

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Geológica

“ANÁLISIS GEOTÉCNICO EN LA ESTABILIDAD DE
TALUDES DE LA CARRETERA TRAMO OTUZCO -
COMBAYO DISTRITO ENCAÑADA PROVINCIA DE
CAJAMARCA, 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autores:

Alex Ayay Chilon

Mayk Luis Condor Vilcas

Asesor:

Mg. Ing. Oscar Arturo Vásquez Mendoza

Cajamarca - Perú

2021

DEDICATORIA

Dedicamos esta tesis a DIOS, por guiarnos y darnos fuerzas para seguir adelante.

A nuestros padres quienes nos dieron vida, educación, apoyo, sacrificio, por todo su aliento. A nuestro asesor y compañeros de estudio, maestros y amigos, quienes sin su ayuda nunca habiéramos podido hacer esta tesis.

A todos ellos se los agradecemos desde el fondo de nuestra alma. Para todos ellos hacemos esta dedicatoria.

Alex; Mayk

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios, que me da fuerza y fe para terminar esta tesis.

A mi alma mater Universidad Privada del Norte, en especial a la escuela profesional de ingeniería geológica por nuestra formación académica y profesional.

Asimismo, expresamos nuestro agradecimiento al ingeniero Oscar Arturo Vásquez Mendoza por la dedicación y apoyo que nos ha brindado en este trabajo de investigación.

Por el respeto a nuestras sugerencias e ideas y por la dirección y rigor a facilitado a las mismas.

Gracias por sus consejos y recomendaciones por hacer realidad este trabajo de investigación.

Alex & Mayk

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	4
ÍNDICE DE FIGURAS	5
RESUMEN	8
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	15
CAPÍTULO III: RESULTADOS	18
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	57
REFERENCIAS	60
ANEXOS	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Coordenadas UTM WGS84 de la zona de estudio.....	18
Tabla 2: Acceso a la zona de estudio.....	19
Tabla 3: Ensayos Estándar.....	21
Tabla 4: Límites de consistencia y Contenido de humedad por cada una de las muestras recolectadas.....	22
Tabla 5: Análisis granulométrico de cada una de las muestras estudiadas.....	24
Tabla 6: Clasificación de suelos según SUCS.....	26
Tabla 7.1 Cartografiado Geomecánico.....	28
Tabla 8. Calidad del macizo rocoso con relación al Índice RMR.....	30
Tabla 9. Mapeo de las discontinuidades.....	36
Tabla 10. Factor por zonas sísmicas.....	41
Tabla 11. Condiciones de Análisis de la rotura planar del Set J031 (Estático y Pseudo-estático).....	47
Tabla 12. Condiciones de Análisis de la rotura en cuña de los Sets J01 y J03 (Estático y Pseudo-estático).....	51
Tabla 13. Condiciones de Análisis para el Talud Global (Estático y Pseudo-estático).....	53
Tabla 14. Condiciones de Análisis para el Talud Global (Estático y Pseudo-estático).....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de fluidez, (C 02 – M1).....	22
Figura 2: Diagrama de fluidez, (C–02–M1)	23
Figura 3: análisis granulométrico, pasante vs abertura de tamiz,(C–01–1)	24
Figura 4: Curva de análisis granulométrico, pasante vs abertura de tamiz, (C–02–M1)	25
Figura 5: Curva de análisis granulométrico, pasante vs abertura de tamiz, (C–03–M1).....	25
Figura 6: Ploteo de la valoración en MPa de la resistencia a la compresión Uniaxial.....	29
Figura 7: Ploteo de la valoración en porcentaje del RQD.....	29
Figura 8: ploteo de valoración del espaciamiento entre discontinuidades en mm.....	30
Figura 9: Parámetros de estabilidad según el SMR Romana, por lo que el talud se comporta estable ante una rotura planar.....	31
Figura 10: Recomendaciones de soporte, en la cual se puede apreciar de que se recomienda la construcción de Cunetas al pie de talud.....	32
Figura 11: Ploteo del Valor de GSI, en función de las estructuras y condiciones de las discontinuidades.....	33
Figura 12: datos para el análisis respectivo.....	34
Figura 1. Observamos que los valores obtenidos para estación 1.....	35
Figura 14. Análisis cinemático de falla planar.....	37
Figura 15. Valores de ángulo de fricción, orientación del talud, dirección y buzamiento de los planos promedios de las familias de discontinuidades.....	38
Figura 16: Análisis cinemático de falla en cuña.....	39
Figura 17: Valores de ángulo de fricción, orientación del talud, dirección y buzamiento de los planos promedios de las familias de discontinuidades en falla tipo cuña.....	39
Figura 18 Análisis cinemático utilizando como criterio para definir el área crítica.....	40
Figura 19: Valores de ángulo de fricción, orientación del talud, dirección y buzamiento de los planos promedios de las familias de discontinuidades falla por vuelco.....	40

Figura 20: Mapa de acciones sísmicas.....	41
Figura 21: Ubicación de coordenadas para la obtención del coeficiente de sismicidad.....	42
Figura 22. Gráfico de espectro de peligro uniforme.....	43
Figura 23. Vista en Perspectiva del posible deslizamiento del Bloque de roca.....	44
Figura 24. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb.....	44
Figura 25. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb.....	45
Figura 26. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable.....	45
Figura 27. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es inestable.....	46
Figura 28. Análisis de Sensibilidad que muestra que para que el talud sea estable.....	47
Figura 29. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud estable en condiciones secas y estáticas.....	48
Figura 30. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y estáticas.....	49
Figura 31 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas.....	50
Figura 32. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas.....	50
Figura 33. Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer.....	51
Figura 34. Análisis del Factor de Seguridad por el método de Morgenstern – Price.....	52
Figura 35. Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud es inestable.....	53
Figura 36. Análisis del Factor de Seguridad por el método de Morgenstern - Price, en la que se aprecia que el talud es inestable.....	53
Figura 37. Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud es inestable.....	54
Figura 38. Análisis del Factor de Seguridad por el método de Morgenstern - Price, en la que se aprecia que el talud es estable.....	55

RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo realizar el análisis geotécnico para la estabilidad de taludes carretera tramo Otuzco – Combayo distrito de la Encañada provincia de Cajamarca, 2020el atreves los factores que han intervenido en la inestabilidad de los taludes como análisis de los factores geomorfológicos, el impacto de las aguas superficiales en tiempos de lluvia de la mano de la clasificación de re materiales presentes en la zona de estudio como (límites de consistencia, humedad y análisis granulométrico).

Se han realizado diferentes estudios, con el fin de proponer el método más efectivo de estabilidad en esta zona; se realizó un muestreo de suelos probabilístico superficial, para luego continuar con el análisis de laboratorio, también se realizó la toma de datos geotécnicos del talud.

Según el análisis geotécnico, los suelos están clasificado en Limos y arcillas inorgánicos de baja plasticidad de los cuales ambos cuentan un LL menor a 50%, lo que los hace ser bajos en plasticidad, es por ello por lo que al tener contacto con el agua se separan rápidamente originando los deslizamientos. Según los resultados de laboratorio, se determinó el diseño del talud con una inclinación de 35° con lo que se logró aumenta el Factor de seguridad de 0.903 a 1.596 en condiciones estáticas y de 0.835 a 1.83 en condiciones Pseudoestáticas, mientras que para el primer talud se recomienda construir obras de drenaje, ya que el Factor de seguridad es inestable en condiciones saturadas.

Palabras clave: análisis geotécnico, estabilidad de taludes, factor de seguridad

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En el Perú y en muchos países del mundo la inestabilidad de taludes es uno de los problemas con mayor incidencia y al que debe darse una oportuna solución dado que los deslizamientos de taludes causan severos impactos en la sociedad cuyos efectos se ven reflejados en los diversos daños sobre estructuras de la zona de deslizamientos, obstaculizan la vías terrestres (carreteras, vías férreas) sumado a ello ocasiona pérdidas humanas, teniendo en cuenta que al hacer referencia a un deslizamiento de talud estamos frente a la separación y deslizamiento de una masa de tierra, roca o composición de los dos en apariencia gradual o ligera, generalmente de mucha dimensión ocasionado un defecto de soporte en el cimiento del talud, sobre congestión de agua, descomposición progresiva rocosa (erosión), actividad sísmica y gravitacional. (García, 2017).

Debido a ello y ante la agudeza de estos eventos es de esencial énfasis esta problemática para moderar las consecuencias y de esta manera prevenir las probables pérdidas que se derivan de estos sucesos, caso contrario la inestabilidad seguirá siendo protagonista de deslizamientos en las diversas partes del país representando un riesgo inminente y amenaza constante, estimando que nuestro país es de relieve accidentado y de diversa morfología, ante ello la realización de un estudio habitual de estabilidad de taludes es en gran medida restringido debido al empleo de simples parámetros o valores para detallar las propiedades o peculiaridades de un talud, además estos análisis tradicionales solo reportan valores estimados respecto de la estabilidad del talud, sin embargo, existe una variedad inherente dentro de sus características las

cuales perjudican a la estabilidad del mismo y se encuentran en una situación probabilística más que determinista teniendo en cuenta la posición de las laderas o pendiente del suelo ya que los deslizamientos y derrumbes, se fomentan por diversas causas artificiales como la perforación de un talud (vías férreas, carreteras) y naturales que engloba las condiciones climáticas y la firme pendiente del terreno (gravedad), sin duda para frenar dichos procesos geodinámicas se espera que se ponga mayor disposición y énfasis en el estudio de los derrumbes y deslizamientos sobre todo en nuestra serranía y selva que son los espacios de mayor incidencia, donde se ven comprometidas la seguridad y consistencia de las obras de 2 ingeniería además de aquellos habitantes que generalmente se acentúan en las zonas de influencia de estos eventos como es el caso de nuestra zona de estudio el tramo de la carretera Otuzco – Combayo.

Uno de los problemas que presentan las montañas son los procesos geotécnicos activos de los taludes y laderas corresponden generalmente, a movimientos hacia abajo y hacia afuera de los materiales que conforman un talud de roca, suelo natural o relleno o una combinación de ellos. Los movimientos ocurren generalmente, a lo largo de superficies de falla, por caída libre, movimientos de masa, erosión o flujos. (Suarez, 2008).

Álvarez y Torres (2014), realizó una investigación denominada: “Propuesta de un modelo hidro-geotécnico para prevención de riesgos en taludes”, en virtud de la realidad nacional y consiente de que la lluvia es el agente que desencadena con mayor frecuencia la desestabilización de taludes se pretende aportar por media de esta investigación la escala semi cuantitativa de la relación que existe entre la lluvia y los deslizamientos de masa de un talud, mediante un análisis estadísticos de eventos

suscitados en el sector denominado la forestal sobre la AV. Simón Bolívar de la ciudad de Quito; con su estudio quedó demostrado que el agua es el principal causante de los deslizamientos por lo que recomiendan aplicar todo tipo de proceso constructivo que permita prevenir la infiltración o la extracción del agua en el cuerpo del talud.

Según (Monteros ,2012). Realizó una investigación denominada: “Estudio para la estabilización del talud del Km 13 al 15 de la Carretera Calderón – Guayllabamba”. Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil en la Universidad Internacional de Ecuador, en la cual el autor plantea alternativas para lograr estabilizar el “Talud del Km.13 al Km. 15 de la carretera Calderón - Guayllabamba”; través de un análisis de las propiedades del suelo además del diseño geométrico del talud existente y de esta manera poder lograr una adecuada protección evitando deslizamientos de material en la vía, para ello se realizó un levantamiento topográfico, análisis de mecánica de suelos y una caracterización geotécnica; con el fin de conocer los agentes que afectan la estabilidad. Plantea alternativas como la implementación de un sistema basado en un proceso de vegetación del talud por hidrosiembra, un revestimiento de geosintéticos anclados al talud y un sistema de concreto lanzado, según las características los taludes, concluye que la mejor solución para estabilizar los mismos sería el revestimiento de un concreto lanzado con un espesor de 5cm por su fácil aplicación y poco mantenimiento, recomienda que las superficies afectadas por erosiones deben ser estabilizadas lo más pronto antes que el área afectada se haga más grande y el costo de estabilización sea mucho mayor.

Alvarado y Cornejo (2014), realizó una investigación denominada: “Estabilización de taludes en la costa Verde – Callao tramo. av. Santa Rosa – jr. Virú. (1.3 km)”. Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil, realizo un levantamiento

topográfico, geológica y geomorfológica que le permitió conocer a detalle el terreno, que le permitió adecuar de una forma certera el talud en estudio utilizando el programa de computación SLOPE/W. Con el análisis de la problemática del talud y los estudios realizados determina que el talud en estudio tiene una pendiente muy accidentada para las propiedades físico-mecánicas del suelo y plantea reducir la pendiente y la utilización de geomallas o geomembranas de este modo aumentar el factor de seguridad para la estabilidad del talud.

Según Sáenz Correa (2015) Realizó un estudio en el tramo de la Carretera El Gavilán - Chigden, donde analizó El comportamiento geotécnico de los taludes que es sumamente compleja por la presencia de rocas altamente fracturadas, es decir por las condiciones físico- mecánicas de los suelos y rocas; pero influenciado principalmente por el alto ángulo de talud que presentan, definiendo la inestabilidad en zonas críticas de los taludes.

Según Torres (2015) Evaluación Geotécnica de los Deslizamientos en Taludes de la Carretera Peña Blanca - Choropampa, donde se realizó cartografiados en todo el trayecto de la carretera, para un análisis geomecánico y geotécnico, para luego realizar muestreos en los puntos críticos de los taludes, para su posterior análisis, evaluación y caracterización del suelo y macizo rocoso.

Según, Montoya (2014) Evaluación Geotécnica de los Taludes de la Carretera Cruz Blanca - El Gavilán, donde analizó condiciones litomorfoestructurales y su implicancia con la inestabilidad de los taludes, porque es necesario conocer el comportamiento geomecánico y teniendo los resultados se logrará un proceso de control y mejoramiento de los taludes.

Arteaga (2017). Realizo una evaluación el comportamiento de los factores geológicos - geotécnicos que intervienen en la inestabilidad de los taludes de la carretera Choropampa – Magdalena, describiendo las características físicas y mecánicas de los taludes para un posible mejoramiento.

Factor de Seguridad:

Suarez (2013). Para el conjunto de todas las zonas a lo largo de una determinada superficie de falla se admite que el factor de seguridad es igual, es por ello, que este valor simboliza una parte importante en toda la superficie de falla.

Cálculo de Estabilidad:

Suarez (2013). Se describe como la firmeza de un volumen de la superficie ante la falla o el desplazamiento; Las diversas metodologías de cálculo que serán útiles en la determinación de la estabilidad, se plantea un dispositivo cinemático de falla específico, recolectado de la practica por él cual se estudia las fuerzas propicias a ocasionar el desplazamiento como la fuerza de gravedad, presión, absorción de agua, etcétera.

Suelos:

Duque y Escobar (2016). Es un material de construcción con mayor proporción en la ingeniería civil, además de constituir una ayuda en las estructuras las cuales pueden ser canales, represas, carreteras, puentes, edificaciones, etcétera, además de utilizarse como material para terraplenes viales, muro de tierra reforzado con geotextil, diques entre otros.

Geotecnia:

(Suarez, 1998). El autor sostiene que esta rama de la ingeniería; Investiga los suelos y la roca bajo la superficie para definir sus características y composición para analizar su comportamiento frente a eventos inesperados. La geotecnia incluye el estudio de la geotecnia propiamente dicha y la sismología.

De acuerdo, a lo mencionado anteriormente es muy importante realizar esta investigación ya que beneficiará a la población de Otuzco y Combayo y en general de la región Cajamarca. Según lo planteado se formuló la siguiente interrogante ¿Cómo el análisis geotécnico influye en la estabilidad de taludes de la carretera tramo Otuzco-Combayo? Teniendo como objetivo general de la investigación realizar el análisis geotécnico para la estabilidad de taludes carretera tramo Otuzco – Combayo distrito de la Encañada provincia de Cajamarca, 2020. Y como objetivos específicos realizar el análisis de clasificación de los materiales que componen el talud de la carretera Otuzco – Combayo, realizar el diagnóstico de factores detonantes que generan inestabilidad en el talud de la carretera carretera Otuzco – Combayo y finalmente Proponer un diseño estable de talud la carretera tramo Otuzco – Combayo. Asimismo, se ha formulado la siguiente hipótesis mediante el análisis geotécnico se logrará realizar la estabilidad de los taludes de la carretera Otuzco – Combayo.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación para el presente trabajo de investigación según el fin es Aplicada debido a que se buscará realizar el análisis geotécnico en la estabilidad de taludes de carreteras, el alcance es descriptivo porque se hace una descripción de la relación de las dos variables de estudio, teniendo un enfoque cuantitativo ya que en este estudio se usaran datos para poder aprobar o descartar la hipótesis, haciendo una recolección y análisis de los parámetros de la zona de estudio, el diseño es no experimental pues el estudio se realiza sin tener un control o una modificación de las variables; y de corte transversal puesto que se observaran todos los sucesos de una manera directa en un momento determinado para luego ser analizados (Oblitas, 2018).

