



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Geológica

“ANÁLISIS GEOMECÁNICO PARA DETERMINAR  
LOS FACTORES CRÍTICOS QUE GENERAN LA  
INESTABILIDAD DE LOS TALUDES, EN LAS  
PROGRESIVAS KM6+000 – KM8+000 DE LA  
CARRETERA CHILETE – SAN PABLO, 2022”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO GEÓLOGO

**Autor:**

Jose Ghilmer Paredes Vasquez

**Asesor:**

Mg. Ing. Miguel Ricardo Portilla Castañeda

Cajamarca - Perú

2022

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mis padres por apoyarme en cada paso de mi vida, darme la fortaleza necesaria para seguir con mis metas. A mi hermano por estar siempre a mi lado y por toda su confianza. A toda mi familia que siempre tuve el mejor consejo y enseñanza en el momento indicado de mi vida. A mis amigos por su sostén desinteresado

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por todo su soporte en éste largo camino, su bendición, salud y cuidado para concluir mis estudios.

Agradezco a mi alma mater la Universidad Privada del Norte Cajamarca, a toda la plana docente de la facultad de Ingeniería Geológica, por brindarme todo su conocimiento y valores, que me forjaron como un buen profesional.

## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>6</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO II. MÉTODO.....</b>	<b>16</b>
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>35</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>70</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>75</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>79</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Cálculo del RQD .....	19
<b>Tabla 2:</b> Espaciado de las familias discontinuidades.....	20
<b>Tabla 3:</b> Longitud o Persistencia de las discontinuidades .....	20.
<b>Tabla 4:</b> Abertura de las discontinuidades .....	20.
<b>Tabla 5:</b> Rugosidad de las discontinuidades.....	21.
<b>Tabla 6:</b> Relleno de las paredes de las discontinuidades.....	21.
<b>Tabla 7:</b> Meteorización de las discontinuidades.....	21.
<b>Tabla 8 :</b> Parámetro de aguas subterráneas.....	22.
<b>Tabla 9 :</b> Orientación de las discontinuidades .....	22.
<b>Tabla 10 :</b> Coordenadas UT WGS 84 .....	26.
<b>Tabla 11:</b> accesibilidad.....	26
<b>Tabla 12:</b> Unidades Geomorfométricas.....	29.
<b>Tabla 13:</b> ensayo de corte directo en roca .....	35
<b>Tabla 14:</b> Aplicación de carga.....	36
<b>Tabla 15:</b> Parámetros de resistencia al corte .....	38
<b>Tabla 16:</b> Ensayo de Propiedades Físicas en Rocas (ISRM).....	38
<b>Tabla 17:</b> Cartografiado Geomecánico .....	39
<b>Tabla 18:</b> Calidad del macizo rocoso con relación al Índice RMR .....	41
<b>Tabla 19:</b> Mapeo Geomecánico de las discontinuidades.....	45
<b>Tabla 20:</b> Condiciones de Análisis de la rotura planar del Set J02 (Estático y Pseudo-estático).....	56
<b>Tabla 21:</b> Condiciones de Análisis de la rotura en cuña de los Sets J01 y J03 (Estático y Pseudo-estático). 59	
<b>Tabla 22:</b> Condiciones de Análisis de la rotura en cuña de los Sets J02 y J03 (Estático y Pseudo-estático). 62	
<b>Tabla 23:</b> Condiciones de Análisis para el Talud Global (Estático y Pseudoestático).....	64
<b>Tabla 24:</b> Condiciones de Análisis para el Talud Global (Estático y Pseudoestático en propuesta).....	67
<b>Tabla 25:</b> Dimensiones del muo de voladizo al ser utilizado en la zona de estudio.....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Gráfico para determinar el GSI que evalúa la calidad del macizo rocoso.</i>	23.
<i>Figura 2: Imagen satelital de accesibilidad a la zona de estudio.</i>	27
<i>Figura 3: Temperaturas máximas y mínimas promedio.</i>	28
<i>Figura 4: Plonicies presentes en la zona de valle.</i>	29
<i>Figura 5: Laderas en el margen izquierdo de la carretera.</i>	30
<i>Figura 6: Escarpess en el margen izquierdo de la carretera.</i>	30
<i>Figura 7: Aplicación de esfuerzo cortante y envolvente de resistencia.</i>	37
<i>Figura 8: valoración en MPa de la resistencia a la compresión Uniaxial.</i>	40
<i>Figura 9: valoración en porcentaje del RQD.</i>	40
<i>Figura 10: valoración del espaciamiento entre discontinuidades en mm.</i>	41
<i>Figura 11: Parámetros de estabilidad según el SMR Romana,</i>	43
<i>Figura 12: Recomendaciones de soporte.</i>	43
<i>Figura 13: Ploteo del Valor de GSI.</i>	44
<i>Figura 14 Análisis cinemático de roturas del talud.</i>	46
<i>Figura 15 Valores de ángulo de fricción, orientación del talud.</i>	46
<i>Figura 16: Análisis cinemático de rotura falla en cuña</i>	47
<i>Figura 17: Valores de ángulo de fricción de segundo talud.</i>	47
<i>Figura 18: Análisis cinemático falla en vuelco.</i>	48
<i>Figura 19: Valores de ángulo de fricción talud</i>	48
<i>Figura 20: Zonas sísmicas del Perú. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016).</i>	50
<i>Figura 21: Ubicación de las coordenadas para la obtención del coeficiente de sismicidad.</i>	51
<i>Figura 22: Gráfico de espectro de peligro uniforme con un periodo de retorno de 475 años</i>	52
<i>Figura 23: Vista en Perspectiva del posible deslizamiento del Bloque de roca formado por J01.</i>	53
<i>Figura 24: Análisis del Factor de Seguridad en condiciones estáticas y secas.</i>	53
<i>Figura 25: Análisis del Factor de Seguridad en condiciones estáticas y saturada.</i>	54
<i>Figura 26: Análisis del Factor de Seguridad en la que se aprecia que el talud es inestable</i>	54

<b>Figura 27:</b> Análisis del Factor de Seguridad, en la que se aprecia que el talud es inestable .....	55
<b>Figura 28:</b> Análisis de Sensibilidad que muestra que para que el talud sea estable .....	55
<b>Figura 29:</b> Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones secas y estáticas .....	57
<b>Figura 30</b> Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas.....	57
<b>Figura 31:</b> Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones Pseudoestáticas y secas.....	58
<b>Figura 32:</b> Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones Pseudoestáticas y saturadas.....	58
<b>Figura 33:</b> Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones secas y estáticas .....	60
<b>Figura 34</b> Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas.....	60
<b>Figura 35:</b> Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones Pseudoestáticas y secas.....	61
<b>Figura 36:</b> Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones Pseudoestáticas y saturadas.....	61
<b>Figura 37:</b> Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer, en condiciones estáticas. ....	62
<b>Figura 38:</b> Análisis del Factor de Seguridad por el método de Morgenstern - Price, condiciones estáticas. ....	63
<b>Figura 39:</b> Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencere en condiciones Pseudoestáticas... ..	63
<b>Figura 40:</b> Análisis del Factor de Seguridad por el método de Morgenstern Price Pseudoestáticas .....	64
<b>Figura 41:</b> Análisis del Factor de Seguridad método de Spencer, en condiciones estáticas corregido .....	65
<b>Figura 42:</b> Análisis del Fs por el método de Morgenstern - Price, condiciones estáticas - corregido .....	65
<b>Figura 43:</b> Análisis del FS por el método de Spencere en condiciones Pseudoestáticas corregido.....	66
<b>Figura 44:</b> Análisis del Fs por el método de Morgenstern Price Pseudoestáticas corregido.....	66
<b>Figura 45:</b> Muro con voladizo que se debe construir en la zona de estudio.....	68

## RESUMEN

La investigación tiene como objetivo Realizar el análisis geomecánico para determinar los factores críticos que generan la inestabilidad de los taludes en las progresivas Km 06+000 - Km 08+000 de la carretera Chilete – San Pablo, 2022, para lo cual se trabajó con una población conformada por todos los macizos rocosos de los taludes presentes en las progresivas Km 06+000 -Km 08+000 de la carretera Chilete – San Pablo, del cual fue extraída la muestra que se compone por 06estaciones geomecánicas en los macizos rocosos, por otro lado las técnicas de recolección de datos es la observación directa y el análisis documental, se usó tablas geomecánicas del RMR y GSI para determinar la calidad del macizo rocoso, así mismo para para el posterior tratamiento y análisis de los datos obtenidos en campo se usaron softwares como ArcGIS, Dips. En la primera etapa de este informe se describe los resultados que se realizó una evaluación geomecánica con el fin de conocer la calidad del macizo rocoso y se tomó datos de los puntos topográficos para obtener el perfil del talud. Posteriormente se realizó el análisis con el software slide, rocplane, swedge para calcular los valores del factor de seguridad. Tanto de suelos como de rocas. Concluyendo que el análisis geomecánico permitió determinar que los factores críticos que generan la inestabilidad de los taludes en las progresivas Km 06+000 -Km 08+000 de la carretera Chilete – San Pablo. mediante la obtención de los parámetros geo mecánicos, el cálculo del Factor de seguridad y los factos detonantes que afectan al talud.

**Palabras clave:** Caracterización geomecánica, macizo rocoso, estabilidad de taludes.



## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

En el Perú, los riesgos los deslizamientos tienen importancia en la ubicación de depósitos de desechos que en la mayoría de los otros países, Los Efectos ambientales de una falla de talud constan tanto de efectos directos como indirectos. Los efectos directos comprenden la pérdida inmediata de vida humana, y la destrucción de toda estructura, ya sea vida animal o vegetal por el paso de los relaves y/o desechos liberados. Los efectos indirectos también incluyen los impactos socioeconómicos tales como la pérdida de productividad de la mina debido a una paralización causada por una falla, los costos de reparación de la falla y la pérdida de la tierra afectada para cualquier uso productivo (Ministerio de Energía y Minas, 1997)

En los últimos años la estabilidad de taludes ha demostrado tener una gran influencia en los beneficios económicos de una mina especialmente en depósitos de baja ley como es el caso del cobre en nuestra patria. los análisis de sensibilidad muestran que la determinación de los ángulos de taludes son el tercer criterio más importante en el diseño y planeamiento del tajo, por lo tanto se hace imperiosa la necesidad de realizar estudios conducentes a éste fin, ya que pequeñas variaciones en dicho ángulo o deslizamiento de material rocoso podrían afectar muy significativamente al proyecto (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 1976)

Los suelos con poca capacidad de carga o susceptibles a los asentamientos, requieren ser estabilizados, ya sea cuando se realizan excavaciones o cuando se alteran las condiciones de equilibrio de los taludes, puesto que se produce inestabilidad, poniendo en riesgo la vida humana, los bienes materiales y el medio ambiente (Ministerio de vivienda saneamiento y construcción, 2006)

Los deslaves en taludes son comunes en Guatemala, en especial en época lluviosa. Para contribuir a su estabilidad, se tienen disponibles una variedad de soluciones, entre ellas podría considerarse el Sistema Vetiver. Por medio de este método, se busca evitar que las laderas sean propensas a la erosión (Matías, 2018). Los movimientos de masas en taludes naturales pueden causar grandes pérdidas humanas y materiales para una sociedad. En este contexto, el análisis de estabilidad se convierte en un problema muy complejo ya que hay un gran número de incertidumbres implicadas en la interpretación (Marquez, 2017).

Los sistemas de fracturamientos evidenciados en los macizos rocosos a lo largo de cortes de carretera, determinan una serie de inestabilidades para esos taludes. La frecuencia de estos escenarios de inestabilidad es mayor durante la ocurrencia de eventos sísmicos o en los períodos de altas precipitaciones y riesgo de los transeúntes y viviendas (Chunga, Quiñones y Salinas, 2020). La existencia de una potente corteza de meteorización con un alto grado de agrietamiento de las rocas debido a la erosión y la tectónica del macizo, así como grandes volúmenes de agua subterránea, baja resistencia y alta deformabilidad del medio geológico contribuyen a la rotura del equilibrio en los taludes y cortes (Mucuta, Cartaya y Watson, 2020)

La estabilidad de taludes en roca es un aspecto esencial en el ámbito del diseño de infraestructuras civiles tales como ferrocarriles o carreteras. Más concretamente, las roturas o fallos de los taludes rocosos que pueden poner en riesgo la seguridad o funcionamiento normal del servicio, resultando imprescindible la evaluación de su seguridad frente a posibles fallos (Tomás, Riquelme y Cano, 2020). Todas aquellas rocas sometidas a la acción de los agentes atmosféricos sufren una cierta degradación que merma sus propiedades geomecánicas. Las características intrínsecas de cada afloramiento son el

reflejo de la actividad tectónica de la zona y de la propia naturaleza rocosa del lugar (Mira y Gutierrez, 2013)

Los análisis de estabilidad de taludes se efectúan con la finalidad de alargar la vida útil de los mismos, estos pueden realizarse por el Método de Equilibrio Límite (Torres y Monsalve, 2014) La vegetación cumple un importante rol en la prevención de movimientos en masa de suelos, especialmente, los relativos a deslizamientos superficiales de taludes. De esta manera, las raíces de los árboles proporcionan un sistema de refuerzo que depende en gran medida de la conformación y de la distribución del sistema radicular que presenten (Sanhueza y Villavicencio, 2012).

Herrera y Solorzano (2020), en su investigación realiza la estabilidad del talud global, considerando al macizo rocoso isotrópico y anisotrópico teniendo en cuenta las discontinuidades paralelas o subparalelas al talud. Para el análisis de estabilidad de taludes del macizo rocoso isotrópico y anisotrópico se utilizó el criterio de rotura de Hoek-Brown utilizando el software Slide versión 6.0. Mientras que (Cerúsico, 2019) analiza las condiciones geomecánicas del macizo rocoso de acuerdo con el SMR, los taludes que conforman los mismos los clasifican según diferentes grados de estabilidad e inestabilidad, de acuerdo con el método de Romana y de esa forma realizar una valoración de la estabilidad del macizo rocoso

Marín y Jaramillo (2021) en su investigación implementa el modelo Scoops3D para un análisis de susceptibilidad a ocurrencia de deslizamientos en un terreno montañosos donde identifica las áreas susceptibles a ocurrencia de deslizamientos rotacionales, se analizan los resultados del factor de seguridad con las áreas de las superficies de falla críticas asociadas para proveer una interpretación y explicación de los resultados de simulación. En tanto (Torres y Marciales, 2018) utilizaron métodos probabilísticos para estimar el factor de

seguridad una probabilidad de falla, el índice de confianza y que además de los factores geotécnicos teniendo en cuenta factores sísmicos y de flujos de agua, que son los factores externos que más alteran la estabilidad de un talud, para esto se tomaron 4 zonas de estudio de la vereda,

Fernández Villalobos y King (2018) en su artículo realizan un análisis probabilístico de estabilidad de taludes utilizando un modelo de variables aleatorias para caracterizar los parámetros resistentes. Para la generación de valores de las variables aleatorias se utiliza la simulación de Monte Carlo la cual además permite la evaluación simultánea de la estabilidad del talud en términos de factor de seguridad, probabilidad de falla e índice de confiabilidad. Además (Ortiz, 2019), analizó la estabilidad de los taludes de la zona ‘Los Baluartes’, mediante el cálculo de factores de seguridad, obtención de parámetros de resistencia al corte del suelo y la determinación de otros factores influyentes en la estabilidad del talud. En tal sentido, este artículo presenta los resultados de los ensayos geotécnicos y geofísicos, además, el procesamiento de los datos obtenidos usando el programa Slide V.6.

Gallardo (2020), en su investigación analiza las condiciones que conllevaron a la falla de un talud en una de las terrazas que conforman el barrio y establecer las condiciones de estabilidad del talud posteriores a la falla, Los resultados permitieron definir las condiciones en las que se presentó la falla del talud y establecer, que posterior al deslizamiento, el talud continúa en condiciones muy susceptibles a fallar nuevamente. Por otro lado (Gallarday, 2017), realiza la estabilidad del relleno no controlado, el empleo de agua en exceso en la corona del talud del malecón acelera las fallas circulares locales. De instalarse sobre la pendiente vegetación, además en el borde de la playa se requiere protección construyendo dos espigones o collarín perimétrico a base de rocas andesitas silicificadas.

Díaz (2021), en su investigación analizan el comportamiento de los factores Geológicos – Geotécnicos que intervienen en la inestabilidad de los taludes de la carretera, de los resultados se interpretó que los taludes se clasifican en inestables absolutos, estables relativos, donde generalmente la causa de la inestabilidad de los taludes es producido por factores desencadenantes de saturación y sismicidad. Así mismo (Huascope, 2021) determinó que las propiedades mecánicas de los suelos son parámetros que influyen en factor de seguridad para la estabilidad de taludes naturales, sector Llavini, por que la estabilidad de un talud está condicionada a la caracterización geotécnica del tipo de material de los taludes.

En el área de estudio se puede apreciar que existe caídas de roca en los taludes evaluados lo que evidencia la inestabilidad de los mismos , además constantemente existe el bloque de la carretera debido a los eventuales desprendimientos; en el caso de taludes que han sufrido un alto grado de meteorización debido a los agentes geodinámicos externos llegando casi a la condición de suelo se a identificado grietas de tensión que son factores condicionantes que pueden producir deslizamientos o fallas circulares. Además las pendientes abruptas de los taludes favorecen a las fuerzas desestabilizadoras en los taludes estudiados.

La justificación Teórica es que la presente investigación se da por cuanto aportará al conocimiento existente sobre estabilidad de taludes en materiales rocosos y suelos mediante una evaluación geotécnica, la cual podrá servir como fundamento para posteriores investigaciones, además servirá como antecedente empírico. En la justificación práctica se propondrá un cambio de geometría para estabilizar el talud, a fin de garantizar la seguridad de los pobladores que se encuentran viviendo en las zonas cercanas al Talud, sobre todo de los pobladores que habitan en las partes bajas. Además de evitar el bloqueo de la carretera,

permitiendo el tránsito fluido de los vehículos que pasan por las vías y evitando accidentes de los transeúntes o deterioro de los vehículos.

## 1.2 Formulación del problema

¿Cómo el análisis geomecánico que permite determinar los factores críticos que generan la inestabilidad de los taludes en las progresivas Km6+000 – Km8+000 de la carretera Chilete- San Pablo, 2022?

## 1.3 Objetivos

### Objetivo general

- Realizar el análisis geomecánico para determinar los factores críticos que generan la inestabilidad de los taludes en las progresivas Km 06+000 -Km 08+000 de la carretera Chilete – San Pablo, 2022.

### Objetivos específicos

- Caracterizar los parámetros geomecánicos que generan la inestabilidad de los taludes en las progresivas Km 06+000 -Km 08+000 de la carretera Chilete – San Pablo, 2022.
- Determinar el tipo de rotura utilizando el software Dips en los los taludes en las progresivas Km 06+000 -Km 08+000 de la carretera Chilete – San Pablo, 2022.
- Calcular el valor del “SMR” y el Factor de Seguridad en los taludes en las progresivas Km 06+000 -Km 08+000 de la carretera Chilete – San Pablo, 2022.
- Elaborar una propuesta de estabilidad en los taludes en las progresivas Km 06+000 - Km 08+000 de la carretera Chilete – San Pablo, 2022.

#### **1.4 Hipótesis general**

El análisis geomecánico permitirá determinar los factores críticos mediante la evaluación de los parámetros geomecánicos; los factores que generan la inestabilidad serán la alta pendiente del Talud, el bajo ángulo de fricción de las discontinuidades y los agentes geodinámicos que han alterado la roca, además de la baja cohesión de los materiales. Estos factores críticos a la vez son afectados por las precipitaciones en los periodos de invierno y un eventual evento sísmico que podría afectar o comprometer la estabilidad de los taludes.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

Según su propósito: La investigación fue aplicada ya que se centro en encontrar los mecanismos que permiten determinar características geomecánicas y geotécnica de los materiales presentes en los taludes.

Según su profundidad: La investigación fue explicativa, porque no sólo se pretende observar las variables sino también estudiar como los factores críticos generan la inestabilidad en los taludes presentes

Según la naturaleza de sus datos: La investigación fue cuantitativa, dado que el estudio se centra en el análisis de la realidad mediante diversos procedimientos basados en la medición de los parámetros geotécnicos que controlan la estabilidad

La investigación desarrollada en el presente trabajo, es no experimental ya que se trabaja con hechos de experiencia directa y las variables no serán manipulados y de corte transversal debido a que los datos serán tomados en un periodo de tiempo (Oblitas, 2018).

