se encontró que los Factores de Seguridad son variados en condiciones de tensiones totales (T.T.), tensiones totales más sismicidad (T.T. +S), y tensiones Efectivas (T.E) resultados que se muestran en el Cuadro N° 21

Cuadro N° 21: Resultados del quinto tramo.

| TRAMO 05 | | | | | | |
|-------------|-----------------|-------|--------|------------|---------------|------------|
| Potencia | Litología | SUCS | AASHTO | F.S.(T.T.) | F.S.(T.T.+S.) | F.S.(T.E.) |
| 0.00 - 0.15 | Grava Arcillosa | GM-GC | A-1-b | 1.813 | 1.225 | 1.195 |
| 0.15 - 1.50 | Arena Limosa | ML | A-4 | | | |

3.3.1.6 Tramo 06 - Progresivas Km. 5+300 - 5+340

| Tramo(km) | Latitud | Longitud | Cota |
|-----------|---------|----------|-------|
| 5+340 | 9259329 | 738743 | 2 887 |

El talud está ubicado en la carretera Yauyucan Cruce Conejo Tranca de la provincia de San Miguel y Departamento de Cajamarca; en el margen Izquierdo.

Roca volcánica andesítica de color amarillento muy meteorizada, en épocas de lluvia con la infiltración de aguas superficiales se vuelve muy inestable y se desliza frecuentemente en épocas de lluvias y esto se debe un poco a la pendiente de 80° que presenta el talud





Foto N° 9: Roca volcánica andesítica de color amarillento en la progresiva Km 5+300 - 5+340

Cuadro N° 22: Análisis granulométrico de la calicata M – 06

| | | | |
|-----------------|---|-------------------------|-------------|
| TESIS: | "MEJORAMIENTO DE LA TRANSITABILIDAD A NIVEL DE ASFALTADO BICAPA DESDE LA LOCALIDAD DE YAUUYUCAN, HASTA CRUCE CONEJO TRANCA DISTRITO DE YAUUYUCAN, PROVINCIA DE SANTA CRUZ, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA" | | |
| TRAMO: | KM 0.0+00 - KM 06+635 | | |
| MUESTRA: | M-06 | PROFUNDIDAD (m): | 0.00 - 1.50 |
| | | REGISTRO N° | 11 |

REGISTRO DE EXCAVACION: CALICATA PLATAFORMA

| UBIC. | CALICATA C- 11 | | PANEL FOTOGRÁFICO | SIMBOLOGIA | CLASIFICACION | | CONSTANTES FISICAS | | | % PASA MALLA N° 200 |
|-----------------------------------|---------------------|---|--|--|---------------|-------|--------------------|----|----|---------------------|
| | PROGR. | CARRIL | | | AASHTO | SUCS | LL | LP | IP | |
| PERFORACION AL TIPO CIELO ABIERTO | MUESTRA | DESCRIPCION |  |  | A-1-a(0) | GM-GC | | | | |
| 0.10 | M-06 00 - 0.15 | Material clasificado: Grava de color marron oscuro. | | | | | | | | |
| 0.15 | | | | | | | | | | |
| 0.20 | | | | | | | | | | |
| 0.30 | | | | | | | | | | |
| 0.40 | | | | | | | | | | |
| 0.50 | | | | | | | | | | |
| 0.60 | | | | | | | | | | |
| 0.70 | | | | | | | | | | |
| 0.80 | M-01 0.15 - 1.50 | Material clasificado: Arena limoso de alta plasticidad de marron en estado compacto. | | | | | | | | |
| 0.90 | | | | | | | | | | |
| 1.00 | | | | | | | | | | |
| 1.10 | | | | | | | | | | |
| 1.20 | | | | | | | | | | |
| 1.30 | | | | | | | | | | |
| 1.40 | | | | | | | | | | |
| 1.50 | | | | | | | | | | |

Análisis RocData V.5:

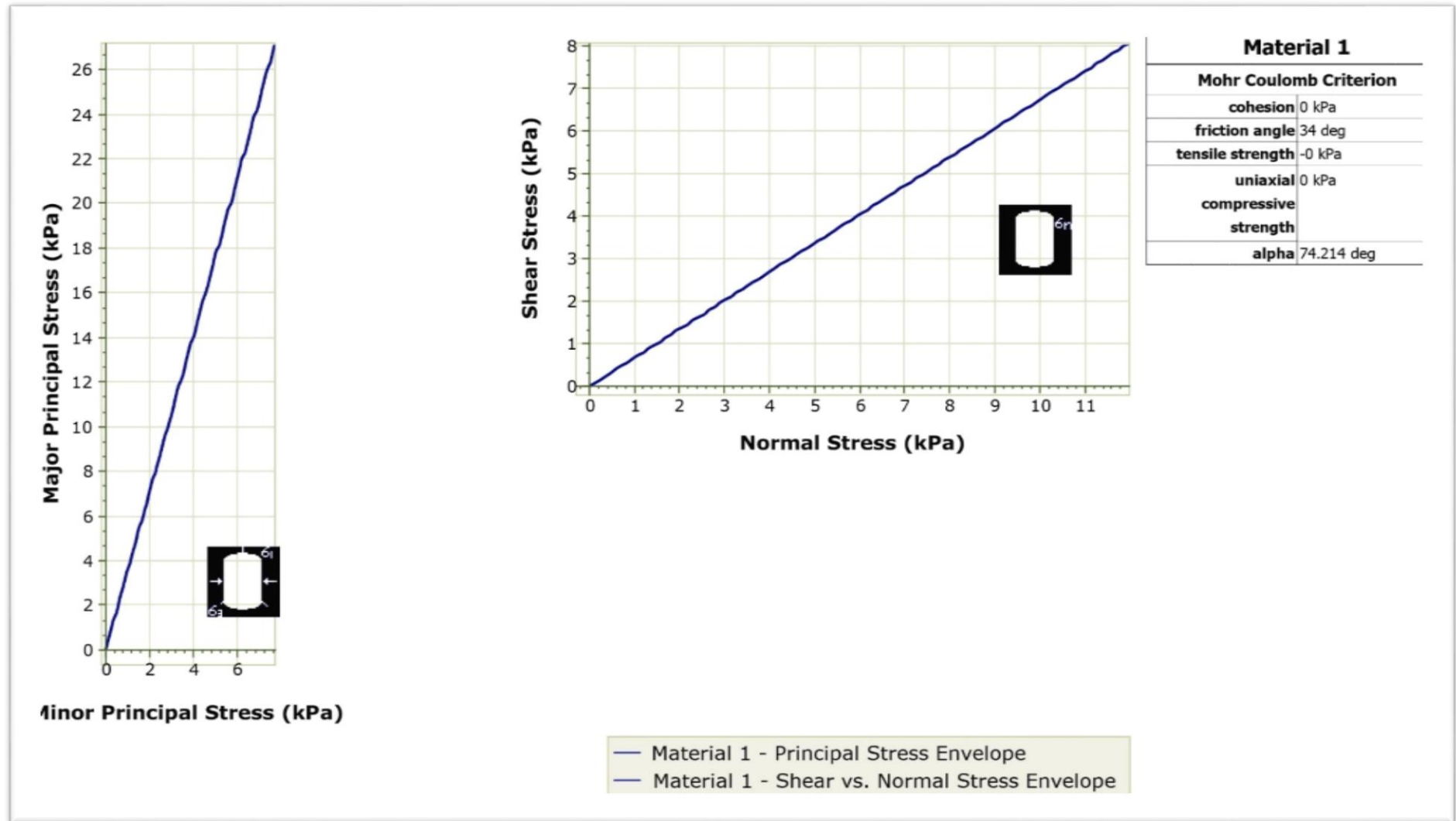


Figura N° 34: Gráfico de esfuerzos para el tramo 06. Suelo GM-GC

Análisis RocData V.5:

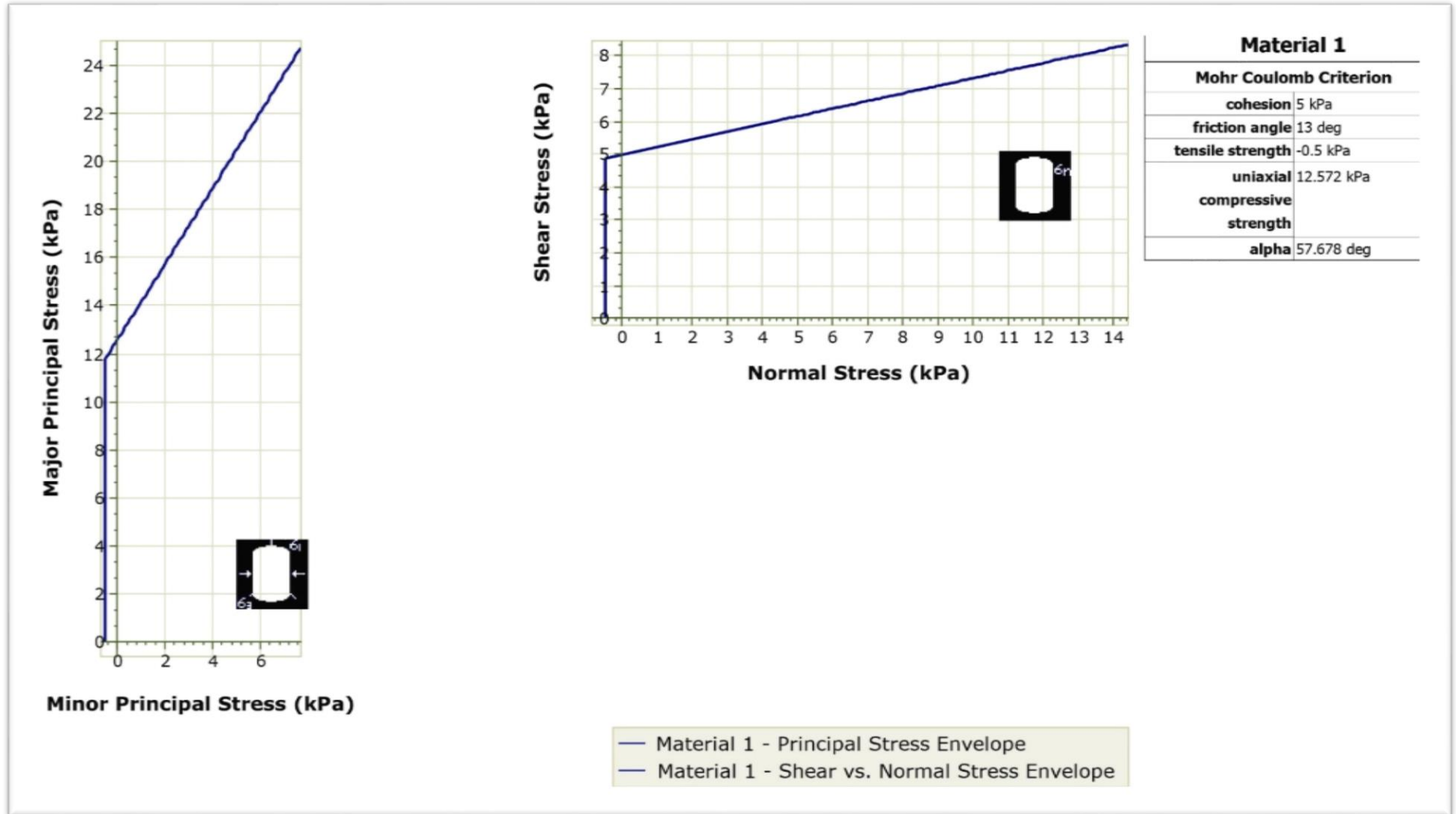


Figura N° 35: Gráfico de esfuerzos para el tramo 06. Suelo MH

TENSIONES TOTALES

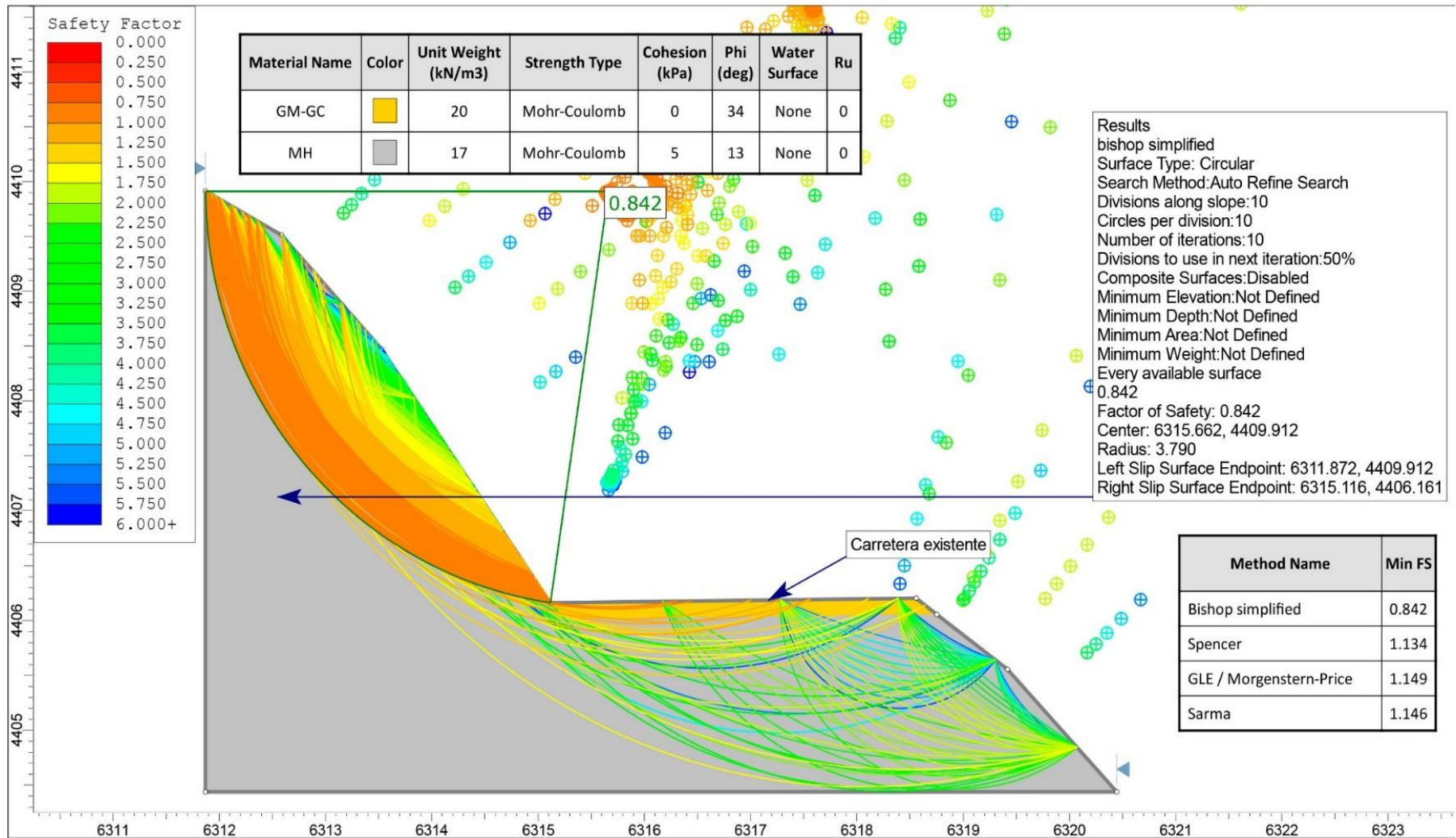


Figura N° 36: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.842

TENSIONES TOTALES SISMICIDAD

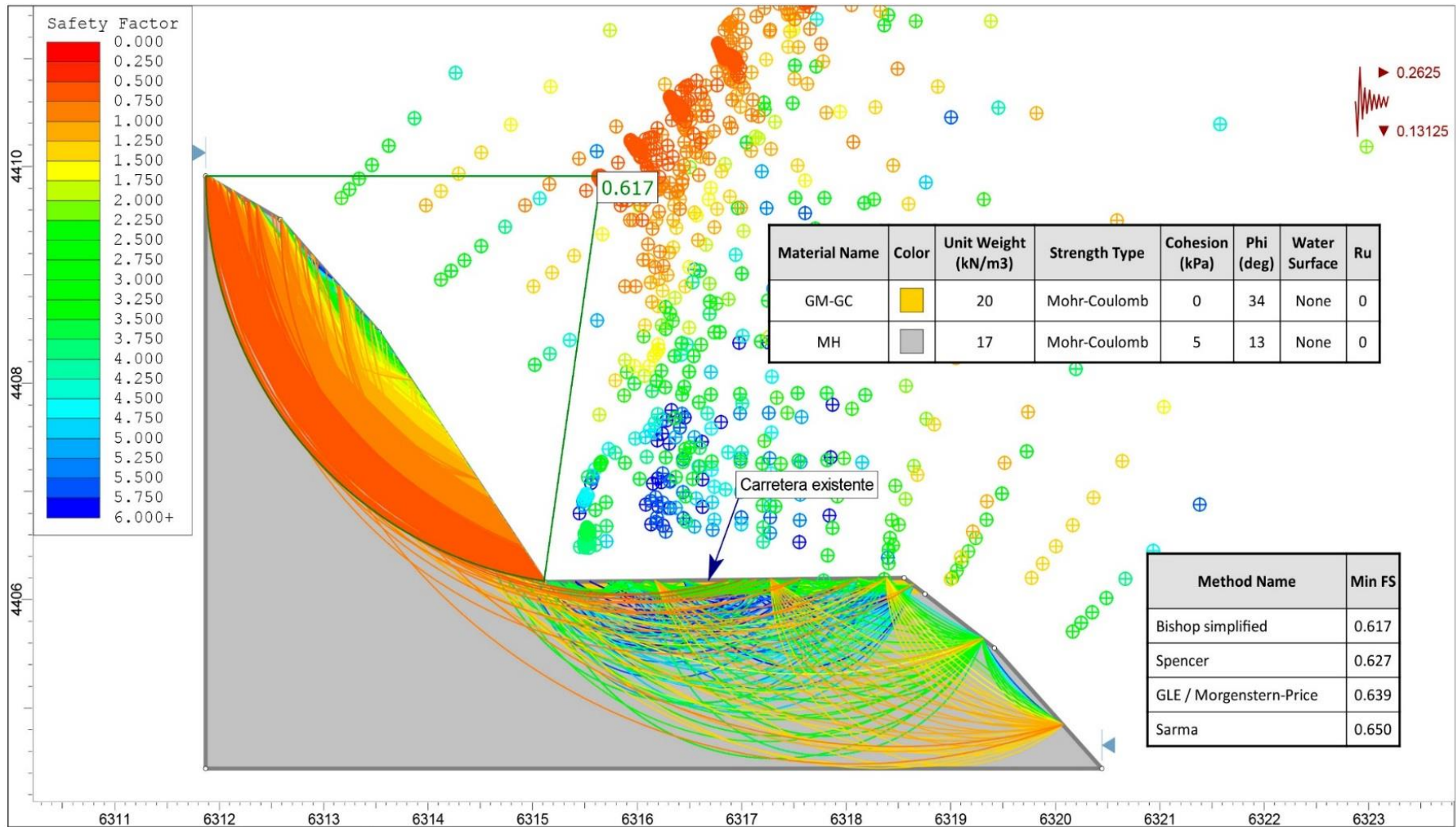


Figura N° 37: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.617

TENSIONES EFECTIVAS

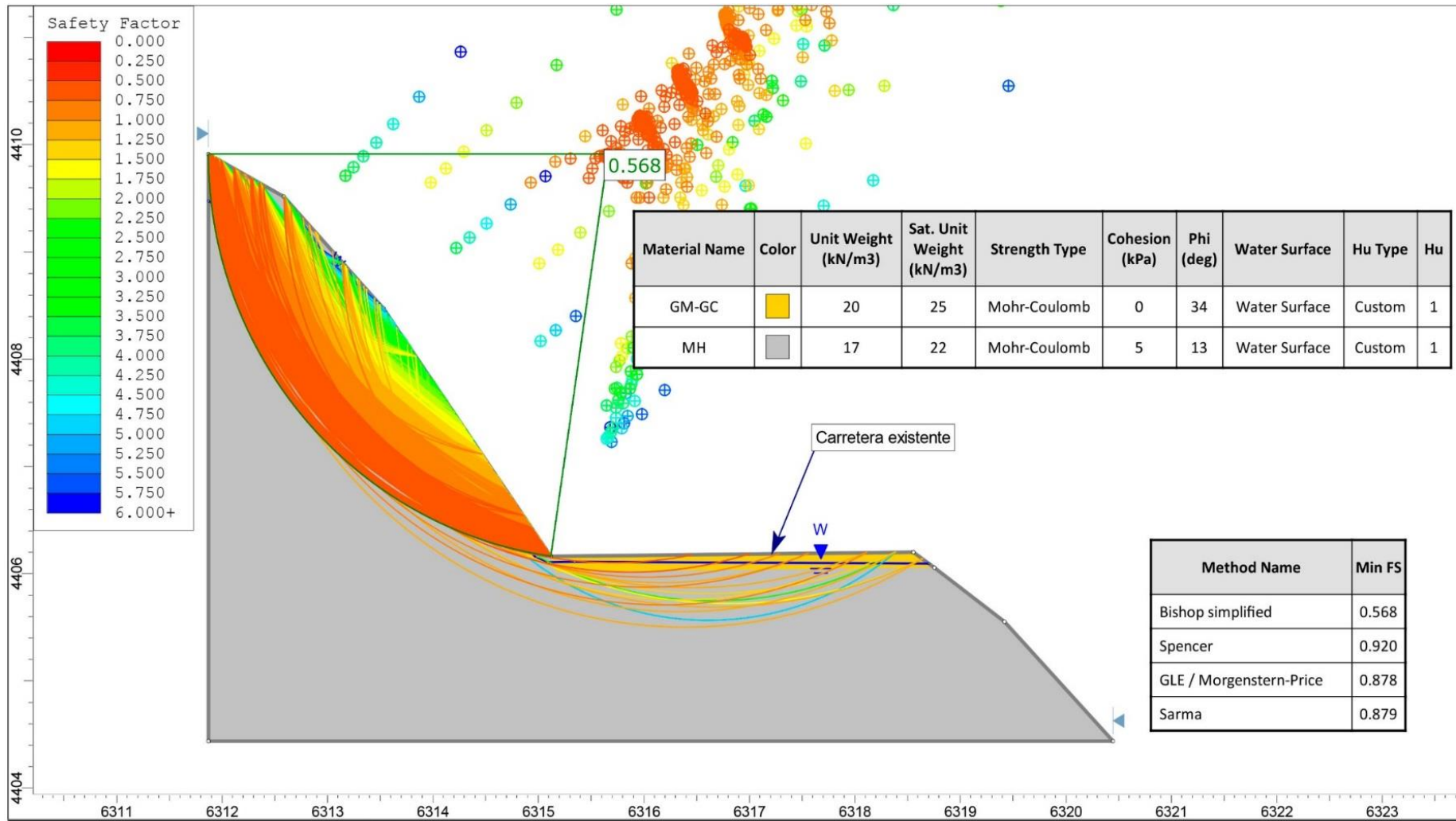


Figura N° 38: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.568

Los resultados del trabajo de campo determino que el tramo está constituido por roca volcánica andesítica de color amarillento muy meteorizada clasificada como suelo arcilloso y limoso de alta plasticidad. Utilizando el Slide para la sección F-F' se encontró que los Factores de Seguridad son variados en condiciones de tensiones totales (T.T.), tensiones totales más sismicidad (T.T. +S), y tensiones Efectivas (T.E) resultados que se muestran en el Cuadro N° 23

Cuadro N° 23: Resultados del sexto tramo.

| TRAMO 06 | | | | | | |
|-------------|-----------------------|-------|--------|------------|---------------|------------|
| Potencia | Litología | SUCS | AASHTO | F.S.(T.T.) | F.S.(T.T.+S.) | F.S.(T.E.) |
| 0.00 - 0.15 | Grava Arcillosa | GM-GC | A-1-b | 0.842 | 0.617 | 0.568 |
| 0.15 - 1.50 | Limo Alta Plasticidad | MH | A-5 | | | |

3.3.1.7 Tramo 07 - Progresivas Km. 6+475 - 6+518

| Tramo(km) | Latitud | Longitud | Cota |
|-----------|---------|----------|------|
| 6+475 | 9258639 | 738374 | 2858 |

El talud está ubicado en la carretera Yauyucan Cruce Conejo Tranca de la provincia de San Miguel y Departamento de Cajamarca; en el margen derecho.

El talud presenta en la parte superior del talud por un depósito cuaternario donde afloran muchas especies de plantas propias del lugar, y el deslizándose se ha generado en forma progresiva de la corona del talud evidenciando un deslizamiento rotacional como se aprecia la vista panorámica NW-SE mirando al NE, roca volcánica andesítica alterada con talud inestable en un tramo de 15m. englobado en una matriz areno limosa de grano fino a grueso.

La geomorfología lo constituye un talud de altura 12 m., con una pendiente de 65°. Su geodinámica está conformado por derrumbes y deslizamientos de la corona del talud, siendo la lluvia uno de los principales desencadenantes de deslizamientos y derrumbes de rocas en forma constante, arrastrando consigo depósitos cuaternarios.