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

Población

La población para la presente investigación se encuentra representada por los taludes entre los kilómetros 00+1 al 00+5 en el tramo de la carretera tramo Otuzco – Combayo.

Muestra

En la presente investigación se tomarán como muestras de estudio a 5 estaciones geotécnicas.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Técnicas

Con la finalidad de recopilar nuestros datos requeridos para la presente investigación se tendrán en cuenta las siguientes técnicas:

- ✓ Observación Directa: se visitará nuestro campo de estudio para poder observar el estado en el que se encuentra los taludes.
- ✓ Análisis Documental: con el fin de obtener un buen nivel de estudio se tendrán cuenta libros, tesis, artículos relacionados a la estabilidad de taludes.

Instrumentos

Los instrumentos que se utilizaron para la recolección de datos son.

- ✓ Ficha de observación Geotécnica
- ✓ Cuaderno de Campo
- ✓ GPS
- ✓ Brújula

2.4. Procedimiento

Este trabajo de investigación se realizó mediante 3 etapas: las cuales se detallan a continuación. etapa de pre campo, etapa de campo y etapa de post campo.

2.4.1. Etapa de pre campo

Inicialmente se realiza la revisión de antecedentes, estudios previos, realizados respecto al tema, en los diferentes ámbitos, tanto local, nacional como internacional, para lo cual se recurrió a los repositorios virtuales de las distintas universidades y bases de datos como Scielo, Ebsco, Scopus, Redalyc, Alicia y Renati la cual nos permita tener referencia con respecto al tema de análisis geotécnico para la estabilidad de taludes en carreteras.

2.4.2. Etapa de Campo

Se realizó la toma de datos de campo y muestreo para identificar las propiedades de los taludes mediante el estudio de suelos.

Toma de datos de campo mediante estaciones geotécnicas.

2.4.3. Etapa de pos campo

Luego de recolectar toda información necesaria en campo se procedió a procesar y tabular de forma digital los datos obtenidos en campo, con ayuda de los programas Microsoft Word, Microsoft Excel y la ayuda de algunos softwares mas donde se pudo identificar de forma más detallada la estabilidad de taludes mediante el análisis geotécnico.

2.4.4. Aspectos éticos.

La presente investigación titulada “Análisis geotécnico en la estabilidad de taludes de la carretera tramo Otuzco – Combayo distrito la Encañada provincia de Cajamarca, 2020” se está desarrollando de acuerdo con los protocolos de la Universidad Privada del Norte.

En esta investigación las citas se realizaron de acuerdo con el manual de APA.

Aspectos éticos en base a:

Social:

Tendremos en cuenta la participación de la población en la toma de decisiones. Con el objetivo de enriquecer el patrimonio cultural de las comunidades, los valores colectivos, individuales y especialmente sociales.

Medio Ambiente:

Mediante el desarrollo de la investigación se evitará conflictos sociales entre pobladores y lugar donde ejecuta el proyecto de la carretera.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Ubicación

El área de estudio se encuentra localizado políticamente en el distrito de la Encañada, en la provincia y departamento de Cajamarca al norte del Perú.

3.1.1. Ubicación geográfica

Tabla 1

Coordenadas UTM WGS84 de la zona de estudio.

Punto	Longitud inicial (m)	Latitud final (m.)
Inicial (01 Km.+00)	00	1000
Final (05 Km. +00)	1000	5000

Fuente: elaboración Propia

3.1.2. Ubicación política

La ubicación política en el cual se desarrolló la investigación.

País: Perú.

Departamento: Cajamarca.

Provincia: Cajamarca.

Distrito: Encañada.

3.1.3. Accesibilidad

Para llegar a la zona de estudio contamos con un acceso por la vía Cajamarca Otuzco, a quince minutos aproximadamente llegando al desvío llamado la rinconada.

Tabla 2:

Acceso a la zona de estudio

Tramo	Carretera	Distancia	Tiempo	Tipo de Vía
Otuzco – Combayo	Combayo	8 km.	15 min.	asfaltada

Fuente: elaboración Propia

3.1.4. Geología

Formación Pariatambo (ki – pa)

Esta unidad para Benavides (1956); consiste de una alternancia de lutitas con lechos delgados de calizas bituminosas negruzcas, estratos calcáreos con nódulos silíceos (chert) y dolomíticos, con un característico olor fétido al fracturarlas. Generalmente la formación Pariatambo yace concordantemente sobre la formación Chúlec e infrayace, con suave discordancia a la formación Yumagual.

Formación Pulluicana (ks – pu)

Un estudio realizado por Gobierno Regional de Cajamarca (2009), esta formación predomina intercalaciones de calizas, donde hay capaz de margas marrones y lutitas grisáceas o verdosos, así como algunas capas de limonitas y areniscas.

Formación Quilquiñán (ks – q)

Para Benavides (1956), esta formación infrayace con discordancia paralela a la formación Cajamarca. Su base consiste en una gruesa secuencia de calizas nodulares macizas, seguida de una intercalación de margas y lutitas amarillentas, continúan delgados lechos de calizas nodulares con margas pardo-amarillentas y bancos de calizas claras con lutitas arenosas y margas delgadas con abundantes fósiles.

Formación Cajamarca (ks – ca)

La formación Cajamarca, nombre dado por BENAVIDES (1956), esta unidad yace concordantemente sobre el Grupo Quilquiñán y con la misma relación subyace a la formación Celendín. Consiste generalmente de calizas gris oscuras o azuladas y macizas, con delgados lechos de lutitas y margas de los mismos colores.

Depósito Cuaternarios

En discordancia angular sobre todas las unidades descritas anteriormente se tiene una variedad de depósitos cuaternarios. En nuestra zona de estudio encontramos **cuaternarios aluviales (Q –al)** en las faldas de cerros, laderas de valles, y **cuaternarios fluviales (Q – fl)** en los lechos de los ríos. Dentro de los depósitos aluviales se han considerado los materiales con poco transporte y en los fluviales las diferentes terrazas dejadas por los ríos. (Benavides, 1956).

3.2. Materiales que componen el talud

Para poder determinar el tipo de material que se encuentran en la zona de estudio, se ha realizado un muestreo probabilístico (elección aleatoria de cualquier tipo de material en el lugar de estudio). Para ello se ha establecido el recojo de tres muestras clasificadas en campo (M – 001; M – 002 y M – 003) y en Laboratorio (C – 01 – M1; C – 02 – M1 y C – 03 – M1). Estas muestras han de ser derivadas hacia el laboratorio (LABORATORIO URTECO SRL.) para su respectivo análisis y determinaciones.

3.2.1. Ensayos de laboratorio.

Los ensayos de laboratorio que se efectuaron a las muestras obtenidas durante el muestreo consisten en el contenido de humedad que poseen, el análisis granulométrico por tamizado del material y los límites de consistencia (Líquido, plástico e índice de plasticidad) que derivan.

Para la ejecución de los ensayos antes señalados se aplicaron los siguientes procedimientos normalizados por la American Standard of Testing Materials (ASTM), no se ha podido evidenciar nivel freático en ninguna de los muestreos dentro de los trabajos de campo realizados.

En la tabla 3 se muestran los procedimientos normalizados ASTM

Tabla 3:

Ensayos Estándar

Estándares	Normas asociadas
Análisis granulométrico	: Norma ASTM - D422
Límite Líquido	: Norma ASTM – D4318
Límite Plástico	: Norma ASTM - D4318
Humedad Natural	: Norma ASTM - D2216

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Clasificación de suelos.

Las muestras ensayadas en laboratorio se han clasificado de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS, para el análisis granulométrico) y AASHTO (para la determinación de los límites de consistencia)

La tabla 04, muestra las caracterizaciones de los suelos analizados, observándose que se trata de limos y arcillas inorgánicos de baja plasticidad con un límite líquido (LL) menor a 50. Se describen sucesiones de índices de plasticidad (IP) los cuales varían entre 11%

y 14%, un contenido de humedad (W%) que varía entre 11.46 % hasta 22.98%, límite plástico (LP) que va desde 22% hasta 30% y con límite líquido (LL) que varía entre 33% hasta 44%.

Tabla 4:

Límites de consistencia y Contenido de humedad por cada una de las muestras recolectadas.

N° de muestras	Humedad W (%)	Límites de Consistencia		
		LL (%)	LP (%)	IP (%)
C – 01 – M1	22.98	44	30	14
C – 02 – M1	18.45	33	22	11
C – 03 – M1	11.46	36	22	14

Fuente: Elaboración propia.

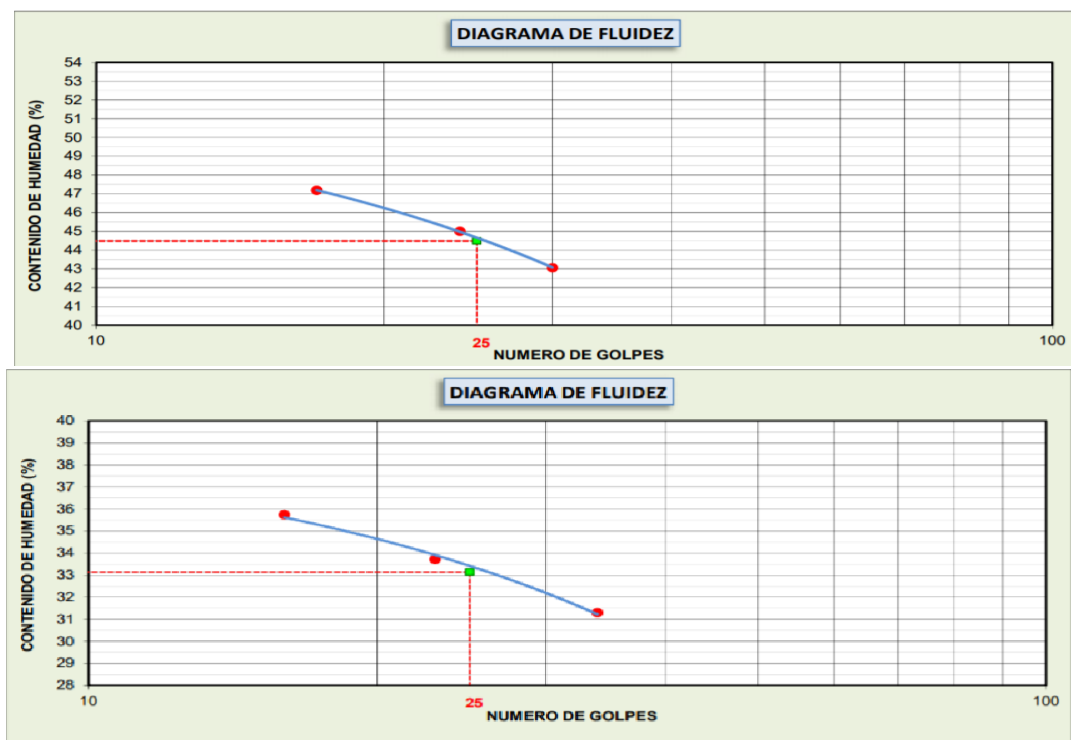


Figura 1: Diagrama de fluidez, (C – 01 – M1)

Fuente: Laboratorios – HURTECO SRL, 2020

En la anterior figura se observa una representación con el contenido de humedad versus el número de golpes para poder determinar el límite líquido de la muestra analizada, según se evidencia, el límite líquido para la (C – 01 – M1) es de 44%, lo cual al ser este menor que 50 y asociarse dentro de la clasificación de suelos finos, llega a ser determinado como un Limo inorgánico de baja plasticidad.

También se observa una representación con el contenido de humedad versus el número de golpes para poder determinar el límite líquido de la muestra analizada según se evidencia, el límite líquido para la (C – 02 – M1) es de 33%, lo cual, al ser este menor que 50 y asociarse dentro de la clasificación de suelos finos, llega a ser determinado como arcilla inorgánica de baja plasticidad.

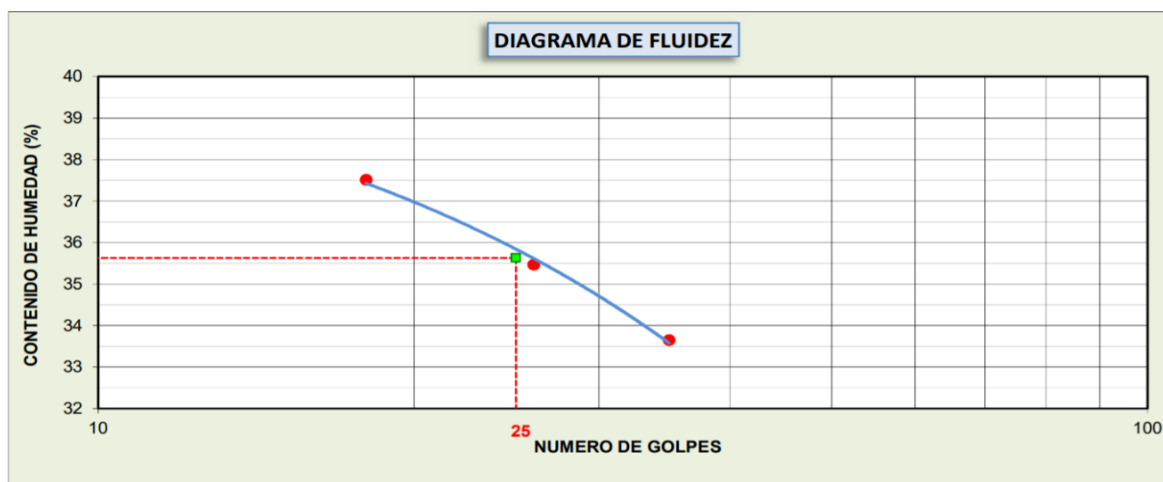


Figura 2: Diagrama de fluidez, (C – 02 – M1)

Fuente: Laboratorios –HURTECO, 2020.

En la anterior figura se observa una representación con el contenido de humedad versus el número de golpes para poder determinar el límite líquido de la muestra analizada, según se evidencia, el límite líquido para la (C – 03 – M1) es de 36%, lo cual, al ser este menor que 50 y asociarse dentro de la clasificación de suelos finos, llega a ser determinado como arcilla inorgánica de baja plasticidad.

Posteriormente, se muestra la tabla N° 05 en dónde a través de análisis granulométrico con SUCS se muestran los resultados de contenidos en porcentaje de grava, arena y finos. Descriptivamente se observan que el contenido de las tres muestras podemos observar que se trata de mayor contenido de materiales finos que varía desde 84.4% hasta 92.4% de finos, en el contenido de arenas tenemos que varía de 7.6% hasta 15.6%.

Tabla 5:

Análisis granulométrico de cada una de las muestras estudiadas

Granulometría

N° DE MUESTRA	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)
C – 01 – M1	9.28	10.64	80.07
C – 02 – M1	5.29	14.67	80.00
C – 03 – 9M1	21.26	27.72	51.02

Fuente: Elaboración propia

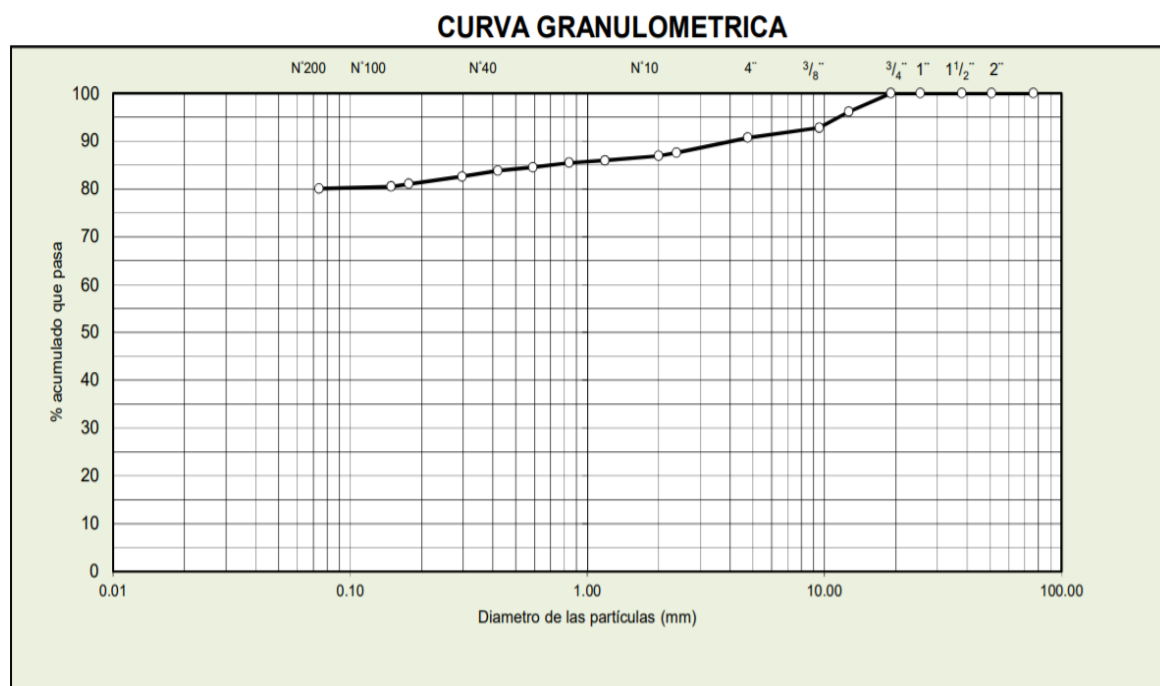


Figura 3: Curva de análisis granulométrico, pasante vs abertura de tamiz, (C – 01 – M1)

Fuente: Laboratorios – HURTECO, 2020.