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

**Población:** Todos los macizos rocosos de los taludes presentes en las progresivas Km 06+000 -Km 08+000 de la carretera Chilete – San Pablo

**Muestra:** 06 estaciones geomecánicas en los macizos rocosos de los taludes presentes en las progresivas Km 06+000 -Km 08+000 de la carretera Chilete – San Pablo



### 2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

#### Técnicas

- Observación directa
- Análisis Documental

#### Instrumentos de recolección de datos

- Ficha de Observación
- Cuaderno de Campo
- GPS
- Brújula
- Martillo de Schmid
- Peine de Barton

Los materiales utilizados para el desarrollo del presente trabajo de investigación son:

#### Materiales de campo

- Mapas topográficos (1/10 000) y geológicos (1/ 10 000).
- Cámara fotográfica digital
- Colores, ácido clorhídrico y flexómetro.
- Lupa
- Picota

#### Materiales de gabinete

- Laptop core i7
- Softwares
- Impresora

## 2.4. Análisis de datos

Para analizar los datos que se tomaron en campo se realizó el uso de los siguientes programas: Dips v7.0, AutoCAD 2021, Slide v6.0, Swedge 4.0, Rocplane 2.0, Roc topple v1.0 , RocData v6.0, ArcGIS 10.6, Microsoft Office (Excel, Word, Power Point).

## 2.5. Procedimiento

Para la elaboración del trabajo de investigación, se realizó en tres etapas:

**Etapa de pre campo.** En esta fase de la investigación se elabora un plan de trabajo estratégico y cronológicamente organizado con la finalidad de cumplir con los objetivos trazados en el trabajo de investigación. En esta etapa se recopiló información de la geología de la zona de estudio mediante el uso de la plataforma Geocatmin y web del Ingemmet para la obtención de Boletines y mapas geológicos a escala 1:100 000 y 1:50 000 para la obtención de información de antecedentes y realidad problemática se consultó páginas Web, bases de datos como Scopus, Ebsco, Science Direct y Scielo, mientras que para Tesis de investigación se consultó a Alicia y Renati.

**Etapa de Campo** El trabajo se desarrolló en el área de estudio en el cual se consideró las estaciones geomecánicas, donde se recolectarán los datos correspondientes como la toma de datos topográficos en la base del talud, la corona del talud y las áreas con mayor elevación, además se realizó el mapeo geomecánico de las discontinuidades, y se procedió a clasificar el macizo rocoso y obtener el valor del RMR , GSI y SMR para la estaciones estudiadas

Para ello se manejó fichas de campo y cuadros de clasificación. Clasificación de Bieniawski del RMR básico y los factores de ajuste El parámetro que define la clasificación es denominado índice RMR, que indica la calidad del macizo rocoso en cada dominio estructural a partir de los siguientes parámetros:

- ✓ Resistencia a la compresión simple de la roca intacta.
- ✓ . RQD
- ✓ Espaciado de las discontinuidades
- ✓ . Estado de las discontinuidades
- ✓ Presencia de agua

Para el cálculo del RQD, se emplea la siguiente tabla:

**Tabla 1**

*Calculo del RQD.*

<b>INDICE DE CALIDAD RQD (%)</b>	<b>CALIDAD</b>	<b>VALORACIÓN</b>
<b>90 – 100</b>	Excelente	<b>20</b>
<b>75 – 90</b>	Buena	<b>17</b>
<b>50 – 75</b>	Regular	<b>13</b>
<b>25 – 50</b>	Mala	<b>8</b>
<b>&lt;25</b>	<b>Muy mala</b>	<b>3</b>

Nota. El índice de calidad se calcula en porcentaje y con ello determinaremos la calidad de la roca y le daremos la valorización correspondiente. Fuente: Bieniawski

**Tabla 2**

*Espaciado de las familias discontinuidades.*

DESCRIPCIÓN	ESPACIADO DE LAS DIACLASAS	TIPO DE MACIZO ROCOSO	VALORACIÓN
<b>Muy separadas</b>	> 2 m	Sólido	<b>20</b>
<b>Separadas</b>	0,6 – 2 m.	Masivo	<b>15</b>
<b>Moderadamente juntas</b>	200-600 mm.	En bloques	<b>10</b>
<b>Juntas</b>	60 – 200 mm.	Fracturado	<b>8</b>
<b>Muy juntas</b>	< 60mm	<b>Machacado</b>	<b>5</b>

Nota. Según el espaciado de las diaclasas se determina el número de discontinuidades, y daremos la respectiva valorización . Fuente: Bieniawski

**Tabla 3**

*Longitud o Persistencia de las discontinuidades.*

GRADO	DESCRIPCIÓN	CONTINUIDAD	VALORACIÓN
<b>1</b>	Muy baja	< 1 m	<b>6</b>
<b>2</b>	baja	1 – 3 m	<b>4</b>
<b>3</b>	Media	3 – 10 m	<b>2</b>
<b>4</b>	Alta	10 – 20 m	<b>1</b>
<b>5</b>	<b>Muy alta</b>	<b>&gt; 20 m</b>	<b>0</b>

Nota. Teniendo en cuenta la continuidad o extensión de las diaclasas asignaremos una descripción y la valorización al tipo de roca presente. Fuente: Bieniawski.

**Tabla 4**

*Abertura de las discontinuidades.*

GRADO	DESCRIPCIÓN	SEPARACION DE LAS CARAS	VALORACIÓN
<b>1</b>	Cerrada	0	<b>6</b>
<b>2</b>	Muy Angosta	< 0,1 mm	<b>5</b>
<b>3</b>	Angosta	0,1 – 1 mm	<b>4</b>
<b>4</b>	Abierta	1 – 5 mm	<b>1</b>
<b>5</b>	<b>Muy Abierta</b>	<b>&gt; 5mm</b>	<b>0</b>

Nota. En función de la separación de las paredes de las discontinuidades de las diaclasas presentes en el área de estudios le daremos la descripción adecuada y su respectiva valorización. Fuente: Bieniawski.

**Tabla 5**

*Rugosidad de las discontinuidades.*

GRADO	DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
1	Muy rugosa	6
2	Rugosa	5
3	Ligeramente rugosa	3
4	Lisa	1
5	<b>Muy Lisa</b>	<b>0</b>

Nota. En función de la de rugosidad que presentan las caras de las discontinuidades le daremos la valoración que le corresponde a la diaclasa. Fuente: Bieniawski.

**Tabla 6**

*Relleno de las Paredes de las discontinuidades.*

GRADO	DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
1	Ninguno	6
2	Duro < 5 mm	4
3	Duro > 5mm.	2
4	Blando < 5mm	1
5	<b>Blando &gt; 5 mm</b>	<b>0</b>

Nota. Conforme al tipo de relleno de las discontinuidades daremos la respectiva valoración a la roca presente en la diaclasa. Fuente: Bieniawski.

**Tabla 7**

*Meteorización de las discontinuidades.*

GRADO	DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
1	No meteorizada	6
2	Ligeramente	5
3	Moderadamente	3
4	Altamente Meteorizada	1
5	<b>Descompuesta</b>	<b>0</b>

Nota. De acuerdo a la coloración el grado de meteorización de las paredes discontinuidades le daremos la valoración correspondiente al macizo rocoso. Fuente: Bieniawski

**Tabla 8**

*Tabla del parámetro aguas subterráneas.*

DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
<b>Completamente Seco</b>	<b>15</b>
<b>Húmedo</b>	<b>10</b>
<b>Mojado</b>	<b>7</b>
<b>Goteo</b>	<b>4</b>
<b>Flujo</b>	<b>0</b>

Nota. Según la presencia del agua en las paredes de las discontinuidades, daremos la valoración correspondiente a nuestra estación. Fuente: Bieniawski..

**Tabla 9**

*Orientación de las discontinuidades.*

Rumbo perpendicular al eje de la excavación				Rumbo Paralelo al eje de la excavación		Buzamiento 0 -20° independiente del rumbo
Excav. Con buzamiento.		Excav. Contra buzamiento				
Buz 45° - 90°	Buz 20° - 45°	Buz 45°-90°	Buz 20° - 45°	Buz 45° - 90°	Buz 20°- 45°	
<b>Muy favorable</b>	Favorable	Medio	Desfavorable	Muy desfavorable	Medio	<b>Desfavorable</b>
<b>0</b>	<b>-2</b>	<b>-5</b>	<b>-10</b>	<b>-12</b>	<b>-5</b>	<b>-10</b>

Nota. Conforme rumbo y buzamiento de las discontinuidades y en función de la dirección del talud se determinará el valor a restar para calcular el RMR corregido. Fuente: Bieniawski

### **Clasificación de Hoek y Brown (GSI)**

Según Hoek (1995) propuso un índice geológico de resistencia, GSI (geological strength index), que evalúa la calidad del macizo rocoso en función del grado y las características de la fracturación, estructura geológica, tamaño de los bloques y meteorización de las discontinuidades.



**Etapas de gabinete.** Luego de haber recolectado la información de campo la data campo fue procesado y representado en tablas, figuras y planos. Los datos recopilados en cada estación geomecánica, fueron registrados en una ficha de observación geomecánica y libreta de campo; entre ellos: las Coordenadas UTM de los puntos topográfico, cota, las formaciones lito estratigráficas, la meteorización, y la caracterización de las discontinuidades e información de orientación como: el tipo de discontinuidad o fractura, Dip y Dip direction, espaciado, persistencia, abertura, rugosidad, relleno, alteración y meteorización; toda esta información se analizaran para caracterizar el macizo rocoso y obtener el RMR de Bieniawski (1989), SMR, GSI de cada estación geomecánica. Los datos de orientación para predecir los tipos de rotura fueron analizados mediante el software DIPS, teniendo como fundamento a la proyección estereográfica, la concentración de polos y las áreas críticas. Para realizar el análisis de los posibles deslizamientos y de las fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras, además se calculó el factor de seguridad que sirvió para determinar la estabilidad de los taludes, el cual se realizó utilizando el software de análisis Slide v.6.0, rocplane v2.0, swedge v4.2 , , roctopple v1.0, rocdata v5.0v mientras que para obtener los perfiles en función de los puntos topográficos se utilizó el software ArcGIS 10.6.



## 2.6. Aspectos éticos

Para realizar los trabajos de campo se solicitó los permisos correspondientes además se respetó la integridad de las propiedades privadas de los pobladores. Con respecto al procesamiento de los datos se declara que han sido tomadas de las estaciones geomecánicas con los protocolos adecuados. También es cabe precisar que los softwares utilizados pertenecen a Rocscience y son de libre descarga bajo un periodo de prueba desde la página oficial del mismo

## 2.7. Aspectos Generales

### **Ubicación Geográfica**

Geográficamente el área de estudio se encuentra comprendida en la cordillera occidental de los andes, exactamente al Oeste de la ciudad de Cajamarca, entre la progresiva 06+000 al 08+500 de la carretera Chilete-Pablo, en la Provincia de Contumazá. Con Coordenadas: UTM: WGS84, ZONA 17S.

### **Ubicación Política**

Políticamente se encuentra ubicada en:

- ❖ Departamento: Cajamarca.
- ❖ Provincia: Contumazá
- ❖ Distrito: Chilete.

Las coordenadas de la zona en estudio son como se describen a continuación.

**Tabla 10**

*Coordenadas UTM-WGS84.*

VÉRTICE	ESTE	NORTE
V1	739500	9206500
V2	740800	9206500
V3	740800	9205000
V4	739500	9205000

Nota. En la tabla podemos apreciar los vértices de nuestra zona de estudio con sus respectivas coordenadas este y norte..

### ACCESIBILIDAD

Para poder llegar a la zona de estudio tenemos que tener como punto de partida la ciudad de Cajamarca, en el paradero a Salida a la costa, ubicado en Av. Independencia cuadra 3; con un tiempo aproximado de viaje de 02 horas en auto mediante vía asfaltada.

**Tabla 11**

*Ruta a la zona de estudio.*

RUTA TERRESTRE	DISTANCIA (Km)	TIEMPO (MIN)	VÍA
Lima-Cajamarca	859	900	Asfaltada
Cajamarca-Km 6 carretera Chilete- San Pablo”	90	120	Asfaltada

Nota. En esta tabla podemos apreciar la ruta de accesibilidad para llegar a nuestra zona de estudio, a que distancia se encuentra con respecto a Lima y Cajamarca, tipo de vía y tiempo que tardamos en llegar. Fuente: Google Maps.



*Figura 2..* La figura muestra una imagen satelital de accesibilidad desde la ciudad de Cajamarca hasta Chilete y de Chilete hasta el área de estudio Fuente: Google Earth

## CLIMA

El clima en la zona de estudio durante el verano es cómodo y nublado mientras que el invierno es corto, frío, seco y parcialmente nublado. La temporada templada dura 2.8 meses, del 5 de enero al 30 de marzo, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 26 °C. El mes más cálido del año en Chilete es Febrero, con una temperatura máxima promedio de 26 °C y mínima de 16 °C. La temporada fresca dura 2.1 meses, del 4 de junio al 8 de agosto, y la temperatura máxima

promedio diaria es menos de 25 °C. El mes más frío del año en Chilete es Julio, con una temperatura mínima promedio de 13 °C y máxima de 25 °C (SENHAMI, 2020).

### Temperaturas máximas y mínimas promedio en chilete

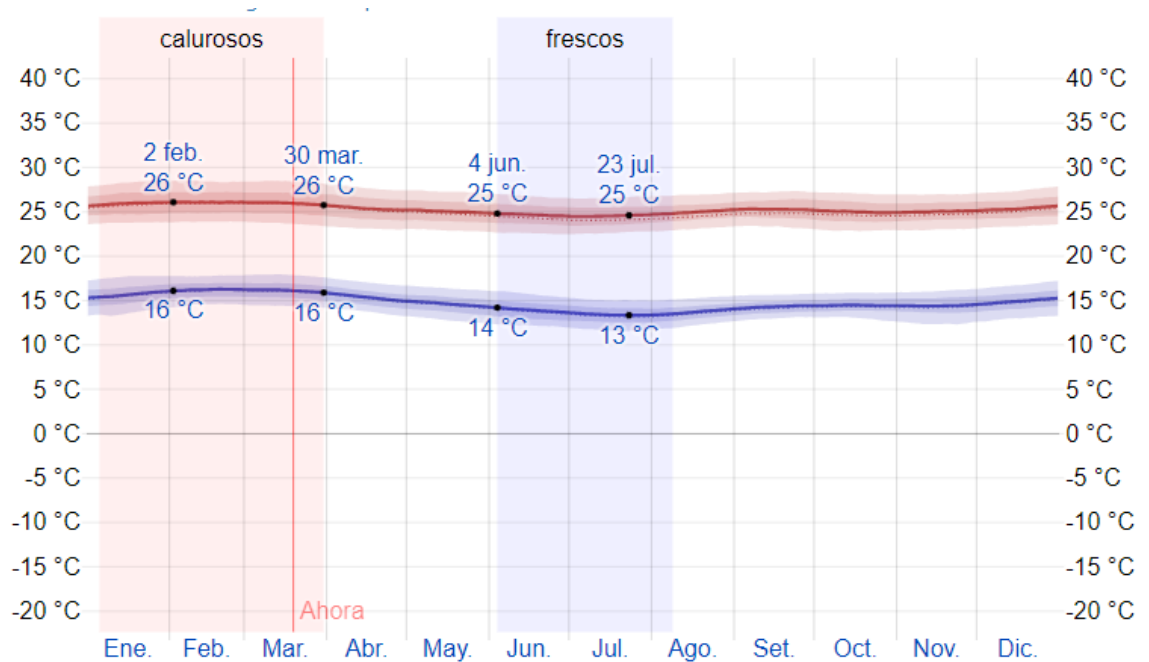


Figura 3.. En el gráfico se muestra a temperatura máxima (línea roja) y la temperatura mínima (línea azul) promedio diaria con las bandas (SENAMHI, 2020)

## GEOMORFOLOGÍA

Para determinar las unidades geomorfogenéticas se usó la clasificación definida por Rodríguez, 2014.

**Tabla 12**

*Unidades geo morfométricas*

Unidades geomorfométricas	
Ángulo de pendiente	Descripción
0° – 8°	Planicies
8° – 25°	Lomadas
25° – 50°	Laderas
50° – 90°	Escarpes

Nota: Clasificación de unidades geomorfológicas según el ángulo de la pendiente (Rodríguez,2014)

**Planicies**

En los alrededores cercanos a la zona de estudio se observó planicies que la mayoría se encuentran en las partes bajas de la carretera y conformado para materiales de suelo orgánico y son utilizados como zonas de cultivo y pastoreo por los pobladores.



Figura 4. En el gráfico se muestra las planicies presentes en la zonas de valle

## Laderas

Se identificó mayor cantidad de laderas cerca a los alrededores de Chilete, en su mayoría en los cerros de la carretera que está a la izquierda del río aguas abajo.

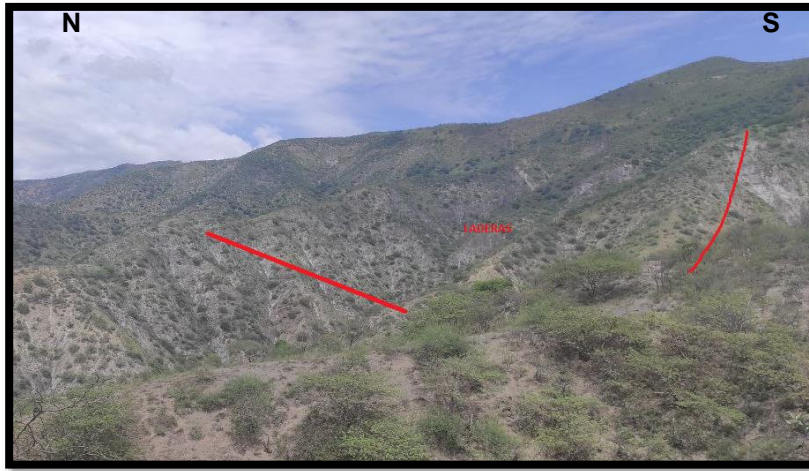


Figura 5. En el gráfico se muestra laderas a margen izquierdo de la carretera Chilete - tembladera

## Escarpes

Los escarpes se presentan mayormente en la formación Tembladera, que está al margen derecho del Río aguas abajo, y en los taludes de las carreteras.



Figura 6. En el gráfico se muestra escarpes a margen derecho de la carretera Chilete – tembladera

## **GEOLOGÍA REGIONAL**

La estratigrafía está representada por unidades del Cretácico, Paleógeno, Neógeno y Cuaternario y principalmente por rocas volcánicas (Ingemmet, 2014) las cuales se muestra a continuación

### **Formación Farrat (Ki-fa)**

Esta formación representa el nivel superior de la parte clástica del Cretáceo inferior. Consta de cuarcitas y areniscas blancas de grano medio a grueso, tiene un grosor promedio de 500 m. La formación Farrat suprayace con aparente concordancia a la formación Carhuaz y subyace, con la misma relación, a la formación Inca, dando la impresión en muchos lugares, de tratarse de un paso gradual. Por sus características litológicas, es común encontrar a las formaciones Farrat y conformando escarpas y altas cumbres agudas y largas,

### **Formación Tembladera (P-Te)**

Volcánico Tembladera es una secuencia de rocas volcánicas moderadamente plegadas, bien estratificadas. Litológicamente, la porción inferior se compone de bancos andesíticos, que se intercalan con brechas de la misma naturaleza, con matices gris-verdosos; hacia las partes superiores abundan tobas blanquecinas estratificadas en capas delgadas, alternantes con delgados lechos de areniscas y lutitas tobáceas, verdosas o moradas. El grosor aproximado es de 1,000 m. Volcánico Tembladera, puede definirse en base a sus relaciones estratigráficas. Así, la unidad reposa en discordancia angular sobre las series marinas cretáceas

### **Formación Chilete (P-Chi)**

Se denomina así, a una secuencia predominantemente piroclástica que aflora en el pueblo

de Chilete, suprayace con discordancia angular a los sedimentos cretáceos por el sector oriental y en la misma relación al Volcánico Tembladera. Asimismo, cuando yace directamente sobre la formación Huaylas sus relaciones estratigráficas son similares. El Volcánico Chilete infrayace con suave discordancia erosional al Volcánico San Pablo; en ambas secuencias se emplazan muchos sills dacíticos de color gris blanquecino dando la apariencia de blancos intercalados. Litológicamente, consiste de intercalaciones tobáceas, areniscas tobáceas, conglomerados lenticulares y materiales volcánicos retrabajados, mayormente andesíticos, bien estratificados.

La proporción volcánica es mayor y presenta matices que van desde el verde-violáceo hasta el gris claro. Las areniscas son generalmente rojizas y muchas veces incluyen granos casi enteros de feldespatos.

