



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

### ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Evaluación de estabilidad de taludes a través de elementos finitos en la carretera

Interoceánica sur de Marcapata, Quispicanchis, Cusco, 2021.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Civil

#### **AUTORES:**

Quispe Ancalle, Luis (ORCID: 0000-0001-8467-1693)

Rodríguez Alfaro, Yimeng Eduardo (ORCID: 0000-0002-7786-3133)

#### **ASESOR:**

M(o). De La Cruz Vega, Sleyther Arturo (ORCID: 0000-0003-0254-301X )

#### **LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño de Infraestructura Vial

CALLAO – PERÚ

2021

## DEDICATORIA

A Dios, mi gran fuente de inspiración y guía constante, por haberme regalado el maravilloso don de la vida; quien me concede conocimientos y bendiciones en cada etapa de mi vida.

A mis padres, por ser un buen ejemplo; quienes me apoyan siempre a realizar todas mis metas.

A mis hermanos, por brindarme sabios consejos que me motivan a desarrollar mis potencialidades.

Yimeng Eduardo

Primeramente, a Dios y mis padres Alejandrina Ancalle Mamani y Benigno Quispe Turpo quienes durante toda la etapa de mis estudios estuvieron siempre apoyándome a cumplir con mis objetivos y metas trazadas.

También a mis hermanos(as) que en todo momento siempre estuvieron aconsejándome a seguir estudiando.

Luis

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Cesar Vallejo de Lima Callao, y a la Facultad de ingeniería y arquitectura por formarme como profesional en ingeniería.

A mi prestigiosa Escuela Profesional de ingeniería y a los ingenieros por su empeño de seguir adelante en la formación como Licenciado en ingeniería de calidad.

Yimeng Eduardo

A la Universidad Cesar Vallejo de Lima Callao, por las enseñanzas dadas o brindadas y en especial a los docentes de la escuela profesional de ingeniería y arquitectura que sin su guía y ayuda no sería posible este trabajo.

Luis

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE CONTENIDOS	4
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS	7
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
I.- INTRODUCCIÓN	11
II.- MARCO TEÓRICO	16
III METODOLOGÍA	27
3.1 Tipo y Diseño de la Investigación	27
Diseño de Investigación	27
Enfoque de la Investigación	28
3.2 Variables y Operacionalización.	28
3.3 Población y Muestra	29
3.4 <i>Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.</i>	30
3.5 <i>Técnicas para el Procesamientos de los Datos.</i>	30
3.6 <i>Etapas de la Investigación</i>	31
3.7 <i>Aspectos Éticos</i>	32
IV.- RESULTADOS	34
4.1.- <i>Perfil del macizo Rocoso</i>	34
4.1.1.- <i>Características Topográficas del Relieve</i>	35
4.1.2.- <i>Condiciones Geológicas</i>	38
4.1.2.1.- <i>Estratigrafía</i>	38
4.1.2.2.- <i>Estructuras Geológicas</i>	38
4.1.2.3.- <i>Condiciones Hidrológicas.</i>	39
4.1.2.4.- <i>Calidad de los Macizos Geológicos</i>	40
4.1.3.- <i>Perfiles Litológicos de Análisis</i>	41
4.2.- <i>Análisis de Estabilidad</i>	43
4.2.1.- <i>Condiciones y Resultados de los Análisis</i>	45
4.2.2.- <i>Factores de Seguridad</i>	47
4.2.3.- <i>Resultados de los Análisis de Estabilidad</i>	48

<i>4.3.- Revisión de las Técnicas de Estabilización</i>	70
<i>4.3.1.- Control de Aguas de Lluvias</i>	71
<i>4.3.2.- Estructuras de Refuerzos</i>	73
<i>4.3.3.- Otras Técnicas</i>	73
<i>V.- DISCUSIÓN</i>	76
<i>VI.- CONCLUSIONES</i>	81
<i>VII.- RECOMENDACIONES</i>	82
<i>REFERENCIAS</i>	83
<i>ANEXOS 86</i>	
<i>ANEXO 1: Declaratoria de autenticidad (autores)</i>	87
<i>ANEXO 2: Declaratoria de autenticidad (asesor)</i>	88
<i>ANEXO 3: Matriz de operacionalización de variables</i>	89
<i>ANEXO 4: Galería Visita de Campo</i>	90

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factores Inherentes a la estabilidad de taludes	22
Tabla 2 Valores de Determinación de Estabilidad de Talud	23
Tabla 3. Resumen de Ensayos	40
Tabla 4. Clasificaciones Geomecánica – Roca Sana	41
Tabla 5. Clasificaciones Geomecánica – Roca Meteorizada	41
Tabla 6. Parámetros de Estabilidad Rocas Sana	46
Tabla 7. Parámetros de Estabilidad Rocas Meteorizada Húmeda	46
Tabla 8. Factores de Seguridad para Diseño de Taludes	47

## ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio	29
Figura 2. Vulnerabilidad Geológica Distrito de Marcapata	34
Figura 3. Taludes de Pendientes Altas - Marcapata	35
Figura 4. Topografía de la Sección 1	36
Figura 6. Perfil Litológico – Sección 1	42
Figura 7. Perfil Litológico – Sección 2	43
Figura 8. Parámetros Geomecánico del Basalto Sano	45
Figura 9. Material Basalto Sano, Entrada Phase 2.	49
Figura 10. Material Basalto Meteorizado, Entrada Phase 2.	49
Figura 11. Discretización Sección 1, Entrada Phase 2.	50
Figura 12. Factores de seguridad en Macizo de Basalto, Sin Juntas	51
Figura 13. Zona de deslizamiento en Macizo de Basalto, Sin Juntas	51
Figura 14. Deformación en Macizo de Basalto, Sin Juntas	52
Figura 15. Factores de seguridad en Macizo de Basalto, Juntas Verticales	53
Figura 16. Deformación en Macizo de Basalto, Juntas Verticales	53
Figura 17. Factores de seguridad Macizo de Basalto, Juntas - Sismo 0,10	54
Figura 18. Deformación Macizo de Basalto, Juntas – Sismo 0,10	54
Figura 19. Factor de Seguridad de Basalto, Juntas – Sismo 0,15	55
Figura 20. Zona de deslizamiento de Basalto, Juntas – Sismo 0,15	55
Figura 21. Característica del Anclaje de 10 Toneladas	56
Figura 22. F.S. Basalto - Juntas - Sismo 0,15 - Anclajes 10Ton	56
Figura 23. Características pantalla de Concreto	57
Figura 24. Características de barra de refuerzo en pantalla	57
Figura 25. F.S. Basalto-Juntas–Sismo 0,15–Anclaje 10 Tn–Pantalla 10 cms	58
Figura 26. Tensión en Anclajes. Basalto–Sismo 0,15–Pantalla 10cms	58
Figura 27. Fuerzas axiales (MN) en una franja de la pantalla	59
Figura 28. Fuerzas de corte (MN) en una franja de la pantalla	60
Figura 29. Momentos flectores en una franja de la pantalla	60
Figura 30. Desplaz. Basalto–Sismo 0,15–Anclaje 10Tn–Pantalla 10cms	61
Figura 31. Material gneis sano. Entrada Phase 2	62
Figura 32. Material gneis meteorizado. Entrada Phase 2	62
Figura 33. Material anfibolita sana. Entrada Phase 2	63

Figura 34. Material anfibolita meteorizada. Entrada Phase 2	63
Figura 35. Características Juntas de roca. Entrada Phase 2	64
Figura 36. Factores de seguridad Sección 2, sin Presencia de Juntas.	64
Figura 37. Factores de seguridad Sección 2, con las Juntas de la Roca	65
Figura 38. Esfuerzos cortantes máximos Sección 2, con juntas	66
Figura 39. .S. Sección 2, con juntas, con sismo KH de 0,10	67
Figura 40. .S. Sección 2, con juntas, con sismo KH de 0,15	67
Figura 41. .S. Sección 2, con juntas, con sismo KH de 0,20	68
Figura 42. Factores de seguridad Sección 2, con las Juntas Combinadas	69
Figura 43. Zona con mayor desplazamiento. Sección 2	70
Figura 44. Método de Trinchera de Drenaje.	71
Figura 45. Sistema de Dren de Zanja	72

## RESUMEN

La presente investigación titulada “Evaluación de estabilidad de taludes a través de elementos finitos en la carretera Interoceánica sur de Marcapata, Quispicanchis, Cusco, 2021” plantea el estudiar las fallas y problemáticas existentes en las estructuras de taludes presentes en el área de Marcapata debido a las condiciones geotécnicas presentes, en si la investigación permitirá detectar peligros, zonas de mayor o menor riesgo y proveer una vista práctica de la realidad actual en cuanto a estado funcional de la vía. El trabajo es aplicativo con enfoque cuantitativo y un diseño es experimental El análisis de los datos se realizará a través de los perfiles topográficos con la información de las curvas de nivel, estratificación de las rocas y suelos, clasificaciones de la roca y los diferentes ensayos logrando la obtención de los coeficientes de estabilidad mediante la utilización del método finito mediante software especializado. Finalmente, los resultados establecen alrededor de 4% de deslizamiento y caída de rocas, con un factor de seguridad de 1,8 resultado de una relación de fuerza de capacidad resistente entre fuerzas desestabilizadoras, lo que genera que el factor de seguridad sea mayor que 1 y se considera un talud estable. Se recomienda disminuir los riesgos y las pérdidas ocasionadas por los deslizamientos con un adecuado programa de mantenimiento de los taludes, el cual no requiere de una gran inversión

Palabras Clave: Talud, Macizo, Estabilidad, Factor de seguridad.

## **ABSTRACT**

The present investigation entitled "Evaluation of slope stability through finite elements in the southern Interoceanic highway of Marcapata, Quispicanchis, Cusco, 2021" proposes to study the existing failures and problems in the slope structures present in the area of Marcapata due to the geotechnical conditions present, the investigation will allow detecting dangers, areas of greater or lesser risk and provide a practical view of the current reality in terms of functional state of the road. The work is applicative with a quantitative approach and an experimental design. The analysis of the data will be carried out through the topographic profiles with the information of the contour lines, stratification of rocks and soils, rock classifications and the different tests, obtaining the stability coefficients through the use of the finite method by means of specialized software. Finally, the results establish around 4% of sliding and rock fall with a safety factor of 1.8. It is recommended to reduce the risks and losses caused by landslides with an adequate slope maintenance program, which does not require a large investment.

Key words: Slope, Massif, Stability, Factor of safety.

## I.- INTRODUCCIÓN

A nivel mundial la exigencia de comunicación y de satisfacer las necesidades humanas, ponen en marcha el desarrollo de obras lineales como carreteras, canales, explotaciones mineras, lo que hace que los taludes trabajen con la inclinación más alta que permite la oposición de la tierra, así se logra mantener un estado de seguridad aceptables de estabilidad. Las características físicas y obstrucción de los diferentes materiales, y el agregado del agua, administran la conducta maleable y deformable por lo que, la inestabilidad se da en muchas zonas del mundo. La garantía cuantitativa de los factores de seguridad requiere la utilización de estrategias y modelos exclusivos, por ejemplo, la técnica de elementos finitos para determinar el mejor sostenimiento.

En América Latina, podemos encontrar naciones por ejemplo Colombia que es un país emergente que, al igual que Perú, está lidiando con la amplitud de nuevos viales, sin embargo, esta suficiencia y desarrollo de nuevas calles presenta serios problemas de deslizamientos debido a la presencia de suelos extremadamente delicados y descuidados y a lo intrincado de la geografía actual en esta región que amerita arreglos de diseño más intrincados.

Son pocos los estudios realizados a nivel mundial en cuanto a la investigación en estabilidad de taludes con elementos finitos dentro de construcción en carreteras, lo cual conlleva a que frecuentemente, los taludes colapsen ocasionando múltiples perjuicios a los transeúntes y las poblaciones.

Al nivel nacional la ingeniería civil actualmente se encuentra con diferencias relacionadas con estabilidad de taludes que las mayorías de las regiones andinas, ya sean estos suelos o macizos rocosos. En los taludes es primordial un análisis

de estabilidad que por causa de desprendimientos pueda causar inestabilidad y de esta manera proponer correcciones y sostenimiento.

Las complicaciones en la confiabilidad de los taludes en las carreteras del Perú se presentan en circunstancias incesantes que, en función de las cualidades del territorio del entorno y de la disponibilidad del espacio de trabajo requieren varias investigaciones y evaluaciones para caracterizar los arreglos más óptimos.

Perú es un país con una geografía excepcionalmente cambiante. Normalmente la ausencia de acceso a lugares remotos hace que se tenga que construir calles en regiones con disponibilidad indefensa, lo que nos lleva a estabilizar una zona muy estrecha y la región del Cusco y la provincia de Quispicanchis es una de las más afectada por esta problemática.

La problemática que existente en el Distrito de Marcapata, provincia de Quispicanchi del departamento del Cusco, se debe a las fallas geológicas y naturales de la zona como son los deslizamientos, agrietamientos de los taludes, además de contar con la afluencia de aguas por las intensas lluvias que impiden un adecuado tránsito vehicular, representando un riesgo inminente para los pobladores de la zona. En un orden específico de ideas, la estructura de los taludes es parte de la infraestructura vial y asume una parte prevalente, ya que su objetivo es ofrecer a los usuarios una vía de comunicación segura y económica.

En la ciudad de Marcapata, provincia de Quispicanchi del departamento del Cusco, se observa una cuenca hidrográfica además de fallas geológicas, evidenciando las diversas fallas que presenta precipitaciones pluviales. Que afectan a la población de manera directa.

La estructura vial del distrito de Marcapata, provincia de Quispicanchi, se apoya en gran medida en los taludes debido a sus condiciones geográficas, estos

forman parte de la infraestructura vial brindado a la población de usuarios una vía segura. Sin embargo, se han detectado fallos en dichas estructuras provocados por condiciones como las fallas geológicas y naturales de la zona, estos incluyen los deslizamientos y agrietamientos de los taludes. Otro factor que influye es la afluencia de aguas causado por las copiosas lluvias que además representan un peligro para el tránsito de usuarios.

Por lo tanto, se necesita una comprensión detallada de lo que está sucediendo dentro de la pendiente para analizar con precisión su comportamiento. Esta conclusión es una parte clave de la ciencia de la estabilidad de taludes. Si el análisis no es correcto, las actividades correctivas y la metodología de ajuste se quedarán cortas y están destinados a fallar.