En la figura 3 se puede observar la muestra y representación de un análisis granulométrico donde el contenido de gravas, arenas y finos son de 9.28%, 10.64% y 80.07% consecutivamente.

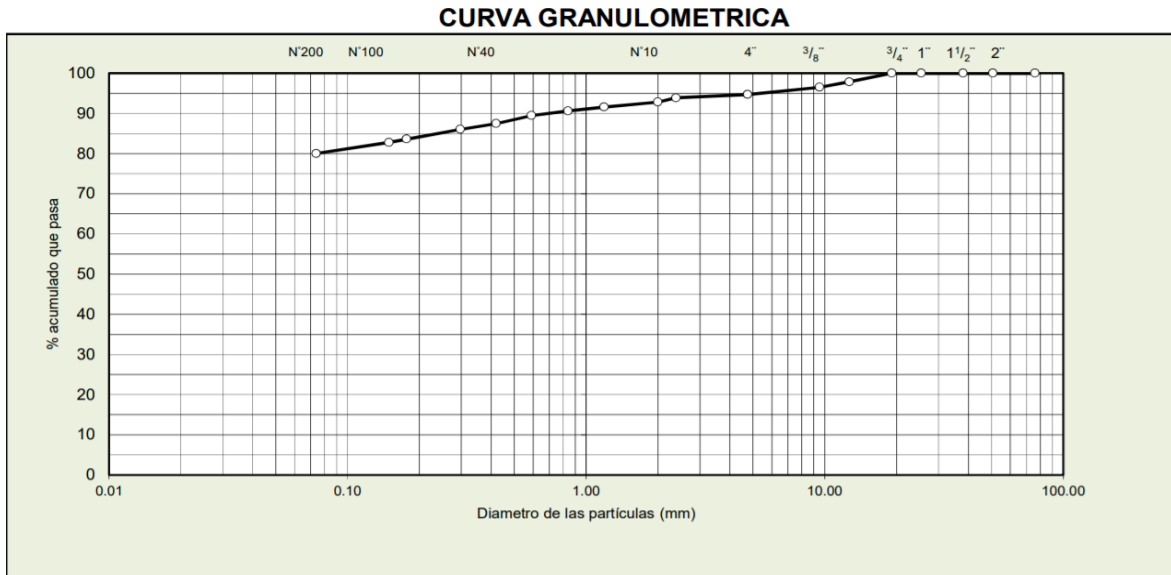


Figura 4: Curva de análisis granulométrico, pasante vs abertura de tamiz, (C – 02 – M1)

Fuente: Laboratorios – HURTECO, 2020.

La anterior figura nos muestra y representa un análisis granulométrico donde el contenido de gravas, arenas y finos son de 5.29%, 14.67% y 80.00% consecutivamente.

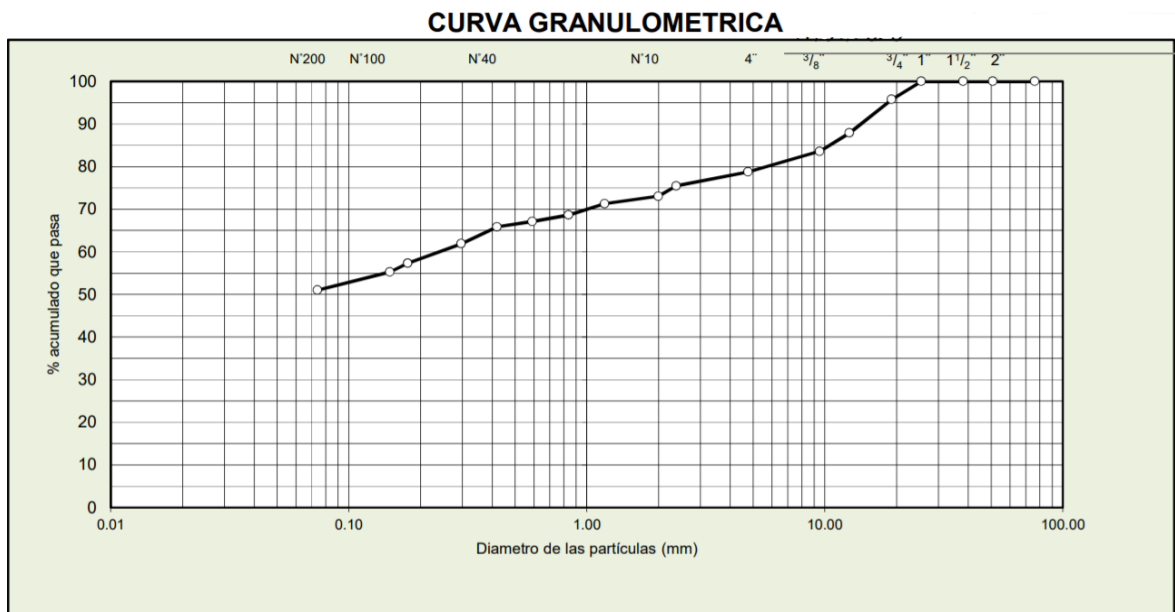


Figura 5: Curva de análisis granulométrico, pasante vs abertura de tamiz, (C – 03 – M1)

Fuente: Laboratorios – HURTECO, 2020

La anterior figura nos muestra y representa un análisis granulométrico donde el contenido de gravas, arenas y finos son de 21.26%, 27.72% y 51.02% consecutivamente.

Posteriormente, de acuerdo a la tabla 5 se ha caracterizado a los suelos mediante SUCS.

Tabla 6:

Clasificación de suelos según SUCS.

N° DE MUESTRA	SUCS	Características
C – 01 – M1	ML	Limo inorgánico de baja plasticidad. (ML)
C – 02 – M1	CL	Arcilla inorgánica de baja plasticidad (CL).
C – 03 – M1	CL	Arcilla inorgánica de baja plasticidad (CL).

Fuente: Elaboración propia

3.3. Diagnóstico de factores detonantes en la inestabilidad del talud.

Para el diagnóstico de factores que han podido causar la inestabilidad de talud en el tramo ya mencionado, se tendrán en cuenta los principales factores como comportamiento de aguas superficiales, meteorización de suelos por agentes climáticos, precipitaciones usuales en el área de estudio.

3.3.1. Precipitaciones.

Las precipitaciones y el régimen climático influyen en la estabilidad de los taludes al modificar el contenido de agua del terreno. La alternancia de periodos de sequía y lluvia produce cambios en la estructura de los suelos que dan lugar a pérdidas de resistencia. Se puede establecer criterios de riesgo de inestabilidad de taludes en función a la pluviometría.

3.3.2. Aguas superficiales por intensidad de lluvias.

(Suárez 2019), afirma lo siguiente, “El agua es el factor que más comúnmente es asociada con las fallas de los taludes, debido a que la mayoría de los deslizamientos ocurren después de lluvias fuertes o durante períodos lluviosos. La interpretación más frecuente del efecto del agua es que las lluvias por infiltración saturan el talud y la presión de poros, induce a una disminución de la resistencia al cortante, la cual, a su vez, puede activar un deslizamiento”.

Por lo tanto, existen evidencias muy claras de la relación directa entre las lluvias y la ocurrencia de deslizamientos de tierra. Adicional a las infiltraciones de agua lluvia pueden existir otras fuentes de agua como son los cuerpos de agua (canales, cañadas o lagunas) arriba del talud, en los cuales puede ocurrir infiltración localizada.

“Los cambios en el sistema hidrológico del talud pueden afectar el comportamiento de este. Si el régimen de agua del suelo es alterado drásticamente por irrigación, remoción de la vegetación o inundación parcial, se puede producir la inestabilidad de los taludes”.

(Suarez, 2009)

3.3.3. Litología presente en el área de estudio.

Para ello se ha realizado un mapeo en campo y posteriores análisis de laboratorio los cuales han determinado la presencia de Limos inorgánicos de baja plasticidad lo cual permiten que el material se encuentre más suelto y a la vez en función de los agentes meteorológicos sean más fáciles de moverse, deslizarse y depositarse. Lo mismo pasa con las arcillas encontradas a través del análisis desarrollado, estas son de baja plasticidad, inorgánicas y con las mismas propiedades, se encuentran propensas a moverse fácilmente y generar la inestabilidad del talud, de la mano de los factores.

Tabla 7.2

Cartografiado Geomecánico

MAPEO GEOMECANICO RMR MAPEO LINEAL					Coordenadas: E 811045 N 9189993 2409 msnm.				Labor: Talud de carretera			CLASIFICACION DEL MACIZO									
Registro N°					Ubicación: Carretera Combayo				Fecha: 15-06-2021.			ROCO SO RMR									
					Litología: Caliza.				Hecho por: Los testistas			RMR	DESCRIPCION								
01					Rumbo perpendicular al eje de la excavacion				Rumbo paralelo al eje de la excavacion		Buzamiento 0°-20° independient e del rumbo										
					Direccion con el buzamiento		Direccion contra el buzamiento		Bz		Bz		Bz								
ESTACION 1					σc		RQD		Espaciamiento entre Discontinuidad		CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES										
					Resistencia a la Compresión				Persistencia		Apertura		Rugosidad		Relleno		Alteración		Agua Subterránea		Orientación Discontinuidades
15 MPa		12 MPa		7 MPa		4 MPa		2		20		15		10		8		3			
1.- > 250		2.- 100-250		3.- 50-100		4.- 25-50		5.- < 25 MPa		1.- 90-100%		2.- 75-90%		3.- 50-75%		4.- 25-50%		5.- < 25%			
1.- > 2		2.- 0.6-2		3.- 200-600		4.- 60-200		5.- < 60 mm		1.- < 1m		2.- 1-3		3.- 3-10		4.- 10-20		5.- > 20 m			
1.- Cerrada		2.- Muy Angosta		3.- Angosta		4.- Abierta		5.- Mx. Lisa		1.- Ninguna		2.- Relleno duro		3.- Relleno duro		4.- Relleno blando		5.- No meteorizada			
1.- 0		2.- < 0.1mm		3.- 0.1 - 1.0		4.- 1.0 - 5.0		5.- Mx. Lisa		1.- 6		2.- 4		3.- 2		4.- 1		5.- 0			
1.- 6		2.- 5		3.- 4		4.- 3		5.- 1		1.- 0		2.- 6		3.- 5		4.- 3		5.- 1			
1.- 15		2.- 10		3.- 7		4.- 4		5.- 0		1.- 15		2.- 10		3.- 7		4.- 4		5.- 0			
1.- 0		2.- favorable		3.- Regular		4.- Desfavorable		5.- Muy desfavorable		1.- 0		2.- favorable		3.- Regular		4.- Desfavorable		5.- Muy desfavorable			
1.- 91-100		2.- 81-90		3.- 71-80		4.- 61-70		5.- 51-60		6.- 41-50		7.- 31-40		8.- 21-30		9.- 0-20		OBSERVACIONES			
1	(125MPa)	(71)	(20cm)	(20m)	(0.7mm)	3	blando	3	húmedo	0											
2	(130MPa)	(70)	(22cm)	(15m)	(1mm)	2	blando	2	húmedo	0											
3	(135MPa)	(65)	(24cm)	(10m)	(0.8mm)	3	blando	2	húmedo	0											
4	(128MPa)	(70)	(25cm)	(16m)	(2mm)	3	blando	2	húmedo	0											
5	(132MPa)	(68)	(23cm)	(12m)	(0.8mm)	3	blando	2	húmedo	0											
PROMEDIO:																					
130 (12)		69 (14)		23 (8)		15 (1)		0.9 (4)		3 (3)		Blando (2)		2 (5)		10		0		Regular (59)	

Observamos que en esta estación el RMR Básico es 59 y el tipo de roca es Regular A. Fuente: Propia.

3.4. Propuesta de evaluación y diseño de talud estable

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

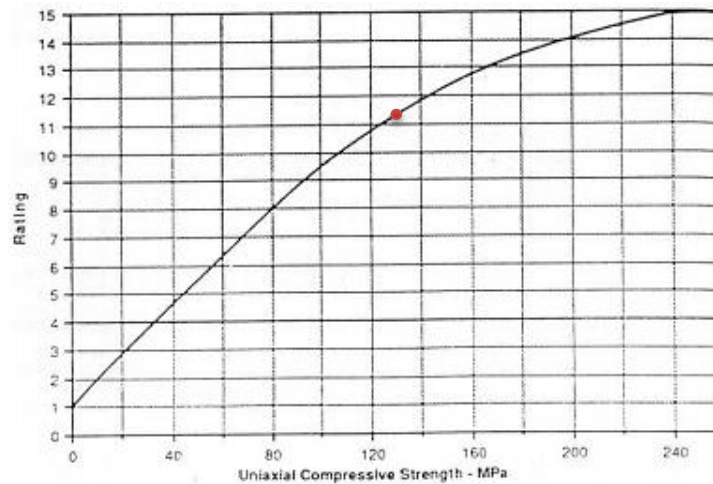


Figura 6: Ploteo de la valoración en MPa de la resistencia a la compresión Uniaxial.

Fuente: Gavilanes (2002).

además, el puntaje el parámetro de RQD se empleó la siguiente figura

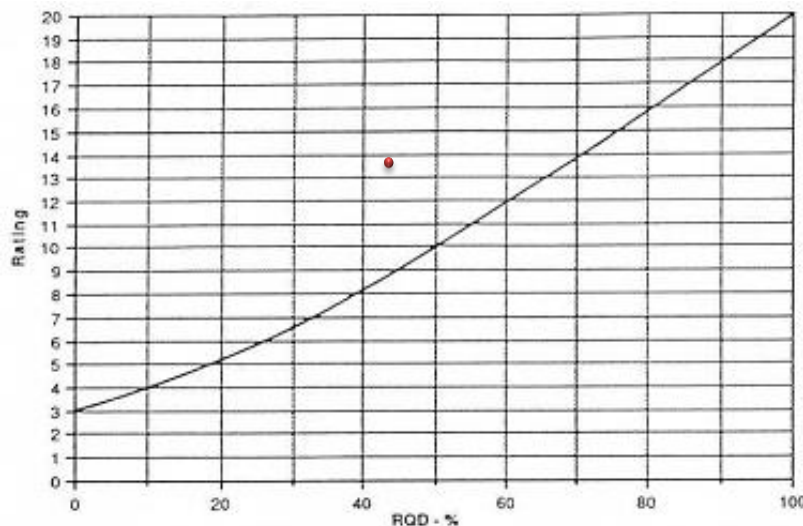


Figura 7: Ploteo de la valoración en porcentaje del RQD.

Fuente: Gavilanes (2002).

Así mismo, para la puntuación del parámetro del espaciado se utilizó la siguiente figura

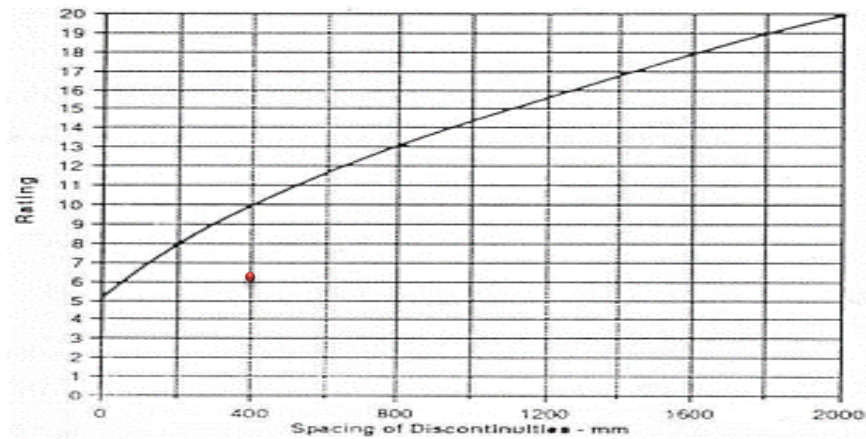


Figura 8: ploteo de valoración del espaciado entre discontinuidades en mm.

Fuente: Gavilanes (2002).

Tabla 8.