Foto N° 10: Vista panorámica de la zona más crítica de todo el tramo de la carretera donde se aprecia un deslizamiento rotacional en el Km 6+475 - 6+518.

Su geodinámica los constituye un deslizamiento rotacional en toda la cara del talud arrastrando consigo árboles y depósitos cuaternarios, de la parte superior y depositándolos en la parte inferior; por los consiguiente destruyendo la carretera



Foto N° 11: Roca volcánica andesítica alterada con talud inestable en la progresiva Km 6+475 - 6+518

Cuadro N° 24: Análisis granulométrico de la calicata M – 07

| | | | |
|-----------------|---|-------------------------|-------------|
| TESIS: | "MEJORAMIENTO DE LA TRANSITABILIDAD A NIVEL DE ASFALTADO BICAPA DESDE LA LOCALIDAD DE YAUYUCAN, HASTA CRUCE CONEJO TRANCA DISTRITO DE YAUYUCAN, PROVINCIA DE SANTA CRUZ, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA" | | |
| TRAMO: | KM 0.0+00 - KM 06+635 | | |
| MUESTRA: | M-07 | PROFUNDIDAD (m): | 0.00 - 1.50 |
| | | REGISTRO N° | 13 |

REGISTRO DE EXCAVACION: CALICATA PLATAFORMA

| UBIC. | CALICATA C- 13 | | PANEL FOTOGRAFICO | SIMBOLOGIA | CLASIFICACION | | CONSTANTES FISICAS | | | % PASA MALLA N° 200 | | |
|-----------------------------------|---------------------|---|-------------------|------------|---------------|-------|--------------------|----|----|---------------------|-------|--|
| | PROGR. | CARRIL | | | AASHTO | SUCS | LL | LP | IP | | | |
| PERFORACION AL TIPO CIELO ABIERTO | MUESTRA | DESCRIPCION | | | | | | | | | | |
| 0.10 | M7 00 - 0.15 | Material clasificado: Grava arcillosa marron oscuro. | | | A-1-a(0) | GM-GC | | | | | | |
| 0.15 | | | | | | | | | | | | |
| 0.20 | | | | | | | | | | | | |
| 0.30 | | | | | | | | | | | | |
| 0.40 | | | | | | | | | | | | |
| 0.50 | | | | | | | | | | | | |
| 0.60 | | | | | | | | | | | | |
| 0.70 | | | | | | | | | | | | |
| 0.80 | M-07 0.15 - 1.50 | Material clasificado: Arena limoso de color marron oscuro estado compacto. | | | A-2-4(0) | SM | NP | NP | NP | NP | 46.65 | |
| 0.90 | | | | | | | | | | | | |
| 1.00 | | | | | | | | | | | | |
| 1.10 | | | | | | | | | | | | |
| 1.20 | | | | | | | | | | | | |
| 1.30 | | | | | | | | | | | | |
| 1.40 | | | | | | | | | | | | |
| 1.50 | | | | | | | | | | | | |

Análisis RocData V.5:

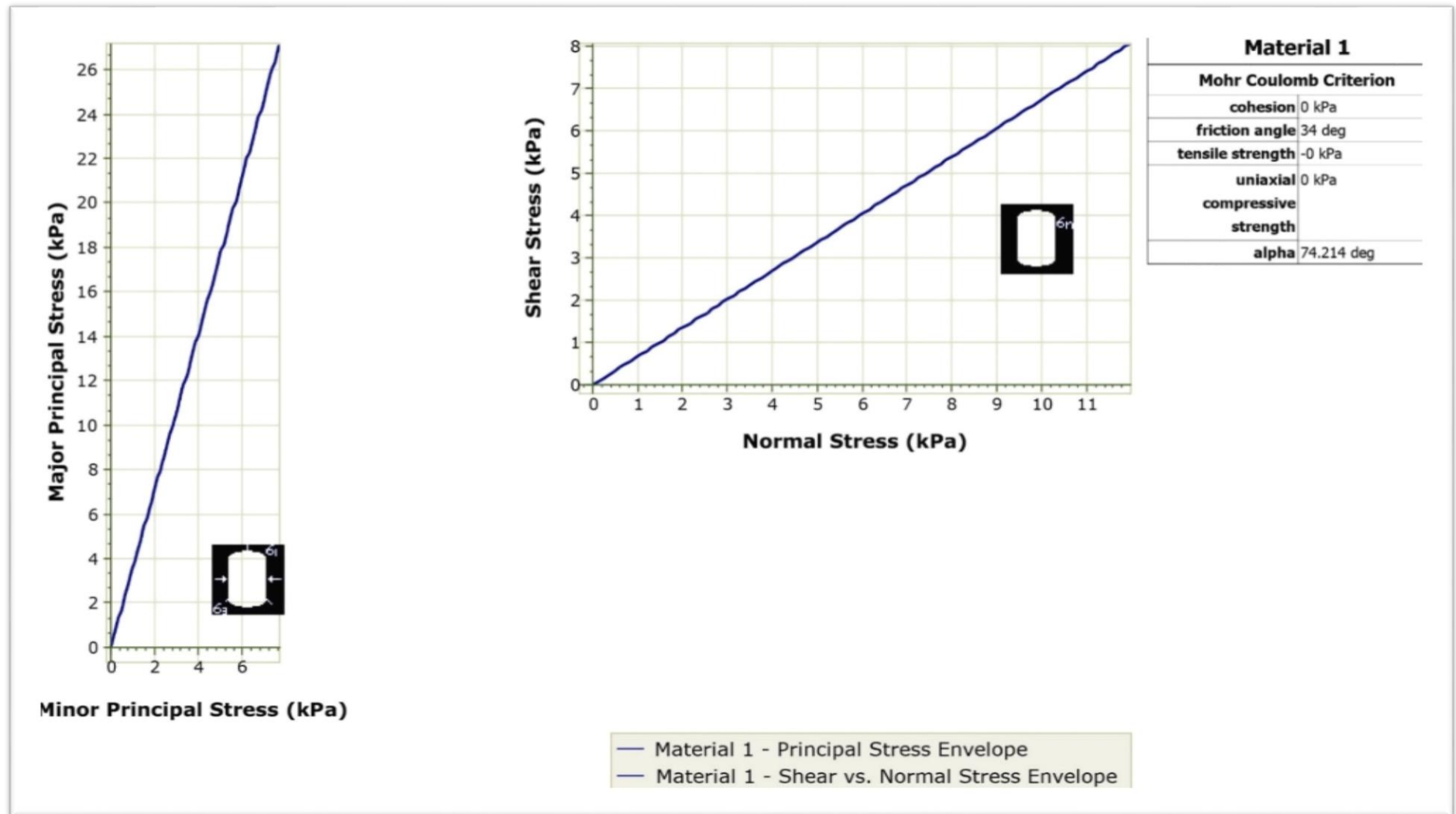


Figura N° 39: Gráfico de esfuerzos para el tramo 06. Suelo GM-GC

Análisis RocData V.5:

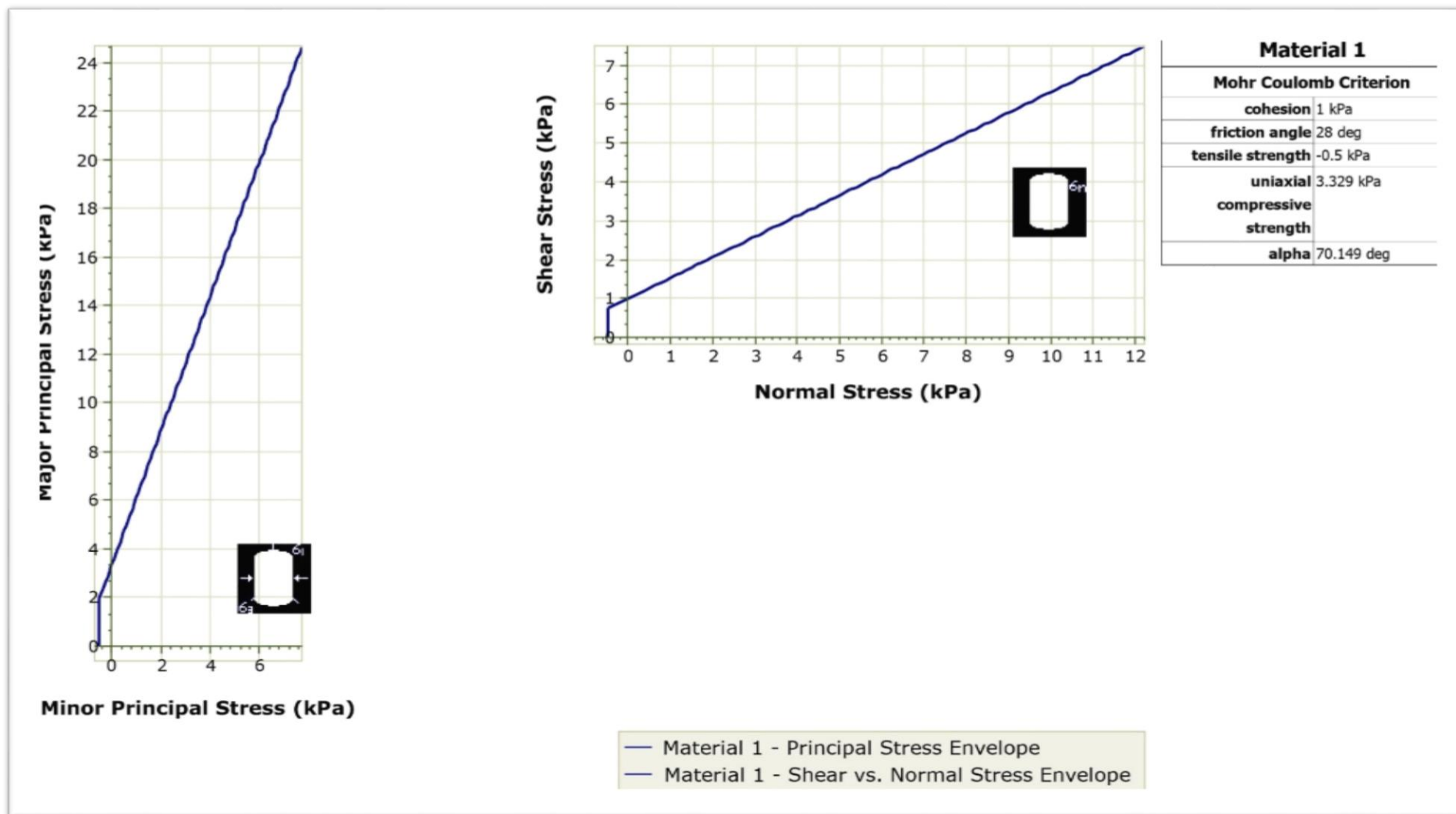


Figura N° 40: Gráfico de esfuerzos para el tramo 07. Suelo SM

TENSIONES TOTALES

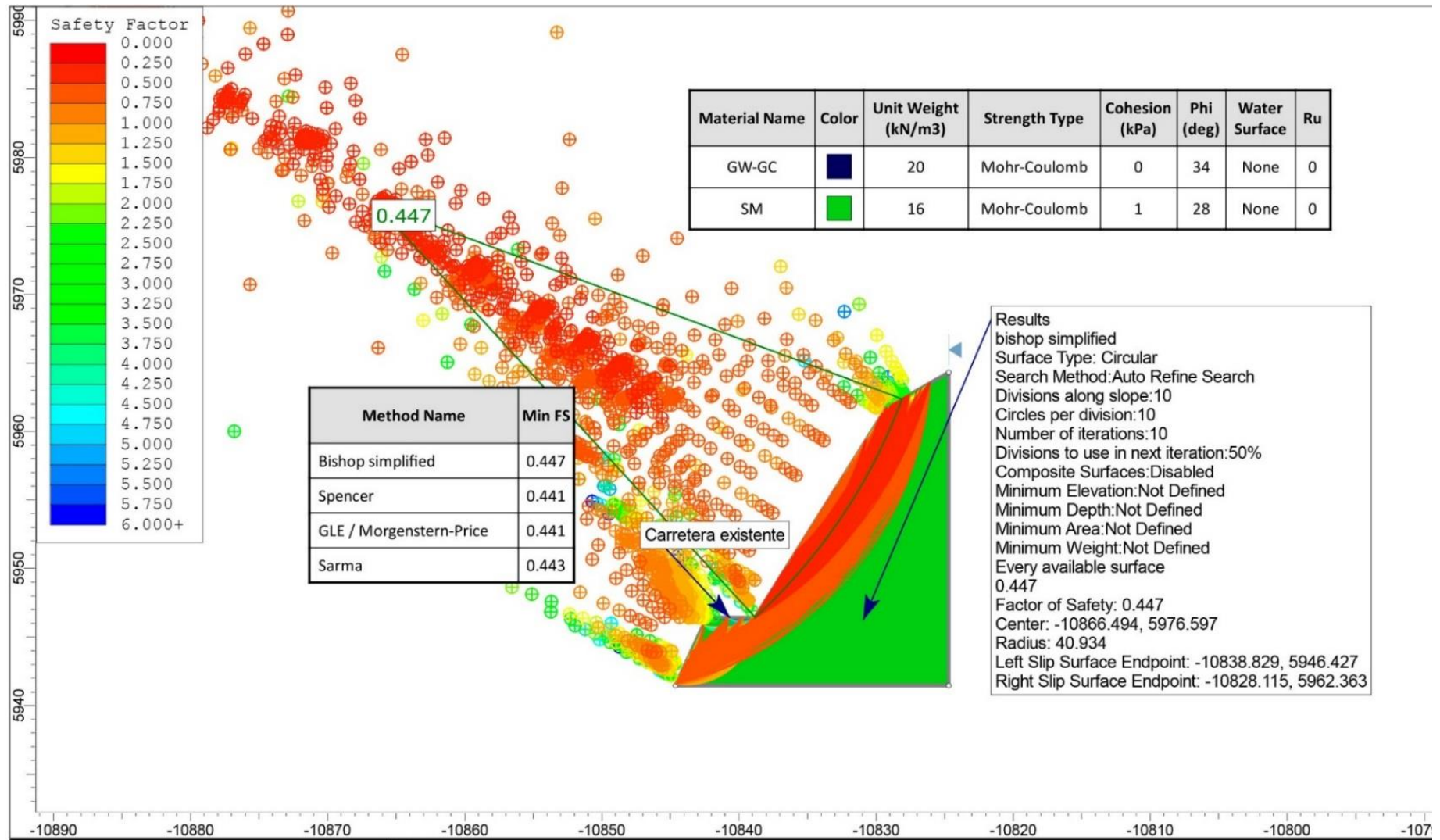


Figura N° 41: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.447

TENSIONES TOTALES + SISMICIDAD

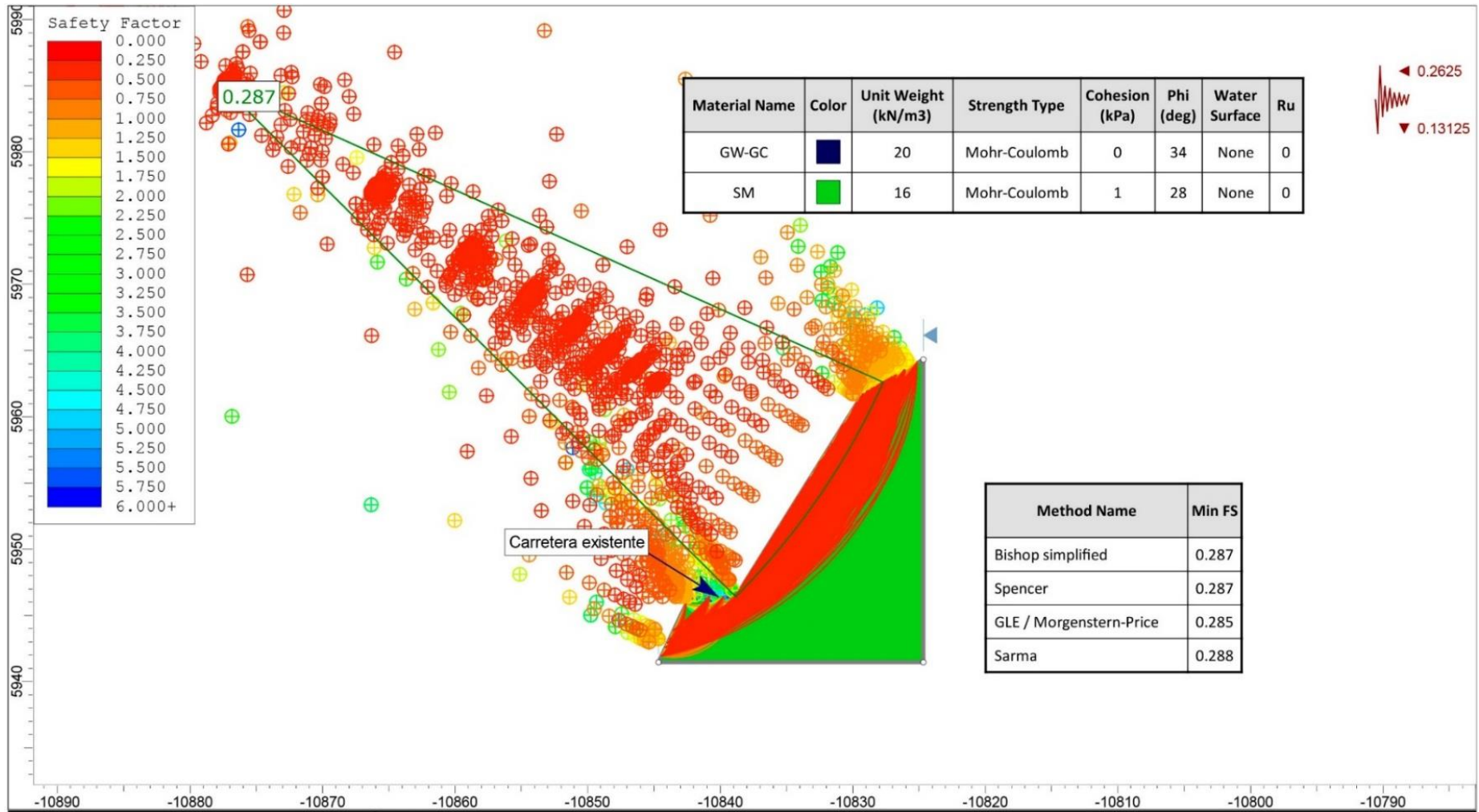


Figura N° 42: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.287

TENSIONES EFECTIVAS

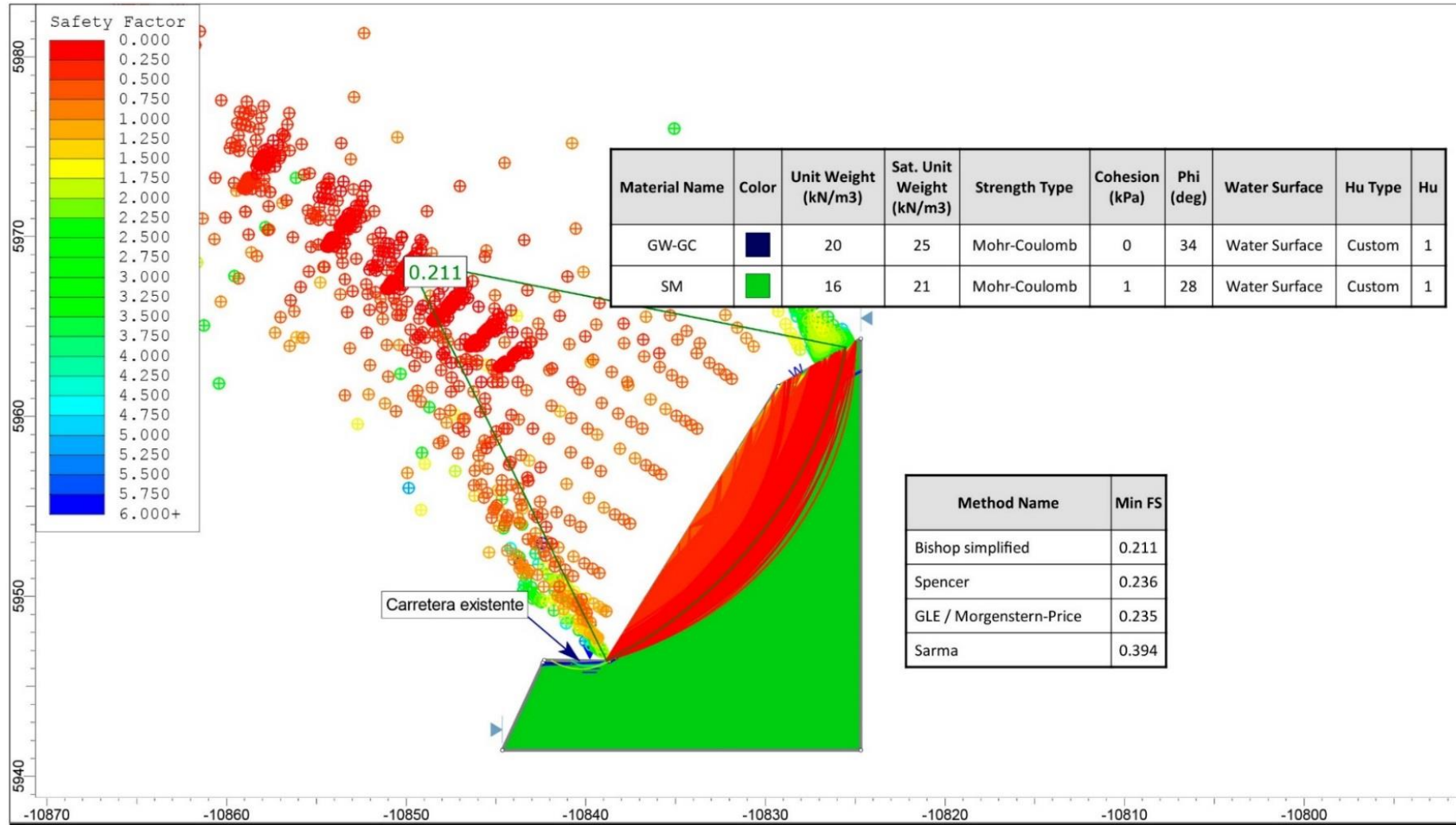


Figura N° 43: Método Bishop simplificado evalúa el talud con un FS = 0.211

Los resultados del trabajo de campo determino que el tramo está constituido por roca volcánica andesítica intensamente alterada lo cual hace que se comporte como suelo areno limoso de color amarillo a marrón de baja plasticidad y grava arcilloso. Utilizando el Slide para la sección G-G' se encontró que los Factores de Seguridad son variados en condiciones de tensiones totales (T.T.), tensiones totales más sismicidad (T.T. +S), y tensiones Efectivas (T.E) resultados que se muestran en el Cuadro N° 25

Cuadro N° 25: Resultados del séptimo tramo.

| TRAMO 07 | | | | | | |
|-------------|-----------------------|-------|--------|------------|---------------|------------|
| Potencia | Litología | SUCS | AASHTO | F.S.(T.T.) | F.S.(T.T.+S.) | F.S.(T.E.) |
| 0.00 - 0.15 | Grava Arcillosa | GM-GC | A-1-b | 0.447 | 0.287 | 0.211 |
| 0.15 - 1.50 | Limo Baja Plasticidad | ML | A-4 | | | |

3.4 Tratamiento y análisis de datos y presentación de resultados

En el capítulo anterior hemos analizado las zonas más inestables de los cuales se analizó con los softwares RocData y Slide.

El programa (RocData) es un paquete de herramientas versátil para el análisis de datos de resistencia de rocas y suelos y la determinación de las envolventas de resistencia y otros parámetros físicos. RocData ahora incluye a RocProp una base de datos de propiedades de la roca intacta que corre como una aplicación aparte.

RocData puede ser utilizado para determinar los parámetros de envolventes de resistencia lineal o no-lineales para rocas y suelos basados en el análisis de data de resistencia triaxial o de corte directo. RocData utiliza cuatro de los modelos de resistencia más conocidos en ingeniería geotécnica – Generalizado de Hoek-Brown, Mohr-Coulomb, Barton Bandis, y Power Curve.