El problema general es ¿Es posible evaluar la estabilidad de taludes a través de elementos finitos en la carretera Interoceánica sur de Marcapata, Quispicanchis, Cusco? Y Los problemas específicos podemos definirlos en primer lugar, ¿Cuál es el perfil actual del macizo rocoso en el tramo de la carretera estudiado en el distrito de Marcapata? En segunda parte ¿Cómo es la estabilidad de los taludes y el factor de seguridad según las fuerzas y condiciones que actúan sobre estos? Y por último ¿Es posible determinar las acciones a tomar a partir de los datos obtenidos para mejorar la estabilidad de los taludes y mejorar la viabilidad del área?

El presente proyecto de investigación tiene una justificación teórica ya que plantea estudiar las fallas y problemáticas existentes en las estructuras de taludes presentes en el área de Marcapata, esto presenta además un beneficio como estudio y datos estructurales y aplicables a diferentes zonas que posibilitara la detección y solución de problemas estructurales similares en un futuro.

Este estudio tiene una justificación metodológica ya que el área de Marcapata existe peligros y deficiencias en las vías debido a las condiciones geotécnicas presentes, lo que se busca con este estudio es detectar y registrar estas con el fin de proponer soluciones metodológicas concretas presentando una memoria de datos recabados sobre las estructuras de taludes en Marcapata y su estado actual.

Esta investigación igualmente tiene una justificación práctica al detectar el nivel de estabilidad de los taludes del distrito Marcapata por lo que permitirá detectar peligros, zonas de mayor o menor riesgo y proveer una vista práctica de la realidad actual en cuanto a estado funcional de la vía. Además de los aspectos económicos en cuanto a desarrollo de la viabilidad y presentación de recomendaciones para soluciones de fallas. Sin embargo, el mayor aporte práctico es dar un paso en garantizar la seguridad de la vía para los usuarios.

La justificación económica se refleja en que el acceso vial del distrito de Marcapata, provincia de Quispicanchi, representa la interconexión de sus habitantes en forma física, a través de esta viabilidad se crean intercambios de bienes y servicios que benefician a los habitantes y les provee de bienes necesarios fuera de su comunidad. De esta manera asegurar la seguridad de las vías del área representa un beneficio enorme para los desarrollos económicos. Otro aspecto a tomar en cuenta son los presupuestos sociales, al desarrollar la correcta identificación y evaluación estructural de los taludes se sientan las bases para un plan de reparación y mantenimiento certero centrado en las problemáticas reales presentes e incluso aquellas previstas, reduciendo costos de trabajo y mejorando su rendimiento.

Los análisis se suman al estudio del desprendimiento de rocas que es peculiar y muy frecuente en las carreteras de nuestro país en particular en la región de estudio. Por este modo, nos proponemos ocuparnos de la cuestión social preciso a daños de la existencia humana y la interrupción provocada por las avalanchas.

El objetivo general de esta investigación es evaluar la estabilidad de taludes a través de elementos finitos en la carretera Interoceánica sur de Marcapata, Quispicanchis, Cusco, 2021. Los objetivos específicos son: Determinar el perfil actual del macizo rocoso en el tramo de la carretera estudiado a través de un estudio geotécnico. Analizar la estabilidad de taludes críticos mediante el método de elementos finitos, finalmente Determinar el método o combinación de métodos más adecuados para la estabilización de los taludes en la zona en estudio.

La hipótesis General de esta investigación es: la evaluación de la estabilidad de taludes a través de elementos finitos en la carretera Interoceánica sur de Marcapata, Quispicanchis permite la selección del mejor método de sostenimiento de la roca. Las hipótesis específicas son: el estado de las infraestructuras de los taludes en la carretera Interoceánica sur de Marcapata, Quispicanchis es deficiente de acuerdo al estudio geotécnico, los niveles de estabilidad y factor de seguridad de los taludes en el segmento estudiado de la vía están por debajo de lo establecido por las normas de estabilidad de taludes y el sostenimiento a través de biomallas garantiza el buen funcionamiento del tramo de la vía.

## II.- MARCO TEORICO

Esta parte alude a los antecedentes que sustentan este trabajo, tomando en cuenta la investigación internacional de La revista Milena Mesa en el 2020 donde realizó una revisión en México sobre “La Evaluación del Factor de Seguridad en Taludes de Terraplenes Carreteros con alta Carga Sísmica”. En este caso, se realiza análisis al factor de seguridad utilizados para propósitos de diseño, teniendo en cuenta el manual de diseño de obras civiles de la comisión federal de electricidad utilizando el análisis estático y, en hechos explícitos y desvinculados haciendo un análisis sísmico. El enfoque se basó en determinar las condiciones de filtración y agua subterráneas.

Dicho de otro modo, para realizar la investigación se hizo un plan de ensayo. El cual consiste en variar la altura del terraplén en tres niveles más un nivel de sismicidad, construyendo acelerogramas a partir de los espectros. Al obtener los resultados se utilizó la técnica de elementos finitos (MEF) y el método de Newmark. En forma de instrumento computacional, del mismo modo se utilizó el programa particular Geo-Studio con el submódulo de investigación dinámico QUAKE/W, y el submódulo para el estudio de estabilidad SLOPE/W. el efecto que se produce demuestran la obligación de comprobar estas construcciones frente a los temblores, especialmente en las regiones de alta sismicidad cuando su altura supera los 12 metros.

En segundo se ha considerado a Torres Latorre Paula en 2016 en su proyecto de grado en Colombia realizó un estudio de “Estabilidad de Taludes con Neumáticos Usados”, evaluando que la utilización de este tangible no regular, puede disminuir en efecto o impacto ambiental de la explotación de las canteras

para alcanzar el material del que se complementan los gaviones. Además, mostrando resultados donde el valor de la gravedad particular de la mezcla de neumáticos es menor que el del suelo local aún en la combinación en la que los neumáticos tienen una cara cortada, esto se debe a que, aún sin una cara la disposición de los neumáticos permite la producción de vacíos en el muro. También la estimación de elementos de seguridad del vuelco, deslizamiento y límite de carga coincidieron en todos los casos, además la investigación realizada con el programa SLIDE mostró la técnica de ajuste con neumáticos utilizados funciona para el análisis a nivel local con factores de seguridad que se ajustan a lo contemplado en la norma NSR-10.

En último podemos incluir en tesis internacionales al trabajo de Romero & Galviz en 2016. Realizaron su tesis sobre el “Uso de Fajinas en Colombia, como herramienta empleada para la disminución de la erosión en taludes”. Verificaron que en función de las condiciones de erosión que se presenten en la superficie del talud a estabilizar, la utilización de las fajinas está condicionado al crecimiento de este para que actuara como follaje se adapta al desarrollo de este hasta obtener una capa que proteja el talud de las condiciones meteorológicas. Y concluyendo que las fajinas como sistema de estabilización y control de erosión, se considera que sería una gran solución a los problemas geotécnicos de estabilización de taludes, considerándose entonces como una opción alternativa ecológica con un mínimo de inversión, que igualmente ayuda a la protección del medio ambiente.

En el mismo orden de ideas se escogió la investigación Nacionales como el trabajo de Carranza Eugenio en 2017 “Análisis de Inestabilidad de Taludes Mediante Equilibrio límite y elementos finitos, tramo santo rosa– tuco bajo carretera Bambamarca – centro poblado tuco” la cual busca evaluar identificar el tramo Santa

Rosa, la metodología es descriptiva y analítica y la utilización de datos obtenidos es a través de un buen sistema de recolección de datos, el estudio a fin pretende determinar las causas de la inestabilidad para cumplir con el objetivo principal de esta proyecto de investigar la endeblez de los taludes mediante técnicas de equilibrio límite y elementos finitos utilizando la programación de Deslizamiento Slide y Phase2 .en conclusión los resultados fueron una serie de características geomecánicas propias del talud del tramo de Santa Rosa en donde se encuentra un DSI que varía entre 40 a 50, resistencia a la compresión de 70 a 75 entre otros parámetros que indican taludes estables

Otro estudio importante fue el realizado por Hosinal & Lauriano, (2020) en trabajo de investigación “ Ppropuesta de estabilidad de taludes en tramos Sinuosos en la carretera mollepata – pallasca”, donde se analizó una propuesta a la estabilidad de taludes en la zona desde la carretera de Mollepata- Pallasca, las características del suelo es que son depósitos pluviales y residuales dando como resultado ser inadecuados para un corte de talud con algunos de inclinación mayores a 80°los cuales son necesarios para el diseño de la carretera, el programa utilizado es Slide 6.0 en condiciones estáticas y el método de Bishop con superficie de falla no circular, los factores arrojados de seguridad fueron confiables y se recomienda realizar cortes cada tres metros para que el proceso de construcción sea seguro y no exista desprendimientos y deslizamientos.

Por último y sin restar relevancia se tomó en cuenta la investigación de Cuyutupa Fredy en 2019 en su tesis “Evaluación Geomecánica con fines de estabilidad de talud carretera mariscal castilla Huancayo -Huancavelica”, Donde se plantea la evaluación geomecánica de estabilidad de talud en el tramo o entre las progresivas 139 + 620 al 169 + 720. Concluyendo que en la valía de SMR= 65, cuya

representación es grande, como indica este resultado el talud es constante, mostrando división en algunos bloques, se recomienda entonces realizar un tratamiento periódico y oportuno.

Las bases teorías relacionadas a la investigación empiezan con una breve definición de Taludes, El cual se caracteriza por ser una masa de tierra con una superficie externa inclinada respecto al nivel. El momento cuando la inclinación se forma normalmente, sin intercesión humana, se conoce como inclinación o pendiente característica. Por regla general, vemos que cuando la inclinación en la masa de tierra se produce por la mediación de la acción humana, desenterramientos o rellenos, se denomina Talud. En general, observamos que son esenciales para el alivio y la morfología de varias regiones, por ejemplo, laderas, valles y cuencas, lo que hace que los taludes son focos significativos para la exploración del diseño de las calles, como su desarrollo. (Cifuentes. C, 2015).

Otras definiciones importantes como la de Estabilidad considerada como las distintas inclinaciones del talud se comparan con las distintas masas de material terreo que hay que mover y, en consecuencia, con los distintos gastos. (Quintero Figueroa, 2012). El ajuste de un talud incorpora los elementos adjuntos, 1 Decidir los sistemas de estabilidad o combinación de los mismos más adecuados según sea el tipo de talud, los tipos de suelo y todo aspecto que afecte su estabilidad, 2 Planificar el diseño de cómo se completarán estas técnicas ya sea solo o en mezcla, con la ayuda de planos y especificaciones como normas y criterios, 3 Llevar un desarrollo y control después de la estabilidad para ver cómo actúa y se comporta el talud.

Podemos incluir Orientación definida como el lugar de la irregularidad en el espacio, la cual se caracteriza por realizar estimaciones en el sentido de las

agujas del reloj con respecto al norte, mostrando una línea de tendencia en cuanto al plano horizontal en grados Y Espaciamiento que se refiere a la distancia opuesta entre discontinuidades contiguas, se establece generalmente a datos referenciales en fin es un elemento que decide la proporción de los bloques que forman el macizo rocoso. Priest y Hudson establecieron la capacidad de espesor de la dispersión la cual puede aproximarse mediante una apropiación negativa.

así mismo Apertura definida como la distancia opuesta que confina las paredes de dos bloques continuos en una rotura abierta, cuando el espacio entre ellos está cargado de aire o agua. Y Relleno expresión utilizada para representar el material que aísla dos paredes adyacentes de roca. Dependiendo del tipo de material, puede aumentar o reducir la capacidad del macizo.

Por otro lado, es importante mencionar el Análisis de estabilidad de taludes el cual consiste en la evaluación de las posibilidades de falla de estos cuando se incita una avalancha de la masa de tierra que lo estructura, buscando que el diseño de excavaciones e incrustaciones que provocan un talud o influyen en la estabilidad de una ladera se realice de manera protegida y económica. El análisis convencional de estabilidad de taludes en dos ángulos intenta decidir y determinar la magnitud de las fuerzas o momentos actuantes que causan el desarrollo al movimiento siguiendo las suciedades que estructuran al talud.

En este orden para emprender lo anterior se determina la proporción entre las fuerzas o momentos resistentes y las fuerzas o momentos actuantes, obteniendo un factor seguridad se ve impactado por las magnitudes de los parámetros que le dieron origen, por lo que un nivel de vulnerabilidad está inherentemente conectado a cada factor de seguridad. (Escobar. D, 2013).

Algunos de los Factores que influyen en la estabilidad de un talud son los defectos de un talud o ladera las cuales se deben a una expansión de los esfuerzos actuantes o a una disminución de resistencia al esfuerzo cortante del suelo. La variedad es provocada en su mayor parte por los impactos naturales y actividades humanas, inicialmente los elementos influyentes en la solidez de un talud, natural o diseñado son Erosión, Lluvia, Sismo Aspectos geológicos, Cargas externa. (Costa. A, 2004).

Para entender un poco más es necesario definir los Tipos de falla de taludes el cual se entiende como cualquier masa de tierra que establece un talud natural, terraplén o corte que se desplazará, en general, hacia la base y hacia el frente por el impacto de su propio peso. En el momento en que la resistencia al esfuerzo cortante del suelo afronta esa tendencia, el talud es estable; en caso contrario, se produce un deslizamiento.

Tal como lo indica el Manual para la revisión y representación de los trabajos de ajuste (INVIAS, 2017), las variables que interceden en los ciclos de precariedad pueden denominarse interiores y exteriores; dentro de los factores interiores se encuentran aquellos atributos que caracterizan la indefensión de la inclinación, No obstante, los elementos exteriores pueden acabar desarrollando

Sea como fuere, los componentes externos pueden llegar a funcionar como especialistas contribuyentes. La tabla siguiente presenta la clasificación general de los factores.

Tabla 1. Factores Inherentes a la estabilidad de taludes

<b>Factores internos</b>	<b>geológicos</b>
	geomorfológicos
	geotécnicos
	vegetación
<b>Factores externos</b>	climatológicos
	sísmicos
	antropogénicos

Fuentes: (Rodríguez, 2016)

Se muestra que la disposición de los movimientos de falla de taludes se divide en seis grandes grupos significativos los cuales son Caídas, Volcamientos, Deslizamientos, Propagación Lateral, Flujos, movimientos complejos. (Suárez, (1998, pág. 7). Asimismo, se ha demostrado que una masa de cualquier tamaño se desprende de un talud de pendiente fuerte, a lo largo de una superficie, en la que no se produce ningún desplazamiento de corte y se desliza ante todo por el aire en caída libre, saltando o rodando.

En otro orden de ideas tenemos a el Factor de seguridad en taludes el cual se entiende como la conexión entre la fuerza y resistencia en la pendiente decide la variable de seguridad. La condición de equilibrio base considerada es un componente de seguridad igual a 1 (F.S. = 1). Esto sugiere que al menos una o más fuerzas de resistencia será equivalente a la fuerza, Además, se reconoce que la altura básica de inclinación se alcanza con un valor similar.