Calidad del macizo rocoso con relación al Índice RMR

CLASIFICACIÓN DEL MACIZO	
ROCOSO RMR	
RMR	DESCRIPCIÓN
91-100	MUY BUENA "A"
81-90	MUY BUENO "B"
71-80	BUENA "A"
61-70	BUENA "B"
51-60	REGULAR "A"
41-50	REGULAR "B"
31-40	MALA "A"
21-30	MALA "B"
0-20	MUY MALA "A"

Nota_: RMR básico obtenido a partir de la sumatoria de los 05 parámetros en el cual el Ploteo la roca es del Tipo Regular "A"

Fuente: Gavilanes (2002)

A continuación, se calculará los factores de corrección F1, F2, F3 y F4, para la obtención del SMR en una rotura del tipo planar según la clasificación de la Romana

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

$$F1 = [1 - \sin(4^\circ - 100^\circ)]^2$$

$$F1 = [1 - \sin(96^\circ)]^2$$

$$F1 = 0.86$$

$$F2 = \tan(\beta_j)^2$$

$$F2 = \tan(76^\circ)^2$$

$$F2 = 1$$

$$F3 = \beta_s - \beta_j = 79 - 76 = 3^\circ \text{ por lo que la puntuación será de } 0$$

$$F3 = 0$$

$$SMR = RMR + (F1 \times F2 \times F3) + F4$$

$$SMR = 59 + (0.86 \times 0.06 \times 0) + 9$$

$$SMR = 68$$

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

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

Figura 9: Parámetros de estabilidad según el SMR Romana, por lo que el talud se comporta estable ante una rotura planar

Fuente: Gavilanes (2002)

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

MEDIDAS DE SOSTENIMIENTO RECOMENDADAS PARA CADA CLASE DE ESTABILIDAD

Clase	SMR	Soporte
I a	91 – 100	Ninguno
I b	81 – 90	Ninguno/Saneos
II a	71 – 80	(Ninguno/Cunetas) Pernos puntuales
II b	61 – 70	Cunetas al pie del talud/malla Pernos puntuales o sistemáticos
III a	51 – 60	Cuneta y/o malla Pernos puntuales o sistemáticos Hormigón lanzado localizado (Cunetas al pie del talud y/o malla)
III b	41 – 60	Pernos sistemáticos/Anclajes Hormigón lanzado localizado Muro de pie
IV a	31 – 40	Anclaje Hormigón lanzado sistemático Muro de pie y/o concreto (Reexcavación). Drenaje
IV b	21 – 30	Hormigón lanzado reforzado sistemático Muro de pie y/o concreto (Reexcavación). Drenaje profundo
V a	nov-20	Muros de contención Reexcavación

Fuente: (Gavilanes & Andrade, 2004)

Figura 10: Recomendaciones de soporte, en la cual se puede apreciar de que se recomienda la construcción de Cunetas al pie de talud

Fuente: Gavilanes (2002)

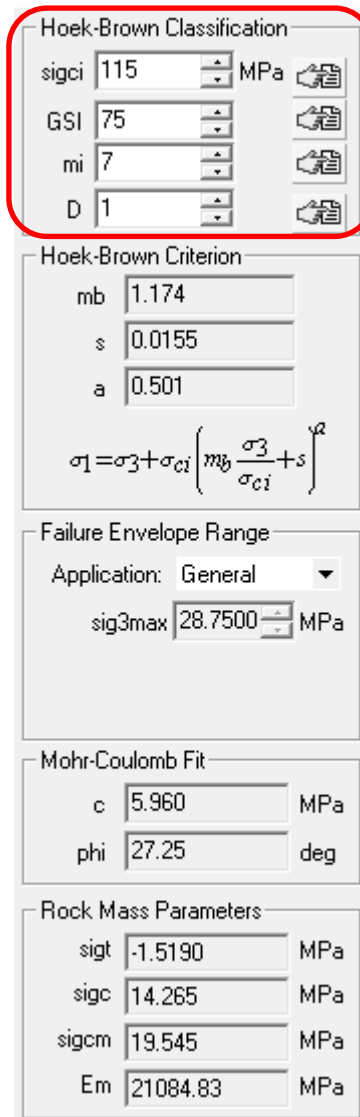
Se utilizará el índice de resistencia geológica (GSI) o método de clasificación GSI para la caracterización de las propiedades geomecánicas de los macizos rocosos, a través de la identificación por evaluación visual de las propiedades geológicas en el campo



Figura 11. Ploteo del Valor de GSI, en función de las estructuras y condiciones de las discontinuidades; en el cual se aprecia que el valor de GSI es 65

Fuente: Gavilanes (2002)

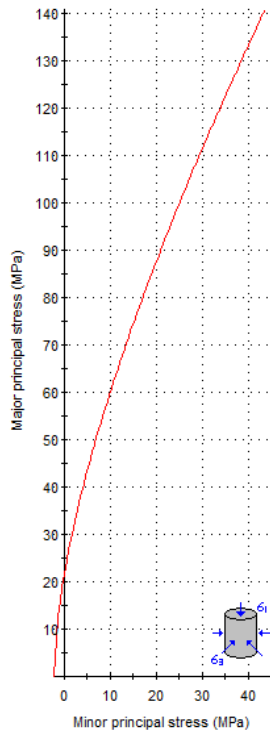
F Mediante los parámetros de Resistencia a la Compresión, GSI, actor de disturbancia, y la constante litológica, z



The image shows a software interface for geotechnical analysis. The 'Hoek-Brown Classification' section is highlighted with a red box and contains the following values: sigci = 115 MPa, GSI = 75, mi = 7, and D = 1. Below this, the 'Hoek-Brown Criterion' section shows mb = 1.174, s = 0.0155, and a = 0.501, with the equation $\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$. The 'Failure Envelope Range' section has Application: General and sig3max = 28.7500 MPa. The 'Mohr-Coulomb Fit' section shows c = 5.960 MPa and phi = 27.25 deg. The 'Rock Mass Parameters' section shows sigt = -1.5190 MPa, sigc = 14.265 MPa, sigcm = 19.545 MPa, and Em = 21084.83 MPa.

Figura 12: Ingresamos los datos para que realicemos el análisis respectivo.

Fuente: RocData v5.0.



Ana

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 115 MPa
GSI = 75 $m_i = 7$ Disturbance factor = 1

Hoek-Brown Criterion

$m_b = 1.174$ $s = 0.0155$ $a = 0.501$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 5.960 MPa friction angle = 27.25 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -1.519 MPa
uniaxial compressive strength = 14.265 MPa
global strength = 19.545 MPa
modulus of deformation = 21084.83 MPa

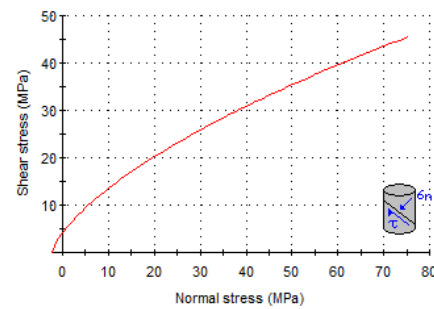


Figura 2. Observamos que los valores obtenidos para la estación 1 son: $m_b = 1.174$; $s = 0.0155$; $a = 0.501$; Cohesión = 5.690 MPa; y Ángulo de fricción = 27.25

Fuente: RocData v5.0.

Tabla 9. *Mapeo de las discontinuidades*

TALUD **DIP: 78** **AZIMUT 10°**
DIP DIRECTION: 100

ESTACIÓN 1			ESTACIÓN 2			ESTACIÓN 3		
FAM	BUZ	AZIMUT	FAM	BUZ	AZIMUT	FAM	BUZ	AZIMUT
1	60	N110	1	58	N107	1	60	N105
1	61	N114	1	59	N103	1	62	N104
1	63	N108	1	57	N108	1	65	N113
1	58	N107	1	62	N116	1	60	N110
1	59	N103	1	60	N110	1	61	N114
1	57	N108	1	61	N114	1	63	N108
1	62	N116	1	63	N108	1	58	N107
1	60	N105	1	60	N105	1	59	N103
1	62	N104	1	62	N104	1	57	N108
1	65	N113	1	65	N113	1	62	N116
2	27	N326	2	23	N320	2	22	N317
2	24	N319	2	21	N318	2	21	N319
2	20	N325	2	25	N324	2	25	N324
2	27	N323	2	27	N326	2	76	N276
2	22	N317	2	24	N319	2	23	N320
2	21	N319	2	20	N325	2	21	N318
2	25	N324	2	27	N323	2	27	N326
2	23	N320	2	22	N317	2	24	N319
2	21	N318	2	21	N319	2	20	N325
2	25	N324	2	25	N324	2	27	N323
3	78	N2	3	73	N8	3	75	N4
3	79	N3	3	71	N1	3	77	N3
3	75	N7	3	74	N7	3	78	N2
3	72	N5	3	75	N4	3	78	N2
3	73	N8	3	77	N3	3	79	N3
3	71	N1	3	78	N2	3	75	N7
3	74	N7	3	78	N2	3	72	N5
3	75	N4	3	79	N3	3	73	N8

3	77	N3	3	75	N7	3	71	N1
3	78	N2	3	72	N5	3	74	N7

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

Fuente: Propia

Análisis estereográfico de las discontinuidades en el talud actual

Falla Planar

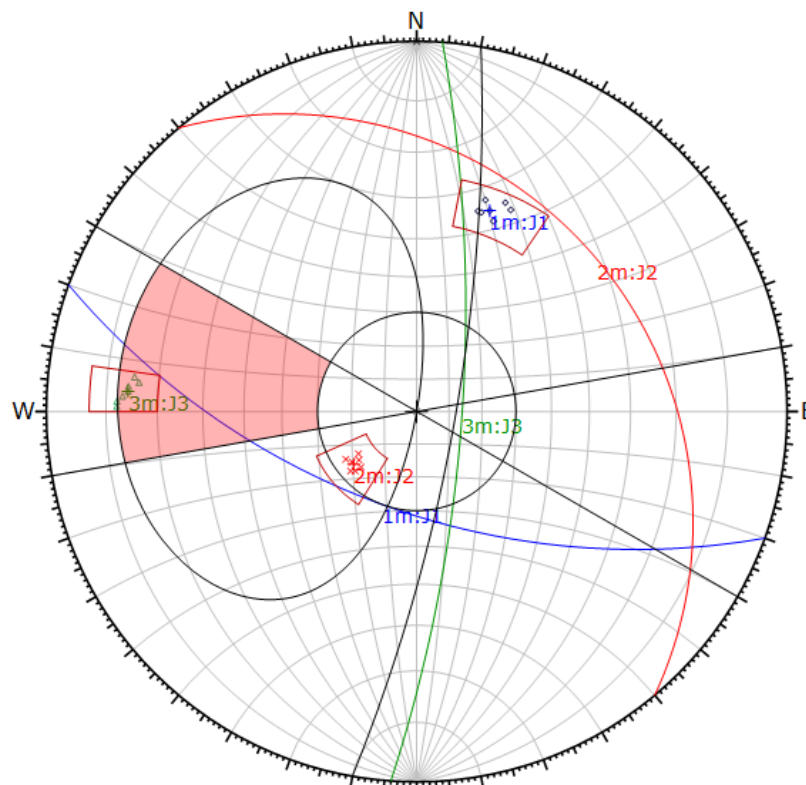


Figura 14. Análisis cinemático de roturas utilizando como criterio para establecer el área crítica el cono de fricción, la envolvente del talud y límites laterales de ± 20 . Se aprecia que el sistema de discontinuidades J3 reúne las condiciones geométricas y de fricción para producir una rotura planar

Symbol	SET	Quantity
◇	J1	7
×	J2	7
△	J3	7

Kinematic Analysis	Planar Sliding		
Slope Dip	78		
Slope Dip Direction	100		
Friction Angle	30°		
Lateral Limits	20°		
	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	5	21	23.81%
Planar Sliding (Set 3)	5	7	71.43%

Figura 15. Valores de ángulo de fricción, orientación del talud, dirección y buzamiento de los planos promedios de las familias de discontinuidades. Con probabilidad de condiciones geométricas y de fricción del 71.43 % para producirse la falla planar.

Falla en Cuña

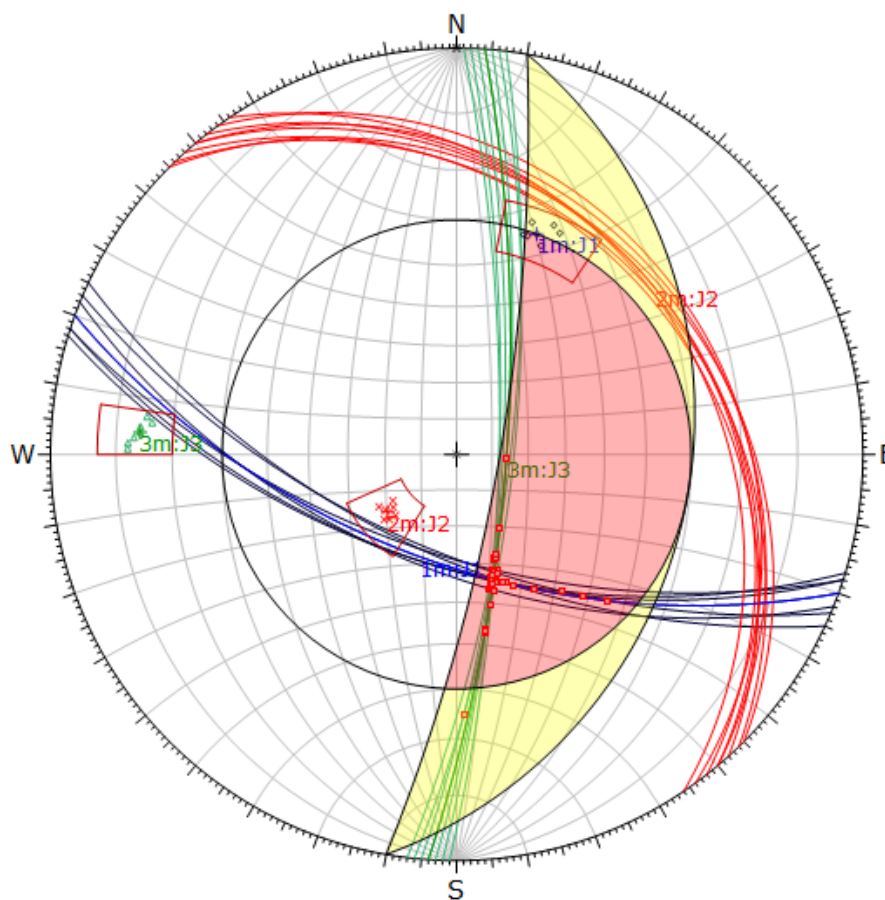


Figura 16: Análisis cinemático de rotura teniendo en cuenta como criterio para definir el área crítica el cono de fricción, y la envolvente del talud. Se aprecia que la familia J1 y J3 reúnen las condiciones geométricas y de fricción para producir fallamiento en Cuña.

Symbol	SET	Quantity
◇	J1	7
×	J2	7
△	J3	7
Symbol	Feature	
■	Critical Intersection	

Kinematic Analysis	Wedge Sliding		
Slope Dip	78		
Slope Dip Direction	100		
Friction Angle	30°		
	Critical	Total	%
Wedge Sliding	76	210	36.19%

Figura 17: Valores de ángulo de fricción, orientación del talud, dirección y buzamiento de los planos promedios de las familias de discontinuidades. Con probabilidad de condiciones geométricas y de fricción del 36.19 % para producirse fallas en cuña.

Falla en vuelco

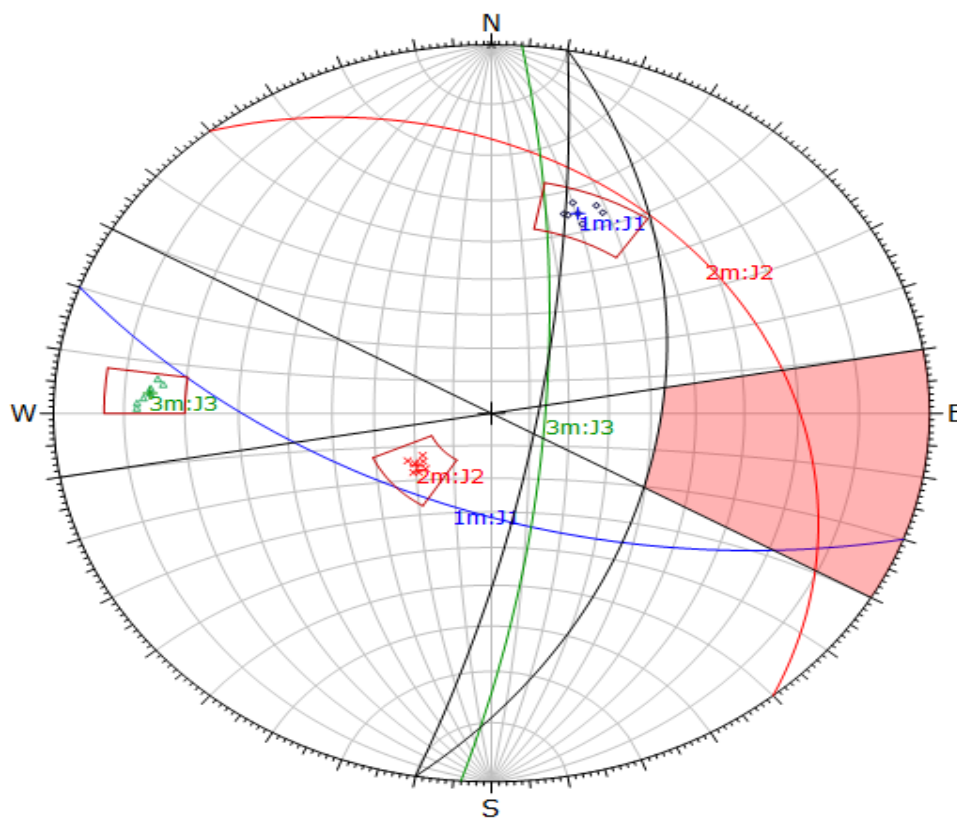


Figura 18: Análisis cinemático utilizando como criterio para definir el área crítica límites laterales de $\pm 20^\circ$, y un plano auxiliar relacionado al talud y al ángulo de fricción. Se puede apreciar que no se Produce la rotura en vuelco por ninguno de los sistemas de discontinuidades según las características de orientación de las juntas del macizo rocoso.