Las envolventes de rotura son graficadas en ambos espacios de resistencia, cizallante-normal y de esfuerzos principales. Las envolventes de resistencia cizallante-normal generadas por RocData pueden ser aplicadas a problemas como en análisis de equilibrio límite de estabilidad de taludes, mientras que las envolventes de resistencia de esfuerzos principales pueden ser usados para modelos que comportamiento de excavaciones subterráneas. RocData es

altamente interactivo que permite a los usuarios fácilmente evaluar parámetros de resistencia y observar como estos impactan en las envolventes de rotura dando a los usuarios un mejor entendimiento de la resistencia del material.

El programa (SLIDE v.7) realiza los análisis de estabilidad según equilibrio límite bidimensional, calculando el factor de seguridad de un talud con dos estratos empleando el método de Bisshop Simplificado, Spencer, Morgenstern – Price y Sarma. El programa permite analizar tanto una superficie única de falla como una gran cantidad de superficies de falla circulares y no circulares Para los cálculos realizados en el presente estudio se han considerado todos los círculos de falla ya que en la mayoría de los casos, un análisis de deslizamiento implicará una búsqueda de superficie crítica, con el fin de intentar encontrar una superficie de deslizamiento con un factor de seguridad mínimo global y se utilizó el método Auto Refine Search (Circular). Donde se obtiene así el mínimo factor de seguridad graficando las superficies de falla con menores factores de seguridad.

El programa analiza la estabilidad de taludes tomando en cuenta las propiedades del suelo (cohesión y ángulo de fricción), las características geométricas del talud y las variables desencadenantes de deslizamiento (nivel de agua)

Los parámetros de los materiales que componen los taludes requeridos en el análisis de estabilidad, son los siguientes

- Peso específico (γ) KN/m³.
- Cohesión (c) KN/m².
- Angulo de fricción interna (θ) en grados.

El análisis de estabilidad de taludes en suelos de la Carretera Cruce Conejo Tranca Distrito de Yauyucan, Provincia De Santa Cruz Departamento De Cajamarca, Se ha realizado considerando el modelo geológico geotécnico definido luego de las investigaciones realizadas en condiciones actuales.

Los valores de estos parámetros se han seleccionado teniendo en consideración los resultados de los ensayos de campo y de laboratorio.

Tabla N° 3: Resumen de datos utilizados en el análisis de taludes.

| Nº Tramo | Ubicación | Material | Peso específico(KN/m3) | c (KN/m2) | ∅ (grados) |
|----------|---------------|----------|------------------------|-----------|------------|
| TRAMO 1 | 0+675 - 0+685 | GM-GC | 20 | 0 | 34 |
| | | ML | 17.5 | 12 | 35 |
| TRAMO 2 | 1+390 - 1+460 | GM-GC | 20 | 0 | 34 |
| | | ML | 17.5 | 12 | 35 |
| TRAMO 3 | 1+570 - 1+670 | GM-GC | 20 | 0 | 34 |
| | | SM | 16 | 1 | 28 |
| TRAMO 4 | 4+100 - 4+120 | GM-GC | 20 | 0 | 34 |
| | | ML | 17.5 | 12 | 35 |
| TRAMO 5 | 4+350 - 4+400 | GM-GC | 20 | 0 | 34 |
| | | ML | 17.5 | 12 | 35 |
| TRAMO 6 | 5+300 - 5+340 | GM-GC | 20 | 0 | 34 |
| | | MH | 17 | 5 | 13 |
| TRAMO 7 | 6+475 - 6+518 | GM-GC | 20 | 0 | 34 |
| | | SM | 16 | 1 | 28 |

Luego de analizar los taludes inestables obtuvimos los siguientes resultados clasificados en tramos críticos y tramos con deslizamientos menores

Tabla N° 4: Resumen de puntos críticos de la carretera.

| Nº Tramo | UBICACIÓN | FS(TT) | FS(TT+S) | FS(TT+TE) | FACTOR |
|----------|---------------|--------|----------|-----------|--|
| TRAMO 3 | 1+570 - 1+670 | 0.928 | 0.617 | 0.943 | INESTABLE EN TODOS LOS F.S. |
| TRAMO 4 | 5+300 - 5+340 | 1.347 | 0.914 | 0.848 | ESTABLE EN F.S. EN T.T. INESTABLE EN F.S. EN T.T.+S Y T.E |
| TRAMO 6 | 5+300 - 5+340 | 0.842 | 0.617 | 0.568 | INESTABLE EN TODOS F.S. |
| TRAMO 7 | 6+475 - 6+518 | 0.447 | 0.287 | 0.211 | INESTABLE EN TODOS F.S. |

Finalmente se presenta la tabla completa de análisis de los 7 tramos calculados con el software Slide utilizando el método Auto Refine Search y se calculó los factores de seguridad teniendo en cuenta las tensiones totales (T.T), TENSIONES totales + sismicidad (T.T.+S) Y tensiones efectivas (T.E.) Además de ello se ha clasificado tanto con el sistemas SUCS Y AASHTO.

Tabla N° 5: Resumen de los factores de seguridad de los 7 tramos

| TRAMO 01 | | | | | | |
|-----------------|-----------------------|-------|--------|------------|---------------|------------|
| Potencia | Litología | SUCS | AASHTO | F.S.(T.T.) | F.S.(T.T.+S.) | F.S.(T.E.) |
| 0.00 - 0.15 | Grava Arcillosa | GM-GC | A-1-b | 2.431 | 1.612 | 1.648 |
| 0.15 - 1.50 | Limo Baja Plasticidad | ML | A-4 | | | |
| TRAMO 02 | | | | | | |
| Potencia | Litología | SUCS | AASHTO | F.S.(T.T.) | F.S.(T.T.+S.) | F.S.(T.E.) |
| 0.00 - 0.15 | Grava Arcillosa | GM-GC | A-1-b | 2.560 | 1.798 | 1.785 |
| 0.15 - 1.50 | Limo Baja Plasticidad | ML | A-4 | | | |
| TRAMO 03 | | | | | | |
| Potencia | Litología | SUCS | AASHTO | F.S.(T.T.) | F.S.(T.T.+S.) | F.S.(T.E.) |
| 0.00 - 0.20 | Grava Arcillosa | GM-GC | A-1-b | 0.928 | 0.617 | 0.943 |
| 0.20 - 1.50 | Arena Limosa | SM | A-2-4 | | | |
| TRAMO 04 | | | | | | |
| Potencia | Litología | SUCS | AASHTO | F.S.(T.T.) | F.S.(T.T.+S.) | F.S.(T.E.) |
| 0.00 - 0.15 | Grava Arcillosa | GM-GC | A-1-b | 1.347 | 0.914 | 0.848 |
| 0.15 - 1.50 | Arena Limosa | ML | A-4 | | | |
| TRAMO 05 | | | | | | |
| Potencia | Litología | SUCS | AASHTO | F.S.(T.T.) | F.S.(T.T.+S.) | F.S.(T.E.) |
| 0.00 - 0.20 | Grava Arcillosa | GM-GC | A-1-b | 1.813 | 1.225 | 1.195 |
| 0.20 - 1.50 | Arena Limosa | ML | A-4 | | | |
| TRAMO 06 | | | | | | |
| Potencia | Litología | SUCS | AASHTO | F.S.(T.T.) | F.S.(T.T.+S.) | F.S.(T.E.) |
| 0.00 - 0.15 | Grava Arcillosa | GM-GC | A-1-b | 0.842 | 0.617 | 0.568 |
| 0.15 - 1.50 | Limo Alta Plasticidad | MH | A-5 | | | |
| TRAMO 07 | | | | | | |
| Potencia | Litología | SUCS | AASHTO | F.S.(T.T.) | F.S.(T.T.+S.) | F.S.(T.E.) |
| 0.00 - 0.15 | Grava Arcillosa | GM-GC | A-1-b | 0.447 | 0.287 | 0.211 |
| 0.15 - 1.50 | Limo Baja Plasticidad | ML | A-4 | | | |

3.5 Alternativas de Solución

Para solucionar la inestabilidad de taludes se usó el software GawacWin para analizar con gaviones en caja.

3.5.1 Software empleado para el análisis.

El programa GawacWin es un sistema de análisis de estabilidad de muros de contención de gaviones sujetos a las más diversas situaciones. Es una herramienta poderosa de auxilio al proyectista de estructuras de contención.

Los métodos utilizados en los cálculos hacen referencia al "Equilibrio Límite", las teorías de Rankine, Coulomb, Meyerhof, Hansen y Bishop (optimizado a través del algoritmo minimizador Simplex) para la verificación de la estabilidad global del conjunto suelo/estructura.

El programa lleva en consideración las características mecánicas de los gaviones, producidos por el Grupo MACCAFERRI; los resultados de los cálculos y análisis no serán reales en el caso de la utilización de otros tipos de materiales.

Para las obras de contención, generalmente son utilizados gaviones tipo caja. En casos donde la estructura esté parcial o totalmente sumergida, o también donde esté apoyada sobre suelos de baja capacidad de soporte, son también utilizados los gaviones tipo saco en las camadas inferiores.

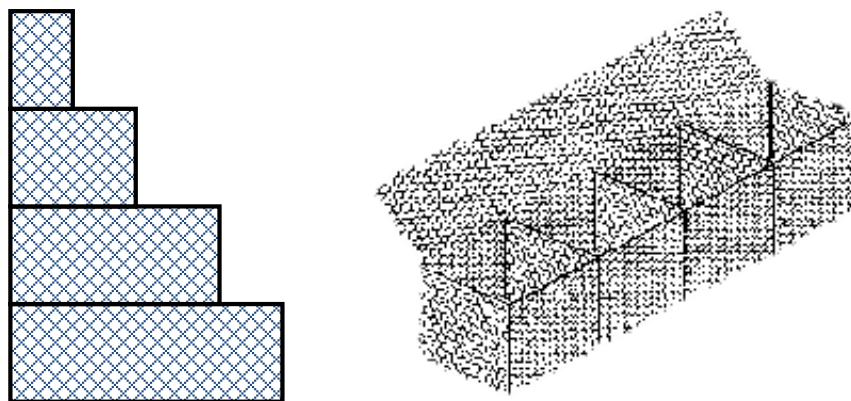


Figura N° 44: Gaviones tipo caja

Las dimensiones de cada camada de gaviones serán insertadas a través del menú Muro en el software como a continuación de muestra en la figura todos los datos necesarios para calcular su factor de seguridad y verificar su estabilidad de cada tramo crítico.