### **Formación San Pablo (P-Sp)**

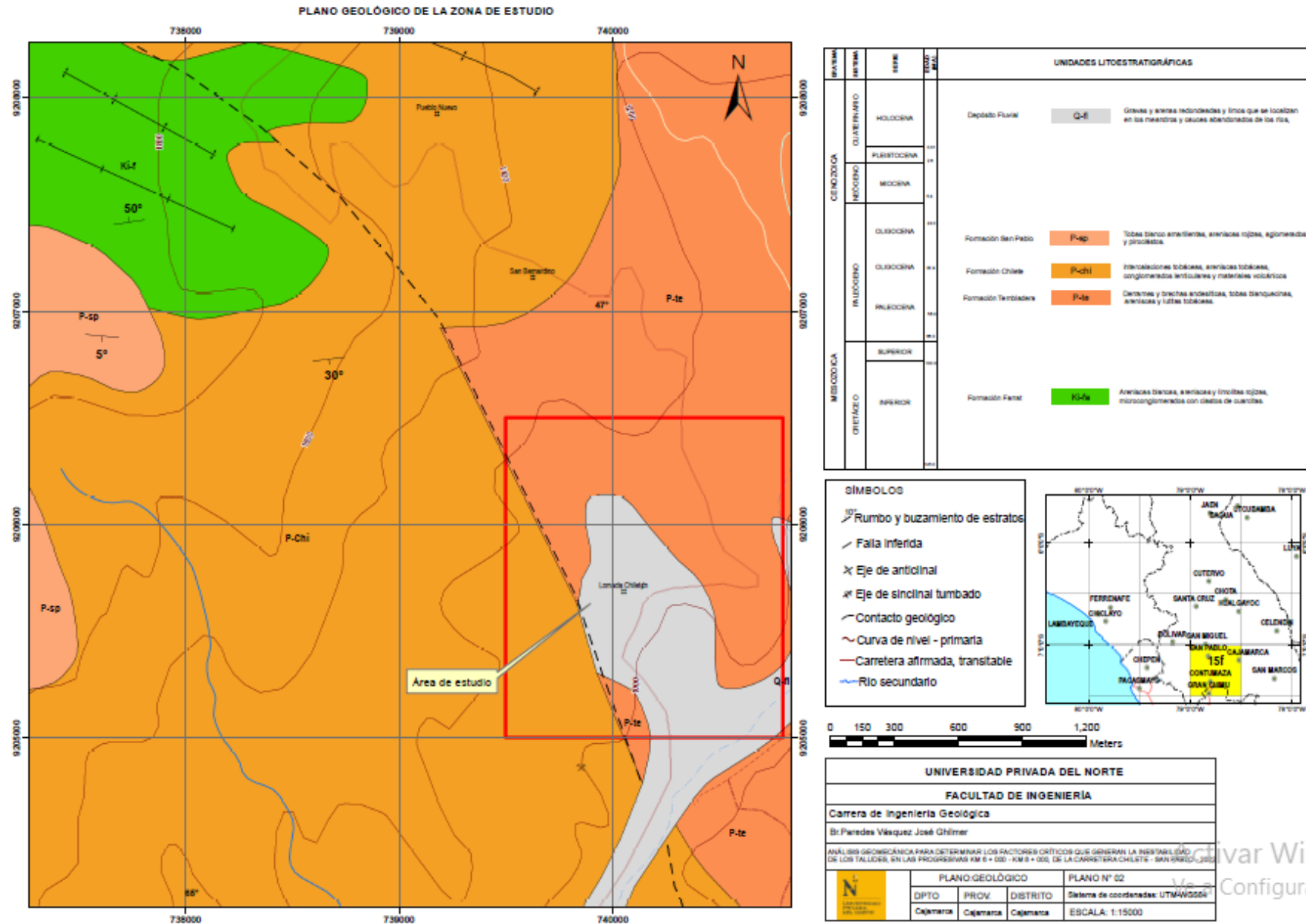
Se llama así a la secuencia superior del Grupo Calipuy, consiste de gruesos bancos de rocas volcánicas, intercaladas en la base con areniscas rojizas y en la parte superior de una espesa secuencia de aglomerados y piroclásticos bien estratificados. Alcanza un grosor estimado en 900 m. El Volcánico San Pablo aflora yaciendo con suave discordancia erosional al Volcánico Chilete, pero no sería raro encontrarlo descansando directamente sobre el Cretáceo en discordancia angular. Subyace al Volcánico Huambos con igual relación. Sus afloramientos se extienden ampliamente por la Cordillera Occidental, de tal forma que en muchos lugares, especialmente fuera del área, el Grupo Calipuy está representado sólo por estos volcánicos, cuya composición es generalmente dacítica y en menor proporción andesítica. Hacia el tope se destacan capas areno-lutáceas de color rojizo con lechos de calcedonia, a las que se intercala una gruesa secuencia de aglomerados, brechas y piroclásticos.



### **Depósito fluvial (Q-fl)**

están constituidos por una grava en matriz areno-arcillosa, con abundante material anguloso proveniente de las rocas circundantes. se han considerado los materiales con poco transporte y en los fluviales las diferentes terrazas dejadas por los ríos

Análisis geomecánico para determinar los factores críticos que generan la inestabilidad de los taludes en las progresivas Km 06+000 -Km 08+000 de la carretera Chilete – San Pablo, 2022.



### CAPÍTULO III. RESULTADOS

#### Parámetros geomecánicos

**Tabla 13**

*Ensayo de corte directo estándar en suelos A.S.T.M D 3080*

Clasificación S.U.C.S.	CL	ESTADO				INALTERADO	
DATOS DE MOLDE							
Molde circular	Diámetro (cm) 5.96	Altura (cm) 1.82	Área (cm <sup>2</sup> ) 27.899	Volumen (cm <sup>3</sup> ) 50.78	Peso (g) 75.84		
DATOS DEL ENSAYO							
Esfuerzo Normal (kg/cm <sup>2</sup> )	0.50 Kg/cm <sup>2</sup>		1.00 Kg/cm <sup>2</sup>		2.00 Kg/cm <sup>2</sup>		
Velocidad ensayo (mm/min)	0.152		0.104		0.055		
Peso del anillo + muestra (g)	162.210		162.180		162.200		
Peso Muestra (g)	86.370		86.340		86.360		
Deformación Final (mm)	-0.285		-0.594		-0.937		
Etapas	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	
Tara	1	2	3	4	5	6	
Peso de la tara (g)	11.15	11.03	11.16	11.15	9.91	9.96	
Peso tara + muestra húmeda (g)	97.52	103.32	97.50	106.54	96.27	99.84	
Peso tara + muestra seca (G)	82.34	84.51	81.34	85.72	80.76	82.14	
Altura (cm)	1.82	1.79	1.82	1.76	1.82	1.73	
Diámetro (cm)	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	
Contenido de humedad (%)	21.32%	25.60%	23.03%	27.92%	21.89%	24.52%	

Densidad húmeda (g/cm<sup>3</sup>)                      1.701            1.728            1.700            1.758            1.701            1.793

**Nota:** En esta presente tabla se muestran los resultados de datos de molde, datos de ensayo, con sus respectivas etapas inicial y final.

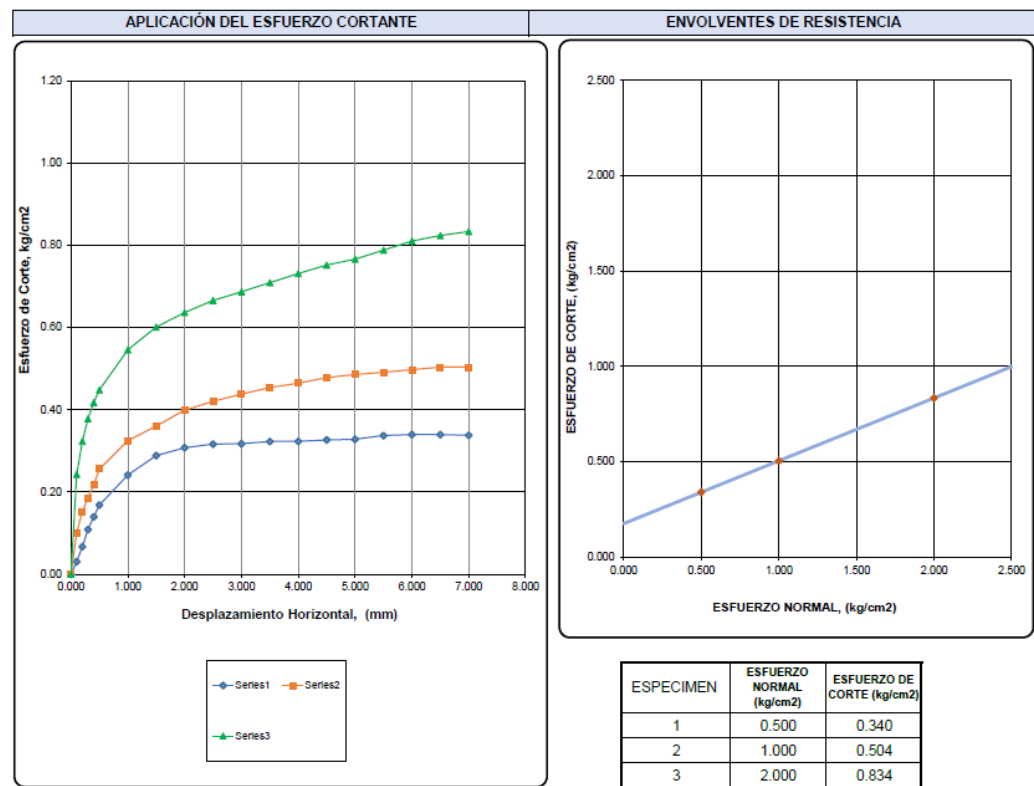
**Tabla 14**

En la siguiente tabla se muestra la etapa de aplicación de carga.

Clasificación S.U.C.S.	CL		ESTADO				INALTERADO				
ETAPA DE APLICACIÓN DE CARGA											
Desplazamiento	0.50 Kg/cm <sup>2</sup>			1.00 Kg/cm <sup>2</sup>			2.00 Kg/cm <sup>2</sup>				
horizontal (mm)	Carga		Esfuerzo		Carga		Esfuerzo		Carga		Esfuerzo
			de corte				de corte				de corte
	N	Kg	Kg		N	Kg	Kg		N	kg	Kg (cm <sup>2</sup> )
			(cm <sup>2</sup> )				(cm <sup>2</sup> )				
0.000	0.00	0.000	0.000		0.00	0.000	0.000		0.00	0.000	0.000
0.100	8.39	0.855	0.031		27.52	2.806	0.101		66.44	6.775	0.243
0.200	18.31	1.867	0.067		41.83	4.265	0.153		88.50	9.024	0.323
0.300	29.85	3.044	0.109		50.52	5.151	0.185		103.50	10.554	0.378
0.400	38.24	3.899	0.140		59.50	6.067	0.217		114.21	11.647	0.417
0.500	46.06	4.697	0.168		70.01	7.139	0.256		122.70	12.512	0.448
1.000	66.06	6.736	0.241		88.84	9.059	0.325		149.40	15.234	0.546
1.500	78.99	8.054	0.289		98.62	10.057	0.360		164.49	16.773	0.601
2.000	84.16	8.582	0.308		109.21	11.136	0.399		174.14	17.757	0.636
2.500	86.61	8.831	0.317		115.05	11.732	0.421		182.17	18.576	0.666

3.000	86.89	8.860	0.318	119.87	12.223	0.438	187.98	19.168	0.687
3.500	88.35	9.010	0.323	124.25	12.670	0.454	194.05	19.787	0.709
4.000	88.42	9.017	0.323	127.09	12.960	0.465	200.12	20.407	0.731
4.500	89.40	9.116	0.327	130.82	13.340	0.478	205.75	20.980	0.752
5.000	89.82	9.159	0.328	132.93	13.555	0.486	209.68	21.381	0.766
5.500	92.34	9.416	0.338	134.39	13.704	0.491	215.66	21.991	0.788
6.000	92.97	9.480	0.340	136.15	13.883	0.498	221.73	22.610	0.810

**Nota:** Ensayo de corte directo estándar en suelos, se muestra su desplazamiento, carga y esfuerzo de corte.



**Figura 07** En esta figura se muestra el esfuerzo de corte, Kg/cm<sup>2</sup>, en donde se muestra la aplicación del esfuerzo cortante y envolvente de resistencia, en desplazamiento horizontal y en esfuerzo normal. **Fuente:** Lab. Guersan ingenieros.

**Tabla 15**

Parámetros de resistencia de corte.

PARAMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE		
Cohesión =	0.475	Kg/ cm <sup>2</sup>
Angulo de fricción interna	18.22	°

**Nota:** La figura muestran los parámetros de cohesión y el ángulo de fricción interna.

**Tabla 16**

*Ensayo de Propiedades Físicas en Rocas (ISRM)*

Probeta N°	Tipo de Roca	Diámetro cm	Altura cm	Densidad Seca gr/cm <sup>3</sup>	Porosidad Aparente %	Absorción %	Peso Específico Aparente kN/m <sup>3</sup>
1	-	-	-	2.63	0.86	0.31	25.58
2	-	-	-	2.56	1.08	0.40	25.15
3	-	-	-	2.64	0.61	0.25	25.85
4	-	-	-	2.47	3.92	1.55	24.26
5	-	-	-	2.49	3.93	1.55	24.26

**Nota :** Estimación del peso unitario de la Roca con muestras de las estaciones geomecánicas



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

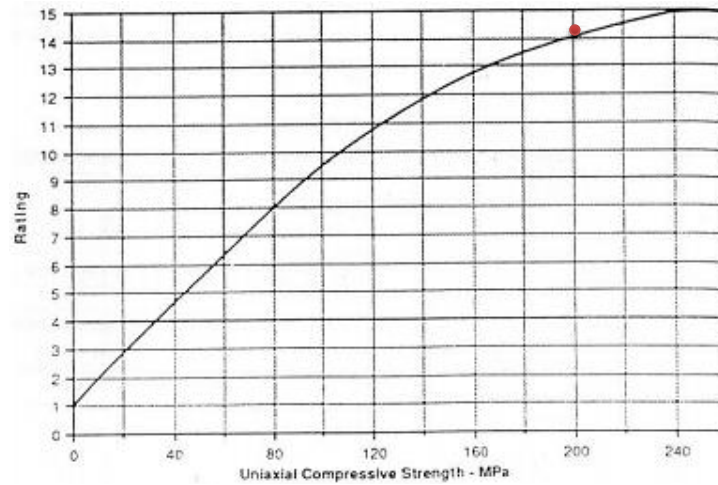


Figura 8: Ploteo de la valoración en MPa de la resistencia a la compresión Uniaxial.

Fuente: Gavilanes (2002).

Asimismo, para la puntuación de los parámetro de RQD se empleo la siguiente figura

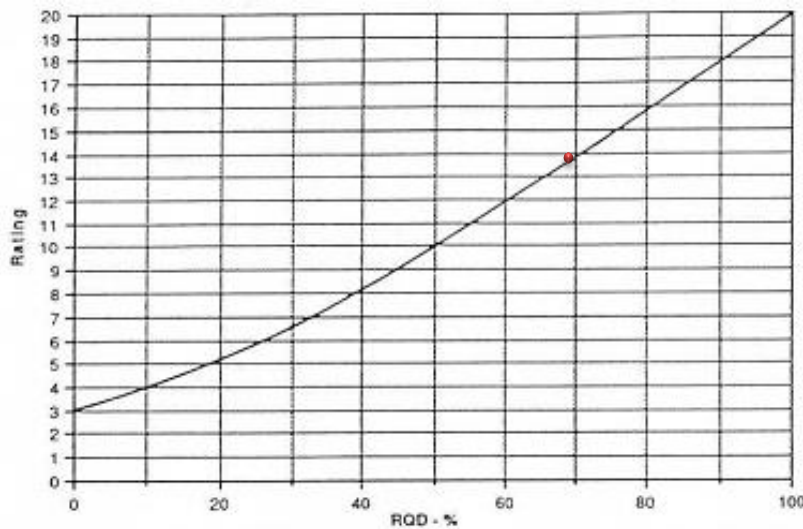


Figura 9: Ploteo de la valoración en porcentaje del RQD.

Fuente: Gavilanes (2002).



Además, para la puntuación del parámetro del espaciado se utilizó la siguiente figura

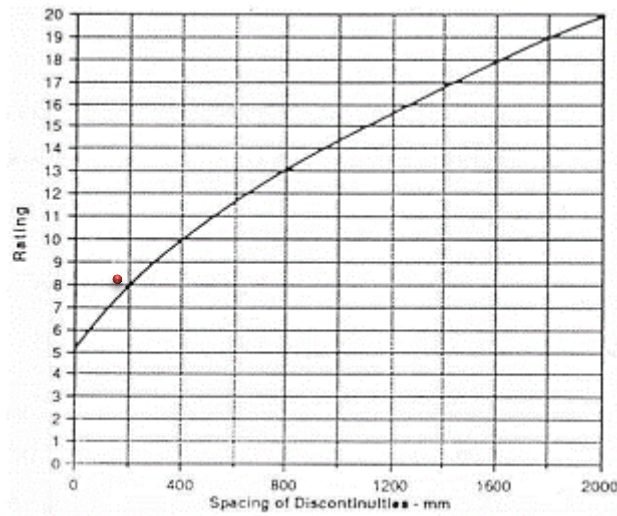


Figura 10: ploteo de valoración del espaciado entre discontinuidades en mm.

Fuente: Gavilanes (2002).

**Tabla 1** 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 Plote la roca es del Tipo Buena “B”

Fuente: Gavilanes (2002)

A continuación se calculara 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

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

$$F1 = [1 - \sin(145^\circ - 150^\circ)]^2$$

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

$$F1 = 0.833$$

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

$$F2 = \tan(66)^2$$

$$F2 = 1$$

$$F3 = b_s - b_j = 80 - 66 = 14^\circ \text{ por lo que la puntuación será de}$$

$$F3 = -25$$

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

$$SMR = 56 + (0.833 \times 1 \times -25) + 8$$

$$SMR = 56 - 20.825 + 8$$

$$SMR = 43.175$$

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

Fuente: Gavilanes (2002)

Según la el sistema de clasificación SMR se sugiera la 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
III b	41 - 60	(Cunetas al pie del talud y/o malla) Pernos sistemáticos/Anclajes Hormigón lanzado localizado Muro de pie
IV a	31 - 40	Anclaje Hormigón lanzado sistemático Muro de pie y/o concreto (Reexcavación). Drenaje
IV b	21 - 30	Hormigón lanzado reforzado sistemático Muro de pie y/o concreto (Reexcavación). Drenaje profundo
V a	nov-20	Muros de contención Reexcavación

Fuente: (Gavilanes & Andrade, 2004)

Figura 12: 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 utilizara 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:13 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)

**Tabla 19**

*Maapeo Geomecánico de las discontinuidades*

**TALUD**  $\frac{DIP: 39}{DIP\ DIRECTION: 130}$  **AZIMUT 350°**

ESTACIÓN 1			ESTACIÓN 2			ESTACIÓN 3		
FAM	BUZ	AZIMUT	FAM	BUZ	AZIMUT	FAM	BUZ	AZIMUT
1	36	N119	1	33	N120	1	36	N119
1	37	N122	1	40	N124	1	34	N117
1	32	N115	1	35	N118	1	32	N115
1	34	N117	1	36	N119	1	33	N120
1	38	N121	1	37	N122	1	40	N124
1	33	N120	1	32	N115	1	35	N118
1	40	N124	1	32	N115	1	32	N115
1	35	N118	1	34	N117	1	34	N117
2	66	N149	2	61	N139	2	63	N148
2	68	N140	2	70	N146	2	69	N150
2	65	N142	2	63	N148	2	61	N139
2	67	N145	2	69	N150	2	70	N146
2	63	N148	2	65	N142	2	66	N149
2	69	N150	2	67	N145	2	68	N140
2	61	N139	2	66	N149	2	65	N142
2	70	N146	2	68	N140	2	67	N145
3	89	N30	3	84	N37	3	81	N29
3	88	N33	3	86	N34	3	83	N36
3	84	N37	3	87	N32	3	89	N30
3	86	N34	3	81	N29	3	88	N33
3	87	N32	3	83	N36	3	84	N37
3	81	N29	3	89	N30	3	86	N34
3	83	N36	3	88	N33	3	87	N32
4	56	N300	4	51	N299	4	56	N300
4	58	N310	4	57	N306	4	58	N310
4	51	N299	4	55	N304	4	58	N302
4	57	N306	4	56	N300	4	60	N311
4	55	N304	4	58	N310	4	51	N299
4	58	N302	4	58	N302	4	57	N306
4	60	N311	4	60	N311	4	55	N304