Symbol	SET	Quantity
◇	J1	7
×	J2	7
△	J3	7

Kinematic Analysis	Flexural Toppling		
Slope Dip	78		
Slope Dip Direction	100		
Friction Angle	30°		
Lateral Limits	20°		
	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	0	21	0.00%

Figura 19: Valores de ángulo de fricción, orientación del talud, dirección y buzamiento de los planos promedios de las familias de discontinuidades. Con probabilidad de condiciones geométricas y de fricción del 0 % para producir una falla por vuelco.

3.4.1. Evaluación inicial, estudio y determinación final del talud.

En esta evaluación se observará el comportamiento del talud de manera real, incluyendo posibles casos de saturación y sismicidad de acuerdo a la zona donde se encuentre.

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

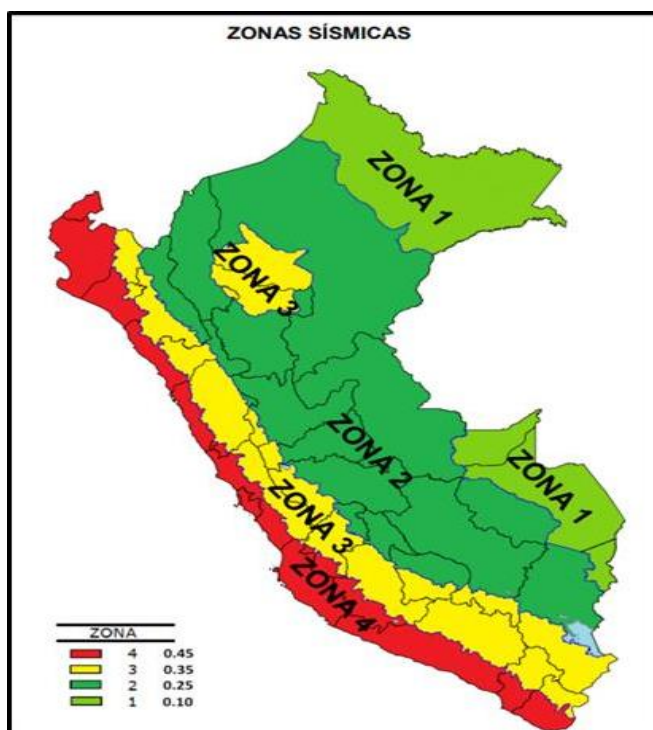


Figura 20: Mapa de acciones sísmicas

Fuente: Valiente, 2016.

Este factor se interpreta como la aceleración máxima horizontal. El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad.

Tabla 10.

Factor por zonas sísmicas

FACTOR DE ZONAS	
ZONA	Z
1	0.10
2	0.25
3	0.35
4	0.45

Fuente: elaboración propia

En este caso, el factor de sismicidad se aplicará posterior al análisis inicial, para verificar cuanto es la variación con respecto a un análisis normal (evaluando sus LL y LP), en el análisis se ha detallado u analizado estos factores en la parte (3.4.2.)

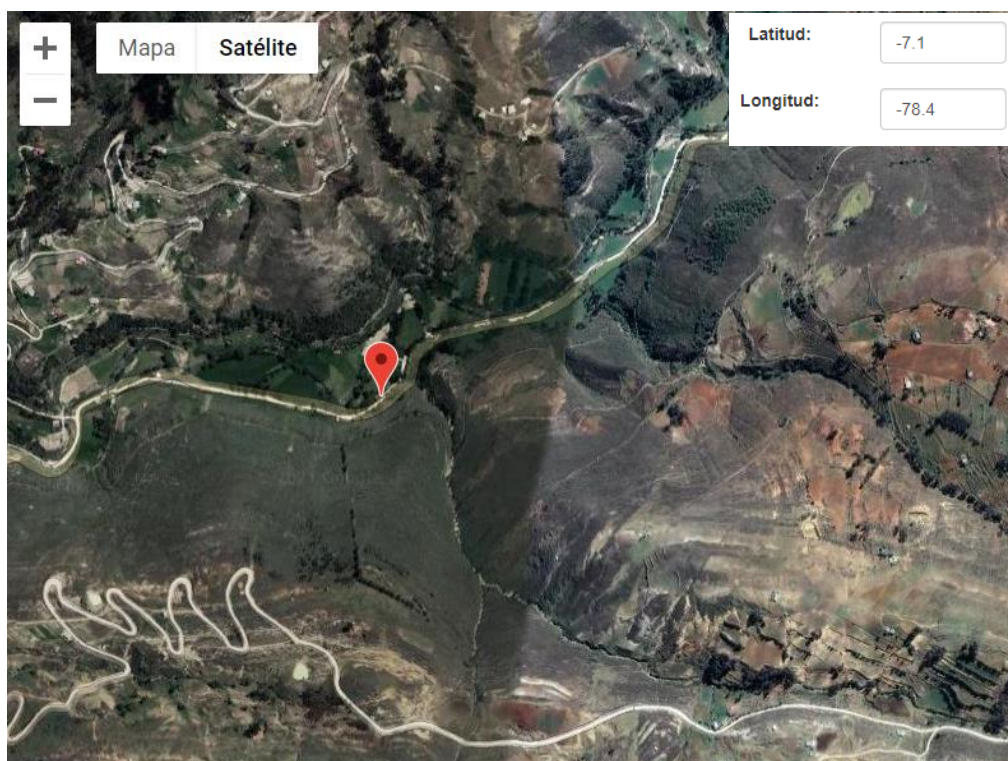


Figura 21. Ubicación de las coordenadas para la obtención del coeficiente de sismicidad

Coeficiente de sismicidad

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

Ubicación	Latitud	Longitud
Talud Carretera Combayo	-7.1	-78.4

PE = Probabilidad de Excedencia.

PO = Periodo de Operación en años.

TO = Tiempo de Retorno en años.

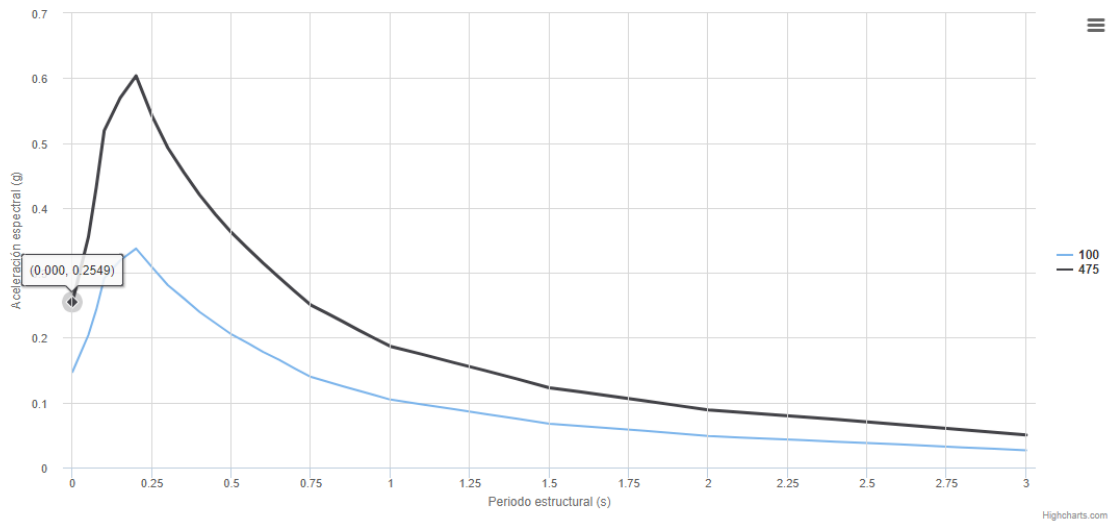


Figura 22. Gráfico de espectro de peligro uniforme con un periodo de retorno de 475 años
Para la sección de análisis se utilizaron los datos de peso específico, cohesión y fricción
Para la caliza presente en el talud, y un coeficiente de sismicidad de 0.2549, teniendo en consideración la estaciones geomecánicas.

Rotura Planar

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

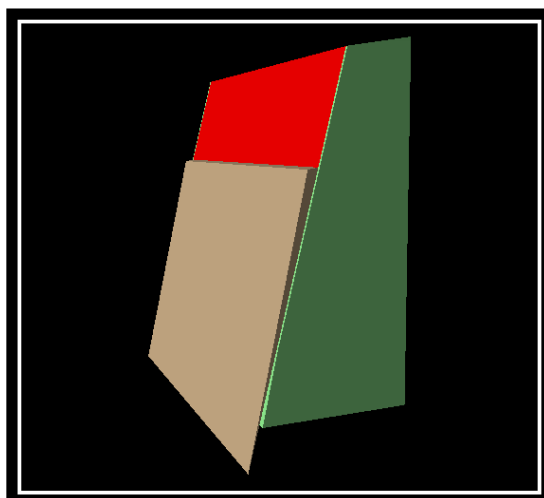


Figura 23. Vista en Perspectiva del posible deslizamiento del Bloque de roca formado por la discontinuidad crítica de la Familia J03.

Condiciones Estáticas y Secas

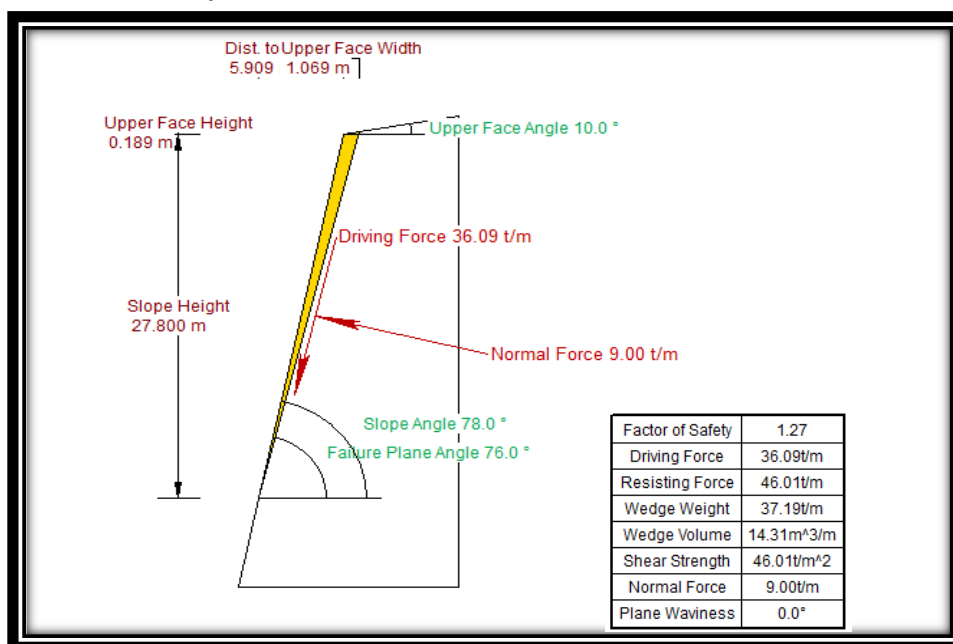


Figura 24. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud estable en condiciones secas y estáticas con un Factor de seguridad de 1.27 en por lo cual se podría producir la falla planar en estas condiciones. Condiciones estáticas y saturadas

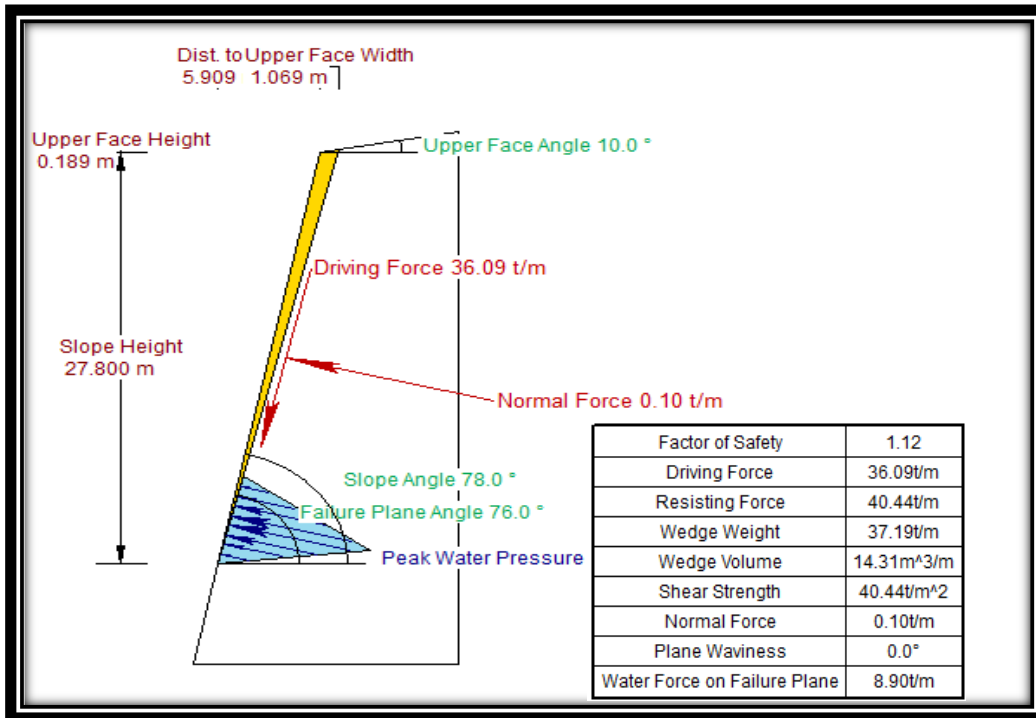


Figura 25. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y estáticas con un Factor de seguridad de 1.12 por lo cual no se podría producir la falla planar en estas condiciones. Condiciones Pseudoestáticas y secas.

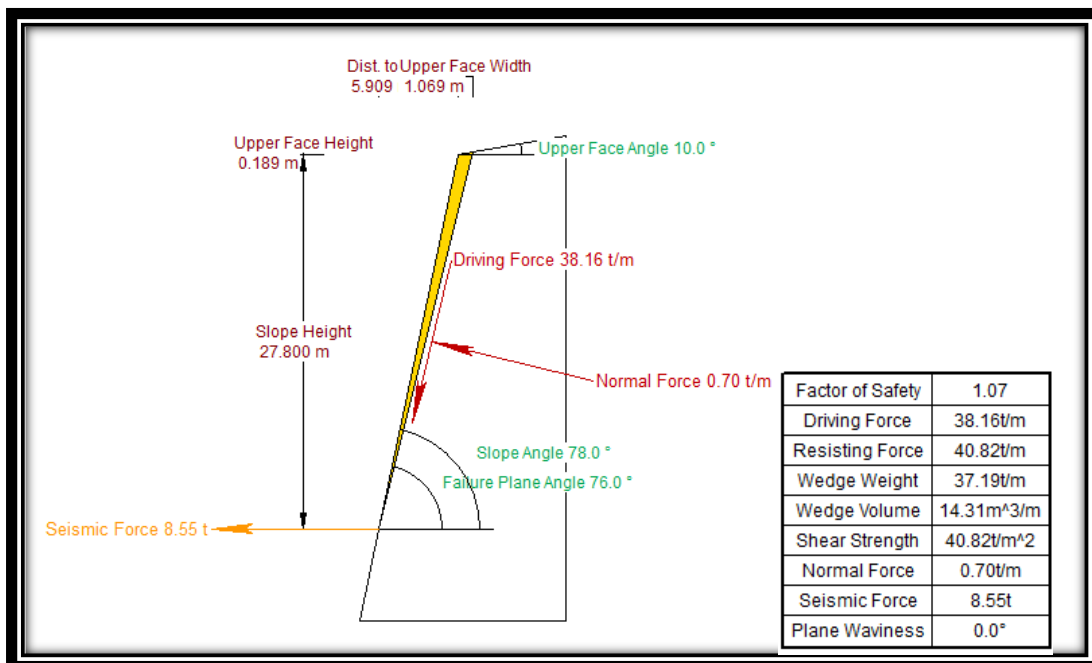


Figura 26. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y con un coeficiente de sismicidad de 0.2549 se obtiene de seguridad de 1.07 por lo cual se podría produce la falla planar.