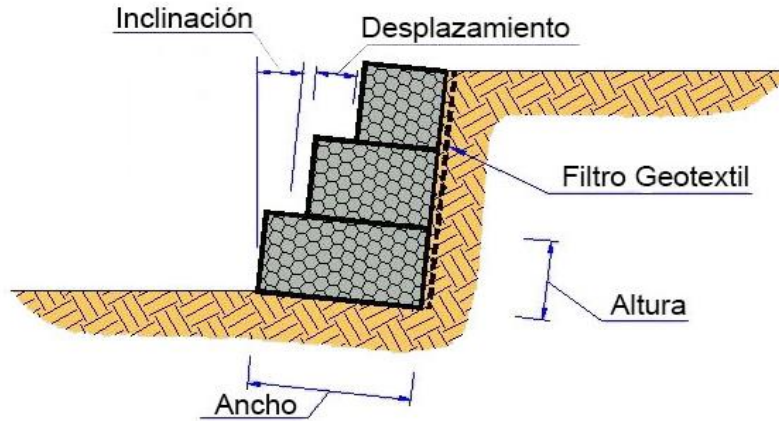


Figura N° 45: Datos necesarios para el análisis de gaviones tipo caja

3.5.2 Solución de los taludes de los tramos críticos

Tramo 03 - Progresivas Km. 1+570 - 1+670

Solución: Se recomienda construir gaviones de dos camada a lo largo de todo este tramo para estabilizar el talud (ver el análisis de los gaviones para este tramo en el anexo 1)



Foto N° 12: Instalación de Gaviones

Tramo 04 - Progresivas Km. 4+100 - 4+120

Del análisis de estabilidad estática en condiciones sin proyecto presenta un factor de seguridad 1.347, con sismicidad 0.914, con tensiones efectivas 0.848 valores que no cumplen con la condición de equilibrio límite en los dos últimos casos.

SOLUCIÓN: Hacer banquetas y bajar el ángulo de talud para mediante bancos de 8m de longitud con un ángulo de 45° por 2m de longitud horizontal como se muestra en los siguientes análisis.

TALUD EVALUADO CON TENSIONES TOTAL

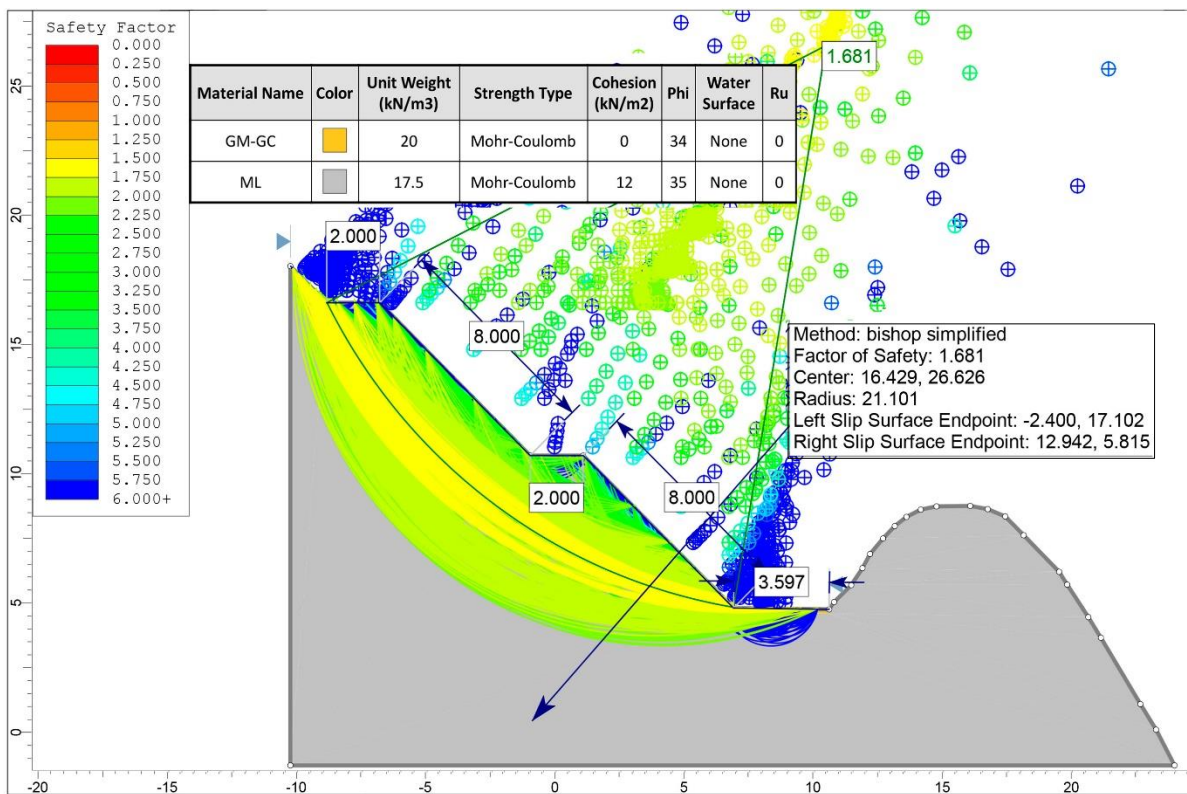


Figura N° 46: Método Bishop simplificado con banquetas en condiciones de equilibrio límite evalúa el talud con un FS = 1.681

Del análisis de estabilidad estática con banquetas nos da un factor de seguridad de 1.681, valor que cumple con la condición de equilibrio límite.

TALUD EVALUADO CON TENSIONES TOTAL +SISMICIDAD

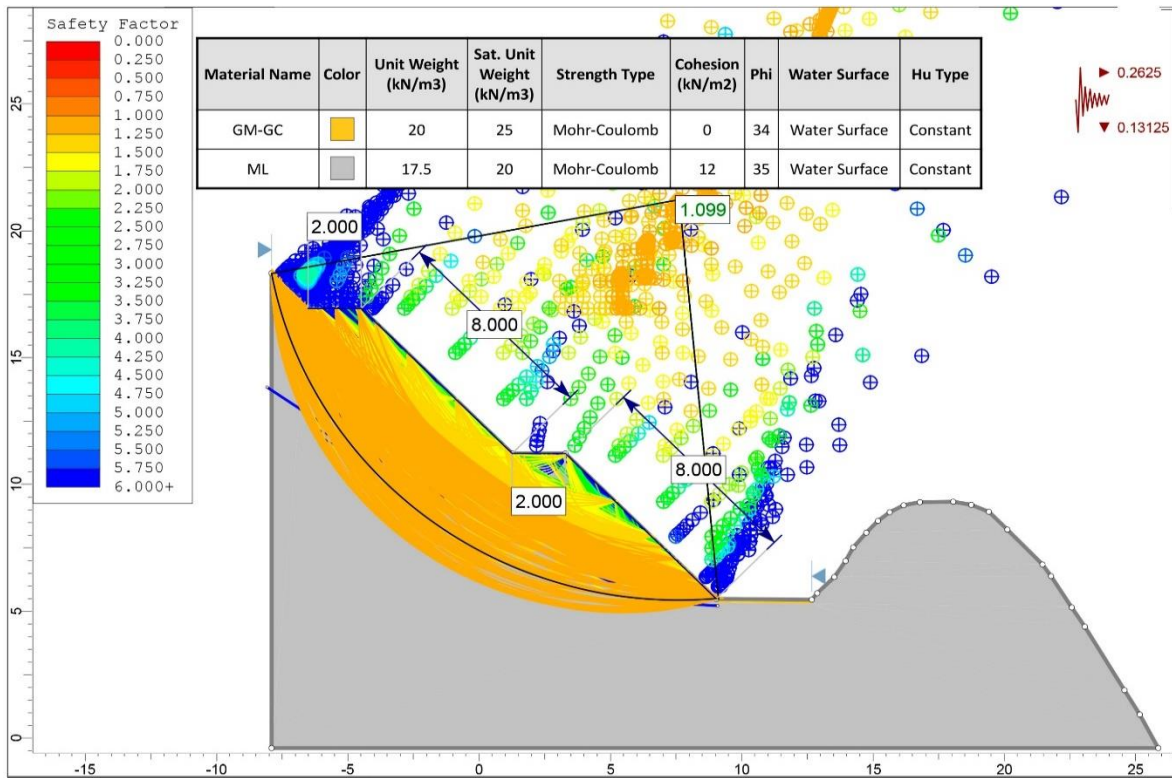


Figura N° 47: Método Bishop simplificado con banquetas en condiciones de sismicidad más agua evalúa el talud con un FS = 1.099

Tramo 06 - Progresivas Km. 5+300 - 5+340

Solución: Se recomienda bajar la pendiente del talud hasta llegar a un ángulo de 45° para una mejor estabilidad; hacer un retiro de 1.00 m. de la cuneta, para que no genere acumulaciones de material cuaternario. (ver el cuadro 7 de tabla comparativa para cortes de taludes del MTC).



Foto N° 13: Bajando ángulo de talud a 45°

Tramo 07 - Progresivas Km. 6+475 - 6+518



Foto N° 14: Como se va a colocar los gaviones en este tramo.

Del análisis de la inestabilidad en estado de tensiones totales en condiciones sin proyecto presenta un factor de seguridad 0.447, valor que no cumple con la condición de equilibrio limite

Solución: Hacer gaviones de seis camadas de 1m de altura respectivamente a lo largo de todo este tramo para estabilizar el talud (ver el análisis de los gaviones para este tramo en el anexo 1).

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Procesamiento de la Información

Para la interpretación de la información de los taludes solicite información a la empresa encargada para que me brinde tanto la topografía de la carretera como las secciones transversales para hacer mis modelamientos de perfiles 2D únicamente en suelos en las progresivas críticas de la carretera Yauyucan - Cruce Conejo Tranca.