La tabla adjunta muestra algunos aspectos positivos del elemento de seguridad, al igual que notas sobre la fiabilidad del factor de seguridad en la construcción del suelo:

Tabla 2 Valores de Determinación de Estabilidad de Talud

<b>Factor de Seguridad</b>	<b>Estabilidad</b>
<b>&lt; 1</b>	inestable
<b>1 - 1.20</b>	estabilidad cuestionable
<b>1.20 - 1.50</b>	estable bajo condiciones estáticas
<b>&gt; 1.50</b>	estable bajo condiciones dinámicas

Fuente: (EMEL, 2018).

Brevemente se realiza un estudio de los diferentes Métodos de análisis para estabilidad de taludes en los cuales se acogen varias técnicas de análisis para decidir la estabilidad de taludes. Los más reconocidos son Método del círculo de rotura, Método de dovelas, Métodos aproximados, Método ordinario o de Fellenius, Método simplificado de Bishop, Método simplificado de Janbú, Métodos Precisos, Método de Morgenstern – Price, Método de Spencer, Método de Sarma, Soluciones basadas en ábacos

En prácticamente todas las técnicas se determina la seguridad de un talud la cual se mide a través del Factor de Seguridad (F.S.), que se caracteriza por ser un coeficiente entre la obstrucción al corte en la superficie de deslizamiento y la necesaria para mantener el equilibrio estricto que es considerada necesaria en toda la superficie de deslizamiento (Alzate, 2005).

Con respecto a las técnicas frecuentemente utilizadas en la resolución de la estabilidad de un talud, tenemos que se dividen en dos grandes grupos fundamentales el primero de ellos son los Métodos de Equilibrio Límite y segundo los Métodos Numéricos. Los numéricos se definen como el procedimiento que determina la mejor conjetura a los detalles de las condiciones de estabilidad en la mayoría de los casos de evaluación de estabilidad de taludes. Por otra parte, los métodos de límite de equilibrio, son menos difíciles de utilizar permitiendo el análisis

de casos de fallas traslacional y de fallas rotacional, así como las fallas de inclinación. (Escobar. D, 2013).

Como Métodos numéricos en esta investigación se utilizará el Método de elementos finitos. Este introduce una representación de esta estrategia esta depende de la división del sistema o dominio de estudio continuo en una cantidad finita de regiones denominadas componentes, que se asocian entre sí en focos denominados nodos. En análisis bidimensional, los tipos de componentes utilizados aluden a planos con formas sencillas como triángulos con tres o seis nodos o cuadriláteros con cuatro u ocho nodos.

El desarrollo del área se denomina discretización, un ciclo que accede a investigar el cálculo de geometrías complejas y materiales heterogéneos. La técnica incluye unos cuantos campos de utilización dentro de la ingeniería, entre los que se encuentran problemas de elasticidad, flexión, simetría de revolución y conductividad, entre otros.

Con un desarrollo interconectado, los desplazamientos de los nodos se convierten en las incógnitas fundamentales de un problema (O. Zienkiewicz, 1994). Conociendo las coordenadas de cada nodo, se realiza un conjunto de capacidades que describen la alteración de cada componente como un elemento del desplazamiento de sus nodos de la forma presentada en la Ecuación, conocida como ecuación de equilibrio (E. Nápoles)

$$K\Delta U = P - F$$

Donde  $K$  se refiere a una matriz de rigidez caracterizado por las propiedades de los materiales de cada componente,  $\Delta U$  es el vector de desplazamientos nodales que se busca 20 determinar,  $P$  es el vector de cargas aplicadas y  $F$  es el vector de fuerzas internas.

Esta estructura de red se crea de forma iterativa, donde en los énfasis de iteraciones se produce un alto desequilibrio de la segunda parte  $P-F$ , que disminuye con el transcurso de los ciclos hasta llegar a un límite o resiliencia que decide la detención de la interacción. Con esta metodología, el desprendimiento de cualquier punto de la estructura inicial se caracteriza por los desprendimientos de los nodos del elemento al cual pertenece dicho punto. Así, se caracterizan las capacidades interpolación o de forma que permiten decidir el valor de cualquier desprendimiento hacia el interior del componente a partir de las cualidades adquiridas en los nodos de dicho elemento. Considerando un estudio de elasticidad plana en dos dimensiones, cualquier marca de un componente tiene un desplazamiento definido por un vector  $u$ , cuyas componentes son (J. Celigüeta,2011).

La estrategia de elementos finitos básicamente separa la masa de suelo en unidades discretas que se llaman elementos finitos. Estos elementos están interconectados en sus nodos y en bordes predefinidos. La estrategia comúnmente utilizada es la formulación de desplazamientos, que presenta los resultados en forma de esfuerzos y desplazamientos a los puntos nodales La condición de falla que se adquiere es la de una peculiaridad en constante evolución en la que no todos los componentes se desplazan todo el tiempo (Suarez, 2009).

Los métodos numéricos son la técnica que muestra la estimación más realista al detalle de las condiciones de estabilidad en la mayoría de los casos de evaluación de estabilidad de taludes. Las variables que crean el deslizamiento

pueden ser desconcertantes y extremadamente desafiantes de modelar; en cualquier caso, con el objeto de analizar esas situaciones complejas y para romper estas circunstancias intrincadas, hay algunos dispositivos que utilizan elementos finitos que es hoy en día el modelo numérico más utilizado y presumiblemente el más versátil para el análisis de estabilidad de taludes (Carter et al, 2001).

## **III METODOLOGIA**

### **3.1 Tipo y Diseño de la Investigación**

La investigación será aplicada porque sigue en lo fundamental las pautas y recomendaciones del método científico, su objetivo central es obtener nuevos conocimientos. El objetivo de la investigación aplicada es la generación de conocimiento con aplicación directa y a medio plazo en la sociedad o en el sector productivo. Sus aportaciones se dirigen a iluminar la comprensión de un aspecto de la realidad perteneciente al dominio de estudio de una disciplina científica concreta.

El análisis de estabilidad de taludes por el método de los elementos finitos dada las condiciones de topografía y parámetros geomecánicos de los macizos rocosos presentes en la carretera Interoceánica en el tramo de Marcapata determinará el nivel de estabilidad de los taludes y poder determinar las zonas de mayor riesgo presentando recomendaciones para minimizar el peligro.

#### **Diseño de Investigación**

- El diseño es experimental ya que se utilizarán datos cuantitativos como las pendientes de los taludes, parámetros geomecánicos de los macizos rocosos y software especializado de elementos finitos para procesar estos datos, y obtener factores de estabilidad y desplazamientos que permitan evaluar los diferentes procedimientos de estabilización.
- Contempla en menor grado un diseño bibliográfico tipo documental donde se obtendrán los antecedentes, bases legales y los criterios de evaluación acorde con la vialidad, relieve y condiciones geológica.

## **Enfoque de la Investigación**

El enfoque es cuantitativo ya que utiliza datos numéricos como pendientes y parámetros geomecánicos de las rocas, los cuales son procesados mediante fórmulas y métodos numéricos para posteriormente ser analizados bajo ciertos criterios (factores de estabilidad en este caso)

### **3.2 Variables y Operacionalización.**

A continuación, se presentan las variables que intervienen en la evaluación de la estabilidad de los taludes en el tramo de Marcapata de la carretera Interoceánica. La operacionalización de las variables se encuentra en los anexos.

- Tipografía del relieve en tramo de Marcapata, es una variable independiente cuantitativa, que se representa por las pendientes naturales del terreno. Afecta en la estabilidad de los taludes por que condiciona la pendiente de los mismos ya que deben ser mayor o igual a las del terreno.

- Condiciones geológicas es una variable independiente cuantitativa que definen los factores estabilizantes y desestabilizantes de macizos rocosos. Posee varias dimensiones que se agruparon en 4 dimensiones: la estratigrafía de las capas geológicas las cuales se representan mediante los perfiles litológicos, las estructuras geológicas representadas por las fallas y la calidad de los macizos geológicos que se resumen en las diversas clasificaciones geomecánicas como RMR, Q de Barton y GSI.

- Método de estabilización de taludes, variable independiente, comprenden los factores para disminuir las fuerzas inestables y técnicas utilizadas para incrementar las fuerzas estables. Es una variable cuantitativa ya

que se pueden medir en cuanto colaboran estos métodos en el coeficiente de estabilidad.

- Estabilidad de los taludes la cual se realiza a través de los métodos de análisis en este caso elemento finito, es un método de discretización de la sección a estabilizar a través de elementos más pequeños con el fin de obtener un coeficiente de estabilidad, los otros elementos que influyen en la estabilizado son las pendiente y altura del talud, los anchos de las bermas si existen, y los elementos estabilizantes como los recubrimientos y anclajes.

### 3.3 Población y Muestra

#### Unidad de Análisis

La unidad de análisis consiste en los taludes a lo largo de la carretera Interoceánica.

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio



Fuente: (CAF, 2013)

## **Población**

Son los taludes de la carretera Interoceánica que pasan por el Distrito Marcapata contenidos en un tramo de 60 kms.

## **Muestra**

La muestra corresponde a dos zonas con taludes inestables ubicadas en los kilómetros 123,9 y 155.

### **3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.**

- Técnica de análisis documental el instrumento a utilizar es una ficha guía que contendrá en el listado; revisión de la topografía en el área de Marcapata, trazado de la carretera Interoceánica, tipos de deslizamientos existentes en la carretera, geología superficial de la zona, corrientes de aguas y poblaciones en el área.
- Técnica de observación no estructurada mediante los siguientes instrumentos: diario de campo, fotografías, videos, mediciones topográficas y ensayos de campo y laboratorio.
- Técnicas de encuesta mediante un cuestionario donde se revisarán los riesgos existentes en la zona.

### **3.5 Técnicas para el Procesamientos de los Datos.**

El análisis de los datos se realizará a través de los siguientes procedimientos y métodos:

- Procedimiento de elaboración de los perfiles topográficos con la información de las curvas de nivel.

- Procedimiento de elaboración de la litología mediante la estratificación de las rocas y suelos.
- Clasificaciones de los macizos rocosos a través de los diferentes métodos: RMR, Q y GSI.
- Obtención de los parámetros geomecánicos a través de las clasificaciones de la roca y los diferentes ensayos.
- Obtención de los coeficientes de estabilidad mediante la utilización del método finito mediante software especializado.

### **3.6 Etapas de la Investigación**

#### **Primera Etapa**

Se realiza la investigación documental donde se analiza la situación actual de los deslizamientos y fallas en el Distrito de Marcapata. En cuanto a la carretera Interoceánica se define su tratado y topografía, como también las fallas que ha habido de los taludes y sus causas.

#### **Segunda Etapa**

Se realiza las actividades de campo de la investigación, entre las cuales tenemos toma de fotografías, realización de ensayos y elaboración del diario de campo con las estructuras y características de los macizos geológicos; con esta información se obtendrá una geología superficial del tramo de carretera en estudio.

### **Tercera Etapa**

En esta etapa se realizarán las siguientes actividades:

- Se analizarán las causas de los deslizamientos y sus posibles controles.
- Se elaborarán los perfiles topográficos con sus respectivas litologías.
- Se realizará el análisis de estabilidad por el método de los elementos finitos.

### **Cuarta Etapa**

En esta etapa se evaluarán los resultados del análisis de estabilidad para dar las respectivas conclusiones y recomendaciones.

### **3.7 Aspectos Éticos**

Para evitar el robo de ideas, hemos considerado las 4 principios de la ética respeto de la autonomía, no maleficencia, beneficencia y justicia, en esta investigación para la norma de la utilidad, se hicieron citas y la referencia bibliográfica correctas para asegurar las libertades de los creadores que recuperaron su propia visión a la luz de su exploración, Es un trabajo simplemente único con información que serán absolutamente genuino y obtenido por percepción directa, pruebas de laboratorio y simulaciones de los programas utilizados. Cada aporte plasmado en una investigación que pertenezca a otro autor está debidamente citado; no va a ser copiado de otra tesis, las cuales serán comparadas por la herramienta web Turnitin.

Para lograr el principio de no- mal eficiencia se completaron múltiples investigaciones ensayos y estudios con el fin de obtener el mejor efecto posterior de los objetivos recientemente expresados, esto asegura que la proposición o configuración producida en este trabajo funcionará bien para los usuarios y no los prive al derecho de ser protegidos y estar seguros

En un orden específico a la autonomía se decidió realizar esta investigación de forma aplicativa de manera útil en este método para crear información genuina así poder ofrecer un apoyo eficiente, por último en el precio de justicia a la hora de realizar y completar las investigaciones como expertos hemos asegurado con obligación los estudios como profesionales y hemos protegido con suma responsabilidad las áreas privadas y públicas ya que el fin de esta investigación es generar beneficios y no pérdidas. Los resultados que se desarrollen en esta investigación son veraces; por tal motivo se asume la responsabilidad ante las normas de la universidad Cesar Vallejo y ante la Justicia Peruana.

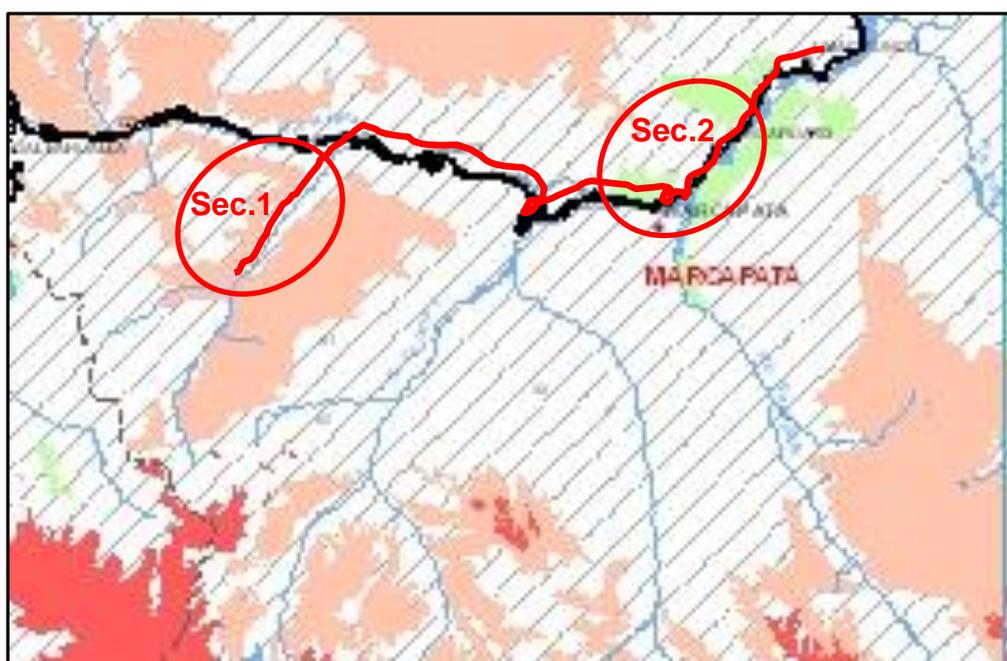
## IV.- RESULTADOS

### 4.1.- Perfil del macizo Rocos

Se realizaron 3 visitas a la carretera Interoceánica en los kilómetros 124 y 155, identificadas con las zonas con mayores problemas de estabilización en el Distrito de Marcapata de acuerdo a la investigación documental realizada, y a la observación de los deslizamientos y caída de roca en las diferentes visitas al campo.