Condiciones Pseudoestáticas y Saturadas

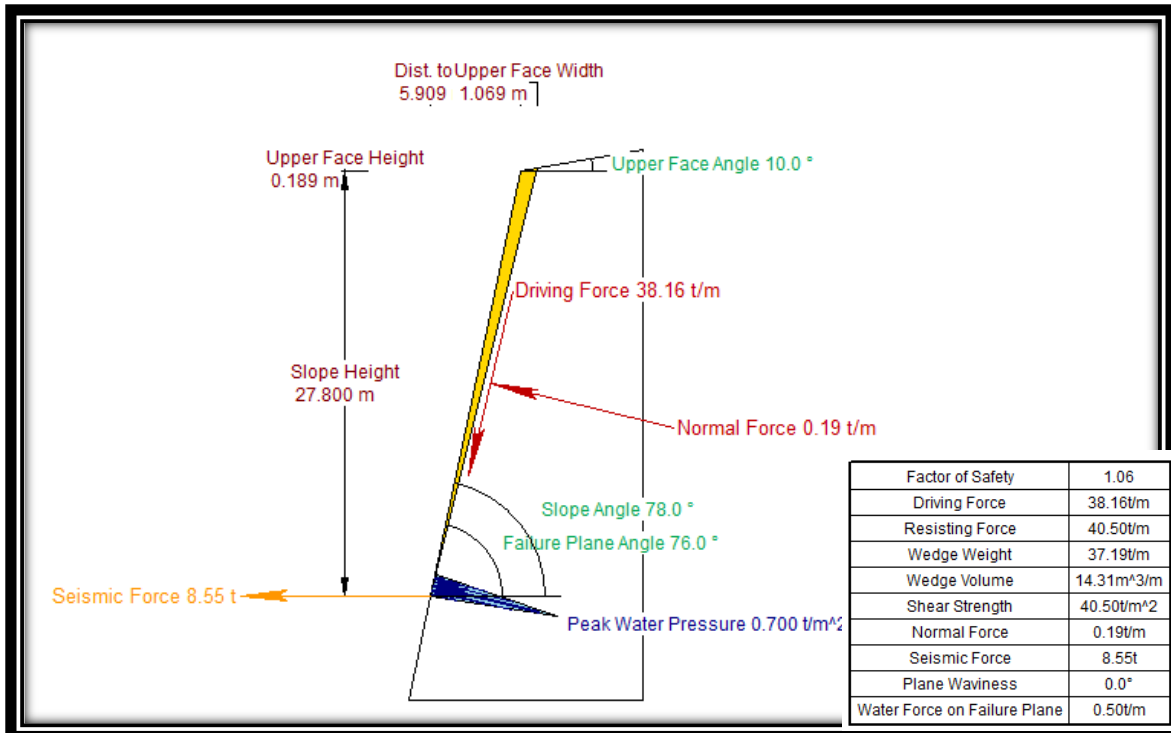


Figura 27. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es inestable en condiciones saturadas y con un coeficiente de sismicidad de 0.2549 se obtiene de seguridad de 1.06 por lo cual se podrá producir falla planar en estas condiciones.

Análisis de Sensibilidad

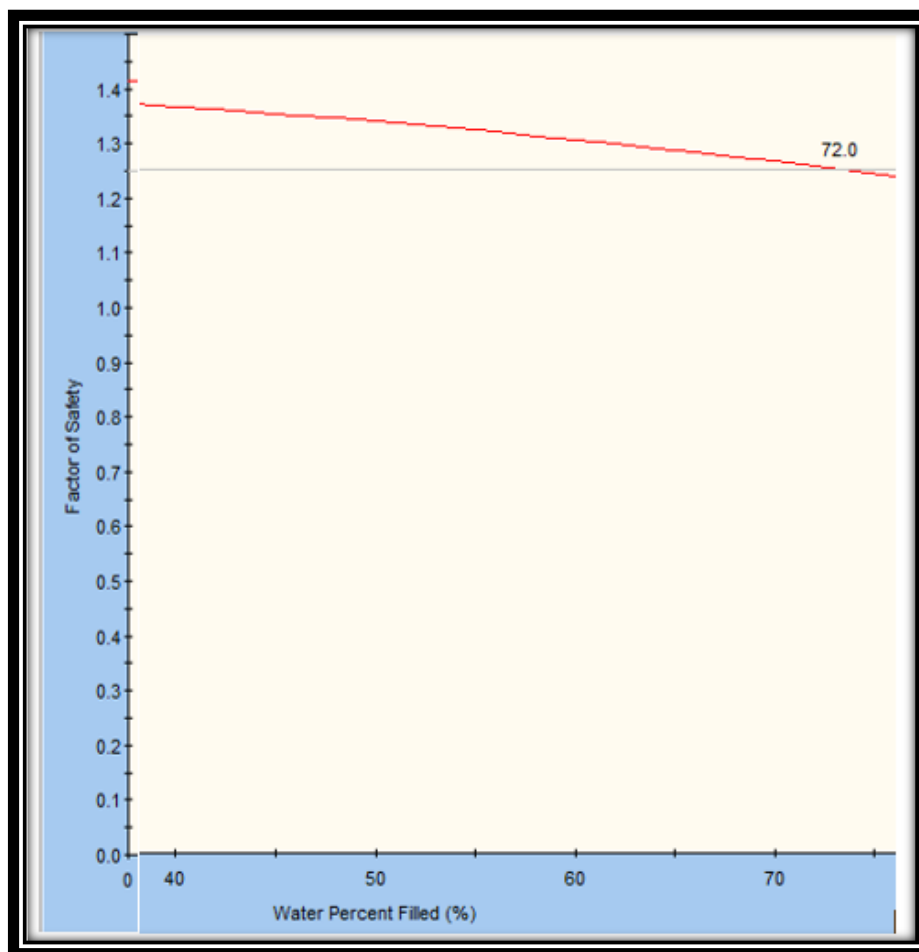


Figura 28. Análisis de Sensibilidad que muestra que para que el talud sea estable el Porcentaje de saturación de agua no debe exceder el 72% en condiciones pseudo-estáticas

A continuación, se muestra un cuadro resumen del factor de seguridad para las distintas condiciones para rotura planar del Set J03

Tabla 11.

Condiciones de Análisis de la rotura planar del Set J031 (Estático y Pseudo-estático)

Condiciones de Análisis			
Estático		Pseudo-estático	
Secas	Saturadas	Secas	Saturadas
1.27	1.12	1.07	1.06

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

FUENTE: Propia.

A fin de eviatar la saturación de las discontinuidades del macizo rocoso y el fallamiento por rotura planar se recomienda realizar obras de drenaje a fin de mantner el grado de saturación por debajo del 50% y bajar el ángulo del talud menor a 78°

Rotura en Cuña

Para la rotura en Cuña se evaluará 01 Cuña evidenciadas en el software dips, la cual es producida por el Sistema de discontinuidades de la Familia J01 y j03. calculando el factor de seguridad en condiciones secas y Saturadas para las condiciones estáticas y Pseudoestáticas,

Cuña producida por J01 y J02

Condiciones Estáticas y Secas

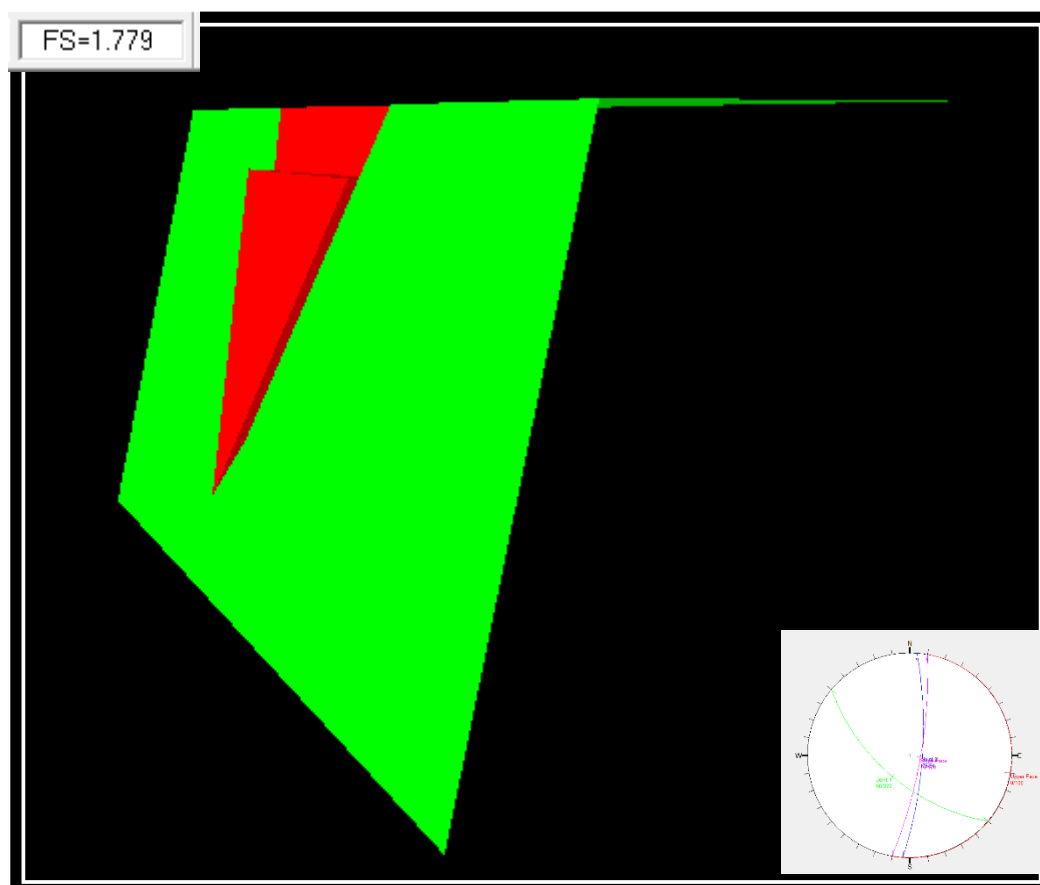


Figura 29. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud estable en condiciones secas y estáticas con un Factor de seguridad de 1.779, por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones.

Condiciones estáticas y saturadas

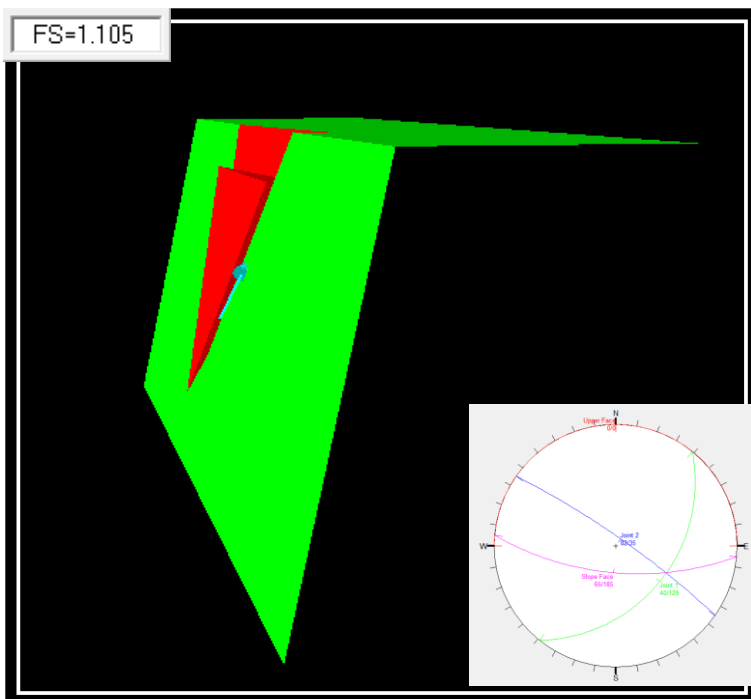


Figura 30. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y estáticas con un Factor de seguridad de 1.105 por lo cual se podría producir la falla en cuña en estas condiciones.

Condiciones Pseudoestáticas y secas

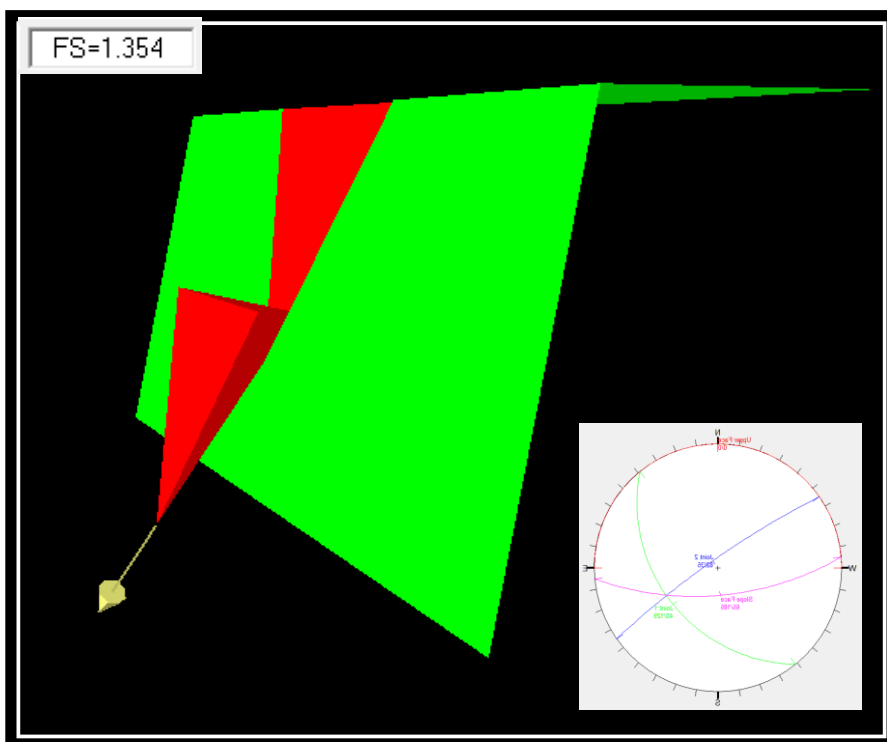


Figura N°31 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y con un coeficiente de sismicidad de 0.2549 se obtiene de seguridad de 1.354 por lo cual no se produce la falla en cuña.

Condiciones Pseudoestáticas y Saturadas

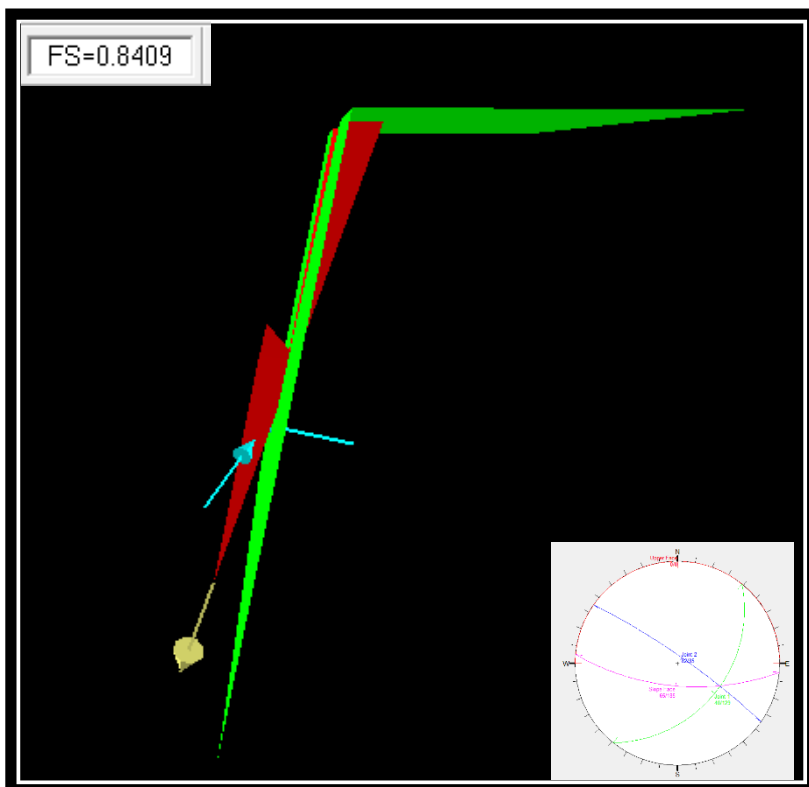


Figura 32. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y con un coeficiente de sismicidad de 0.2549 se obtiene de seguridad de 0.8409 por lo cual se produce la falla en cuña en estas condiciones.

A continuación, se muestra un cuadro resumen del factor de seguridad para las distintas condiciones para rotura en cuña formada por los Sets de la familia J01 y J03

Tabla 12.

Condiciones de Análisis de la rotura en cuña de los Sets J01 y J03 (Estático y Pseudo-estático)

Condiciones de Análisis			
Estático		Pseudo-estático	
Secas	Saturadas	Secas	Saturadas
1.779	1.105	1.354	0.8409

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

FUENTE: Propia.

Debido a que la rotura en cuña produce debido a la saturación de agua en las discontinuidades recomendaciones para asegurar la estabilidad son las mismas que se realizaron para la rotura planar.