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

## Análisis estereográfico de las discontinuidades en el talud actual

### Falla Planar

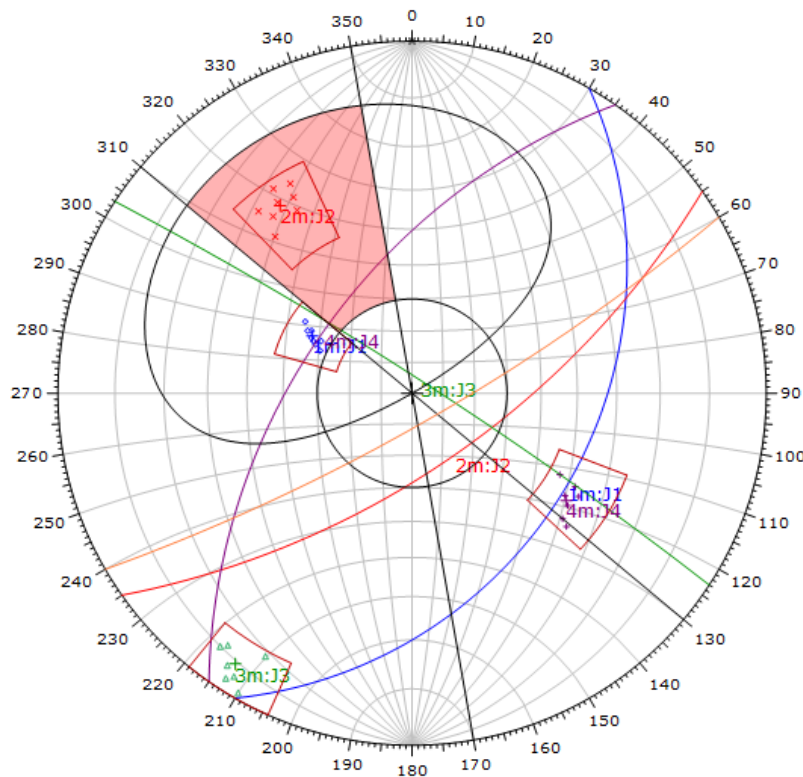


Figura N° 14 Análisis cinemático de roturas utilizando como criterio para establecer el área crítica el cono de fricción, la envolvente del talud y límites laterales de  $\pm 20$ . Se aprecia que el sistema de discontinuidades J2 reúne las condiciones geométricas y de fricción para producir una rotura planar

<b>Kinematic Analysis</b>	Planar Sliding		
<b>Slope Dip</b>	80		
<b>Slope Dip Direction</b>	150		
<b>Friction Angle</b>	30°		
<b>Lateral Limits</b>	20°		
	<b>Critical</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
Planar Sliding (All)	8	30	26.67%
Planar Sliding (Set 2: J2)	8	8	100.00%

	<b>Color</b>	<b>Dip</b>	<b>Dip Direction</b>	<b>Label</b>
<b>Mean Set Planes</b>				
1m	<span style="color: blue;">■</span>	36	120	J1
2m	<span style="color: red;">■</span>	66	145	J2
3m	<span style="color: green;">■</span>	85	33	J3
4m	<span style="color: purple;">■</span>	56	305	J4

Figura N° 15 Valores de ángulo de fricción, orientación del talud, dirección y buzamiento de lo planos promedios de las familias de discontinuidades. Con probabilidad de condiciones geométricas y de fricción del 100 % para producirse la falla planar en la familia J2..

### Falla en Cuña

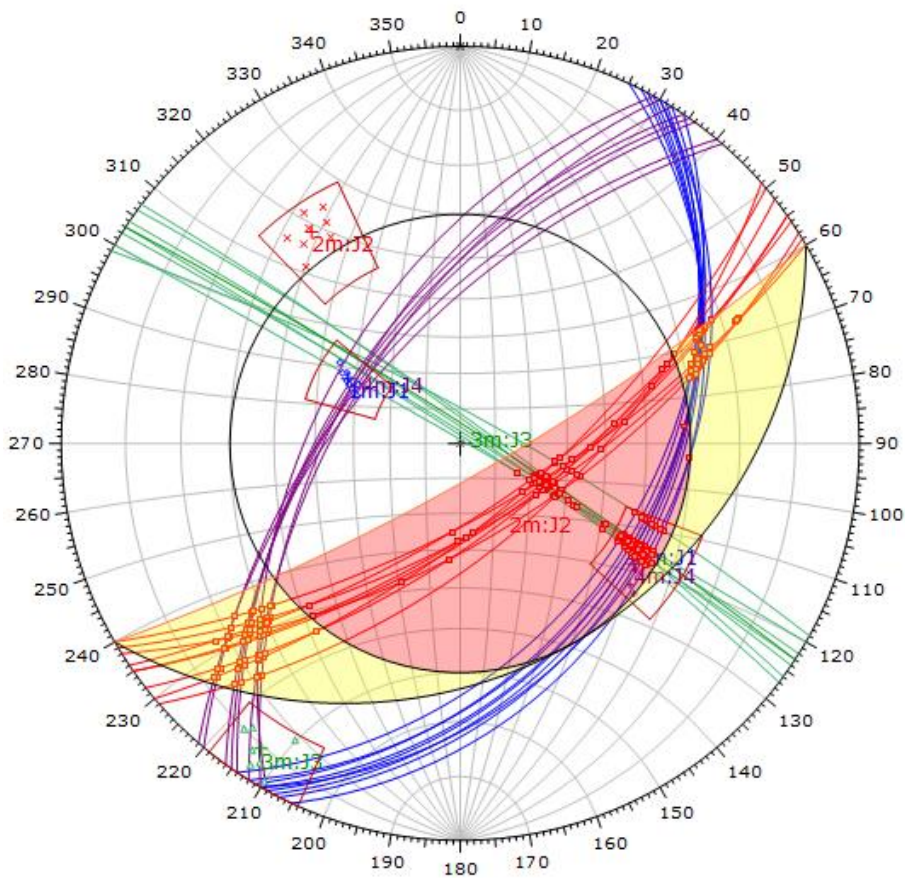


Figura N° 16 Análisis cinemático de rotura teniendo en cuenta como criterio para definir el área crítica el cono de fricción, y la envolvente del talud. Se aprecia que las intersecciones de la familia J1 y J3 y la familia J2 y J3 reúnen las condiciones geométricas y de fricción para producir dos Cuñas

Symbol	Feature
■	Critical Intersection

<b>Kinematic Analysis</b>	Wedge Sliding
<b>Slope Dip</b>	80
<b>Slope Dip Direction</b>	150
<b>Friction Angle</b>	30°

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	248	435	57.01%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
<b>Mean Set Planes</b>				
1m	■	36	120	J1
2m	■	66	145	J2
3m	■	85	33	J3
4m	■	56	305	J4

Figura N°17 Valores de ángulo de fricción, orientación del talud, dirección y buzamiento de lo planos promedios de las familias de discontinuidades. Con probabilidad de condiciones geométricas y de fricción del 57.01 % para producirse fallas en cuña.

### Falla en vuelco

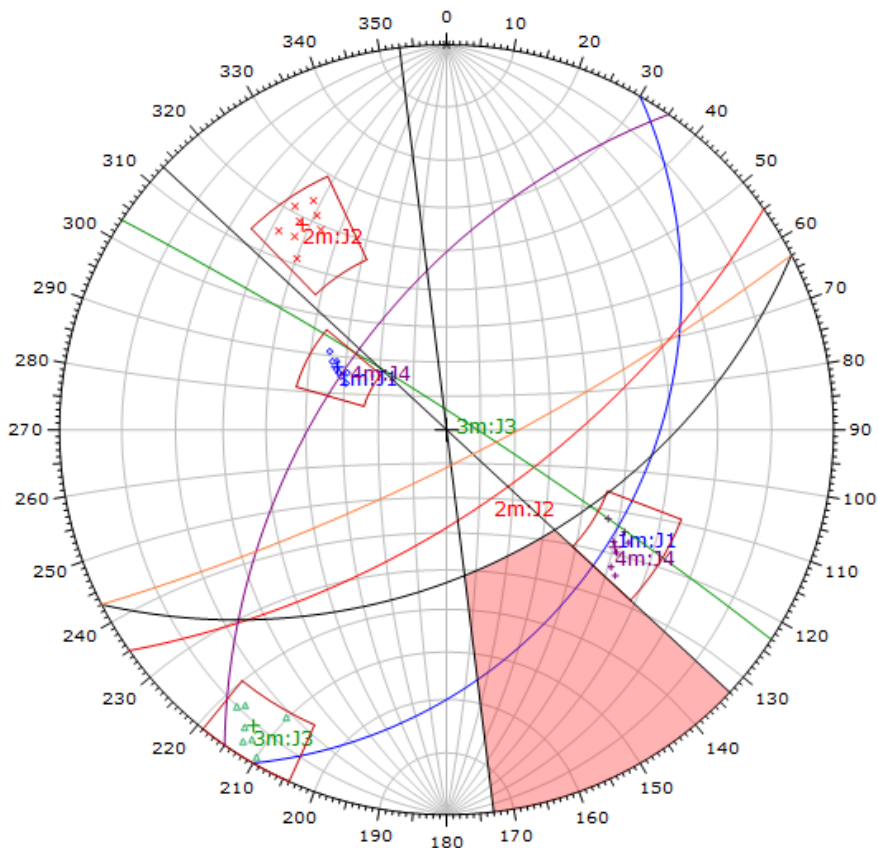


Figura N° 18 Análisis cinemático utilizando como criterio para definir el área crítica límites laterales de  $\pm 20^\circ$ , y un plano auxiliar relacionado al talud y al ángulo de fricción. Se puede apreciar que no se Produce la rotura en vuelco por ninguno de los sistemas de discontinuidades según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

<b>Kinematic Analysis</b>	Flexural Toppling		
<b>Slope Dip</b>	80		
<b>Slope Dip Direction</b>	153		
<b>Friction Angle</b>	30°		
<b>Lateral Limits</b>	20°		
	<b>Critical</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
Flexural Toppling (All)	0	30	0.00%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
<b>Mean Set Planes</b>				
1m	<span style="color: blue;">■</span>	36	120	J1
2m	<span style="color: red;">■</span>	66	145	J2
3m	<span style="color: green;">■</span>	85	33	J3
4m	<span style="color: purple;">■</span>	56	305	J4

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



## **ANÁLISIS DE ESTABILIDAD**

### **Cálculo del Factor de Seguridad**

A continuación, calcularemos el factor de seguridad en el talud para los distintos tipos de rotura que se ha evidenciado en el Software Dips. Para lo cual se analizará la sección del talud condiciones estáticas y pseudoestáticas. Este análisis consiste en determinar si existe suficiente resistencia de los parámetros de rugosidad y relleno para soportar los esfuerzos de cortante que tienden a causar la falla o deslizamiento.

El procesamiento se realizó con el software Rocplane y Swedge de Rocscience, mediante dos métodos (Mohr Columb), para esto tendremos en cuenta la orientación de las discontinuidades críticas de las distintas estaciones geomecánicas, el perfil del talud y los valores de peso Unitario cohesión y ángulos de fricción.

### **Sismicidad**

Los sismos son fenómenos naturales causados por movimientos de las fallas geológicas en la corteza terrestre. Al moverse las fallas, se producen ondas de diferentes tipos y de gran poder, las cuales viajan a través de las rocas y pueden activar deslizamientos de tierra. En el caso de un sismo, existe el triple efecto de aumento del esfuerzo cortante, disminución de la resistencia por aumento de la presión de poros y deformación, asociados con la onda sísmica; pudiéndose llegar a la falla al cortante y hasta la licuación en el caso de los suelos granulares saturados. (Suárez Díaz, 2009)

## Zonas Sísmicas del Perú

El territorio nacional se considera dividido en cuatro zonas. La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como en la información neotectónica. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016)

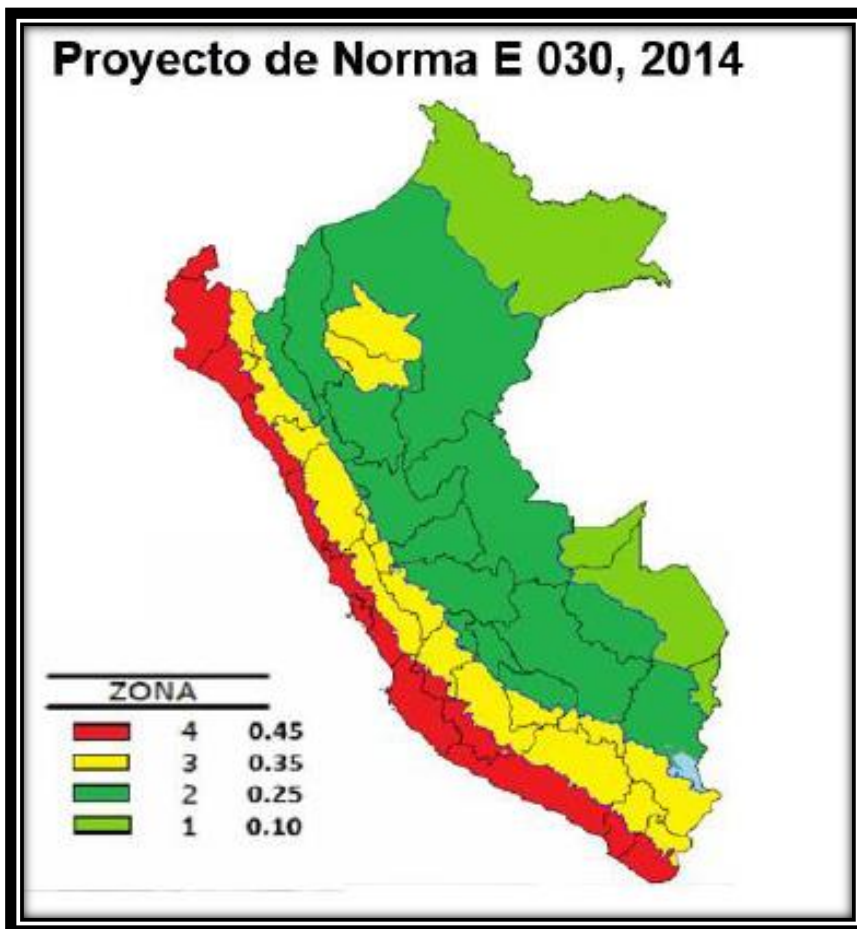


Figura 20. Zonas sísmicas del Perú. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016).

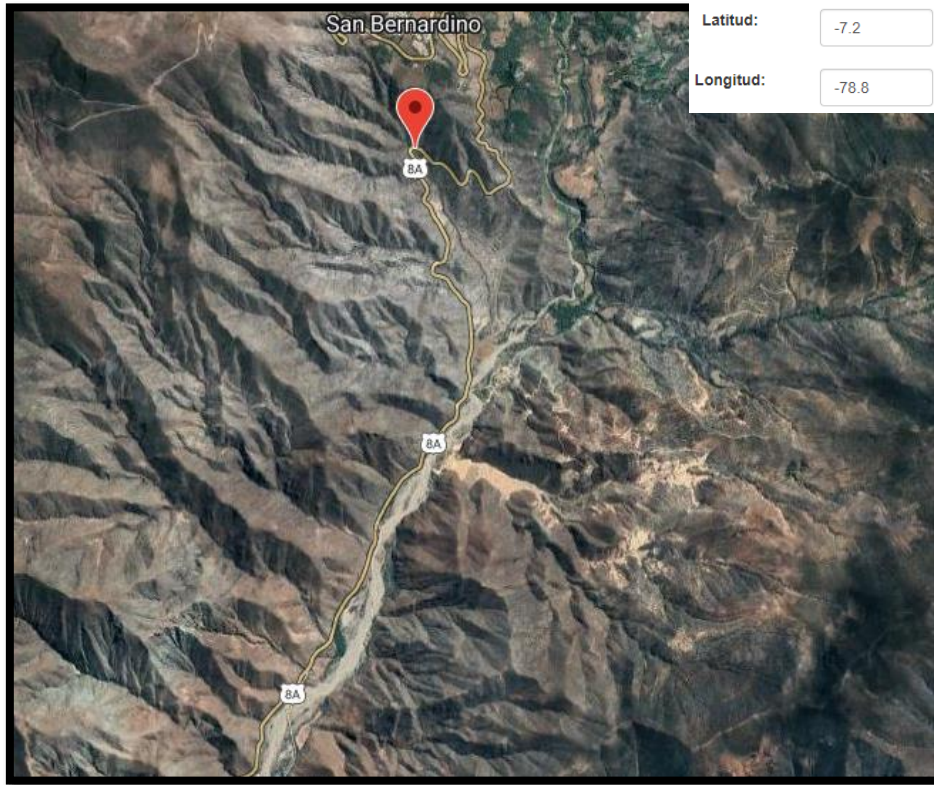


Figura N°21 Ubicación de las coordenadas para la obtención del coeficiente de simicidad

### Coefficiente 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 Chilete – San Pablo	-7.2	-78.8

PE = Probabilidad de Excedencia.

PO = Periodo de Operación en años.

TO = Tiempo de Retorno en años.

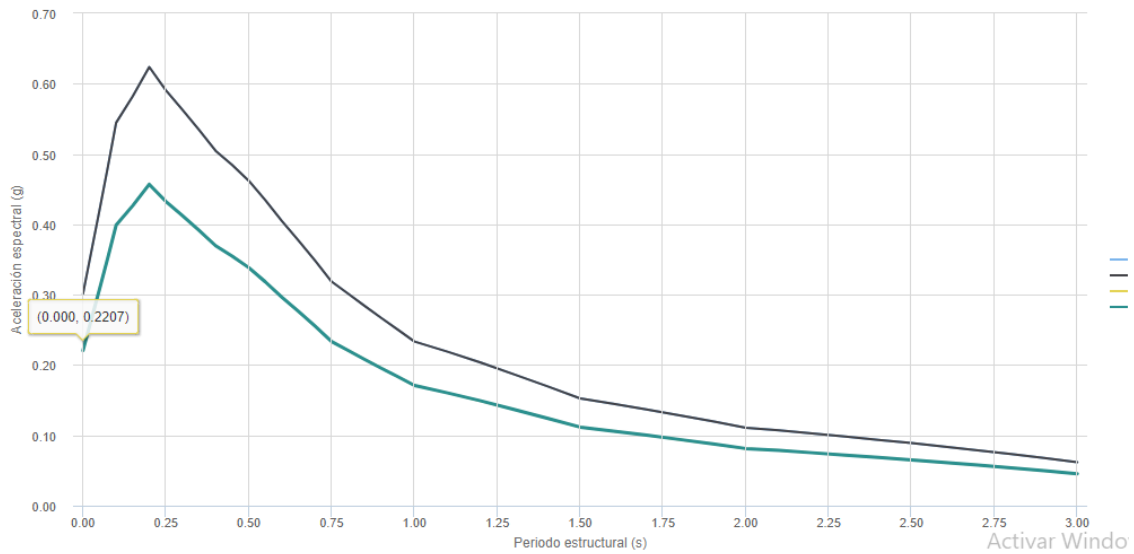


Figura N°22 Gráfico de espectro de peligro uniforme con un periodo de retorno de 475 años

Para la sección de análisis se utilizaron los datos de peso específico, cohesión y fricción de las rocas andesitas presente en el talud, y un coeficiente de sismicidad de 0.2207, teniendo en consideración la estaciones geomecánicas.

## Rotura Planar

Para evaluar la rotura Planar producida por el Sistema de discontinuidades de la Familia J02 se evaluara el factor de seguridad en condiciones secas y Saturadas para las condiciones estáticas y Pseudoestáticas, además de realizar un análisis de sensibilidad para las correspondientes recomendaciones

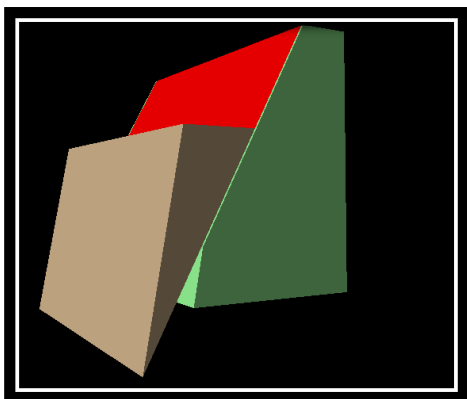


Figura N°23 Vista en Perspectiva del posible deslizamiento del Bloque de roca formado por la discontinuidad crítica de la Familia J02.