En la figura 2, forma parte de un plano de vulnerabilidad geológica de Quispicanchis, las áreas de color rojo son vulnerables a deslizamientos, la de color rosado son moderadamente vulnerable, las rayadas medianamente vulnerables y el verde claro moderadamente estable.

Figura 2. Vulnerabilidad Geológica Distrito de Marcapata



**Fuente:** Municipalidad de la Provincia de Quispicanchi

Las zonas seleccionadas presentan una susceptibilidad muy alta de ocurrencia de deslizamiento, ya que poseen pendientes altas y taludes naturales muy inclinados, el grado de meteorización es alto como consecuencia de las altas precipitaciones en la zona, y la ocurrencia de desprendimiento de bloques es frecuente. Y como se puede observar en la siguiente figura la capa vegetal es prácticamente nula.

Figura 3. Taludes de Pendientes Altas - Marcapata



Fuente: Imagen de Google Earth.

#### 4.1.1.- Características Topográficas del Relieve

En el kilómetro 124 (sección 1) las pendientes naturales van desde  $47^\circ$  a  $65^\circ$  hacia el lado interno de la carretera y de  $20^\circ$  a  $32^\circ$  hacia el río Palquilla. Esta zona de peligrosidad se extiende desde los poblados de Tambillo a Tamo, llegando a tener alturas de taludes hasta de 500 mts, figura 4.

Figura 4. Topografía de la Sección 1.



**Fuente:** Imagen de Google Maps.

En el kilómetro 155 (sección 2) se tiene pendientes internas entre  $37^\circ$  a  $52^\circ$ , y en el lado externo de  $17^\circ$  a  $25^\circ$  hacia el río Arazá. El trayecto de mayor riesgo está entre los poblados de Yuraccacca y Manzanayoc, donde las alturas naturales de los taludes llegan a hasta los 1200 mts, Figura 5.

Figura 5. Topografía de la Sección 2.



**Fuente:** Imagen de Google Maps.

En cuanto a la vialidad, en ambas zonas de estudio es de un canal por sentido, con hombrillos amplios y cunetas a ambos lados, y si la topografía lo permite se deja sobre anchos por derrumbes o protección del pavimento a fallas de bordes.

De las mediciones de las secciones de la carretera se obtuvo valores que van desde los 16,20 mts a los 22,5 mts, para la realización de los análisis de estabilizada se tomó como ancho de la sección 19.4 mts

En cuanto a las pendientes los taludes de corte modificados para la construcción de la carretera se observaron en la primera sección 1:4 (aproximadamente 76°), y en la segunda sección 1:2 (aproximadamente 63,4°)

#### **4.1.2.- Condiciones Geológicas**

##### **4.1.2.1.- Estratigrafía**

En la primera sección se tiene macizos rocosos de basalto, grabo y granito de grandes espesores. En cuanto a los espesores de roca muy meteorizada va de 3 a 7 metros de profundidad

En la segunda sección se observaron macizos rocosos de gneis, anfibolita, caliza y andesita, siendo las predominantes la anfibolita y el gneis encontrándose la primera en la parte superior.

Las rocas presentan un metamorfismo de bajo a mediano, y el espesor medio de las capas o extractos superior meteorizado está entre 5 a 13 metros de profundidad.

##### **4.1.2.2.- Estructuras Geológicas**

Primera sección roca masiva con discontinuidades verticales tipo columnares, con dos familias principales la primera paralela al talud y la segunda perpendicular al mismo, se observa en los afloramientos y en las cortes longitudes de 8 a 12 mts separadas entre 3 a 5 metros.

En la segunda sección se encuentran una familia de discontinuidad hacia el talud con un ángulo de 8°, de longitud entre 6 y 8 metros, separación de 5 metros, cerradas y rugosas, con posibilidades de desplazamiento, aunque no se observa el mismo en el campo. El resto son diaclasas menores de 1 mts de largo muy cerradas, producto de la descompresión de la roca.

Los tipos de fallas generalmente encontrados en los taludes en estudio son deslizamientos de pocos espesores y derrumbes, generalmente producidos por la saturación de los primeros estratos. También se observó deslaves en los pasos de quebradas con la carretera, producto de los efectos combinados de la gravedad y el arrastre por agua.

La falla geológica cercana es la de Churo, sin embargo, dada las características de las vertientes se considera que deben existir fallamientos locales a lo largo del río Palquella y en el río Arazá desde Manzanayoc a Rapchipata.

#### **4.1.2.3.- Condiciones Hidrológicas.**

De acuerdo a los registros de precipitaciones durante el período de lluvia está entre 2.000 y 2.200 mm, Si en ese año se presenta el fenómeno del niño debe agregarse de 800 a 1.000 mm.

Las precipitaciones indican el grado de meteorización que presentan las capas superiores, las cuales se encuentran húmedas o parcialmente saturadas, y en algún caso se presenta una zona de debilidad entre la capa sana y la

meteorizada. Estas humedades además de disminuir la cohesión de la roca, genera un peso adicional desestabilizador.

#### 4.1.2.4.- Calidad de los Macizos Geológicos

##### Ensayos de Campo y Laboratorio

Resumen de ensayos de peso unitario húmedo y seco, contenido de humedad, peso específico, y resistencia a la compresión de la roca

Tabla 3. Resumen de Ensayos

No	Descripción	Und	Basalto	Grabo	Anfibolita	Gneis
1	Resistencia a la compresión simple, martillo de Schmidt.	MPa	133	235	248	124
2	Ángulo de fricción, ensayo de corte.	Grd	51,5	35	45	35
3	Cohesión, ensayo de corte.	MPa	40	30	28	27,5
4	Resistencia a la compresión simple promedio, ensayo de carga puntual.	MPa	1382	2431	2516	1286
5	Humedad promedio en muestra de la matriz rocosa.	Grd	1,05%	0,20%	0,70%	1,00%
6	Peso unitario húmedo promedio.	kg/m3	2,79	3,04	2,93	2,84
7	Peso unitario seco promedio.	kg/m3	2,76	3,03	2,91	2,81
8	Peso específico.	kg/m3	2,80	3,05	2,95	2,85
9	Módulo de elasticidad.	MPa	6.560	3.730	1.295	4.870

Fuente: Elaboración Propia

## Clasificación de los Macizos Rocosos

Se presenta a continuación la clasificación de las rocas por diferentes métodos, las cuales se utilizaron para la determinación de los parámetros geo mecánicos de las rocas

Tabla 4. Clasificaciones Geomecánica – Roca Sana

Descripción	Basalto	Grabo	Gneis	Anfibolita
<b>Clasificación</b>	55	60	54	50
<b>RMR.</b>				
<b>Índice de Barton.</b>	5.917	65	59	55
<b>Clasificación GSI.</b>	60	10.312	5.294	3.395

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5. Clasificaciones Geomecánica – Roca Meteorizada

Descripción	Basalto	Grabo	Gneis	Anfibolita
<b>Clasificación</b>	38	36	42	38
<b>RMR.</b>				
<b>Índice de Barton.</b>	43	41	47	43
<b>Clasificación GSI.</b>	0.895	0.717	1.396	0.895

Fuente: Elaboración Propia

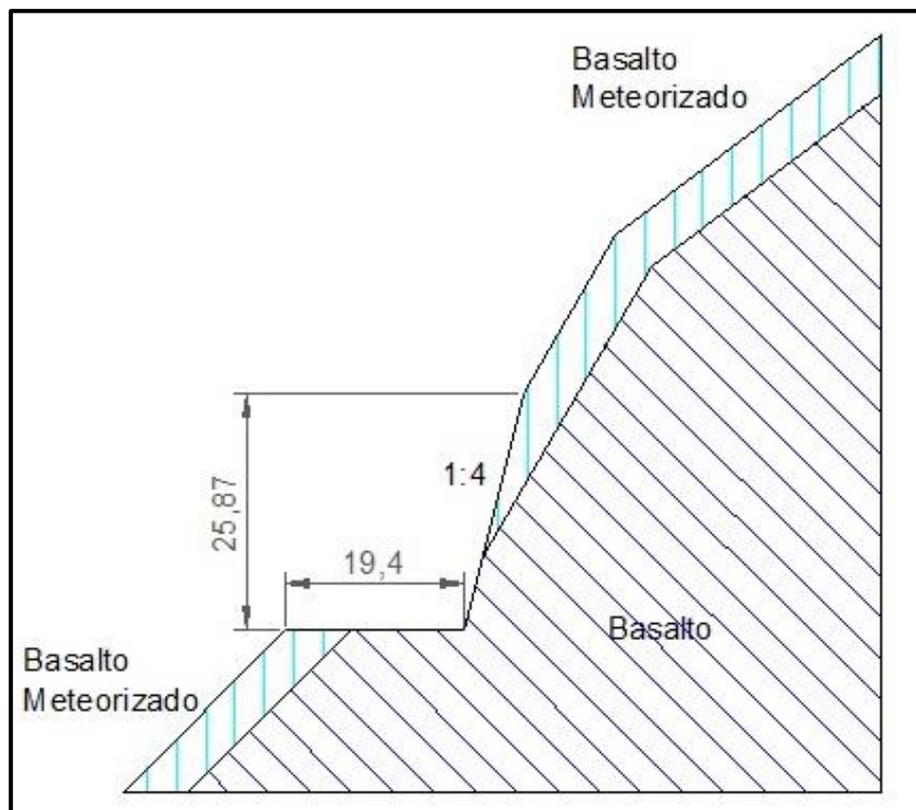
### 4.1.3.- Perfiles Litológicos de Análisis

En el recorrido desde Ocongate a Marcapata cuya longitud es de 97 kms, se tiene varios tramos que sumados dan aproximadamente 5 kms que presentan deslizamientos o caída de rocas, el espesor de roca meteorizada es de 6 a 12 mts, la mayor parte de los afloramientos son de basalto meteorizados y en menor

cantidad de grabo, observándose en su mayoría juntas verticales, agrupadas en dos familias, una perpendicular al talud y el otro paralelo, la separación de las juntas es de unos 3 mts.

En cuanto al relieve encontrado es de cordillera con pendientes muy altas en el orden de los 60°, en cuanto a los taludes modificados presentan altura de unos 20 mts, con una inclinación de 1:4

Figura 6. Perfil Litológico – Sección 1

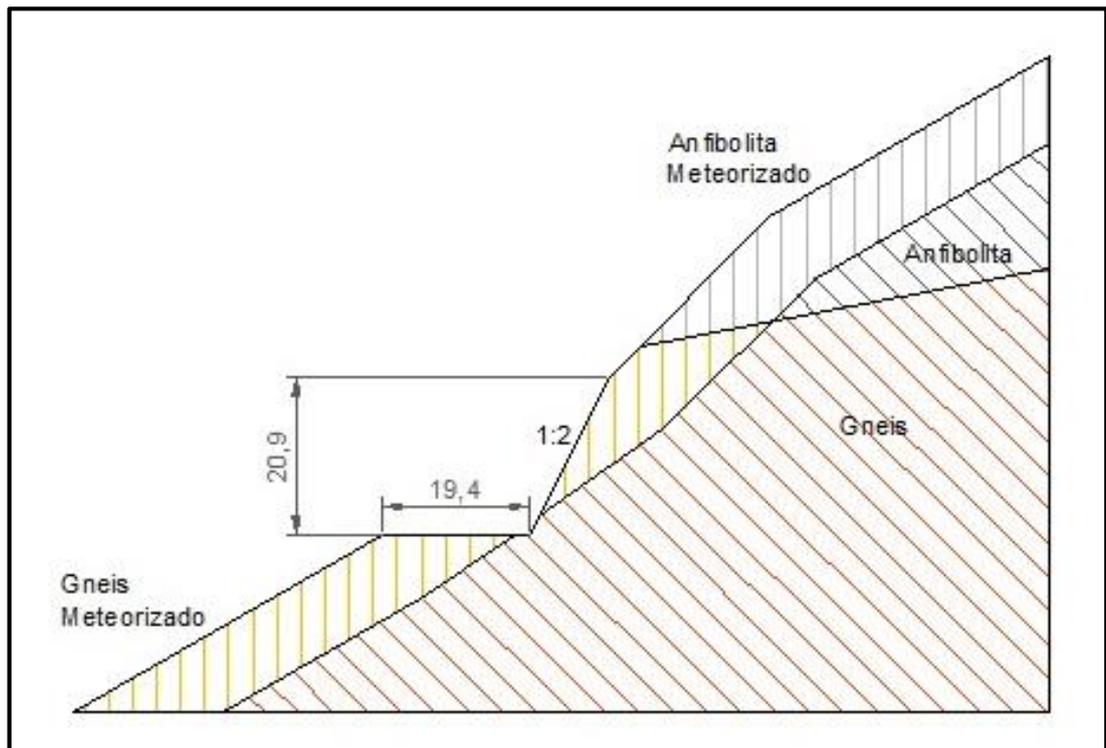


Fuente: Elaboración Propia

En el recorrido de Marcapata a Quincemil de longitud de 72,45 kms, a unos 7 kms de Marcapata se tiene un tramo de vía de unos 800 mts con deslizamiento,

se tiene una litología muy diferente con macizos rocosos de gneis y anfibolitas, con pendientes naturales entre 30 y 45 grados, los espesores de las rocas meteorizadas están alrededor de los 14 mts. La pendiente del talud modificado es de 1:2, la sección típica es como se muestra a continuación.

Figura 7. Perfil Litológico – Sección 2



Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.- Análisis de Estabilidad

Se simularon los siguientes casos por el método de los elementos finitos para la primera sección compuesta principalmente de basalto.

**Caso 1.** Análisis de estabilidad del perfil litológico compuesto de macizo rocoso sano y meteorizado, sin tomar en cuenta las discontinuidades.