Análisis de Talud en condiciones Estáticas

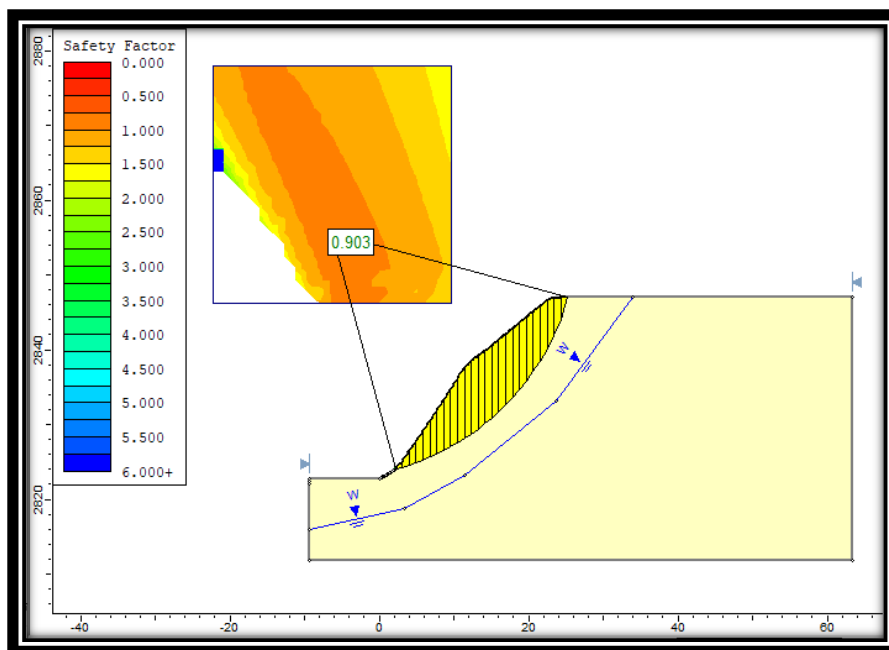


Figura 33. Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud es inestable con un Factor de seguridad de 0.903 en condiciones estáticas para el talud Global con un ángulo de inclinación de 56°.

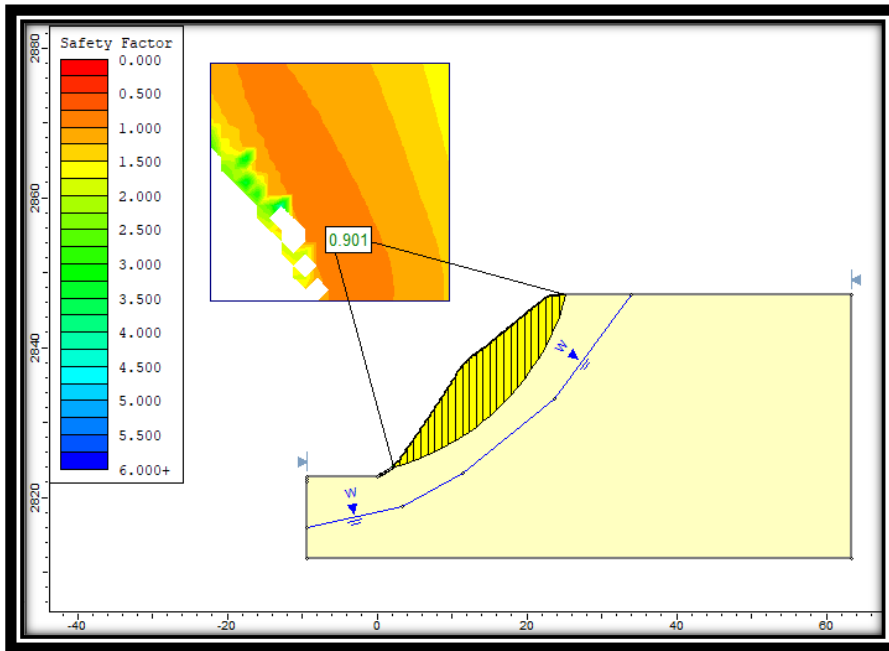


Figura 34. Análisis del Factor de Seguridad por el método de Morgenstern - Price, en la que se aprecia que el talud es inestable con un Factor de seguridad de 0.901 en condiciones estáticas para el talud Global con un ángulo de inclinación de 56° .

Análisis de estabilidad del Talud I en condiciones Pseudo estáticas

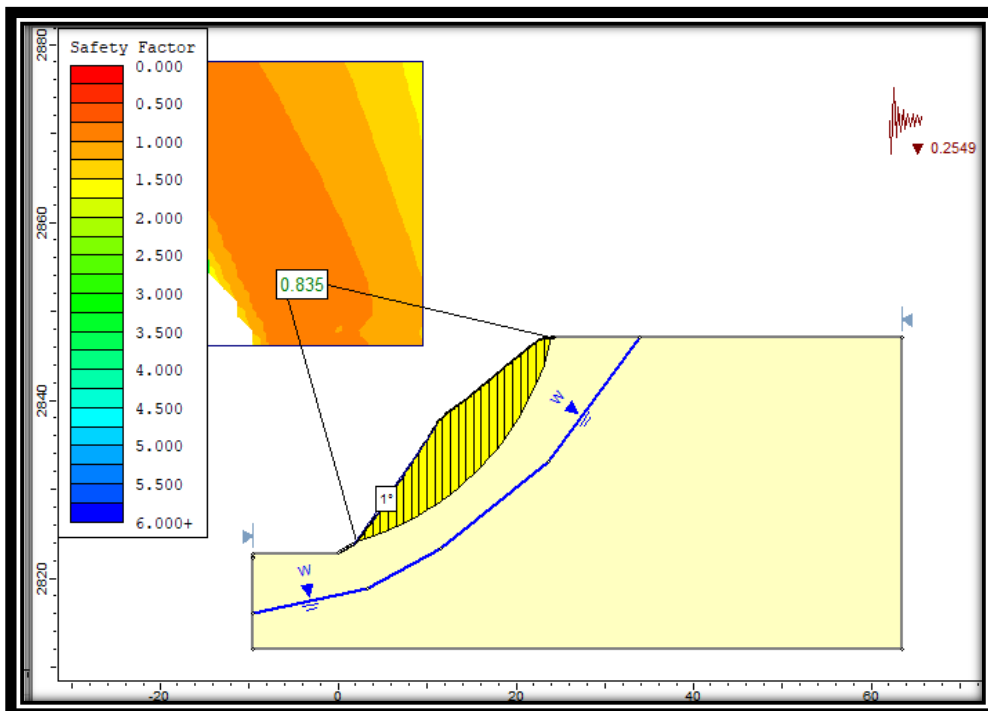


Figura 35. Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud es inestable con un Factor de seguridad de 0.835 para condiciones pseudo estáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.2549 y un coeficiente vertical de 0.

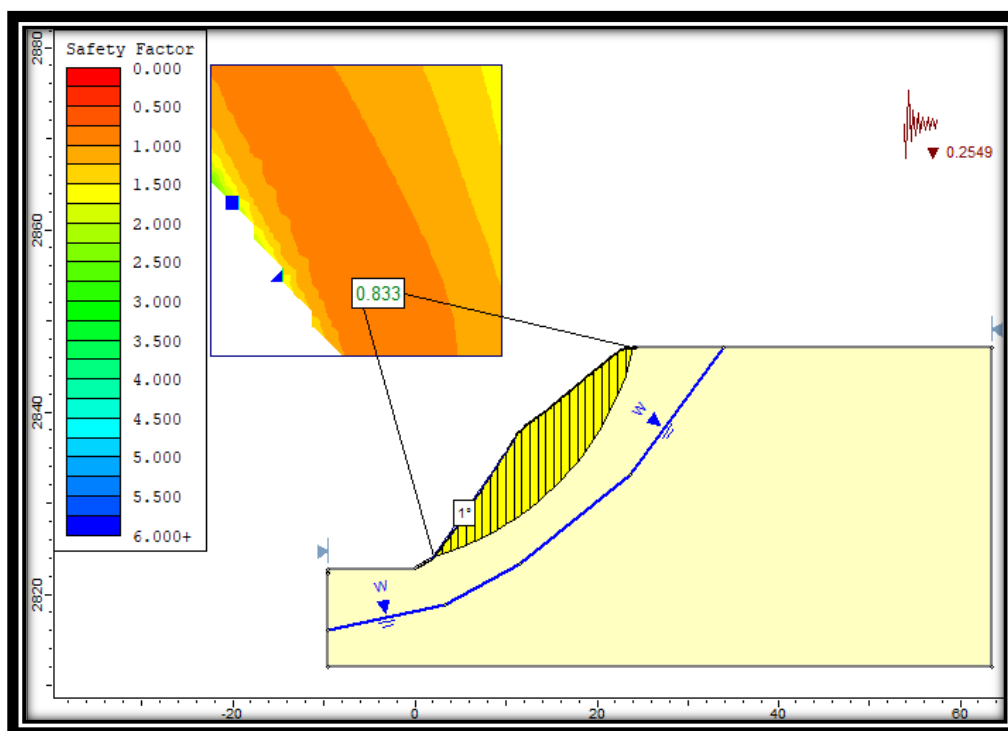


Figura 36. Análisis del Factor de Seguridad por el método de Morgenstern - Price, en la que se aprecia que el talud es inestable con un Factor de seguridad de 0.833 para condiciones pseudo estáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.2549 y un coeficiente vertical de 0.

A continuación, se muestra una tabla de los distintos factores de seguridad en condiciones estáticas y Pseudoestáticas para el talud global del diseño.

Tabla 13.

Condiciones de Análisis para el Talud Global (Estático y Pseudo-estático)

Condiciones de Análisis			
Estático		Pseudo-estático	
Spencer	Morgenstern - Price	Spencer	Morgenstern - Price
0.903	0.901	0.835	0.833

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

FUENTE: Propia.

Según el análisis realizado en la tabla anterior se puede apreciar de que El talud a escala Global es estable para las distintas condiciones tanto Estáticas como Pseudo estáticas

Cambio de Geometría de Talud Global en condiciones Estáticas

Se ha propuesto un cambio de la geometría del Talud a finde garantizar su estabilidad siendo el nuevo ángulo de inclinación de 35°

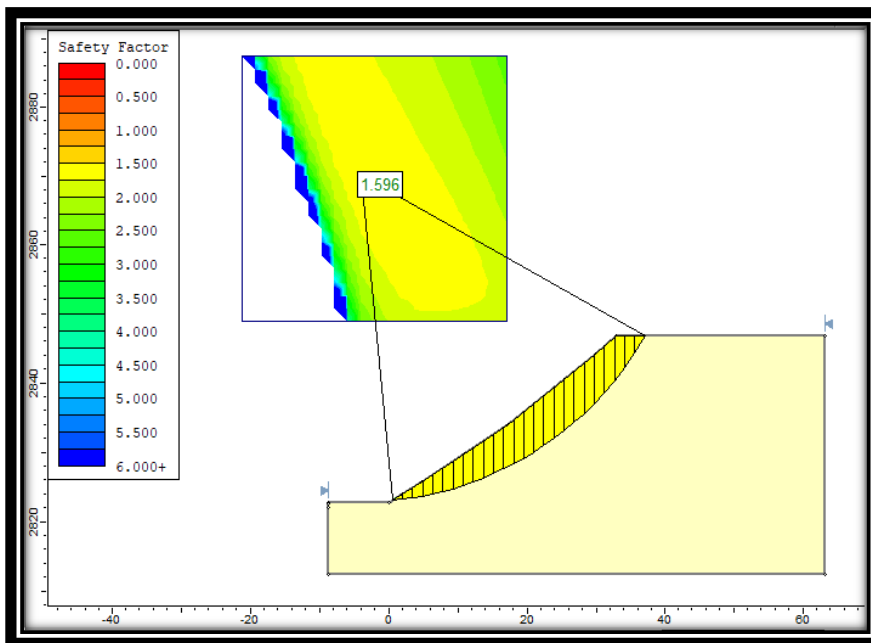


Figura 37. Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud es inestable con un Factor de seguridad de 1.596 en condiciones estáticas para el talud con un ángulo de inclinación de 35°.

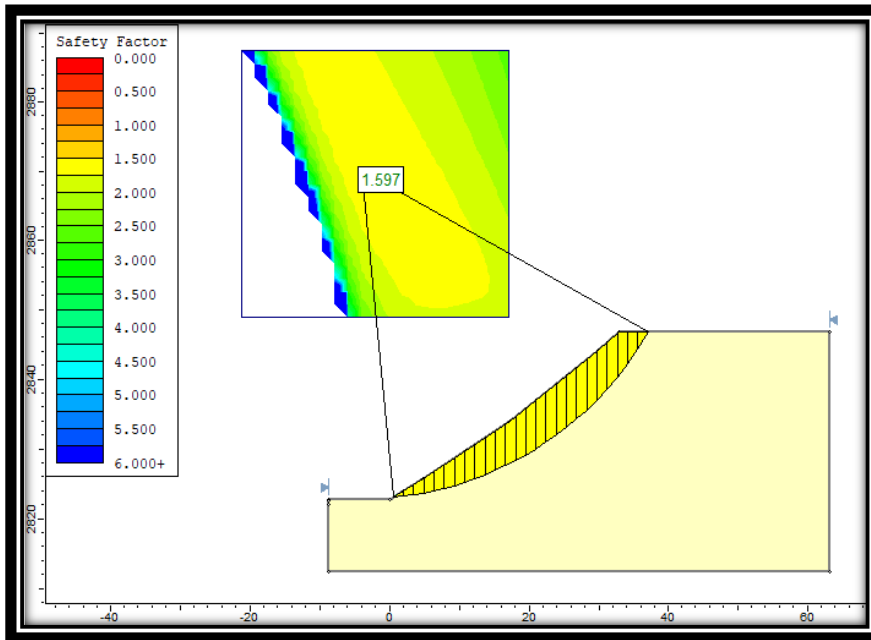


Figura 38. Análisis del Factor de Seguridad por el método de Morgenstern - Price, en la que se aprecia que el talud es estable con un Factor de seguridad de 1.597 en condiciones estáticas para el talud con un ángulo de inclinación de 35° .

Análisis de estabilidad del nuevo Talud en condiciones Pseudo estáticas

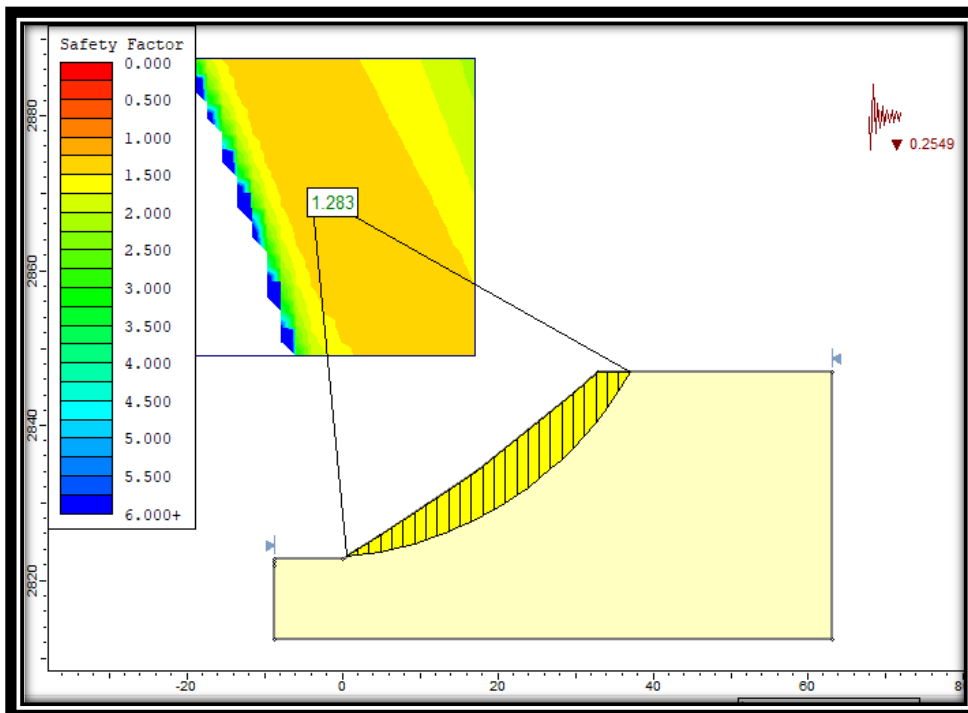


Figura 39. Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud es estable con un Factor de seguridad de 1.283 para condiciones pseudo estáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.2549 y un coeficiente vertical de 0.

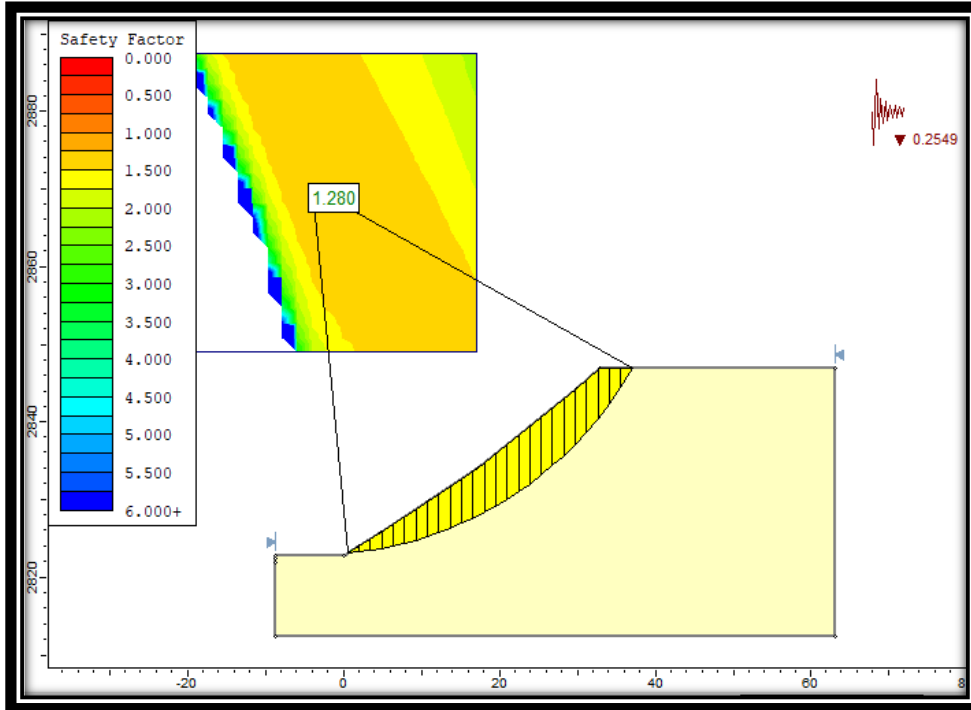


Figura 40. Análisis del Factor de Seguridad por el método de Morgenstern - Price, en la que se aprecia que el talud es inestable con un Factor de seguridad de 1.280 para condiciones pseudo estáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.2549 y un coeficiente vertical de 0.