## Condiciones Estáticas y Secas

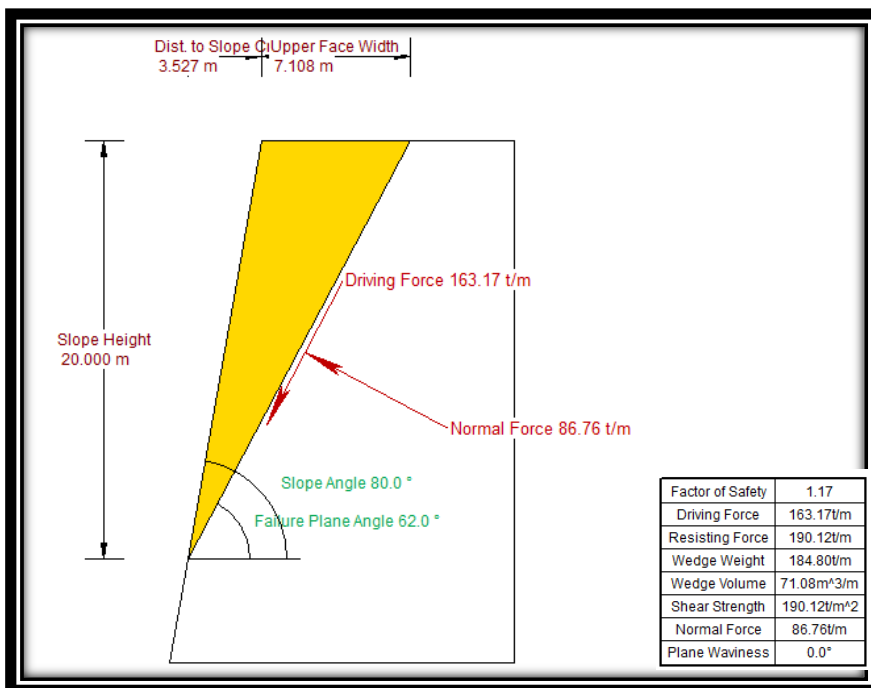


Figura N°24 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud no cumple las condiciones de estabilidad según la Norma, en condiciones secas y estáticas con un Factor de seguridad de 1.17 , por lo cual no se podría producir una falla planar en estas condiciones.

### Condiciones estáticas y saturadas

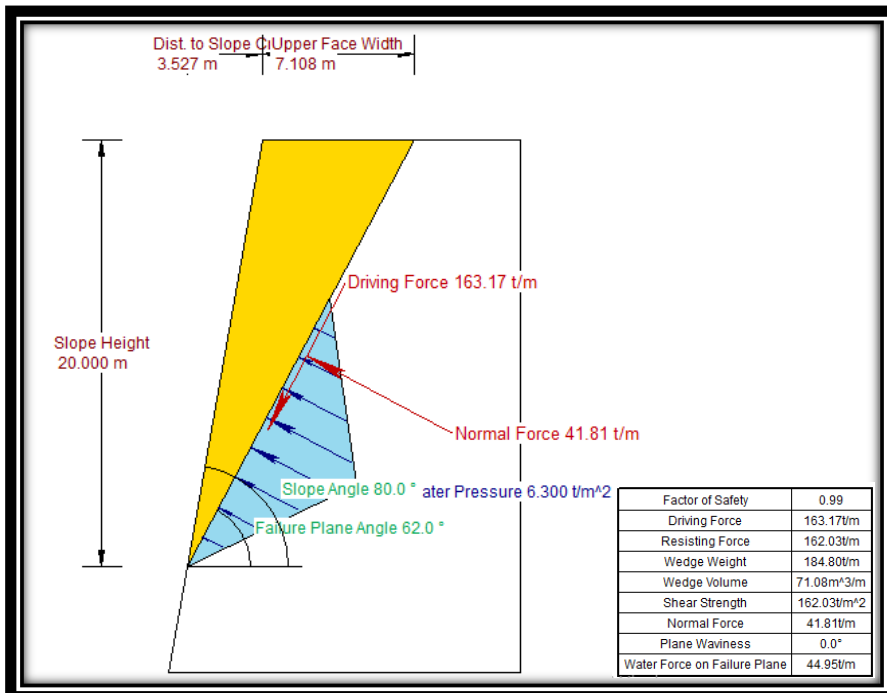


Figura N°25 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es inestable en condiciones saturadas y estáticas con un Factor de seguridad de 0.99 por lo cual se produce la falla planar en estas condiciones.

### Condiciones Pseudoestáticas y secas

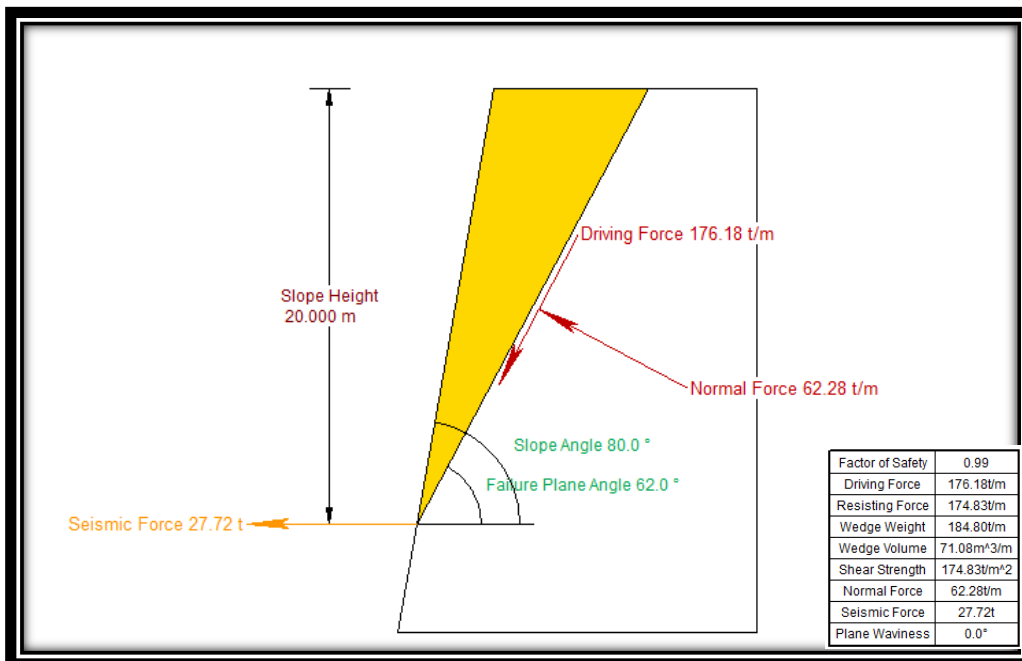


Figura N°26 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es inestable en condiciones secas y Pseudoestáticas con un coeficiente de sismicidad de 0.2207 se obtiene de seguridad de 0.99 por lo cual se produce la falla planar en estas condiciones.

### Condiciones Pseudoestáticas y Saturadas

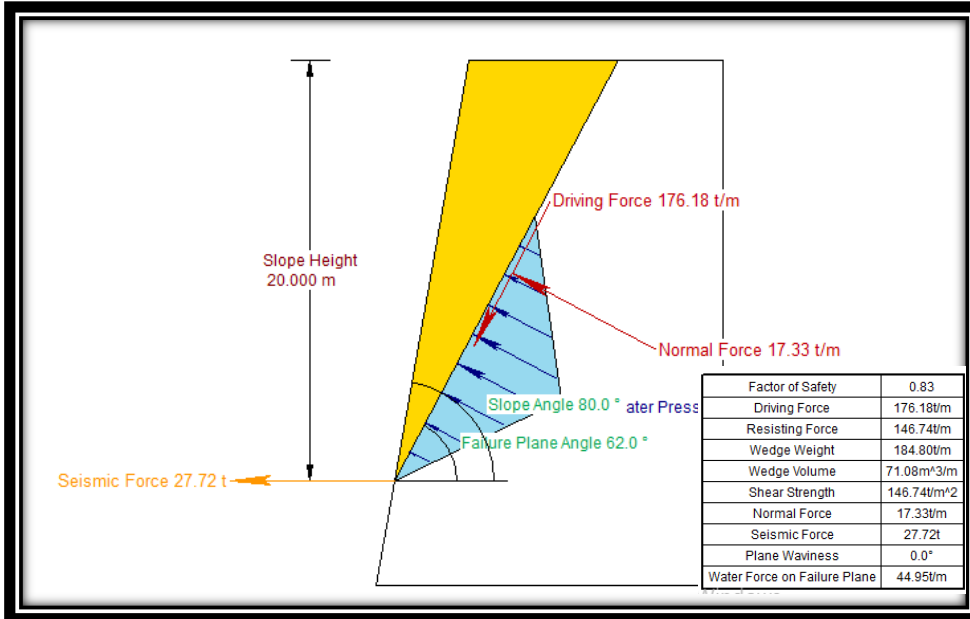


Figura N°27 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es inestable en condiciones saturadas y con un coeficiente de sismicidad de 0.2207 se obtiene de seguridad de 0.83 por lo cual se produce la falla planar en estas condiciones.

### Análisis de Sensibilidad

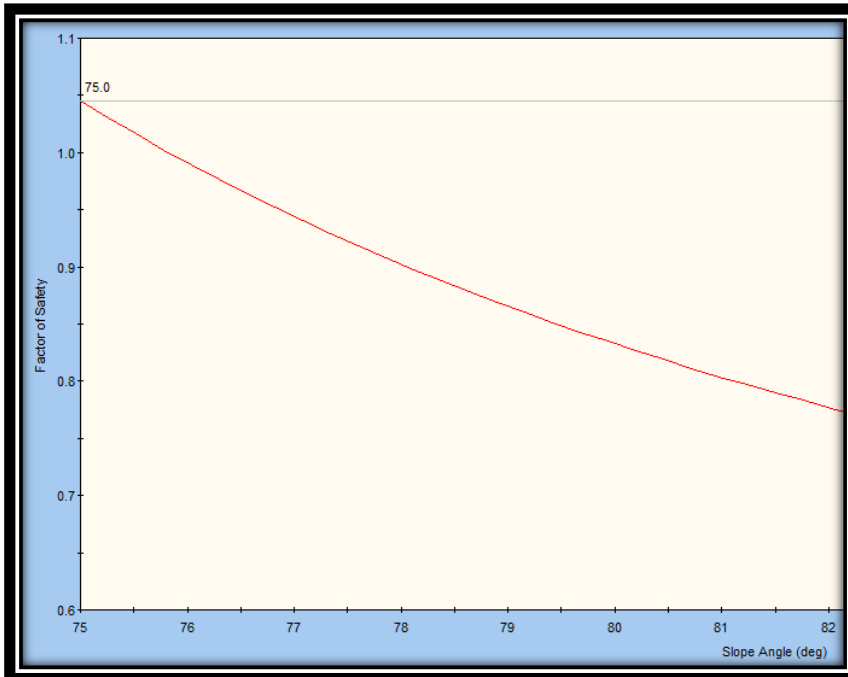


Figura N°28 Análisis de Sensibilidad que muestra que para que el talud tenga un factor de seguridad mayor a 01 el ángulo de buzamiento del talud debe ser menor a 75° en condiciones pseudo- estáticas y saturadas.

A continuación se muestra un cuadro resumen del factor de seguridad para las distintas condiciones para rotura planar del Set J02

**Tabla N<sup>a</sup>20**

*Condiciones de Análisis de la rotura planar del Set J02 (Estático y Pseudo-estático)*

<b>Condiciones de Análisis</b>			
<b>Estático</b>		<b>Pseudo-estático</b>	
<b>Secas</b>	<b>Saturadas</b>	<b>Secas</b>	<b>Saturadas</b>
1.17	0.99	0.99	0.83

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

A fin de evitar la saturación de las discontinuidades del macizo rocoso y el fallamiento por rotura planar se recomienda realizar obras de drenaje a fin de mantener el grado de saturación por debajo del 50% en cuanto geometría del talud se recomienda cambiar la geometría del talud con un buzamiento de 60°.

### **Rotura en Cuña**

Para la rotura en Cuña se evaluará 02 Cuña evidenciadas en el software dips, la cual la primera es producida por el Sistema de discontinuidades de la Familia J01 y j03, mientras que la segunda es producida por las familias J02 y J03 . calculando el factor de seguridad en condiciones secas y Saturadas para las condiciones estáticas y Pseudoestáticas,



### Cuña producida por J01 y J03

Condiciones Estáticas y Secas

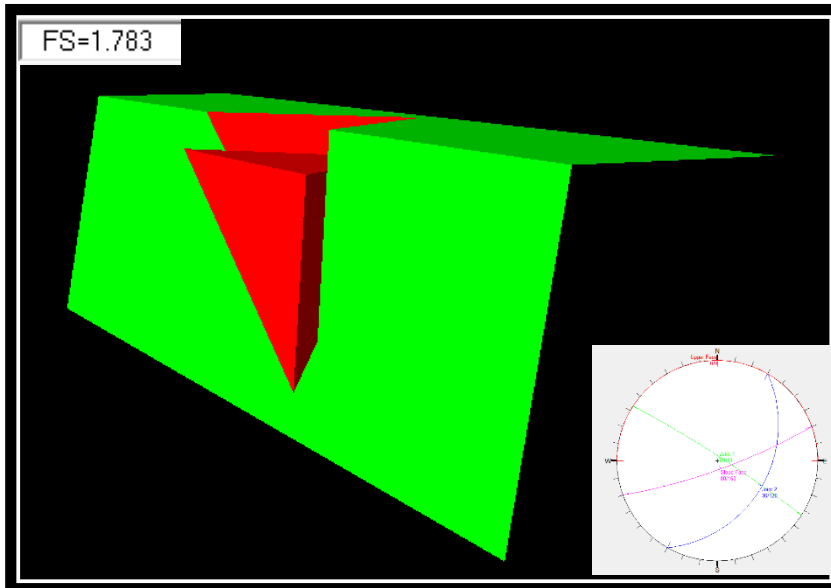


Figura N°29 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud estable en condiciones secas y estáticas con un Factor de seguridad de 1.783, por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones.

Condiciones estáticas y saturadas

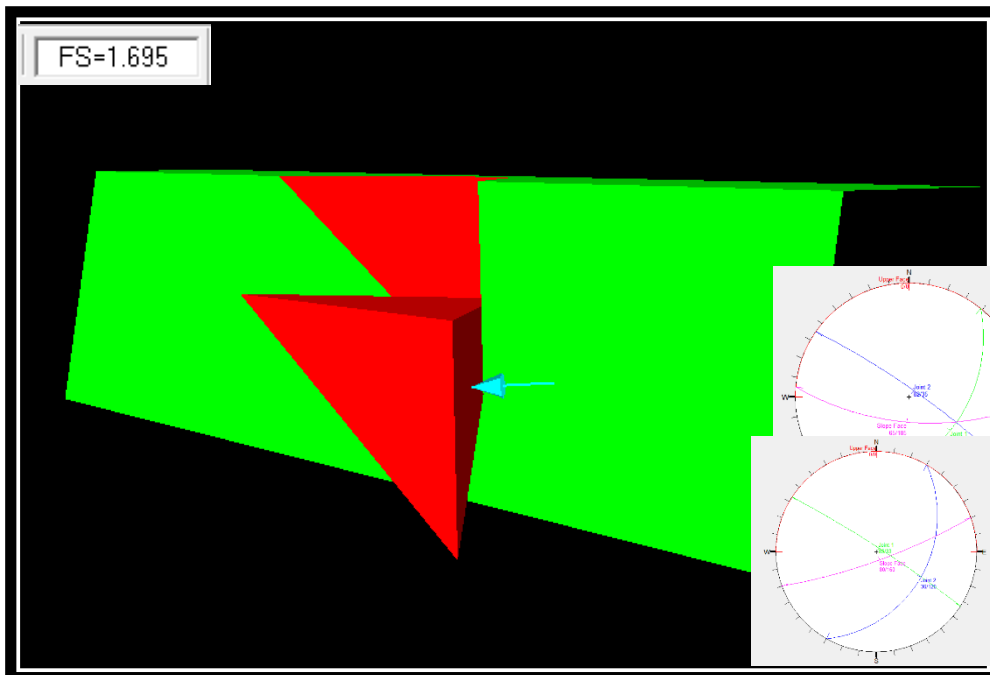


Figura N°30 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y estáticas con un Factor de seguridad de 1.695 por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones.

Condiciones Pseudoestáticas y secas

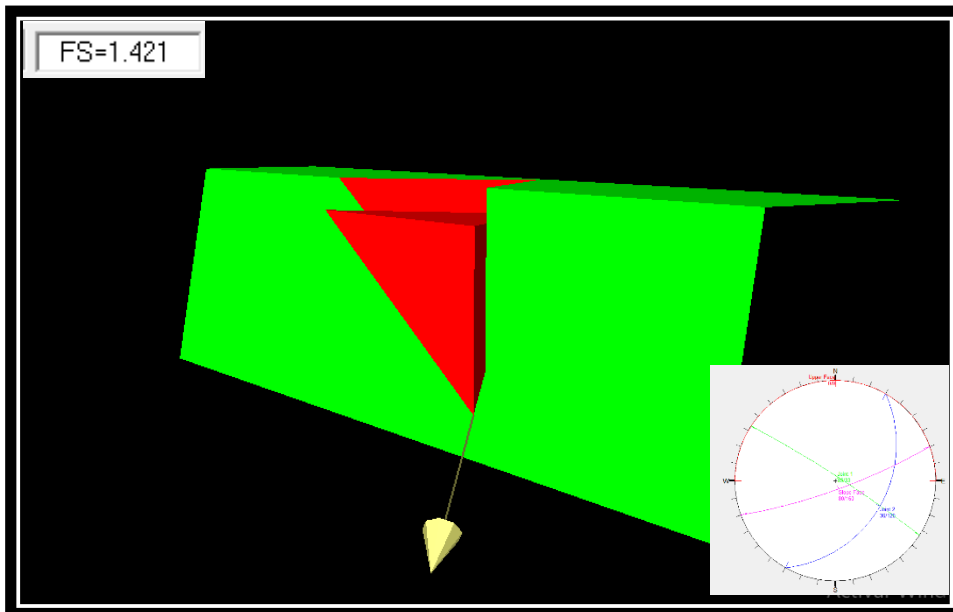


Figura N°31 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y con un coeficiente de sismicidad de 0.2207 se obtiene de seguridad de 1.421 por lo cual no se produce la falla en cuña.

Condiciones Pseudoestáticas y Saturadas

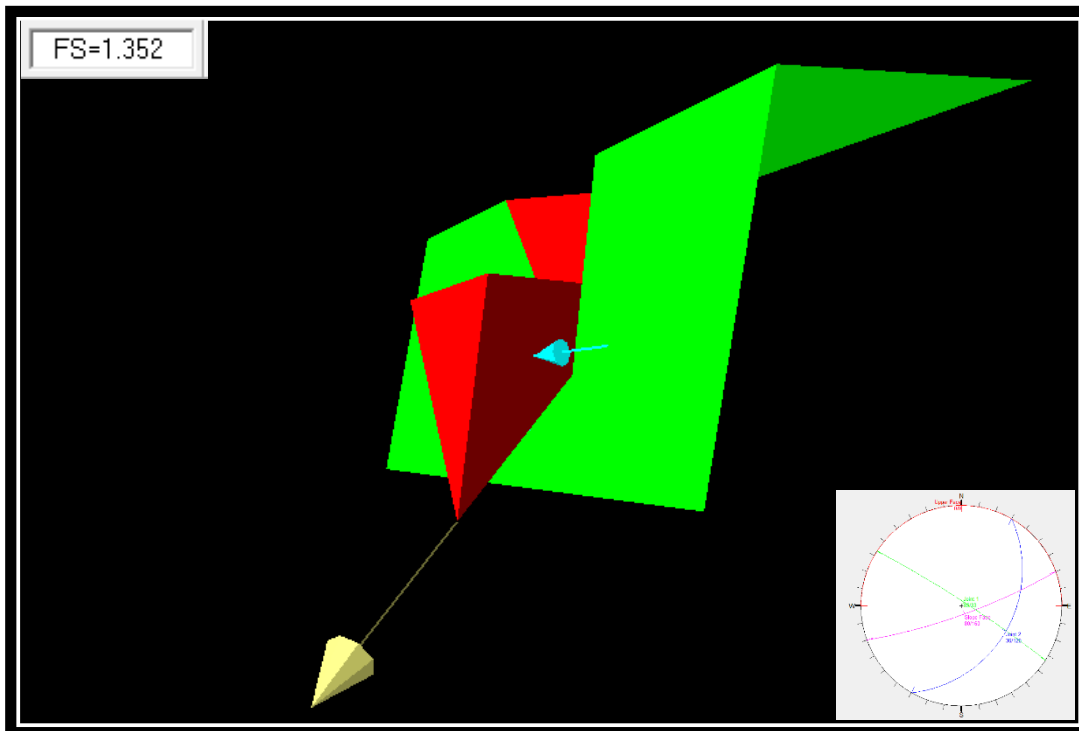


Figura N°32 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y con un coeficiente de sismicidad de 0.2207 se obtiene de seguridad de 1.352 por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones.