**Caso 2.** Análisis de estabilidad considerando el macizo rocoso y las discontinuidades presente.

**Caso 3.** Análisis de estabilidad considerando las discontinuidades y sismos con coeficientes de aceleración horizontal de 0,10 y 0,15.

**Caso 4.** Análisis de estabilidad con coeficiente de aceleración sísmica horizontal de 0,15 y anclajes de 10 toneladas colocados en la zona de deslizamiento.

**Caso 5.** Análisis de estabilidad con coeficiente de aceleración sísmica horizontal de 0,15, anclajes de 10 toneladas y pantalla de concreto de 10 cms.

Las simulaciones realizadas en la segunda sección son las siguientes:

**Caso 1.** Análisis del perfil litológico compuesto de gneis y anfibolita, sin la presencia de juntas.

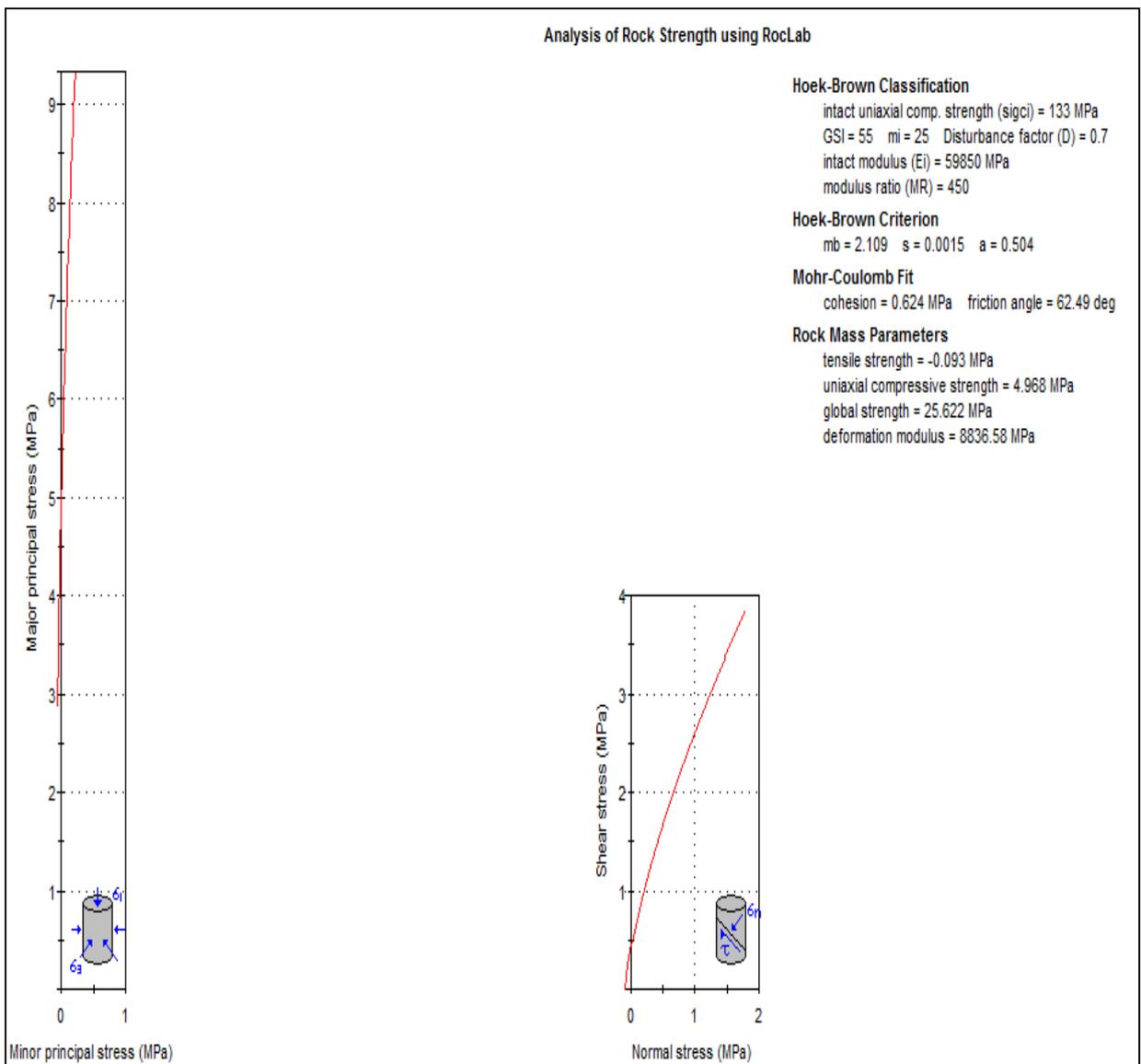
**Caso 2.** Análisis del macizo rocoso con la presencia de las discontinuidades, se tiene una sola familia con un ángulo con la horizontal de unos 6°.

**Caso 3.** Análisis de estabilidad con sismos de coeficiente de aceleración horizontal de 0,10, 0,15 y 0,20.

#### 4.2.1.- Condiciones y Resultados de los Análisis

Para la determinación de los parámetros geomecánicos a utilizar en los análisis de estabilidad se utilizó el Roclab, como se muestra a continuación en la figura 8 para el basalto, los resúmenes de los parámetros están en las tablas 6 y 7.

Figura 8. Parámetros Geomecánicos del Basalto Sano



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6. Parámetros de Estabilidad Rocas Sana

Descripción	Und	Basalto	Grabo	Gneis	Anfibolita
<b>GSI</b>		55	60	54	50
<b>mi</b>		25	27	28	25
<b>mb</b>		2.109	2.998	2.236	1.667
<b>s</b>		0.0015	0.0030	0.0013	0.0007
<b>a</b>		0.504	0.503	0.504	0.506
<b>Disturbancia (D)</b>		0.7	0.7	0.7	0.7
<b>Modulo Intacto (Ei)</b>	Mpa	46550	105300	65100	130200
<b>Modulo del macizo (Em)</b>	Mpa	6873	21222	9021	11973
<b>Resistencia Compresión</b>	Mpa	133	235	124	248
<b>Cohesión</b>	Mpa	0.624	1,230	0,524	0,681
<b>Ángulo de fricción</b>		62.49	66,54	63,67	65,31

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7. Parámetros de Estabilidad Rocas Meteorizada Húmeda

Descripción	Und	Basalto	Grabo	Gneis	Anfibolita
<b>GSI</b>		38	36	42	38
<b>mi</b>		25	27	28	26
<b>mb</b>		0.298	0.279	0.445	0.310
<b>s</b>		0.000032	0.000023	0.0001	0.000033
<b>a</b>		0.513	0.515	0.510	0.513
<b>Disturbancia (D)</b>		1	1	1	1
<b>Modulo Intacto (Ei)</b>	Mpa	46550	105300	65100	111600
<b>Módulo macizo (Em)</b>	Mpa	1709	3598	2846	4099
<b>Resistencia Compresión</b>	Mpa	133	235	124	248
<b>Cohesión</b>	Mpa	0,216	0,272	0,232	0,269
<b>Ángulo de fricción</b>		49,62	52,28	53,28	54,89

Fuente: Elaboración Propia

Se procedió a realizar un levantamiento de las juntas en los perfiles de Basalto, encontrándose dos sistemas de discontinuidades, ambos verticales uno perpendicular al talud y el otro paralelo formando un sistema de columnas, se realizaron ensayo de resistencia a la compresión simple mediante el martillo de Smith, y toma de muestras para determinar la humedad, cohesión y ángulo de fricción. En general se tiene que el relleno es una arcilla muy arenosa, con un 16% de humedad, una resistencia a la compresión de 1,04 Kg/cm<sup>3</sup>, una cohesión de 0,5 kg/cm<sup>2</sup> y un ángulo de fricción residual de 8 grado.

#### 4.2.2.- Factores de Seguridad

Existen varios factores de seguridad aceptados para la consideración de un talud aceptable, lo más utilizados se muestran en la siguiente tabla. Se puede considerar un Factor aceptable de 1,2.

Tabla 8. Factores de Seguridad para Diseño de Taludes

<b>Caso</b>	<b>Factor de Seguridad</b>
<b>Si puede ocurrir pérdida de vidas humanas al fallar el talud.</b>	1,7
<b>Si la falla puede producir pérdidas de más de 30% de la inversión o perdidas consideradas importantes.</b>	1,5
<b>Si se puede producir pérdidas económicas no muy importante.</b>	1,3
<b>Si la falla del talud no causa daño.</b>	1,2

Fuente: Elaboración Propia

### **4.2.3.- Resultados de los Análisis de Estabilidad**

#### **Sección No. 1**

Para realizar el estudio del talud se procedió a simular los siguientes casos, roca sin juntas, rocas con juntas verticales, sismos y sistemas de estabilización. Las descripciones de las características de las rocas utilizadas en el phase 2 y la discretización del talud para los análisis se muestran a continuación.

En la sección 1, constituida generalmente por basalto, el sistema de juntas no afecta significativamente la estabilidad del talud, el mayor agente desestabilizante es la condición sísmica representado por una fuerza horizontal en sentido contrario al talud, que al ser los taludes prácticamente verticales, sus efectos son mayores.

La zona inestable generalmente está ubicada en el hombro del talud, ya que en esta zona, el macizo rocoso meteorizado pierde el punto de soporte por el talud modificado, de los diferentes análisis se llegó a la conclusión que para poder estabilizarlo se requiere de una pantalla atirantada (revestimiento de concreto con anclajes generalmente activos, pretensados). Para un coeficiente sísmico horizontal  $K_h$  de 0,15, y utilizando una pantalla atirantada el factor de seguridad es de 1,49, aceptable.

Figura 9. Material Basalto Sano, Entrada Phase 2.

Color	
Initial element loading	body force only
Unit weight	0.0235 MN/m <sup>3</sup>
Elastic type	isotropic
Young's modulus	6872.89 MPa
Poisson's ratio	0.25
Failure criterion	Hoek-Brown
Material type	Plastic
Dilation Parameter	0
Compressive strength	133 MPa
mb parameter	2.10928
s parameter	0.00147111
Residual mb parameter	2.10928
Residual s parameter	0.00147111
Piezo to use	None
Ru value	0

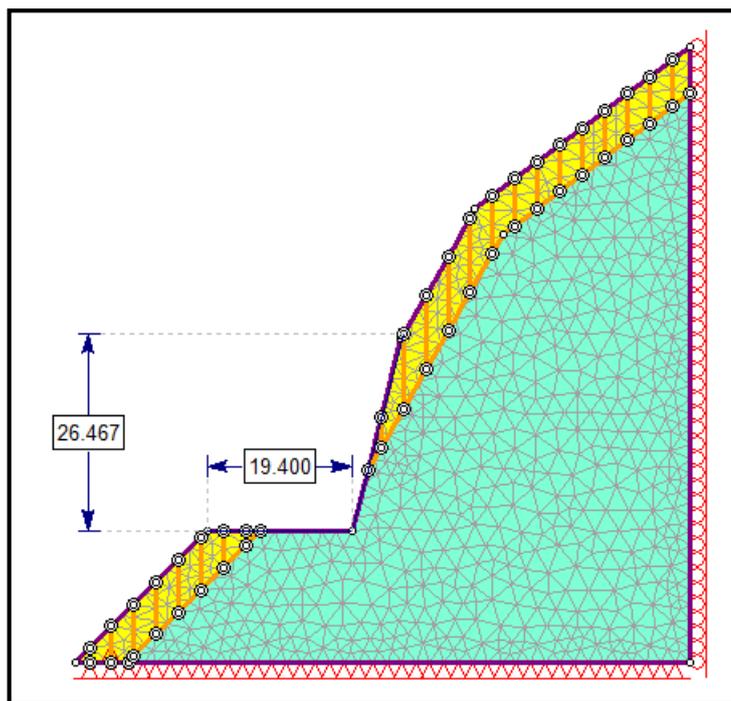
Fuente: Elaboración Propia

Figura 10. Material Basalto Meteorizado, Entrada Phase 2.

Color	
Initial element loading	body force only
Unit weight	0.0216 MN/m <sup>3</sup>
Elastic type	isotropic
Young's modulus	1709.58 MPa
Poisson's ratio	0.25
Failure criterion	Hoek-Brown
Material type	Plastic
Dilation Parameter	0
Compressive strength	133 MPa
mb parameter	0.298288
s parameter	3.25305e-005
Residual mb parameter	0.298288
Residual s parameter	3.25305e-005
Piezo to use	None
Ru value	0

Fuente: Elaboración Propia

Figura 11. Discretización Sección 1, Entrada Phase 2.



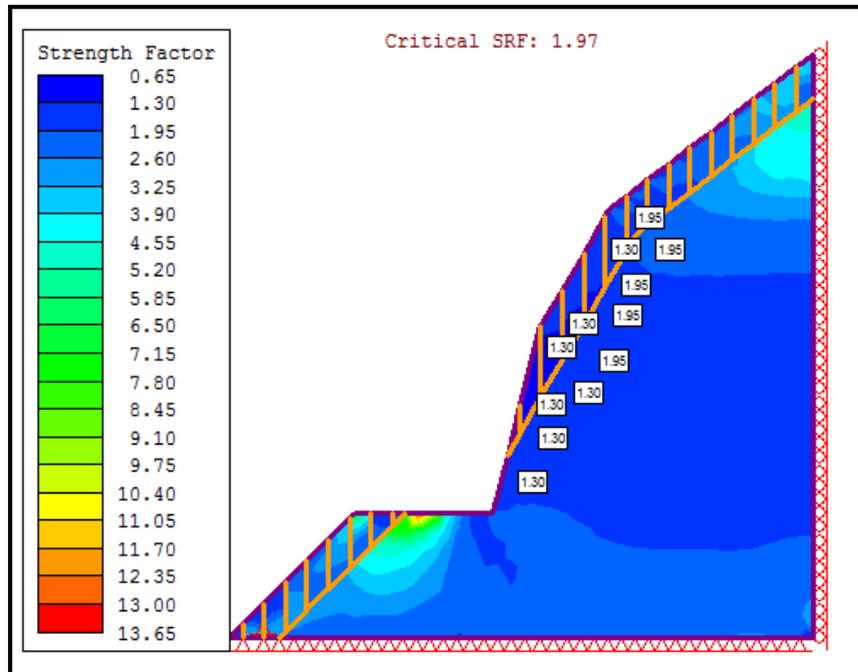
Fuente: Elaboración Propia

Se observó en campo que los elementos prismáticos verticales en el macizo rocoso se encuentran con mayor alteración en el basalto meteorizado, Es por esta razón que se modela las discontinuidades en la roca meteorizada. En cuanto a su separación va desde los 2,70 mts a los 5 mts, se consideró para el análisis una separación de 3 mts. Por otra parte, en cuanto a los espesores de suelos son prácticamente nulos por lo que no se consideran.