A continuación, se muestra una tabla de los distintos factores de seguridad en condiciones estáticas y Pseudoestáticas para el talud del diseño.

Tabla 14.

Condiciones de Análisis para el Talud Global (Estático y Pseudo-estático)

Condiciones de Análisis			
Estático		Pseudo-estático	
Spencer	Morgenstern - Price	Spencer	Morgenstern - Price
1.596	1.597	1.283	1.280

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

FUENTE: Propia.

Según el análisis realizado en la tabla anterior se puede apreciar de que El talud con un cambio de geometría es estable para las distintas condiciones tanto Estáticas como Pseudo estáticas

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

De los resultados alcanzados en la presente investigación consideramos que tienen relación con lo que sustenta (Mancera, J. 2013) que para inestabilidades de taludes de grandes masas de deslizamiento la solución no puede darse únicamente geotextiles o mallas que cubra al talud , ya que se corre el riesgo de deslizamientos, es por ello que nosotros nuestros como objetivo de nuestro estudio es realizar el análisis de clasificación de los materiales que componen el talud de la carretera Otuzco – Combayo. Cuyos resultados nos permitieron realizar cálculo de factor de seguridad y generar el diseño y estabilidad de los taludes.

Asimismo, se comparte el planteamiento (Jorge Mostajo, 2016) que sostiene lo siguiente: Podemos aseverar que la estabilidad del talud obedece al nivel freático y la estructura que lo soporte, teniendo en consideración los resultados convenientes para los diseños propuestos que nos proporciona los valores pertinentes del factor de seguridad superiores a los mismos. Es así que en la presente investigación se realizó estudios pertinentes aguas superficiales, meteorización de suelos por agentes climáticos, precipitaciones, los factores detonantes que genera la estabilidad de talud será posible plantear un diseño geotécnicamente estable del talud estudiado, siendo el ángulo óptimo de 35°. Ayudándose del control de escorrentías en épocas que lluvias que desvíen las infiltraciones y desemboquen en los canales cercanos.

Por ultimo compartimos la propuesta de (Vidal Ramos .2013) debido a que sostiene que las inestabilidad del talud en nuestro país se producen por aquellas carreteras que realizan y no se toman en consideración en una partida, en función a ello es que este trabajo de investigación expone que la inestabilidad del talud en nuestra zona de estudio tiene se generan antes de la construcción y habilitación del tramo de la carretera tramo Otuzco – Combayo distrito la Encañada provincia de Cajamarca, 20202, agregado a ello la falta de mantenimiento y poco interés de los organismos pertinentes.

4.2 Conclusiones

- ✓ Primero según el análisis y clasificación de materiales se concluye que los suelos están clasificados en Limos y arcillas inorgánicos de baja plasticidad de los cuales ambos cuentan un LL menor a 50%, lo que los hace ser bajos en plasticidad, es por ello por lo que al tener contacto con el agua se separan rápidamente originando los deslizamientos. Para ello se plantea una compactación de material relleno de la mano del control de escorrentía e infiltraciones para prevenir incidentes posteriores.
- ✓ Segundo se concluye que los factores detonantes que deterioran la estabilidad del talud son las aguas superficiales, meteorización de los suelos por agentes climáticos, ante esto el material erosiona y la inestabilidad se desarrolla por completo. Los meses de setiembre a marzo de cada año son los más complicados, es aquí donde las tendencias de lluvias son más fuertes, es por ello que, así como el talud estudiado, muchos más se deslizan, muchas veces por el material que lo compone, así como también de los factores detonantes.
- ✓ Tercero Se determinó el diseño para el segundo Talud, disminuyendo el ángulo de inclinación a 35° lo que permitió aumentar el Factor de seguridad de 0.903 a 1.596 en condiciones estáticas y de 0.835 a 1.83 en condiciones Pseudoestáticas, mientras que para el primer Talud se recomienda construir obras de drenaje, ya que el Factor de seguridad es inestable en condiciones saturadas

REFERENCIAS

- Alzate, M. (2015). *Análisis de precipitaciones máximas como factor detonante para la amenaza por movimientos en masa en el municipio de santa rosa de Cabal – Risaralda*. (Tesis pregrado). Universidad de Manizales, Colombia.
- Arteaga, N. (2017). *Análisis geológico - geotécnico en los taludes de la carretera choropampa – Magdalena*. (Tesis pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Falconi, A. (2017). *Análisis geotécnico de los taludes en la carretera Bambamarca Paccha entre los kilómetros 0 a 30, distrito de Chota, Cajamarca*. Universidad Nacional de Cajamarca.
- García, J (2017). *La estabilidad de taludes y la transpirabilidad en la carretera longitudinal de la sierra, provincia de Chota - Cajamarca 2017*. Universidad Cesar Vallejo.
- Huamán, R. (2018). *Geotecnia de inestabilidad de taludes, en el tramo de la carretera Huañimba - Cungunday, Cajamarca, Cajabamba*. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Ramírez, C. (2015). *Estudio geotécnico de suelos para la construcción del complejo deportivo Piura y Pampa, distrito de Chincheros Urubamba – Cusco*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Sabogal, C. (2017). *Caracterización de variables relacionadas con la inestabilidad del suelo: caso de estudio, Cáqueza – Cundinamarca*. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.

- Sackschewski C. (2017). *Soluciones para la estabilidad de taludes de la carretera Canta – Huayllay entre las progresivas del km 102 al km 110*. Universidad nacional Mayor de San Marcos.
- Sáenz, A. (2016). *Análisis para estabilidad de taludes en roca utilizando mallas galvanizadas ancladas, ciudad nueva Fuerabamba Apurímac*. Universidad Nacional del Centro de Perú.
- Valverde, E. (2010). *Análisis de la influencia de la precipitación en el esfuerzo de succión y la estabilidad de un talud*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.
- Vilca, A. (2016). *Estudio geotécnico para la estabilidad del talud del depósito de desmonte santa rosa del proyecto Santa Rosa – Arequipa*. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cuzco.

ANEXOS

ESTACIONES.

ESTACION N° 1

NORTE	ESTE	COTA
9214485	785354	2755

Dirección del talud	AZ	DIP	DIPD
	285	15	36



Ilustración 1: Estación 1

Fuente: Propia

ESTACION N° 2

NORTE	ESTE	COTA
924522	785500	2755

<i>Dirección del talud:</i>	N75°	Bz65°
-----------------------------	------	-------

Familias	AZ	DIP	DIPDI	Esp
Fam1	N275°	50	265	0.2m
Fam2	N105°	50	195	0.12m
Fam3	N18°	80	108	0.13m



Ilustración 2: Estación 2

ESTACION N° 3

NORTE	ESTE	COTA
9214666	785851	2762

Familias	AZ	DIP	DIPDI	Espaciamiento
Fam1	N295°	39°	25°	0.11m
Fam2	N85°	64°	175°	0.8m
Fam3	N130°	58°	220°	0.12m
<i>Dirección del talud:</i>		N270°	Bz65°	



Ilustración 3: Estación 3

Fuente: Propia

ESTACION N° 4

NORTE	ESTE	COTA
9214673	785879	2762

Dirección del talud:	N270°	Bz65°
-----------------------------	-------	-------



Ilustración 4: Estación 4

Fuente: Propia

ESTACION N° 5

NORTE	ESTE	COTA
9214688	785886	2762

dirección del talud:	N240°	Bz62°
-----------------------------	-------	-------

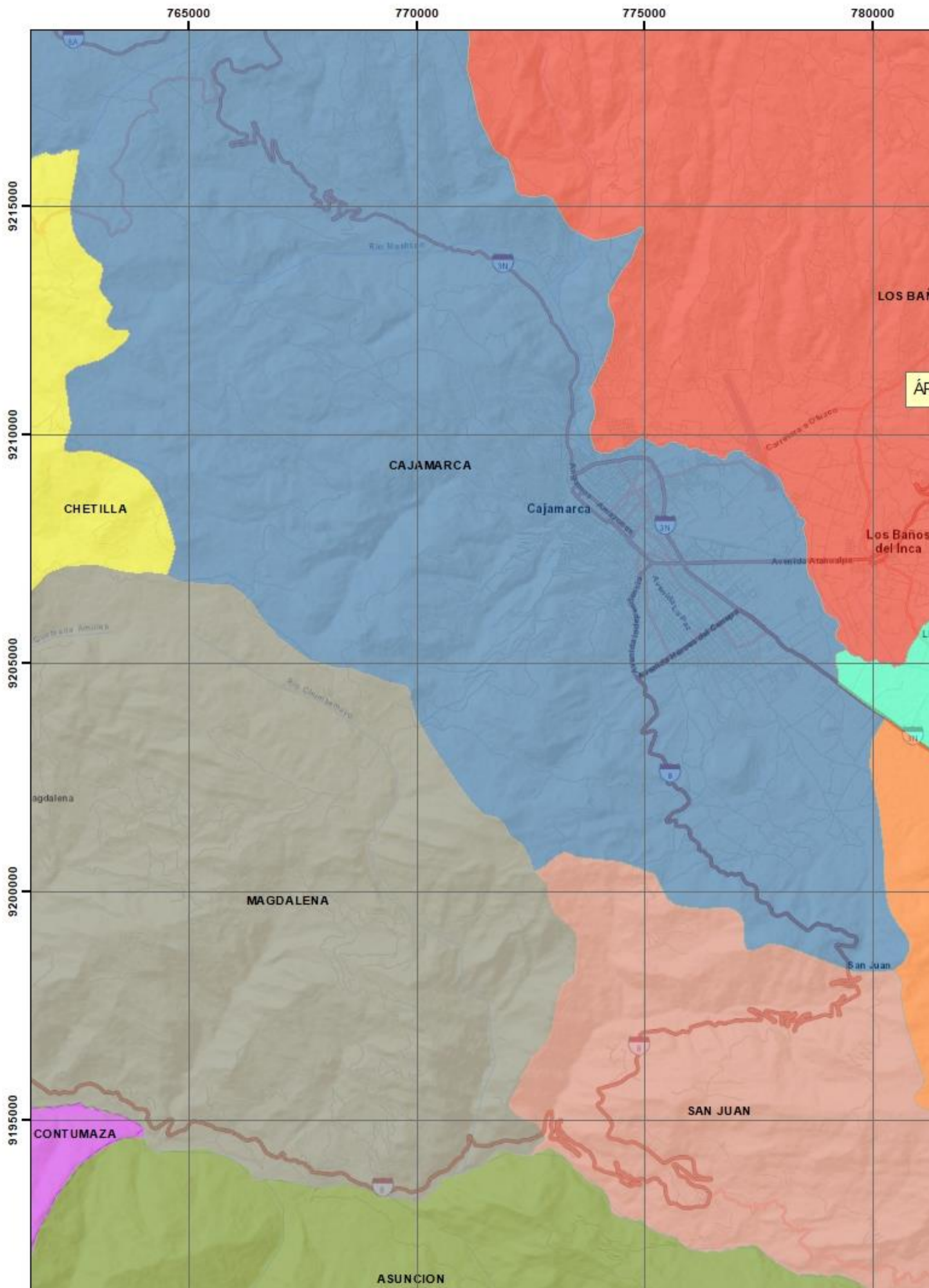
Familias	AZ	DIP	DIPDI	Espaciamiento
Fam1	N115°	43°	205°	0.6m
Fam2	N350°	27°	80°	0.4m
Fam3	N37°	86°	127°	0.5m



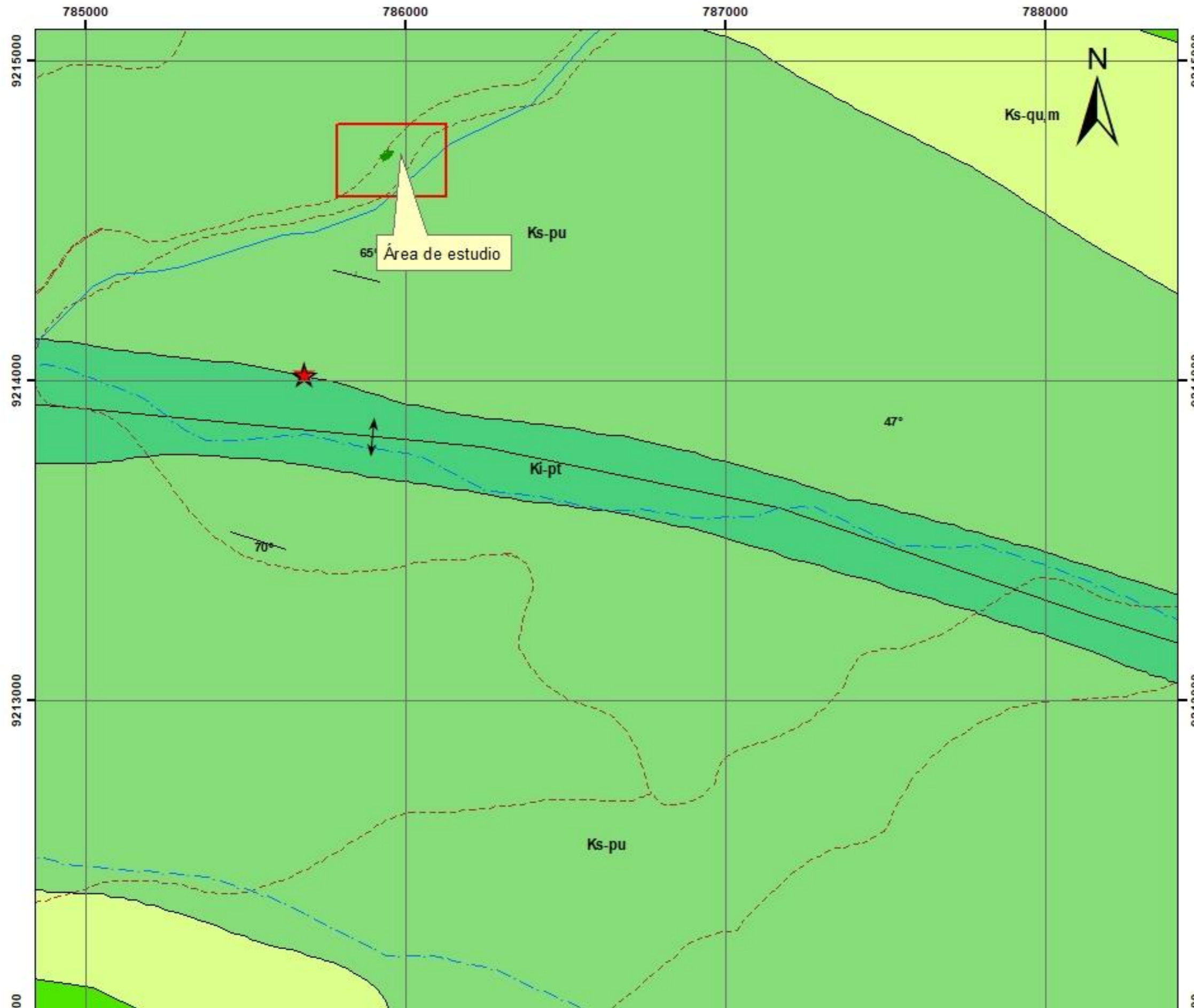
Ilustración 5: Estación 5

Fuente: Propia

PLANO DE UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO













PLANO GEOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO



ERATEMA	SISTEMA	SERIE	EDAD (MA)	UNIDAD
CENOZOICA	CUATERNARIO	HOLOCENA		Depósito aluvial
		PLEISTOCENA	0.01 2.6	
	PALEÓGENO NEÓGENO	MIOCENA	5.3 23.0 23.9	
		OLIGOCENA	9.0 16.0	
MESOZOICA	CRETÁCEO	SUPERIOR		Formación Cajamarca
		INFERIOR	60.0 95.0	Grupo Quiliquitan - Mujarrun Grupo Pullucana Formación Pariatambo

SÍMBOLOS

-  10° Rumbo y buzamiento de estratos
-  Falla normal
-  Eje de anticlinal
-  Eje de sinclinal tumbado
-  Contacto geológico
-  Curva de nivel - primaria
-  Carretera afirmada, transitable
-  Camino de herradura
-  Río secundario
-  Quebrada