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 N° 21**

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

<b>Condiciones de Análisis</b>			
<b>Estático</b>		<b>Pseudo-estático</b>	
<b>Secas</b>	<b>Saturadas</b>	<b>Secas</b>	<b>Saturadas</b>
1.783	1.695	1.421	1.352

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

Debido a que no se produce la rotura de la cuña n°01 las recomendaciones para asegurar la estabilidad son las mismas que se realizaron para la rotura planar

### Cuña producida por J02 y J03

Condiciones Estáticas y Secas

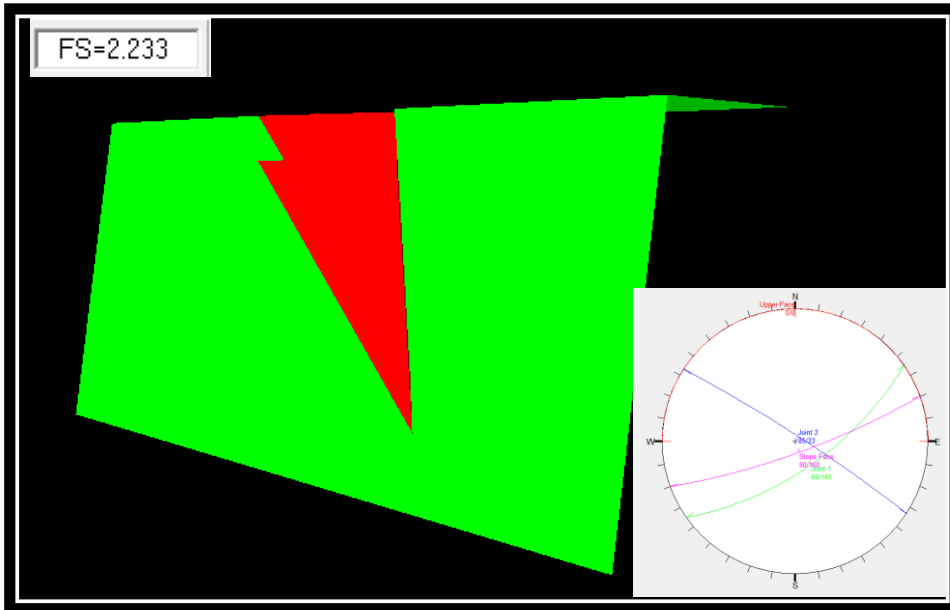


Figura N°33 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud estable en condiciones secas y estáticas con un Factor de seguridad de 2.233 , por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones.

Condiciones estáticas y saturadas

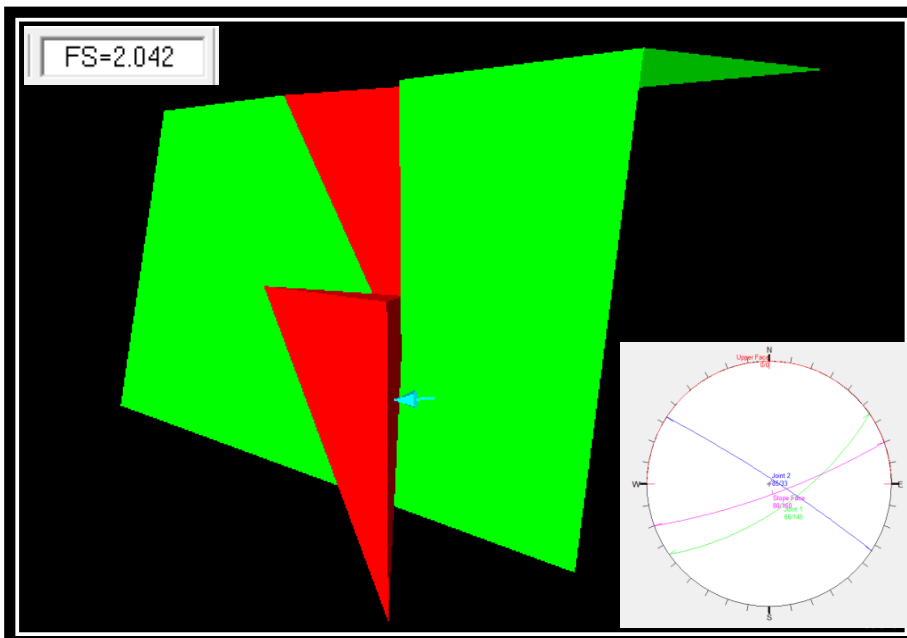


Figura N°34 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y estáticas con un Factor de seguridad de 2.042 por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones.

Condiciones Pseudoestáticas y secas

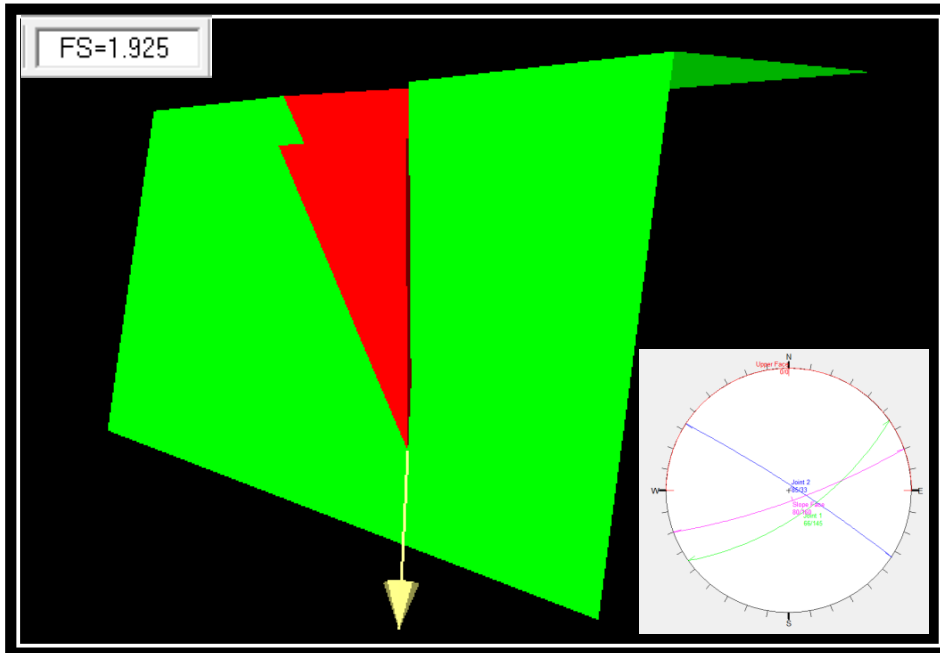


Figura N°35 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y con un coeficiente de sismicidad de 0.2207 se obtiene de seguridad de 1.925 por lo cual no se produce la falla en cuña.

Condiciones Pseudoestáticas y Saturadas

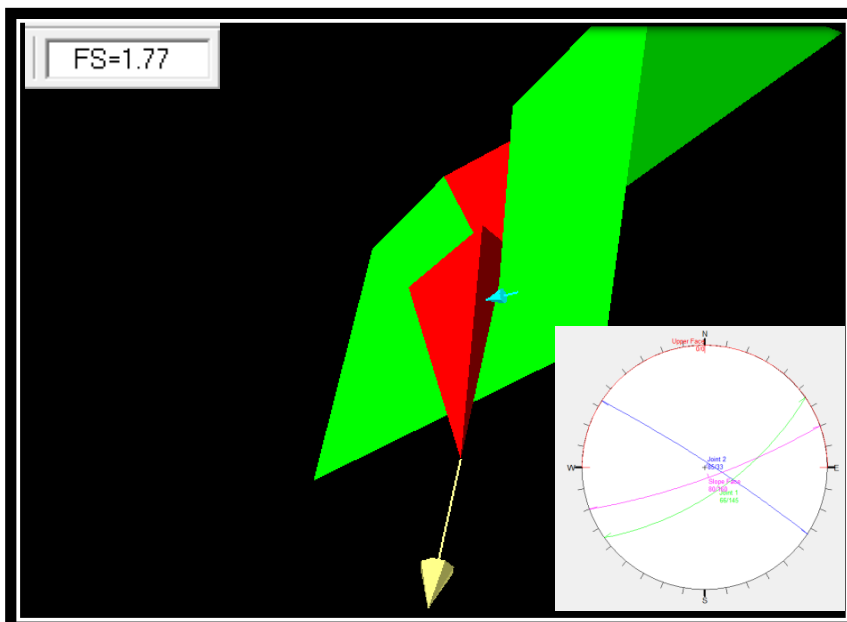


Figura N°36 Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y con un coeficiente de sismicidad de 0.2207 se obtiene de seguridad de 1.77 por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones.

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 J02 y J03

**Tabla N°22**

*Condiciones de Análisis de la rotura en cuña de los Sets J02 y J03 (Estático y Pseudo-estático)*

Condiciones de Análisis			
Estático		Pseudo-estático	
Secas	Saturadas	Secas	Saturadas
1.783	2.233	1.925	1.77

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

FUENTE: Propia.

Debido a que no se produce la rotura de la cuña n°02 entre las familias J2 y J3 las recomendaciones para asegurar la estabilidad son las mismas que se realizaron para la rotura planar.

### Análisis del Talud en condiciones Estáticas

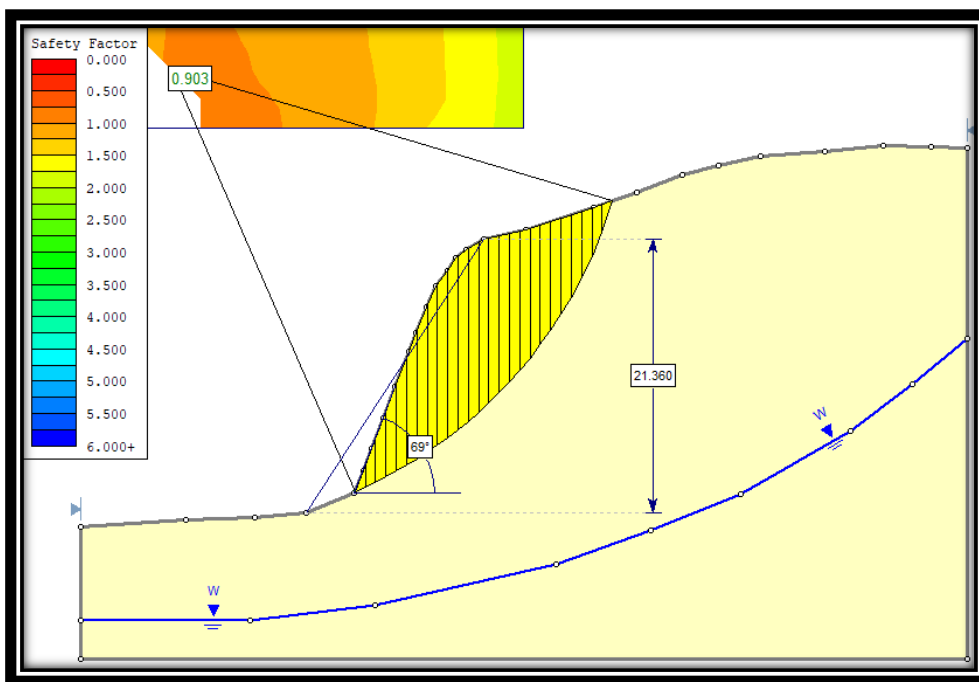


Figura N°37 Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud es inestable con un Factor de seguridad de 0.903 en condiciones estáticas para el talud con un ángulo de inclinación de 69°.

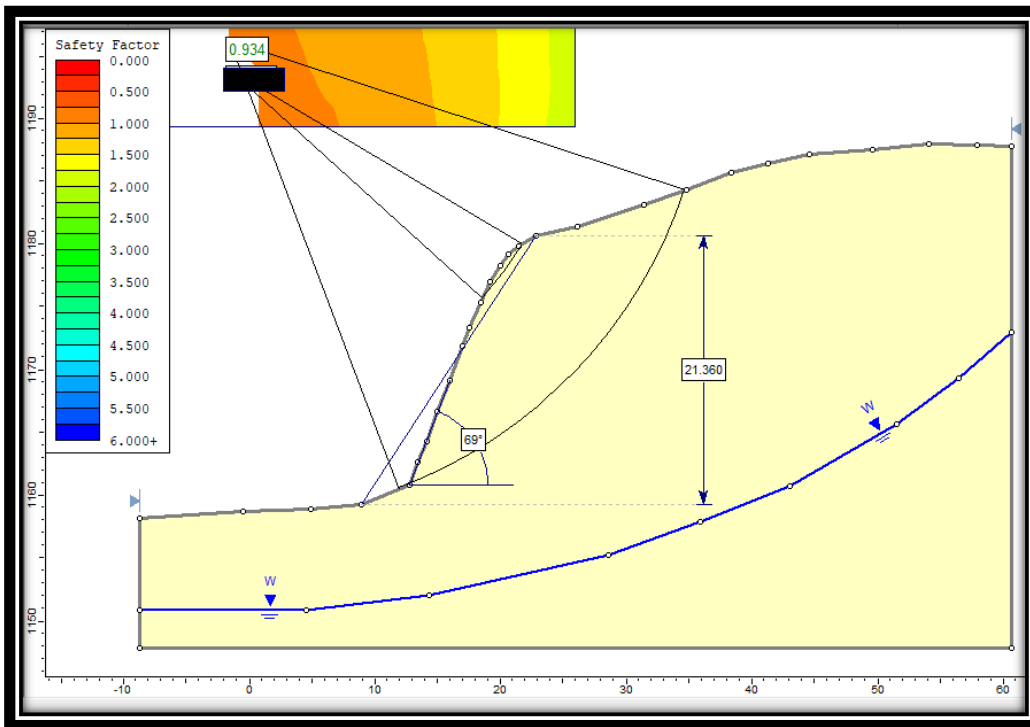


Figura N°38 Análisis del Factor de Seguridad por el método de Morgenstern - Price, en la que se aprecia que el talud es inestable con un Factor de seguridad de 0.934 en condiciones estáticas para el talud con un ángulo de inclinación de 69°

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

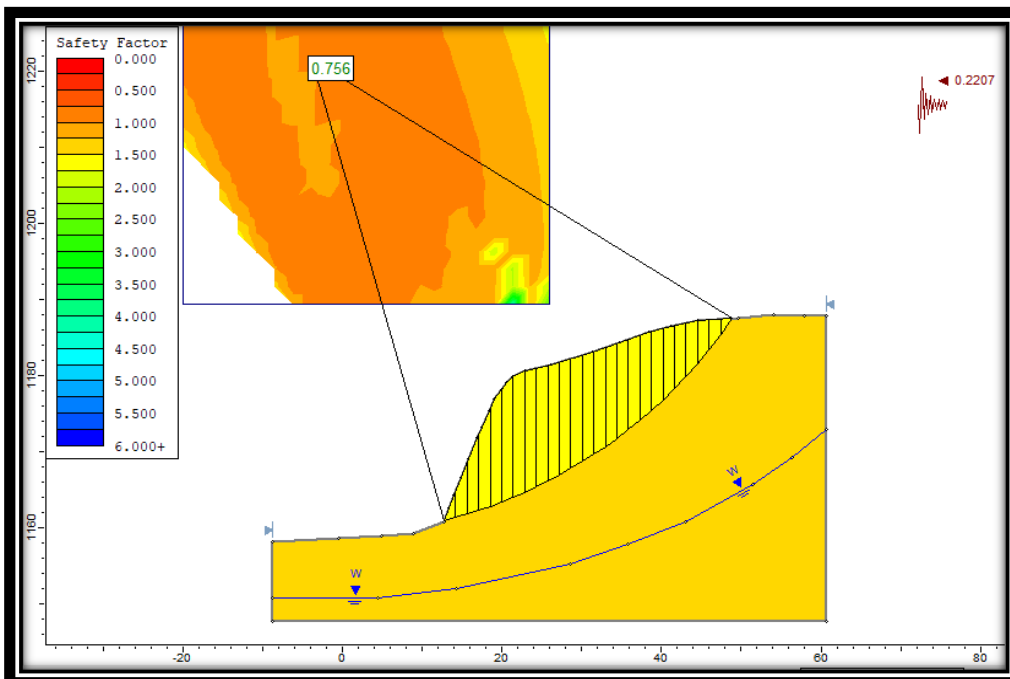


Figura N°39 Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud es inestable con un Factor de seguridad de 0.756 para condiciones pseudo estáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.2207 y un coeficiente vertical de 0,

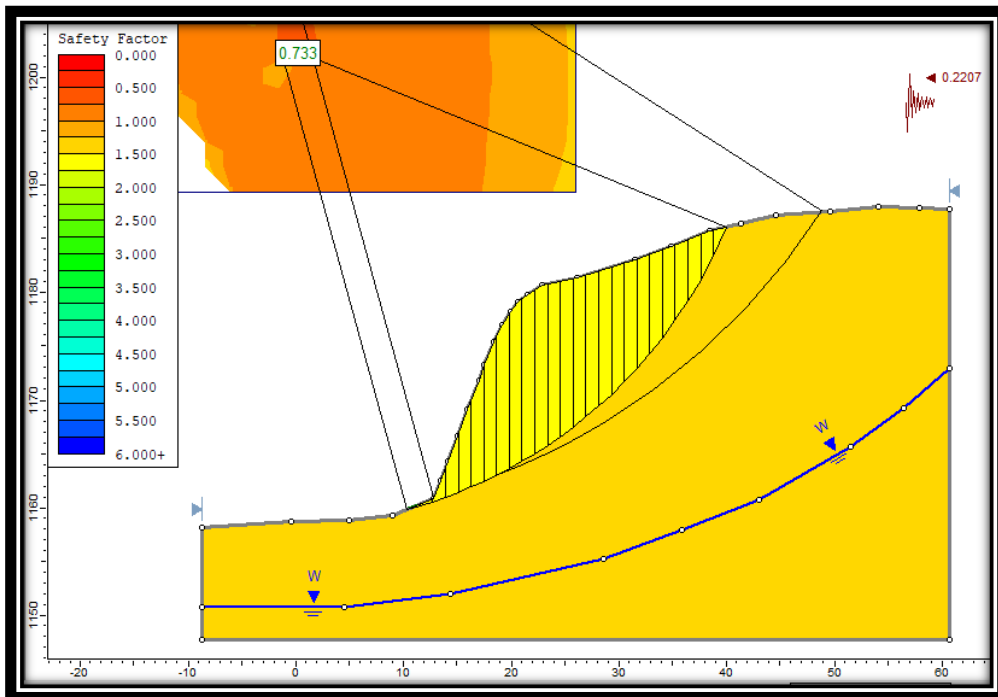


Figura N°40 Análisis del Factor de Seguridad por el método de Morgenstern - Price, en la que se aprecia que el talud es inestable con un Factor de seguridad de 0.733 para condiciones pseudo estáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.2207 y un coeficiente vertical de 0,

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

**Tabla N°23**

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

Condiciones de Análisis			
Estático		Pseudo-estático	
Spencer	Morgenstern - Price	Spencer	Morgenstern - Price
0.903	0.934	0.756	0.733

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 es inestable para las distintas condiciones tanto Estáticas como Pseudo estáticas



## Propuesta de estabilidad con cambio de Geometría del Talud y Muro de contención

### Análisis de Talud Corregido en condiciones Estáticas

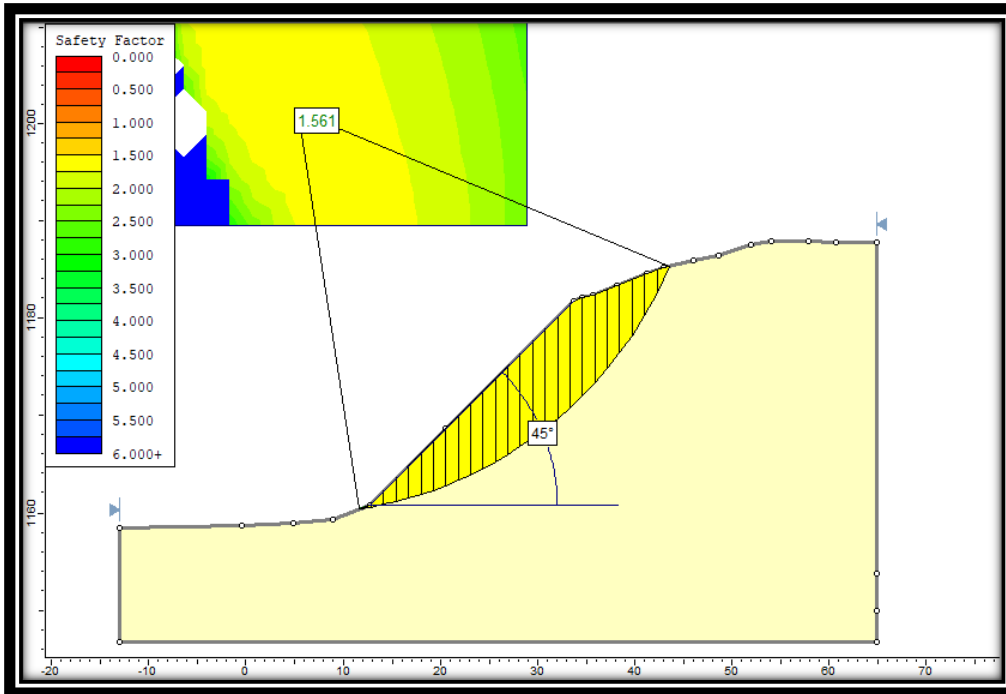


Figura N°41 Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer , en la que se aprecia que el talud es estable con un Factor de seguridad de 1.561 en condiciones estáticas para el talud con un ángulo de inclinación de 45°.