Se realizó primero la simulación de los macizos rocosos sanos y meteorizados, sin la presencia de juntas, el factor de seguridad es de 1,97. Se observa en la gráfica 12 que se tiene puntos donde la relación de fueras estabilizantes e inestables es menor que el factor de seguridad (se observan valores de 1,3). Sin embargo, el factor mínimo de todas las superficies analizadas es el indicado. Se presenta en las siguientes figuras los factores de esfuerzos, la

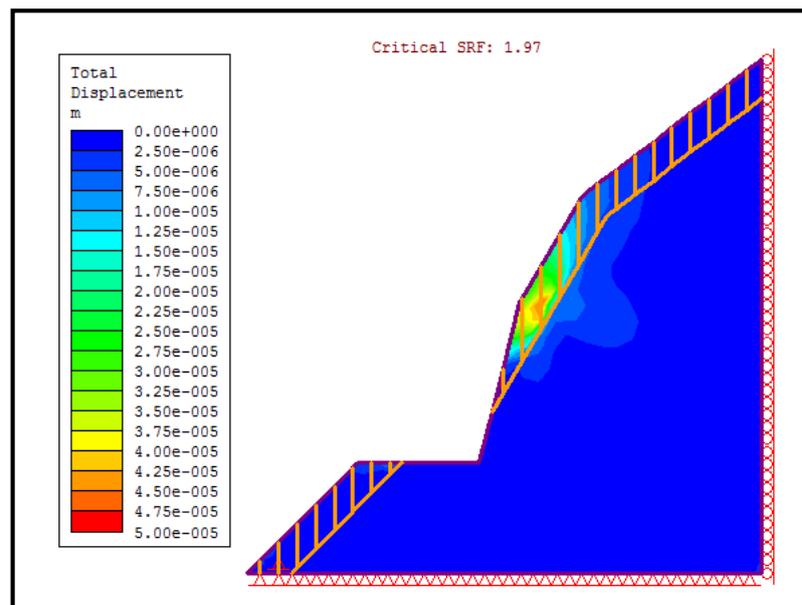
zona de mayor deslizamiento y la deformada de la sección, las imágenes son tomadas del phase 2.

Figura 12. Factores de seguridad en Macizo de Basalto, Sin Juntas



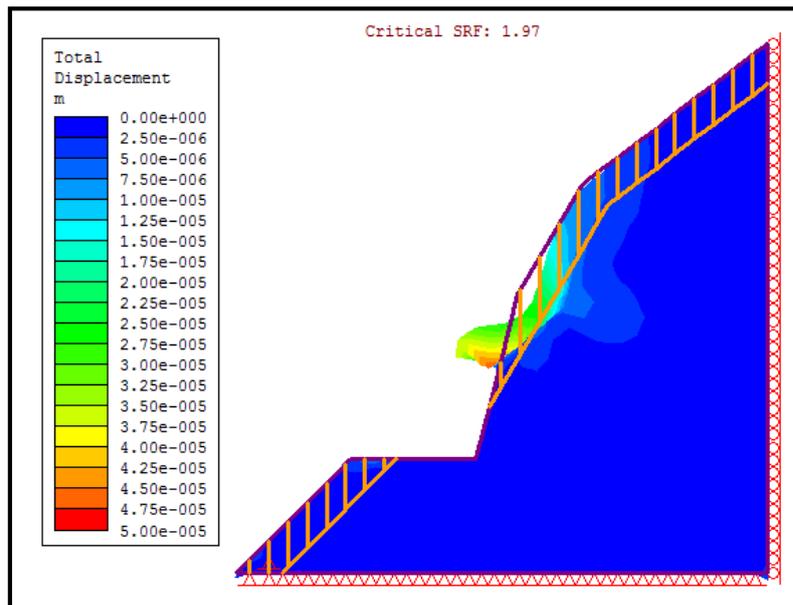
Fuente: Elaboración Propia

Figura 13. Zona de deslizamiento en Macizo de Basalto, Sin Juntas



Fuente: Elaboración Propia

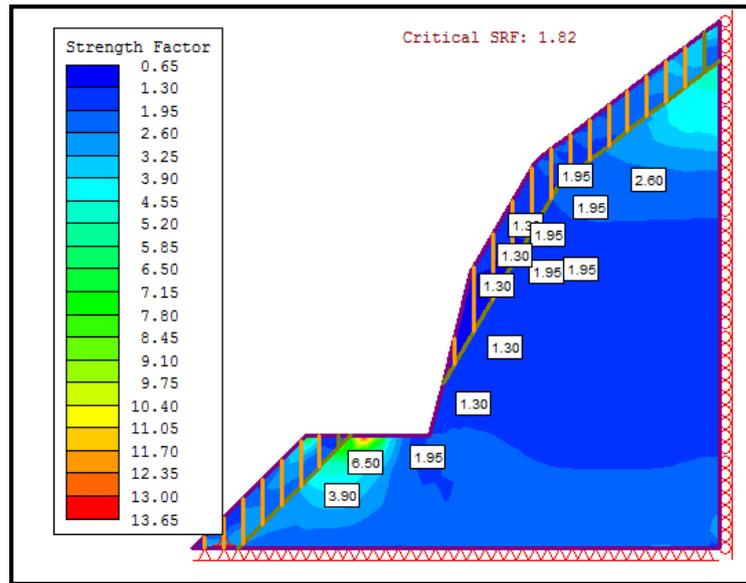
Figura 14. Deformación en Macizo de Basalto, Sin Juntas



Fuente: Elaboración Propia

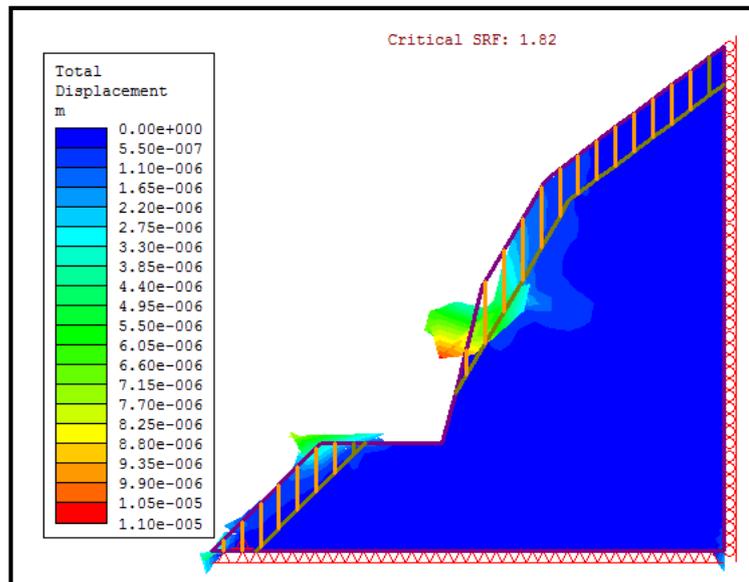
En el caso 2, analizando las juntas verticales se obtiene un factor de seguridad de 1,82, figura 15. Se puede observar el efecto de las juntas en la estabilidad del talud en los cambios de colores entre ellas, En cuanto a la disminución del factor de seguridad se puede acotar que al ser las juntas prácticamente perpendiculares al deslizamiento no afectan significativamente la estabilidad del talud. Se presenta en los siguientes gráficos los factores de esfuerzos y la deformada del talud.

Figura 15. Factores de seguridad en Macizo de Basalto, Juntas Verticales



Fuente: Elaboración Propia

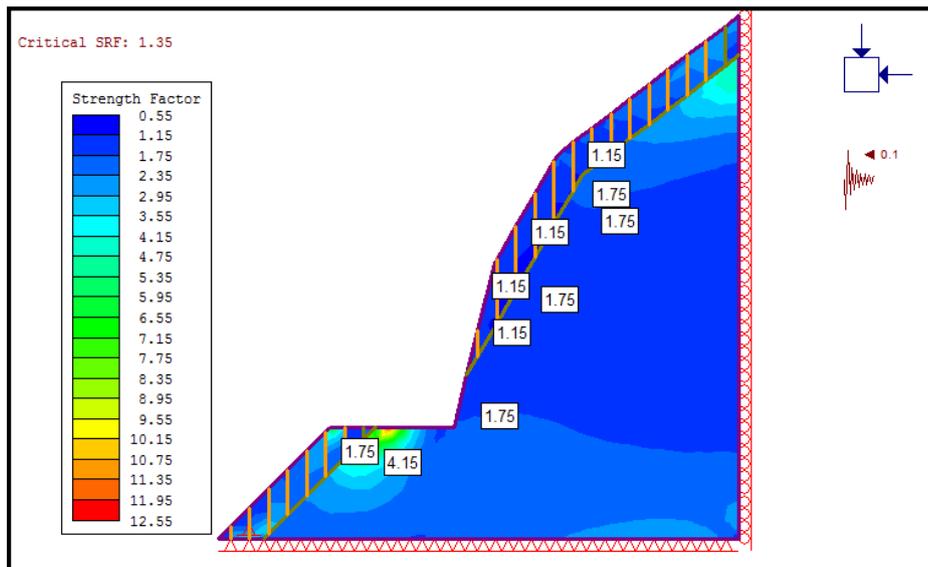
Figura 16. Deformación en Macizo de Basalto, Juntas Verticales



Fuente: Elaboración Propia

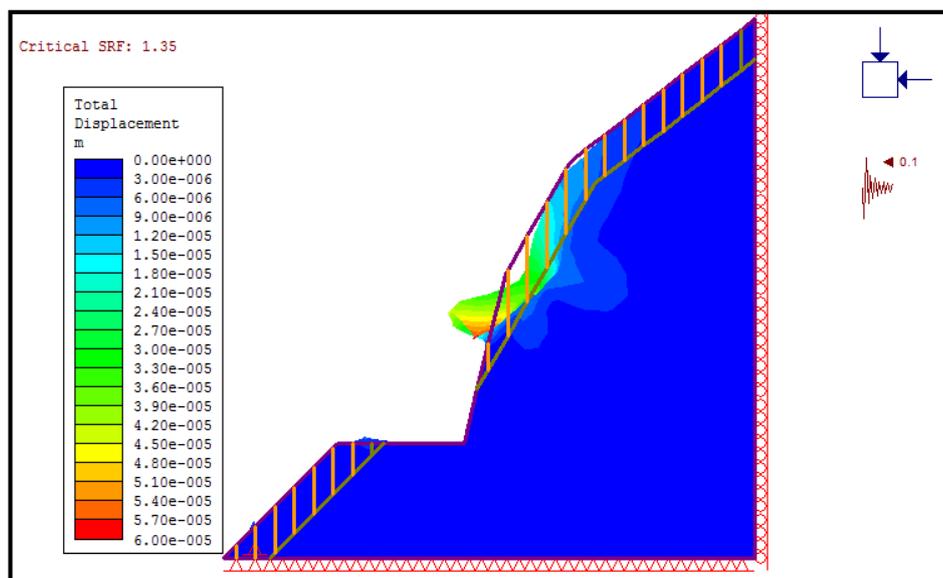
En el caso de presentar se un sismo con coeficiente de aceleración horizontal de 0,10, el factor de seguridad se reduce a 1,35, estando por encima del mínimo aceptable de 1,2 asumido, ya que consideramos que no existe riesgos de pérdida de vida o daños a estructuras importantes.

Figura 17. Factores de seguridad Macizo de Basalto, Juntas - Sismo 0,10



Fuente: Elaboración Propia

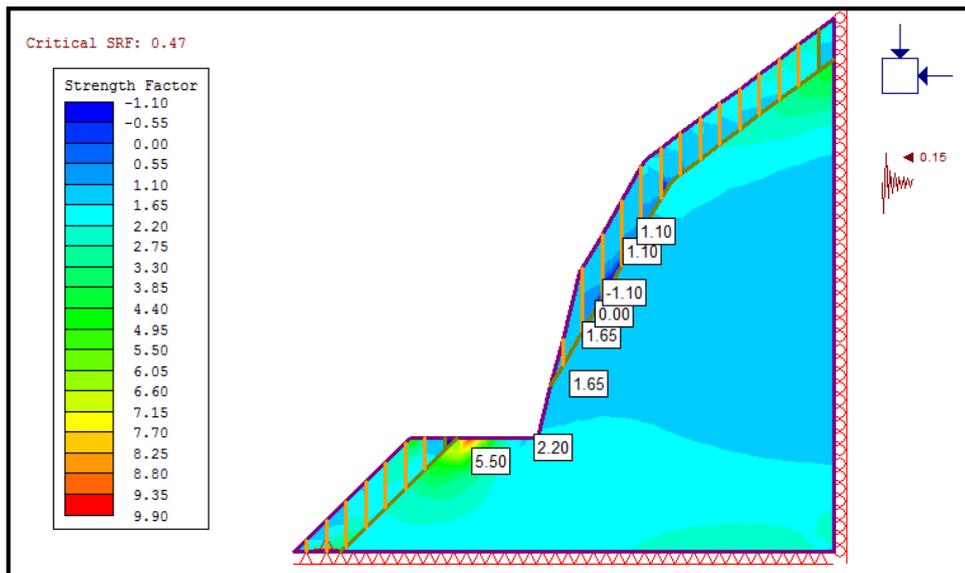
Figura 18. Deformación Macizo de Basalto, Juntas – Sismo 0,10



Fuente: Elaboración Propia

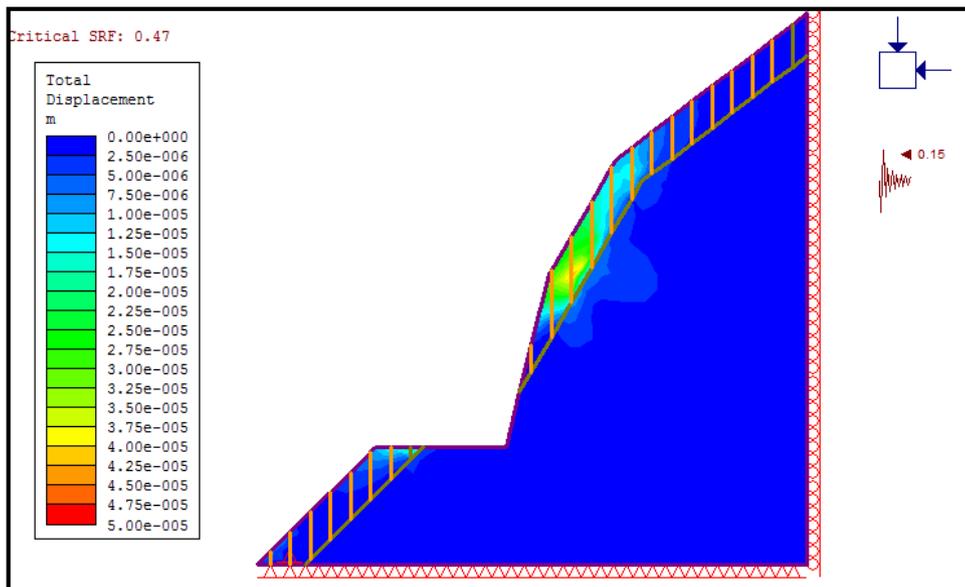
En el análisis del talud para un coeficiente sísmico horizontal de 0,15 se obtuvo un factor de seguridad de 0,47, como se observa en las siguientes gráficas. Por lo que posteriormente se procede a estabilizarlo.