Las secciones elaboradas son transversales al eje de la carretera, analizando así su composición litología del talud en 3 secciones críticas en suelos, dividiéndose cada una en tres condiciones establecidas para su mejor zonificación como : tensiones totales, tensiones efectivas y tensiones totales + sismicidad; determinando así sus factores de seguridad en función de las condiciones ya estipuladas.

4.2 Discusión y análisis de investigación

Los resultados de la investigación han determinado factores de seguridad mayores que uno y menores que uno, lo que indica que existen 3 tramos de taludes estables y 4 tramos puntos críticos a lo largo de la carretera Yauyucan - Cruce Conejo Tranca Así mismo se determinado sus alternativas de solución para estabilización de acuerdo a las condiciones: geológicas, geotécnicas, hidrológicas y ambientales para cuando se ejecute la mejora de este tramo de la carretera sean tomadas en cuenta

En todos los tramos analizados se pueden observar que está compuesto por una primera capa de 15 cm de suelo tipo GM-GC lo cual indica que este pertenece al tipo de material con el cual ha sido afirmada la carretera y que la segunda capa que se muestra en los análisis de suelos es el que existe naturalmente en dicho tramo

En los tramos 01 sección A-A' y el tramo 02 sección B-B' se define que son de la misma naturaleza de composición GM-GC y ML, pero los factores de seguridad en los dos tramos son bastantes parecidos y están sobre 1.6 con límite superior de 2.5, lo cual se puede indicar que estos tramos son estables.

En los tramos 03 sección C-C' y el tramo 06 sección F-F' se define que son de naturaleza de diferente composición GM-GC: SM y GM-GC: MH, pero los factores de seguridad en los dos tramos son bastantes parecidos y están sobre 0.5 con límite superior de 0.9, lo cual se puede indicar que estos factores de seguridad están por debajo de 1 y de acuerdo al método de equilibrio limite estos tramos son inestables.

En los tramos 04 sección D-D', el tramo 05 sección E-E' y el tramo 07 sección G-G' se define que son de la misma naturaleza de composición GM-GC y ML, pero los factores de seguridad en los tres tramos son diferentes y varían mucho estando sobre 0.2 con límite superior de 1.8 , lo cual se puede indicar que el tramo 4 es estable en condiciones de tensiones totales pero inestable en condiciones de tensiones totales + sismicidad y tensiones efectivas son inestables y en el tramo 5 los factores de seguridad son mayores que 1 lo cual hace que este tramo sea estable pero todo lo contrario sucede con el último tramo los factores de seguridad oscilan entre 0.2 y 0.4 lo cual hace que el talud es altamente inestable y se ha caído este tramo del talud como se evidencia en la foto N° 10.

La síntesis de análisis de resultados de los 7 tramos en mención se muestra en el cuadro N° 26

Cuadro N° 26: Síntesis de Factores de Seguridad en los 7 tramos

| F.S.(T.T.) | F.S.(T.T.+S.) | F.S.(T.E.) |
|-------------------|----------------------|-------------------|
| 2.431 | 1.612 | 1.648 |
| 2.560 | 1.798 | 1.785 |
| 0.928 | 0.617 | 0.943 |
| 1.347 | 0.914 | 0.848 |
| 1.813 | 1.225 | 1.195 |
| 0.842 | 0.617 | 0.568 |
| 0.447 | 0.287 | 0.211 |

4.3 Contrastación de Hipótesis.

La inestabilidad de taludes en el tramo de la carretera Yauyucan - Cruce Conejo Tranca efectivamente están relacionados con las condiciones litológicas y geomorfológicas tal como se analizó a lo largo de toda la Carretera, presentando zonas críticas debido a la composición de los suelos y las intensas precipitaciones y vibraciones que generan los vehículos de transporte; dan como resultado Factores de Seguridad muy bajos en algunos tramos. Con lo cual se contrastó la hipótesis.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 CONCLUSIONES

Se determinaron los parámetros físicos y geomecánicos y clasificación SUCS de los depósitos cuaternarios en los siete TRAMOS mediante análisis de laboratorio de mecánica de suelos, como se muestra en la Tabla N^a 3.

Las 7 zonas de trabajo están sobre depósitos cuaternarios coluvio-aluviales; 3 son estables y 4 son críticos denominados TRAMOS 3, 4, 6 y 7, donde se calcularon los Factores de Seguridad en tensiones totales, efectivas y sismicidad, como se muestra en la Tabla N^a 4.

En la Tabla 5 se muestran los resultados finales de litología, clasificación SUCS y su equivalente para carreteras AASHTO, además los Factores de Seguridad de los siete tramos.

Se definió que las precipitaciones en los meses de Diciembre, Enero, Febrero, Marzo y parte de abril, saturan los depósitos cuaternarios provocando la inestabilidad por deslizamientos.

Para estabilizar los taludes más críticos 3 y 7 se propone muros de gaviones, los cuales fueron calculados mediante software Gawacwin. Para el caso de los taludes relativamente menos críticos 4 y 6 se propone banquetas y fueron calculados mediante el Slide.

5.2 RECOMENDACIONES.

Se recomienda que la Municipalidad Distrital de Yauyucan asigne presupuesto para la ejecución de los muros con gaviones y banquetas en los taludes críticos, y que se realice el monitoreo de los taludes de toda la carretera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Braja, M. (2001). Fundamentos De Ingeniería Geotécnica. Editor Pedro de la Garza Rosales. Edit Thomson editores S.A. México.
- Carmona Mantilla, N. (2013). Estudio de Hidrología e Hidráulica para el Expediente Técnico: Mejoramiento de la transitabilidad a nivel de asfaltado bicapa desde la localidad de Yauyucan, hasta Cruce Conejo Tranca distrito de Yauyucan, provincia de Santa Cruz departamento de Cajamarca – ALAC. Cajamarca-Perú.
- Cobbing, E.J.; Pitcher, W.S.; Wilson, J.J.; Baldock, J.W.; Taylor, W.P.; Maccourt, W. y Snelling, N.J. (1981): The geology of the Western Cordillera of Northern Peru. Overseas Mem. 5, Inst. Geol. Sciences. Londres
- Collin, A. (1846). Experimental research on spontaneous landslides in clay soils, together with considerations on some principles of terrestrial mechanics. Carilian-Goeury and Dalmont, Paris.
- Corominas Dulcet, J., y García Yagué, A. (1997), Terminología de los movimientos de laderas, en Memorias, IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables, Granada, España, p. 1051–1072.
- Cruden, D.M. (1991). A Simple definition of a landslide: Bulletin of the International Association of Engineering Geology, v. 43, p. 27–29.
- Cruden, D.M., y Varnes, D.J. (1996) "Landslide types and processes En: Turner, A.A.K. and Schuster, R.L. (Eds.): Landslides. Investigation and Mitigation. Transportation Research Board. National Academy Press, Washington, DC. USA.
- Dávila Burga, J. (2011), Diccionario geológico, INGEMMET, Edit. Arth Altuna, Perú Lima.
- Dikau, R., Brundsen, D., Schrott, L., y Ibsen, M. ed. (1996), Landslide recognition, identification, movement and causes: Chichester, Wiley & Sons, 251 p.
- Gonzales de Vallejo, L.I. (2004). Ingeniería Geológica. Pearson Educación. Editora Isabel Capella. España Madrid.
- Granados López, A.R. (2006). Estabilización del talud de la costa verde en la zona del distrito de Barranco. Tesis de pregrado Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima-Perú.

- Hauser, A., 1993, Remociones en masa en Chile: Boletín Servicio Nacional de Geología y Minería, No. 45, p. 73.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., Baptista Lucio, MP. (2010). Metodología de la Investigación Científica. Editor sponsor Jesús Mares Chacón. Quinta Edición. México. McGRAW-HILL / Interamericana Editores, s.a. de c.v.
- Hoek, E. And Bray, J. (1981). Rock Slope Engineering, 3rd edn, Inst. Mining and Metallurgy, London, UK.
- Hutchinson, JN. (1988), "General report, morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to Geology and Hydrogeology, in Bonnard, C, (ed.), Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides, A. A. BaJkema, Rotterdam, Netherlands, vol. I, pp. 3-35.
- Itasca. (2000). User manual for UDEC, Version 3.1. Itasca Cons. Group Inc., Minnesota, EEUU.
- Mancera Alejándrez, J. (2010). Estudio para la estabilización de corte ubicado en el lado izquierdo de la carretera federal no. 54 Guadalajara-Salttillo, en el subtramo Guadalajara - Ixtlahuacán del Río, estado de Jalisco – México. Tesis de pregrado Universidad Nacional Autónoma de México. 123 p.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008) Manual De Diseño De Carreteras No Pavimentadas De Bajo Volumen De Tránsito. 114p.
- Montoya Torovero, FR. (2014). Evaluación Geotécnica de los taludes de la carretera Cruz Blanca – El Gavilán. Tesis de pregrado Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca-Perú.
- Ocon Paico, V. (2015). Evaluación Geotécnica De Inestabilidad De Taludes En La Carretera Hualgayoc – Apan Alto. Tesis de pregrado Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca-Perú.
- PMA: GCA. (2007), "Movimientos en masas en la región andina: Guía para la evaluación de amenazas". Edición N° 04.
- Sales, D., Origlia, D., Yenes Ortega, M., y Gardini, C. (2002). Deslizamiento rotacional en el Cerro Inti Huasi, Departamento Pringles, Provincia de San Luis: Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente v. 18, p. 106–112.
- Suarez Burgoa, LO. (2016), Análisis de Estabilidad de Taludes con aplicaciones en Matlab. Primera edición – Medellín.

- Suarez Díaz J. (2009). Deslizamientos. Volumen I: Análisis Geotécnico. Editorial: U. Industrial de Santander. Bucaramanga: División de Publicaciones Universidad Industrial de Santander.
- Turner F.J. y Verhoogen J. (1963). Petrología Ignea y Metamórfica. Ed. Omega, S.A. Barcelona-España.
- Varnes, DJ. (1978). "Slope movement tyoes and processes". In: Landslides analysis and control. Special Report 176

ANEXOS

1. REPORTE DE ANÁLISIS DE MUROS DE GAVIONES CON EL SOFTWARE GAWACWIN
2. PLANOS