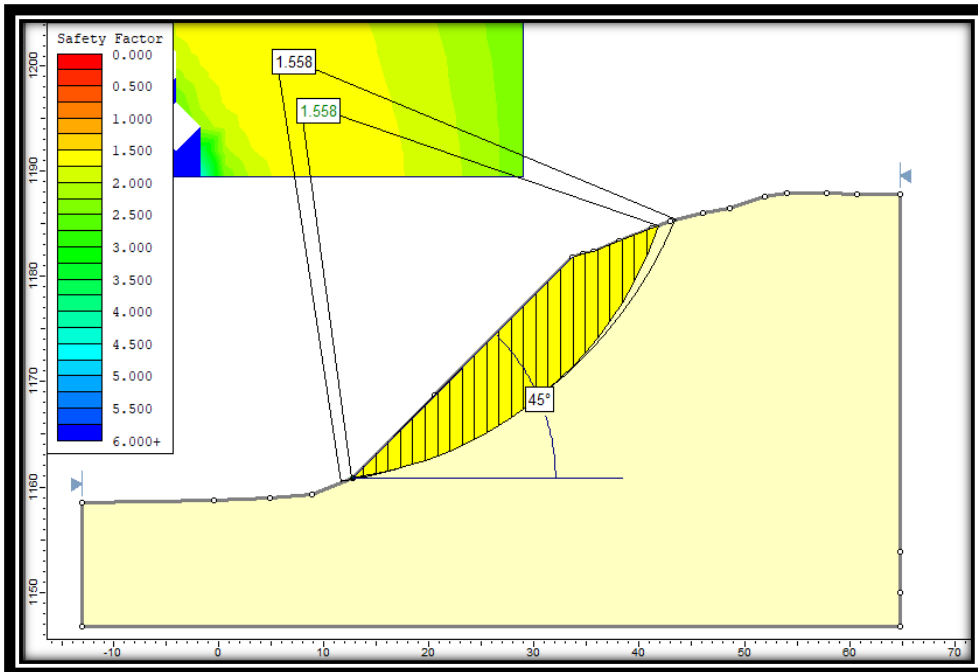


Figura N°42 Análisis del Factor de Seguridad por el método de Morgenstern - Price, en la que se aprecia que el talud es estable con un Factor de seguridad de 1.558 en condiciones estáticas para el talud Global con un ángulo de inclinación de 45°.

### Análisis de estabilidad del Talud Global en condiciones Pseudo estáticas

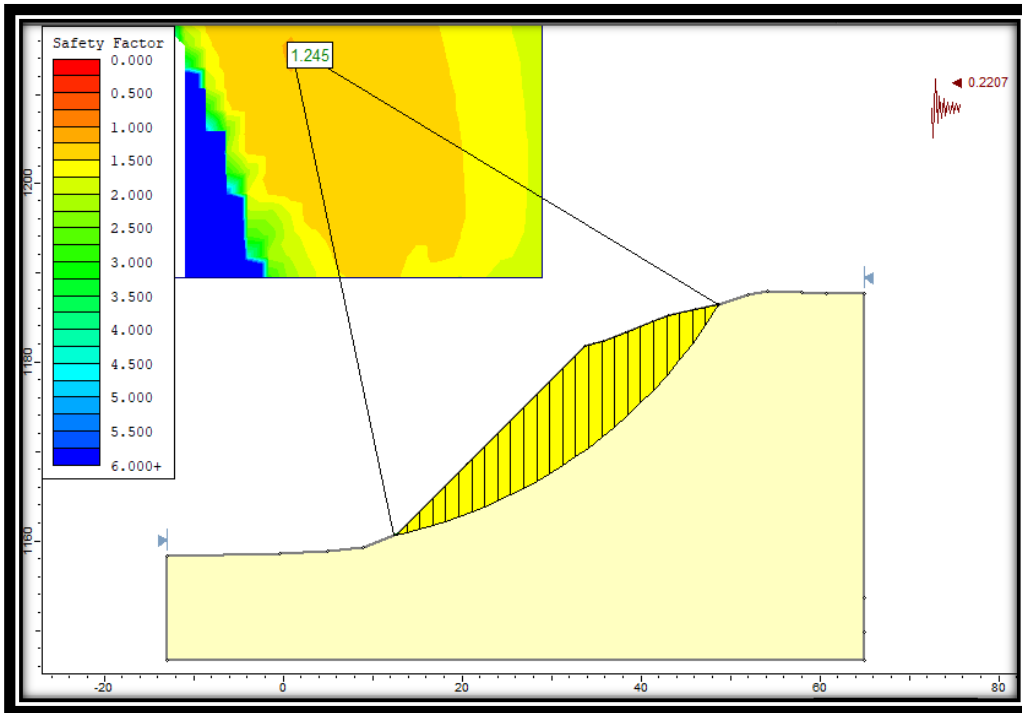


Figura N°43 Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer , en la que se aprecia que el talud es estable con un Factor de seguridad de 1.245 para condiciones pseudo estáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.2207 y un coeficiente vertical de 0,

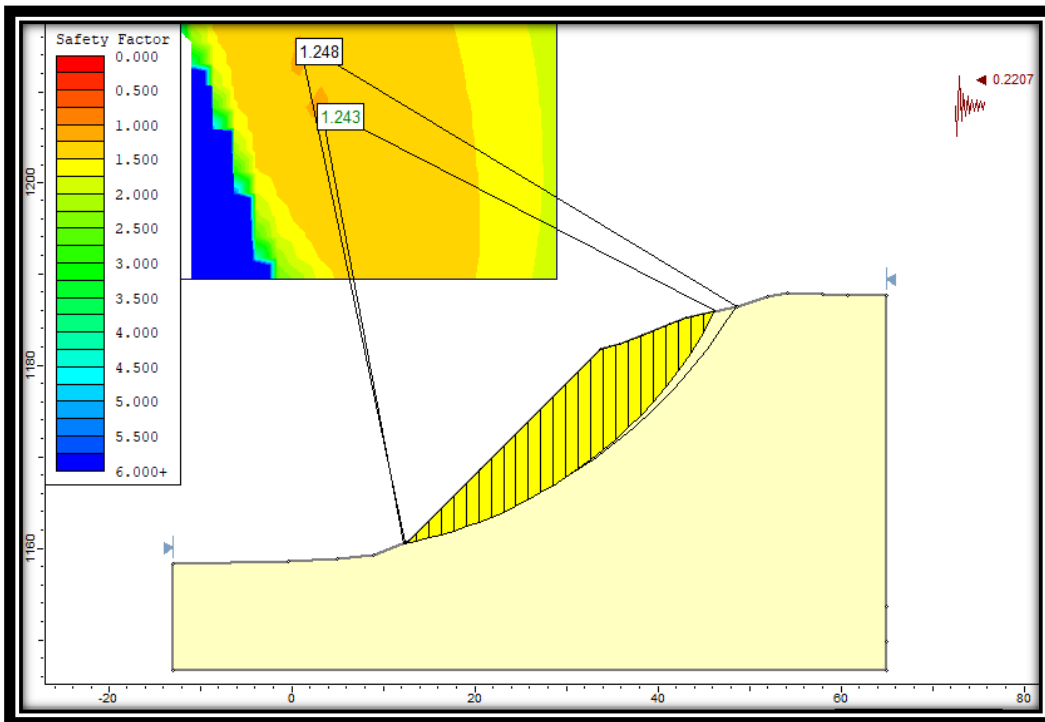


Figura N°44 Análisis del Factor de Seguridad por el método de Morgenstern - Price, en la que se aprecia que el talud es estable con un Factor de seguridad de 1.243 para condiciones pseudo estáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.2207 y un coeficiente vertical de 0,

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

**Tabla N°24**

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

<b>Condiciones de Análisis</b>			
<b>Estático</b>		<b>Pseudo-estático</b>	
<b>Spencer</b>	<b>Morgenstern - Price</b>	<b>Spencer</b>	<b>Morgenstern - Price</b>
1.561	1.558	1.245	1.243

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

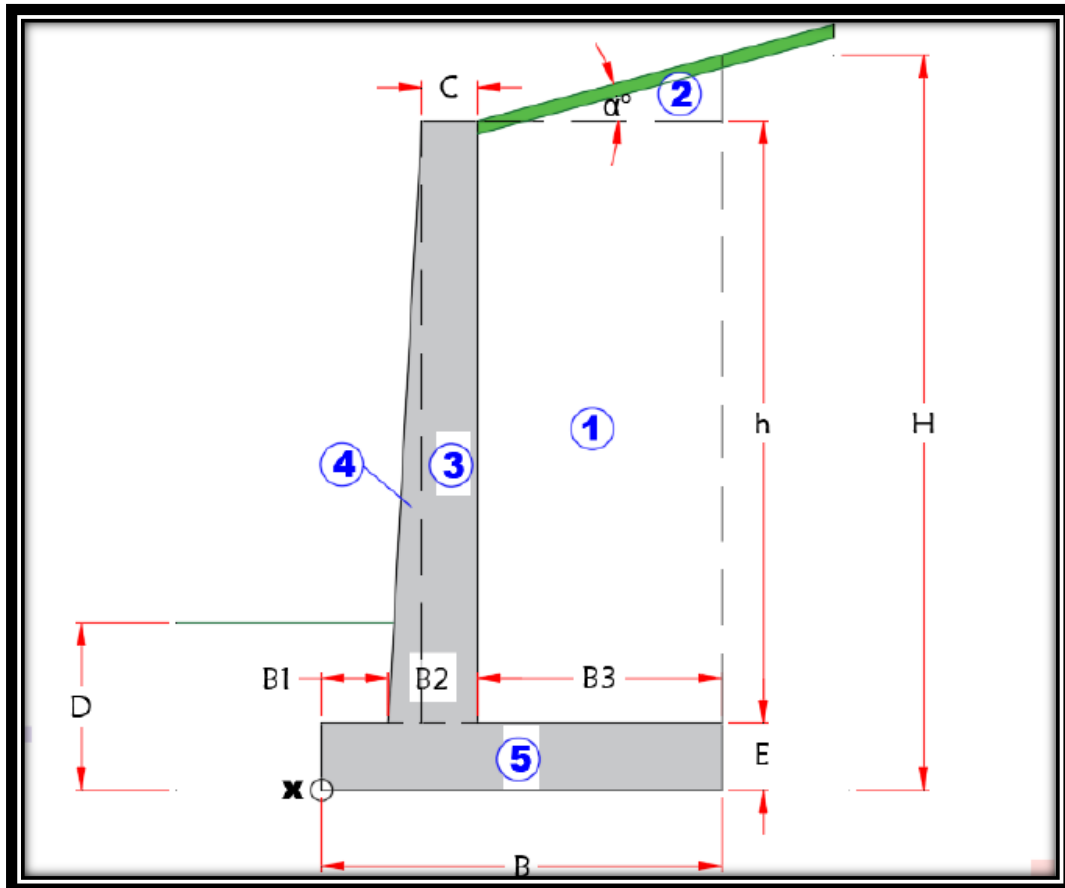
FUENTE: Propia.

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

### **Propuesta de construcción de muro de contención con concreto.**

Considerando las características del terreno y sus parámetros obtenidos en laboratorio tales como corte directo, elasticidad y plasticidad. Este muro de contención en voladizo ayudara directamente a retener todo tipo de restos de tierra o roca que se desprenda de la parte alta del talud, ya que también es una propuesta muy viable para poder ser ejecutada en la zona ubicada en el Km 06 + 000 – 08 + 000. Esta construcción requiere las propiedades de materiales que puedan intervenir en la comprobación de dichos factores los cuales se muestran a continuación.

Concreto de  $0.0024 \text{ kg/cm}^3$ , con un relleno granular de  $0.001851 \text{ kg/cm}^3$  y un suelo de cimentación de 0.182, el cual también debe llevar varillas de fierro con un enmallado para mayor durabilidad y mejor agarre del concreto, se debe utilizar arena gruesa, confitillo y piedra chancada para dicha construcción, esto igual que la construcción de malla con gaviones son dos de las opciones mas adecuadas para poder ser construidas en la zona de estudio y reducir los deslizamientos que sufre la zona a continuación se muestra una figura tal como debería construirse dicho muro de contención con voladizo.



*Figura N°55* En esta figura se muestra el muro con voladizo que se debe construir en la zona de estudio. Fuente: lab. Guersan.

**Tabla 25**

*Dimensiones del muro de voladizo a ser utilizado en la zona de estudio-2022.*

MURO EN VOLADIZO	
DIMENSIÓN N:	VALOR:
h=	5.00 m
D=	3.00 m
H=	5.60 m
B1=	0.90 m
B2=	1.10 m
B3=	2.40 m
B=	4.40 m
C=	0.50 m
E=	0.60 m
I (min 0.02)	0.1 2
$\alpha^\circ$ =	0
$\alpha$ rad=	0

**Nota:** medidas a utilizar en la propuesta de diseño para la estabilidad de taludes en la zona de estudio.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el presente estudio se aprecia de que las condiciones de las discontinuidades tales como relleno, meteorización, persistencia, abertura y rugosidad generan un bajo valor de SMR siendo este no lo suficiente para garantizar la estabilidad, además las altas pendientes de los taludes y los parámetros de cohesión y fricción influyen en un bajo factor de seguridad, en tal sentido se acepta la hipótesis planteada: “El análisis geomecánico permitirá determinar los factores críticos mediante la evaluación de los parámetros geomecánicos; los factores que generan la inestabilidad serán la alta pendiente del Talud, el bajo ángulo de fricción de las discontinuidades y los agentes geodinámicos que han alterado la roca, además de la baja cohesión de los materiales. Estos factores críticos a la vez son afectados por las precipitaciones en los periodos de invierno y un eventual eventos sísmico que podría afectar o comprometer la estabilidad de los taludes”

Fernandez (2018) en su estudio obtuvo como resultados a través del análisis probabilístico que la relación entre la altura de la pendiente y la inclinación generan inestabilidad general del talud. Es decir entre más inclinado sea la pendiente mayor es la inestabilidad, al mismo tiempo, la probabilidad de fracaso es mayor. La misma analogía puede ser aplicado en relación con la altura del talud. en Chile, el valor del factor mínimo de seguridad utilizado para el diseño de taludes oscila entre 1,40 y 1,50. Entre los taludes estudiados, y en cuanto a las configuraciones que cumplieron con este requisito, se observa que su probabilidad de la falla es inferior al 3%, cumpliendo así con una aceptable probabilidad de falla, el cual concuerda con la presente investigación entre más elevada sea la pendiente del talud genera una mayor inestabilidad, el cual es factor desestabilizante

Gallarado (2020) obtuvo en sus resultados que la aplicación de análisis de sensibilidad y la metodología del retro cálculo son útiles para la determinación de parámetros de resistencia que permitan simular de forma adecuada superficies de falla de un talud, dado que se puede establecer los valores de fricción y cohesión más probables en el momento de ocurrencia de esta. Dichos resultados son relevantes para el análisis de estabilidad en las condiciones después de ocurrido un deslizamiento y en especial para el análisis incorporando procesos constructivos de estabilización. Los análisis realizados al talud en las condiciones antes de la falla permitieron establecer que incluso en condición estática, el talud se encontraba en condición de falla. La superficie de falla encontrada a través del análisis con software basado en equilibrio límite es muy cercana a la evidenciada en campo después del deslizamiento. Los resultados de factor de seguridad que se obtienen para los parámetros determinados con pruebas de laboratorio, el cual es concordante con el presente estudio en el cual fue de suma importancia realizar una análisis de sensibilidad a fin de determinar los parámetros críticos que necesitaron ser modificados para la estabilidad de los taludes

Herrera (2020) obtuvo como resultados que a medida que la calidad del macizo rocoso (RMR) aumenta, mayor es la disminución del factor de seguridad anisotrópico respecto al isotrópico; esto a su vez refleja que a mayor diferencia de propiedades de resistencia entre el macizo rocoso y las discontinuidades paralelas o subparalelas al talud, mayor es la variación del factor de seguridad, además se determinó que el factor de seguridad de los taludes disminuye si se realiza un análisis de estabilidad anisotrópico, . A mayor calidad del macizo rocoso (RMR), mayor es la disminución del factor de seguridad anisotrópico respecto al factor de seguridad isotrópico, la cual tiene gran relevancia en

la Familia N°02 donde en un macizo rocoso con RMR 40 el factor de seguridad disminuye en 8%, mientras que en un macizo rocoso con RMR 61 el factor de seguridad disminuye en 29%, el cual coincide con la presente investigación en donde para materiales con comportamiento anisotrópico el valor del RMR básico influye en el valor del factor de seguridad mediante la disminución del mismo, en tanto en materiales isotrópicos tiene una menor incidencia

Mira, Álcanta y Gutiérrez (2013) en su estudio evidencio que un macizo rocoso duro, la situación de los planos de rotura estará determinada por las discontinuidades. La orientación del plano del talud respecto a la de cada discontinuidad indica que no se produciría rotura de tipo planar al no cumplirse las condiciones para que se produzca, el cual concuerda con la presente investigación en la cual la orientación de las discontinuidades fueron determinantes para que se pueda producir un tipo de rotura u otro. Por otro lado, los autores han descrito cuatro familias de discontinuidades cuyo estudio ha permitido conocer que el tipo de rotura más probable será por cuña. Según las clases de estabilidad definidas por Romana (1985), para los valores de SMR obtenidos, no es probable la ocurrencia de roturas planas aunque pudieran producirse esporádicamente desprendimientos por rotura en cuña, como así ha sido puesto de manifiesto. . Los valores calculados han sido de 67 puntos para una rotura por vuelco, que equivaldría a una clase de estabilidad buena tipo II, y entre 37 y 67 para rotura planar; el cual difiere del presente estudio ya que al realizar la evaluación geomecánica no se produjo la rotura en vuelco según el análisis en dips, en tanto que los valores de SMR para rotura planar fueron más elevados obteniéndose un valor clasificado como parcialmente estable.



La limitación que se ha tenido en la investigación es el número de muestras analizadas en laboratorio debido a los costos de las misma, la accesibilidad a la zona de estudio ya que el área se encuentra fuera de la ciudad de Cajamarca, y las eventuales caídas de pequeños fragmentos de roca que obstaculizaban la toma de datos de las discontinuidades

Se recomienda a la municipalidad de Chilete realizar el cambio geométrico en el área estudiada con la propuesta que se a presentado en esta investigación, además un constante monitoreo a fin de evitar siniestros, accidentes y/o bloqueos de carretera, la misma que puede producir pérdidas humanas y económicas

### **Conclusiones**

El análisis geomecánico permitió determinar que los factores críticos que generan la inestabilidad de los taludes en las progresivas Km 06+000 -Km 08+000 de la carretera Chilete – San Pablo. mediante la obtención de los parámetros geo mecánicos, el cálculo del Factor de seguridad y los factos detonantes que afectan al talud.

Se logró caracterizar los parámetros geomecánicos que generan la inestabilidad tales como las condiciones de las discontinuidades, resistencia a la compresión simple, espaciado de las discontinuidades, índice de calidad de la Roca y la presencia de agua en las diaclasas; las cuales no generan una resistencia al corte suficiente para evitar posibles deslizamientos frente a los factores que desestabilizan los bloques de roca y masas de suelo en los taludes estudiados

Se determinó los tipos de rotura presente en el talud con afloramientos de roca en función de la orientación de las discontinuidades, geometría del talud (buzamiento y dip direction) y

ángulo de fricción de las discontinuidades, evidenciándose que se puede producir una rotura planar mediante el sistema de discontinuidades J02 además de 02 roturas en cuña; la primera cuña entre la familias J01 y J03 y la segunda cuña entre la familia J2 y J03, en tanto que ninguna familia de diaclasas cumple las condiciones para producir una rotura en vuelco.