Figura 19. Factor de Seguridad de Basalto, Juntas – Sismo 0,15



Fuente: Elaboración Propia

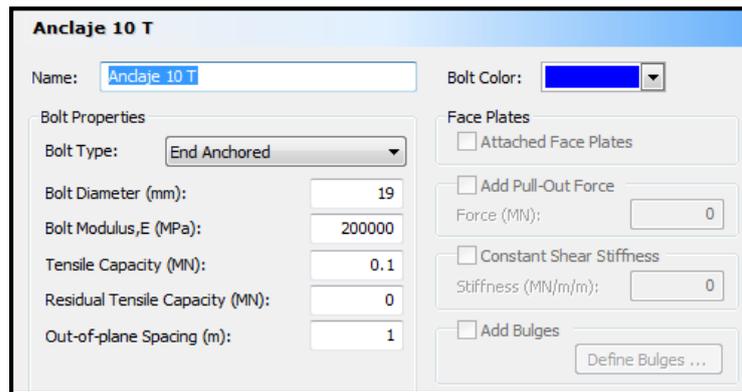
Figura 20. Zona de deslizamiento de Basalto, Juntas – Sismo 0,15



Fuente: Elaboración Propia

Se procedió a colocar primero pernos de anclaje a la simulación con coeficiente horizontal de 0,15, se denominó dicho perno como Anclaje 10T con las siguientes características.

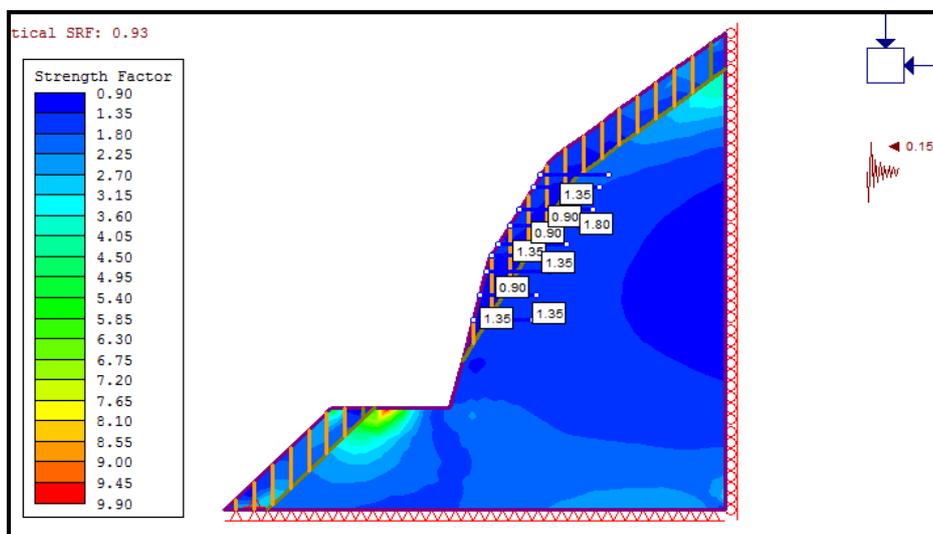
Figura 21. Característica del Anclaje de 10 Toneladas



Fuente: Elaboración Propia

Obteniéndose un coeficiente de seguridad de 0,93 por debajo de 1 lo cual no es aceptable.

Figura 22. F.S. Basalto - Juntas - Sismo 0,15 - Anclajes 10Ton



Fuente: Elaboración Propia

Se definió una pantalla de concreto atirantada de espesor 10 cms, con barras de acero de 12 mm en ambas direcciones separadas a 20 cms, la resistencia de diseño del concreto es de 40 MPa, se presenta a continuación los parámetros utilizados.

Figura 23. Características pantalla de Concreto

The screenshot shows a software interface for defining concrete properties. The title is 'concreto 15 cm'. It has two main sections: 'Reinforcement' and 'Concrete'.

**Reinforcement Section:**

- Name: concreto 15 cm
- Color: (Blue swatch)
- Liner Type: Reinforced Concrete
- Reinforcement:  (checked)
- Common Types: (Icon)
- Spacing (m): 0.2
- Section Depth (m): 0.012
- Area (m<sup>2</sup>): 0.000113
- Moment of Inertia (m<sup>4</sup>): 1.02e-009
- Young's Modulus (MPa): 200000
- Poisson Ratio: 0.25
- Compressive Strength (MPa): 400
- Tensile Strength (MPa): 400
- Weight (kg/m): 1.776
- Wire Mesh(Canada): #12 (diameter = 12mm)

**Concrete Section:**

- Concrete:  (checked)
- Thickness (m): 0.1
- Young's Modulus (MPa): 30000
- Poisson Ratio: 0.15
- Compressive Strength (MPa): 40
- Tensile Strength (MPa): 3
- Unit Weight (MN/m<sup>3</sup>): 0.024
- Material Type:  Elastic  Plastic
- Include Weight in Analysis
- Sliding Gap

Fuente: Elaboración Propia

Figura 24. Características de barra de refuerzo en pantalla

The screenshot shows a 'Reinforcement' dialog box. It has two columns: 'Shape' and 'Type'.

**Shape:**

- I-beam
- Lattice girder
- Hollow section
- Rebar
- Wire Mesh
- Channel
- Dbl Channel

**Type:**

- Canada

**Designation (Metric):**

- #4 (diameter = 4mm)
- #6 (diameter = 6mm)
- #8 (diameter = 8mm)
- #10 (diameter = 10mm)
- #12 (diameter = 12mm)

**Diagram:** A diagram showing a grid of reinforcement bars with labels 't d' and 'spacing'.

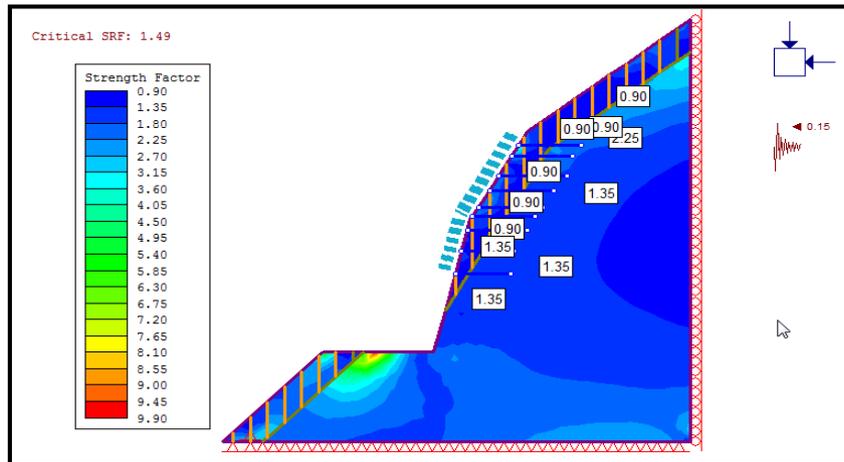
**Properties:**

- Section Depth (mm): 12
- Area (mm<sup>2</sup>): 113
- Moment of Inertia (10e6mm<sup>4</sup>): 0.00102
- Weight (kg/m): 1.776

Fuente: Elaboración Propia

Se presenta a continuación el caso de estudio de sismo de coeficiente horizontal de 0,15, con refuerzo de anclajes y pantalla de 10 cms de espesor, dando un factor de seguridad de 1,49

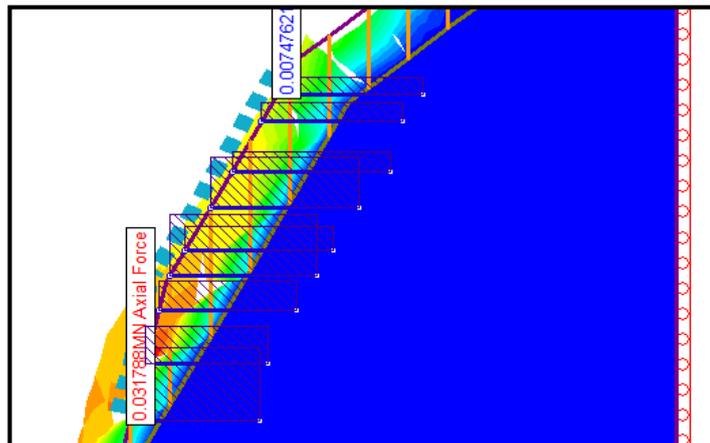
Figura 25. F.S. Basalto-Juntas–Sismo 0,15–Anclaje 10 Tn–Pantalla 10 cms



Fuente: Elaboración Propia

Procediendo a analizar la sección reforzada se observa en la figura 26 valores de tensión para los anclajes entre 0,74 Ton (0,0074 MN) a 3,18 Ton (0,03178 Mn)

Figura 26. Tensión en Anclajes. Basalto–Sismo 0,15–Pantalla 10cms

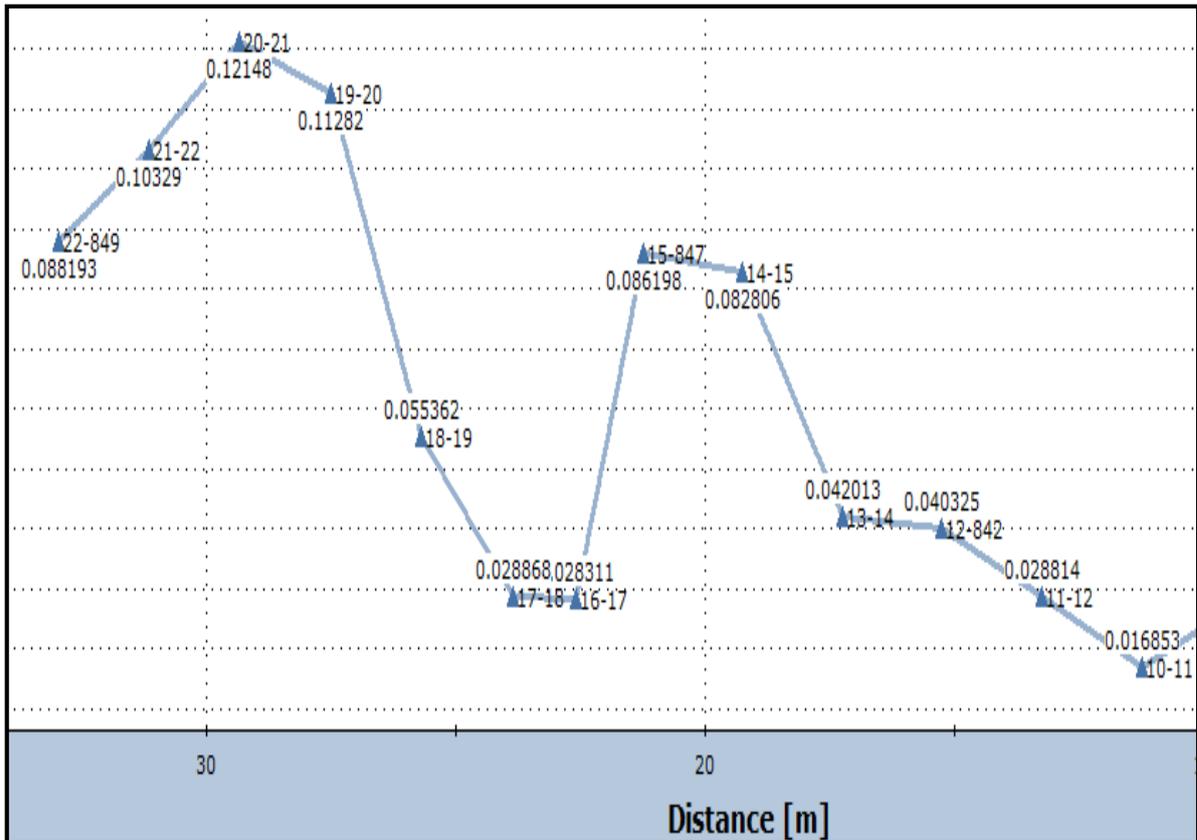


Fuente: Elaboración Propia

Los valores mínimos y máximos de las fuerzas axiales y de corte, así como del momento flector obtenidos por el programa son los siguientes: esfuerzo de tensión máximo de 0,12148 MN y el mínimo de 0,016853 Mn, fuerzas cortantes mínima y máxima de -0,00093805MN y 0,0015927 MN, y momentos flectores entre

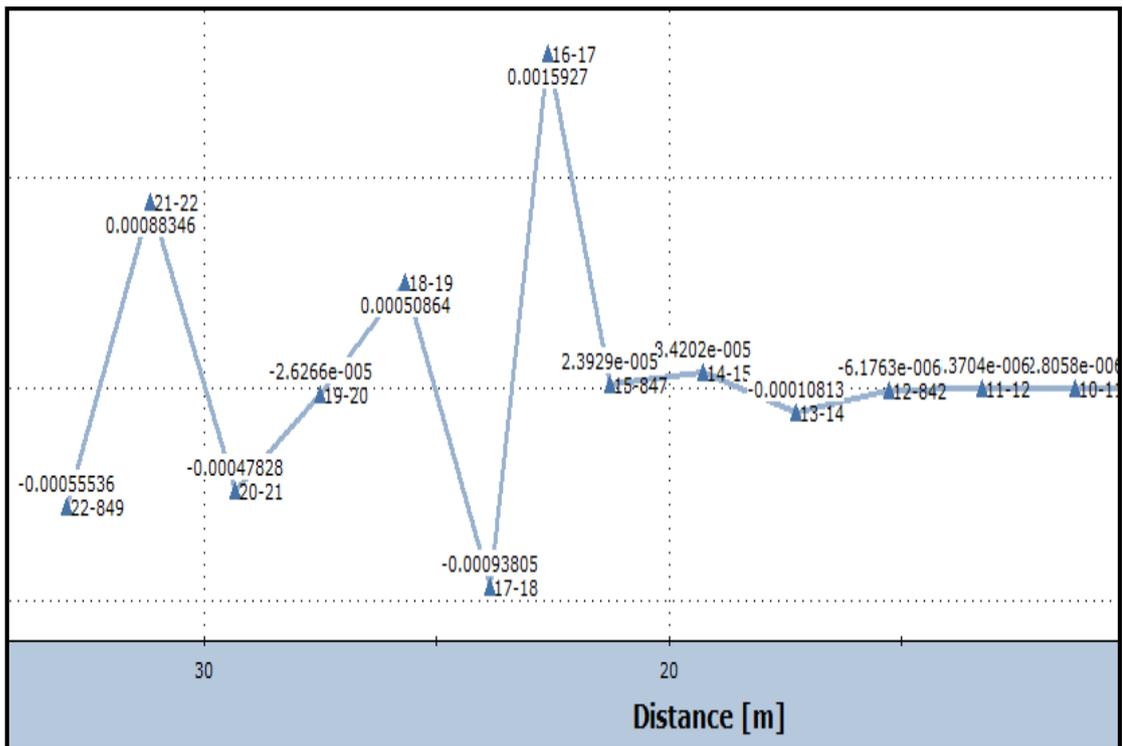
-0,00016221 NMm y 0,000552311 MNm. En las figuras a continuación se presenta el comportamiento de estos valores en la zona de mayores variaciones, parte inferior de la pantalla que es donde se genera mayor tensión en los anclajes.