Se obtuvo un valor de SMR de 50.715 según la clasificación de la Romana lo que nos indica que el talud es parcialmente estable y es necesario realizar un análisis numérico con los software geomecánicos. Por otro lado se obtuvo el factor de seguridad con el software rocplane con un valor de 1.17 para condiciones estáticas y 0.99 en condiciones Pseudo estáticas; mientras que el cálculo del Factor de seguridad para las cuñas con el software unwedge fue de un 1.421 para la primera cuña y 1.925 para la segunda cuña, además se cálculo el factor de seguridad para el talud de rocas altamente meteorizadas a condición de suelo obteniéndose un factor de seguridad de 0.903 y 0.756 en condiciones estáticas y Pseudo estáticas respectivamente. Por lo que se concluye que potencialmente se puede producir una rotura planar para el Talud rocoso y una falla circular para el Talud con materiales de suelo.

Se propuso el diseño de estabilidad mediante un análisis de sensibilidad hasta lograr un Factor de seguridad estable en el Talud rocoso, el cual sugiere un cambio geométrico a un buzamiento de  $60^\circ$  y construir obras de drenaje en la corona del talud a fin de evitar la saturación de agua en las discontinuidades por debajo del 50%. En tanto que para el Talud con material de suelo se cálculo el Factor de seguridad con un cambio geométrico a un buzamiento de  $45^\circ$  el cual evidencia en la corrida un factor de seguridad estable; además de ello se propuso un muro de contención de concreto para garantizar una mayor estabilidad

## REFERENCIAS

- Cerúsico, L. (2019). Caracterización geotécnica y análisis de la estabilidad de los macizos rocosos del camino de acceso al C° San Bernardo, Ciudad de Salta. *Cuadernos de Ingeniería; Núm. 6 (2011); 29-44 ; 2545-7012 ; 2545-692X.*
- Chunga, K., Stay, D., Quiñónez Macias, M., Salinas, I., Cahuana, N., & Villacreses, C. (2020). Caracterización geomecánica de taludes de roca basáltica en la costa sur de Ecuador: implicaciones en su estabilidad. *Revista Técnica de La Facultad de Ingeniería. Universidad Del Zulia; Núm. 2 (2020): Volumen Especial; 62-68.*
- Córdova, D. & Laos, A. (1976). Estudio de estabilidad de taludes en minas a cielo abierto. *CITEM Revista del Instituto Científico y Tecnológico Minero, 2: 87-103.*
- Diana TTITO ORTIZ. (2019). Análisis de estabilidad de taludes de la zona ‘Los Baluartes’ en el Parque Arqueológico de Saqsayhuamán. *Yachay, 7(01), 322–333.*
- Díaz Salazar, M. K., & Zelada Alaya, A. (2021). *Estabilidad física para la explotación de agregados en la Empresa Minera no Metálica El Milagro - Cajamarca 2021*
- Eerik A. Rennat Shepherd Miller, Inc. Guía Ambiental Para La Estabilidad De Taludes De Depositos De Desechos Solidos De Mina Ministerio de Energía y Minas 1997

- Fernández, W., Villalobos, S., & King, R. (2018). Evaluación probabilística de la estabilidad de taludes en suelos residuales de granito completamente descompuesto / Probabilistic Analysis of Slope Stability in Completely Decomposed Granite Residual Soils. *Revista Ingeniería de Construcción*, 33(1), 5–14.
- Gallarday Bocanegra, T. E. (2017). Estabilidad de las obras civiles en la corona del Malecon Costanera, Distrito San Miguel--Lima. *Revista Del Instituto de Investigacion de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geograficas*, 20(40), 102.
- Gallardo Amaya, R. J. (2020). Análisis De Falla De Un Talud en Un Sector Urbano Del Municipio De Ocaña, Colombia. *REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGIAS DE AVANZADA (RCTA); Vol. 1, Núm. 35 (2020); 1-8 ; COLOMBIAN JOURNAL OF ADVANCED TECHNOLOGIES; Vol. 1, Núm. 35 (2020).*
- Herrera Carranza, E., & Solorzano Poma, L. W. (2020). Estabilidad de Taludes del Tajo Abierto Jesica considerando el Macizo Rocosó Isotropico y Anisotropico. *Revista Del Instituto de Investigacion de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geograficas*, 23(46), 37.
- Huascupe Callata, M. (2021). *Estabilidad de taludes naturales empleando métodos convencionales, sector Llavini, Puno 2021.*

Marques, G. S., & Lukiantchuki, J. A. (2017). Evaluation of the stability of a highway slope through numerical modeling. *DYNA (Colombia)*, 84(200), 121–128.

Matias Juarez, S. V. A. (2018). Evaluation de estabilidad y permeabilidad de talud con sistema Vetiver mediante diferentes ensayos de laboratorio y campo. (Spanish). *Revista de La Universidad Del Valle de Guatemala*, 36, 111–119.

Ministerio de vivienda saneamiento y construcción Reglamento nacional de edificaciones 2006 Decreto supremo N°011- 2006

Mira, A., Alcántara, A., & Gutiérrez, F. (2013). *Caracterización geomecánica y análisis de la estabilidad del talud sur del macizo rocoso de Monteagudo (Murcia, España) ; Geomechanical characterization and analysis of rock mass stability of the south talus of Monteagudo (Murcia, Spain)*.

Mucuta-Lito, H. V., Cartaya-Pires, M., & Watson-Quesada, R. L. (2020). Evaluación de estabilidad en taludes del yacimiento Castellano mediante el calculo del factor de seguridad/Slopes stability evaluation of Castellano deposit by calculating the safety factor. *Mineria y Geologia*, 36(4), 441

R. Tomás, A. Riquelme, M. Cano, J. L. Pastor, J. I. Pagán, J. L. Asensio, & M. Ruffo. (2020). Evaluación de la estabilidad de taludes rocosos a partir de nubes de puntos 3D obtenidas con un vehículo aéreo no tripulado. *Revista de Teledetección*, 55, 1–15.

- Roberto J Marín, & Ricardo Jaramillo-González. (2021). Análisis de susceptibilidad a deslizamientos con el modelo físico Scoops3D en un terreno montañoso tropical. *Ingeniería y Ciencia*, 17(33).
- Sanhueza, C. ( 1 ), & Villavicencio, G. ( 2 ). (2012). Effect of aparent cohesion from tree roots on the stability of natural slopes of Reñaca dunes. *Revista de La Construcción*, 11(1), 16–31.
- Torres Pachón, C. D., & Marciales Leon, F. C. (2018). Análisis de probabilidad de falla en taludes en el tramo alto medio de la cuenca del Río Únete, municipio de Aguazul, vereda La Vegana. *Ingeniería Civil*.
- Torres-Hoyer, , Roberto J., Torres-Hoyer, , Jesús Alberto, & Monsalve, , María Laura. (2014). Análisis de estabilidad cuasi-tridimensional de un talud de suelo empleando el método de elementos finitos: Autopista San Cristóbal – La Fría, Venezuela. *Ciencia e Ingeniería; Vol. 34, Núm. 2 (2013): Ciencia e Ingeniería; 63-72*.

## ANEXOS

### Vistas fotográficas

**Anexo N° 1:** Toma de datos de la Orientación de las discontinuidades



**Anexo N° 2:** Medición del espaciado de las familias de las discontinuidades



**Anexo N° 3:** Afloramiento rocoso donde se observa las 04 familias de discontinuidades

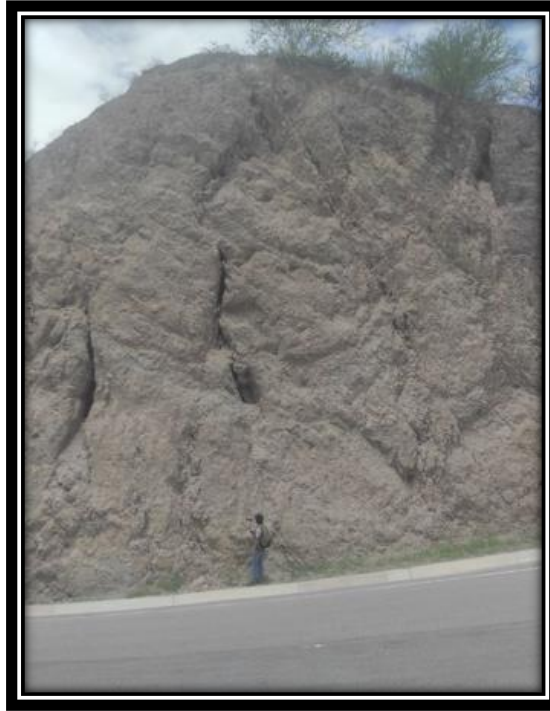


**Anexo N° 4:** Lectura de coordenadas de las estaciones geomecánicas mediante el uso del GPS

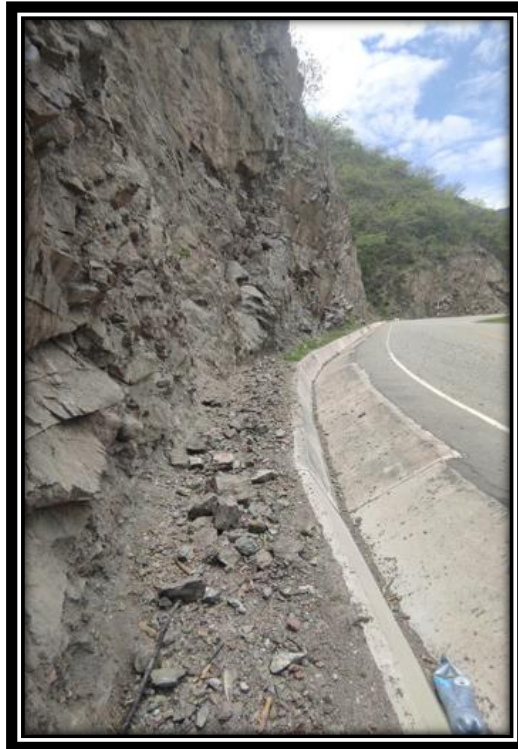





**Anexo N° 5:** Grietas de tensión en el Cuerpo del Talud en suelo



**Anexo N° 6:** caída de bloques de roca en el segundo talud evaluado




Anexo N° 7: Resultados de análisis de laboratorio

	<p>"ANÁLISIS GEOMECÁNICO PARA DETERMINAR LOS FACTORES CRÍTICOS QUE GENERAN LA INESTABILIDAD DE LOS TALUDES, EN LAS PROGRESIVAS KM6+000 – KM8+000 DE LA CARRETERA CHILETE – SAN PABLO, 2022"</p>		<p>GI-EMS-012-04-22</p>
			<p>Fecha: 8/04/2022</p>
<p><b>ENSAYO DE CORTE DIRECTO ESTÁNDAR EN SUELOS</b> <b>A.S.T.M. D 3080</b></p>			
TECISTA	JOSÉ GHILMER PAREDES VASQUEZ		COORDENADAS
UBICACIÓN:	PROVINCIA DE SAN PABLO, REGIÓN CAJAMARCA		ESTE: - NORTE: -
MUESTRA:	M - 1		

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA									
CLASIFICACIÓN S.U.C.S. :			ML	ESTADO : REMOLDEADO					
DATOS DEL MOLDE									
MOLDE CIRCULAR	DIÁMETRO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	PESO (g)				
	5.96	1.82	27.899	50.78	75.84				
DATOS DEL ENSAYO									
ESFUERZO NORMAL	(kg/cm <sup>2</sup> )	0.500 Kg/cm <sup>2</sup>		1.000 Kg/cm <sup>2</sup>		2.000 Kg/cm <sup>2</sup>			
VELOCIDAD ENSAYO	(mm/min)	0.152		0.104		0.055			
PESO DEL ANILLO MÁS MUESTRA	(g)	162.210		162.180		162.200			
PESO MUESTRA	(g)	86.370		86.340		86.360			
DEFORMACIÓN FINAL	(mm)	-0.285		-0.594		-0.937			
ETAPA		INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL		
TARA		1	2	3	4	5	6		
PESO DE LA TARA	(g)	11.15	11.03	11.16	11.15	9.91	9.96		
PESO TARA + MUESTRA HUMEDA	(g)	97.52	103.32	97.50	106.54	96.27	99.84		
PESO TARA + MUESTRA SECA	(g)	82.34	84.51	81.34	85.72	80.76	82.14		
ALTURA	(cm)	1.82	1.79	1.82	1.76	1.82	1.73		
DIÁMETRO	(cm)	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96		
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	21.32%	25.60%	23.03%	27.92%	21.89%	24.52%		
DENSIDAD HUMEDA	(g/cm <sup>3</sup> )	1.701	1.728	1.700	1.758	1.701	1.793		
ETAPA DE APLICACIÓN DE CARGA									
DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL (mm)	0.50 Kg/cm <sup>2</sup>			1.00 Kg/cm <sup>2</sup>			2.00 Kg/cm <sup>2</sup>		
	CARGA		ESFUERZO DE CORTE	CARGA		ESFUERZO DE CORTE	CARGA		ESFUERZO DE CORTE
	N	kg	Kg (cm <sup>2</sup> )	N	kg	Kg (cm <sup>2</sup> )	N	kg	Kg (cm <sup>2</sup> )
0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
0.100	8.39	0.855	0.031	27.52	2.806	0.101	66.44	6.775	0.243
0.200	18.31	1.867	0.067	41.83	4.265	0.153	86.50	9.024	0.323
0.300	29.85	3.044	0.109	50.52	5.151	0.185	103.50	10.554	0.378
0.400	38.24	3.899	0.140	59.50	6.067	0.217	114.21	11.647	0.417
0.500	46.06	4.697	0.168	70.01	7.139	0.256	122.70	12.512	0.448
1.000	66.06	6.736	0.241	88.84	9.059	0.325	149.40	15.234	0.546
1.500	78.99	8.054	0.289	98.62	10.057	0.360	164.49	16.773	0.601
2.000	84.16	8.582	0.308	109.21	11.136	0.399	174.14	17.757	0.636
2.500	86.61	8.831	0.317	115.05	11.732	0.421	182.17	18.576	0.666
3.000	86.89	8.860	0.318	119.87	12.223	0.438	187.98	19.168	0.687
3.500	88.35	9.010	0.323	124.25	12.670	0.454	194.05	19.787	0.709
4.000	88.42	9.017	0.323	127.09	12.960	0.465	200.12	20.407	0.731
4.500	89.40	9.116	0.327	130.82	13.340	0.478	205.75	20.980	0.752
5.000	89.82	9.159	0.328	132.93	13.555	0.486	209.68	21.381	0.766
5.500	92.34	9.416	0.338	134.39	13.704	0.491	215.66	21.991	0.788
6.000	92.97	9.480	0.340	136.15	13.883	0.498	221.73	22.610	0.810
6.500	92.97	9.480	0.340	137.82	14.054	0.504	225.39	22.984	0.824
7.000	92.48	9.430	0.338	137.82	14.054	0.504	228.07	23.257	0.834

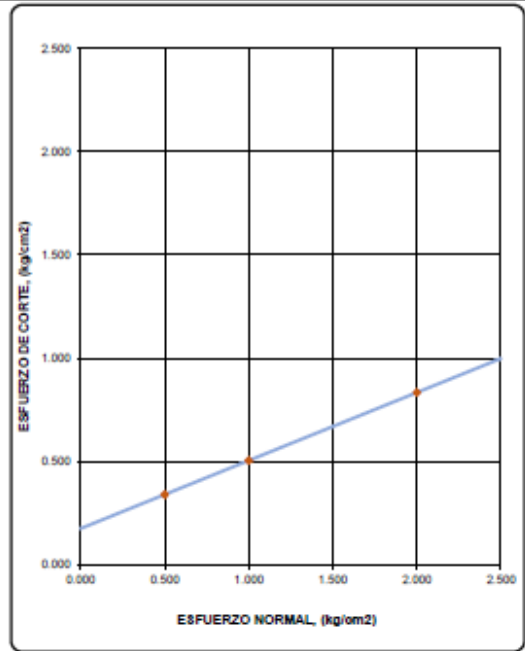
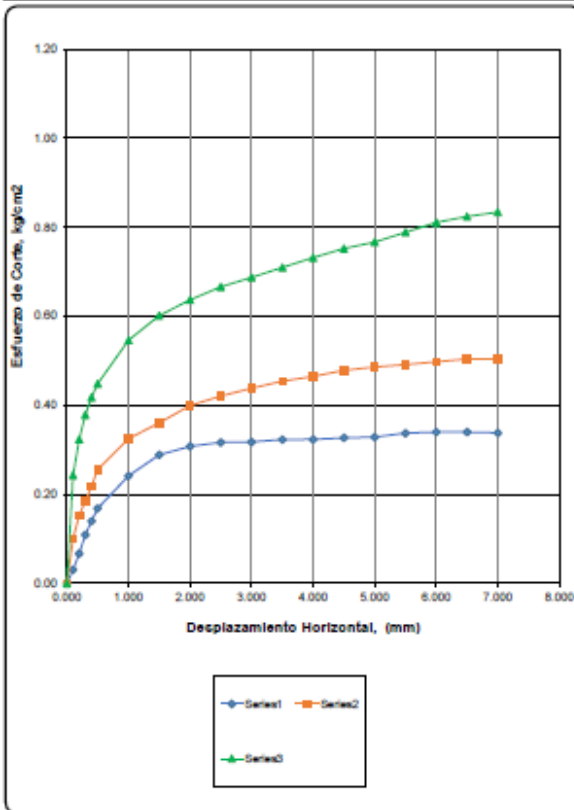
GUERSAN INGENIEROS S.R.L.

Jhosely Vásquez Torres  
INGENIERO CIVIL  
REG. CP N° 28764

	<b>"ANÁLISIS GEOMECÁNICO PARA DETERMINAR LOS FACTORES CRÍTICOS QUE GENERAN LA INESTABILIDAD DE LOS TALUDES, EN LAS PROGRESIVAS KM6+000 – KM8+000 DE LA CARRETERA CHILETE – SAN PABLO, 2022"</b>	GI-EMS-012-04-22
		Fecha: 8/04/2022
<b>ENSAYO DE CORTE DIRECTO ESTÁNDAR EN SUELOS</b> A.S.T.M. D 3080		
TESISISTA: JOSÉ GHILMER PAREDES VASQUEZ	COORDENADAS	
UBICACIÓN: PROVINCIA DE SAN PABLO, REGIÓN CAJAMARCA	ESTE: -	NORTE: -
MUESTRA: M-1		

CLASIFICACIÓN S.U.C.S. :	ML	ESTADO :	REMOLDEADO
--------------------------	----	----------	------------

APLICACIÓN DEL ESFUERZO CORTANTE	ENVOLVENTES DE RESISTENCIA
----------------------------------	----------------------------



ESPECIMEN	ESFUERZO NORMAL (kg/cm²)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm²)
1	0.500	0.340
2	1.000	0.504
3	2.000	0.834

PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE		
COHESIÓN =	0.176	kg/cm <sup>2</sup>
ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA =	18.22	°

GUERSAN INGENIEROS S.R.L.  
  
 Joaquín Páez Torres  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 255746

# METROTEC METROLOGIA & TÉCNICAS S.A.C.

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LF - 220 - 2021

Área de Metrología  
Laboratorio de Fuerza

Página 1 de 4

1. Expediente	210486	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
2. Solicitante	GUERSAN INGENIEROS S.R.L.	
3. Dirección	Pj. Diego Ferre N° 295 Bar. San Martín de Porres, Cajamarca - Cajamarca - CAJAMARCA	Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.  METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.  Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.  El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.
4. Equipo	MÁQUINA DE CORTE DIRECTO	
Capacidad	5000 N	
Marca	UTEST	
Modelo	UTS-2060	
Número de Serie	19/002530	
Procedencia	TURQUIA	
Identificación	NO INDICA	
Indicador	DIGITAL	
Marca	UTEST	
Modelo	BC-100	
Número de Serie	NO INDICA	
División de Escala / Resolución	0,1 N	
5. Fecha de Calibración	2021-09-17	

Fecha de Emisión

Jefe del Laboratorio de Metrología

Sello

2021-09-22



Firmado digitalmente por  
Eleazar Cesar Chavez Raraz  
Fecha: 2021.09.27 17:48:40  
-05'00'