Figura 27. Fuerzas axiales (MN) en una franja de la pantalla



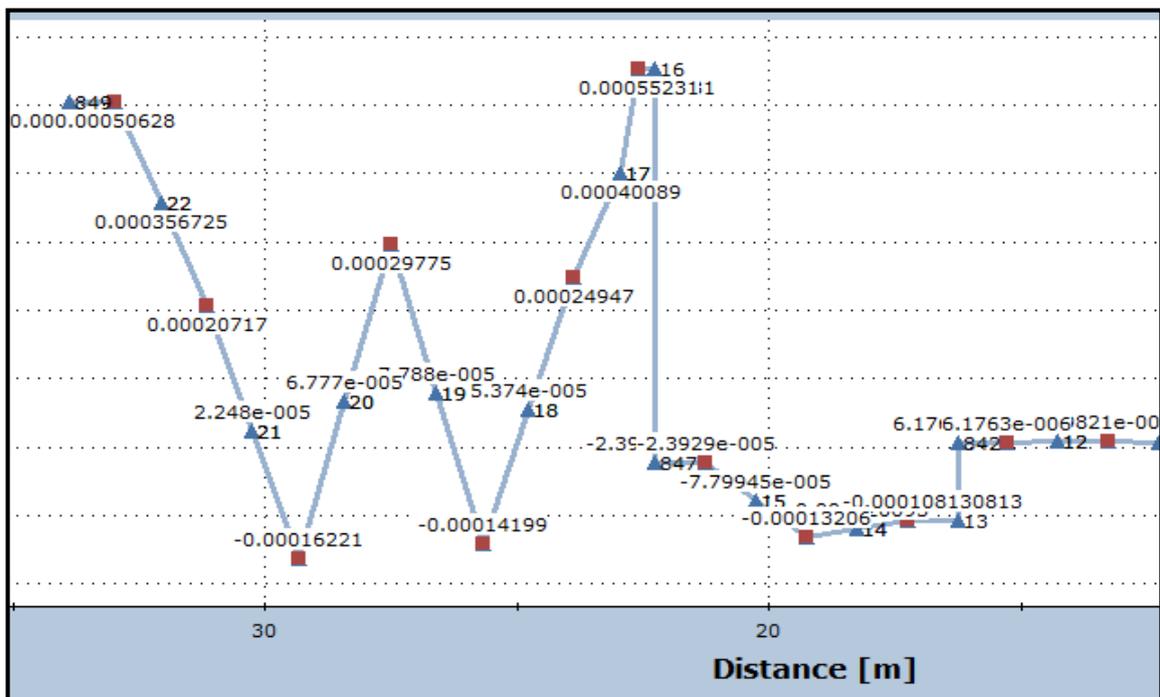
Fuente: Elaboración Propia

Figura 28. Fuerzas de corte (MN) en una franja de la pantalla



Fuente: Elaboración Propia

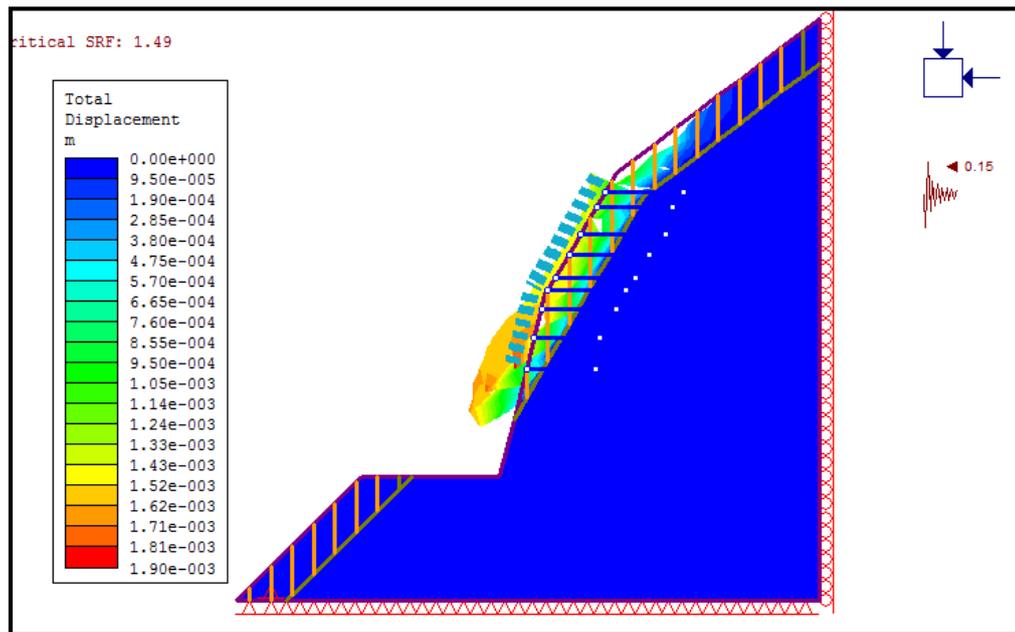
Figura 29. Momentos flectores en una franja de la pantalla



Fuente: Elaboración Propia

En la figura 30 de los desplazamientos se puede observar el comportamiento de la masa inestable con el sistema de estabilización de malla y anclaje, es por esta razón que las variaciones de las fuerzas y momentos es mayor en la parte inferior.

Figura 30. Desplaz. Basalto–Sismo 0,15–Anclaje 10Tn–Pantalla 10cms



Fuente: Elaboración Propia

## Sección No. 2

Se presenta a continuación los parámetros de entrada de los macizos rocosos, gneis sano, gneis meteorizado, anfibolita sana y meteorizada, de acuerdo al criterio de rotura Hoek Brown, los parámetros de resistencia de la junta son elástico de acuerdo al criterio de Morh

En la sección 2, se analizó el talud bajo las condiciones de debilidad de la junta y coeficiente sísmicos de  $K_h$  de 0,2, condiciones muy severas y se obtuvo un

factor de seguridad de 1,2. Es de acotar que en la zona alrededor de esta sección hay mayores pendientes y altura considerables, sin embargo, la representación de la sección corresponde a la zona de deslizamiento.

Figura 31. Material gneis sano. Entrada Phase 2

Color	
Initial element loading	body force only
Unit weight	0.0226 MN/m3
Elastic type	isotropic
Young's modulus	9021.34 MPa
Poisson's ratio	0.25
Failure criterion	Hoek-Brown
Material type	Plastic
Dilation Parameter	0
Compressive strength	124 MPa
mb parameter	2.2361
s parameter	0.00127263
Residual mb parameter	2.2361
Residual s parameter	0.00127263
Piezo to use	None
Ru value	0

Fuente: Elaboración Propia

Figura 32. Material gneis meteorizado. Entrada Phase 2

Color	
Initial element loading	body force only
Unit weight	0.0216 MN/m3
Elastic type	isotropic
Young's modulus	2845.71 MPa
Poisson's ratio	0.25
Failure criterion	Hoek-Brown
Material type	Plastic
Dilation Parameter	0
Compressive strength	124 MPa
mb parameter	0.444568
s parameter	6.33607e-005
Residual mb parameter	0.444568
Residual s parameter	6.33607e-005
Piezo to use	None
Ru value	0

Fuente: Elaboración Propia

Figura 33. Material anfibolita sana. Entrada Phase 2

Color	
Initial element loading	body force only
Unit weight	0.0221 MN/m <sup>3</sup>
Elastic type	isotropic
Young's modulus	11972.7 MPa
Poisson's ratio	0.25
Failure criterion	Hoek-Brown
Material type	Plastic
Dilation Parameter	0
Compressive strength	248 MPa
mb parameter	1.6667
s parameter	0.000712752
Residual mb parameter	1.6667
Residual s parameter	0.000712752
Piezo to use	None
Ru value	0

Fuente: Elaboración Propia

Figura 34. Material anfibolita meteorizada. Entrada Phase 2

Color	
Initial element loading	body force only
Unit weight	0.0208 MN/m <sup>3</sup>
Elastic type	isotropic
Young's modulus	4098.59 MPa
Poisson's ratio	0.25
Failure criterion	Hoek-Brown
Material type	Plastic
Dilation Parameter	0
Compressive strength	248 MPa
mb parameter	0.31022
s parameter	3.25305e-005
Residual mb parameter	0.31022
Residual s parameter	3.25305e-005
Piezo to use	None
Ru value	0

Fuente: Elaboración Propia

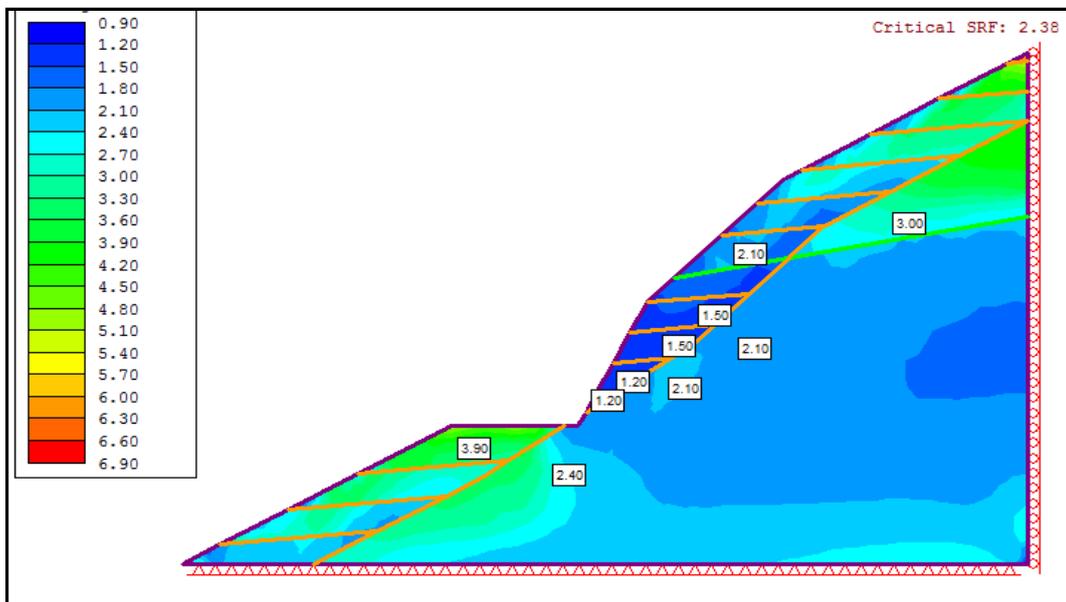
Figura 35. Características Juntas de roca. Entrada Phase 2

Color	<span style="color: red;">■</span>
Normal stiffness	50000 MPa/m
Shear stiffness	5000 MPa/m
Initial joint deformation	allowed
Pressure from Groundwater Analysis	Not Included
Additional Pressure Inside Joint	Not Included
Slip Criterion	Mohr-Coulomb
Tensile strength	0.05 MPa (tension positive)
Cohesion	0.05 MPa
Friction angle	8 degrees
Apply SSR?	No

Fuente: Elaboración Propia

En esta sección donde se tiene la anfíbolita sobre el gneis, se considera en el primer caso de análisis que no existen juntas en la roca, se obtuvo un factor de seguridad de 2,38.

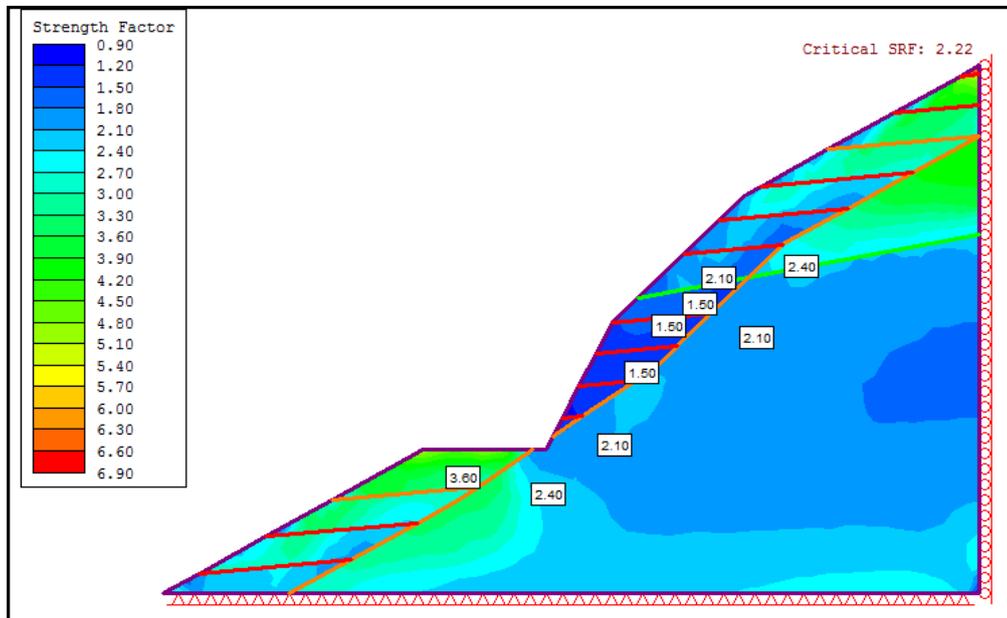
Figura 36. Factores de seguridad Sección 2, sin Presencia de Juntas.



Fuente: Elaboración Propia

En el segundo caso se analizaron las juntas en las rocas meteorizadas, con lo que el factor de seguridad bajo a 2,22.

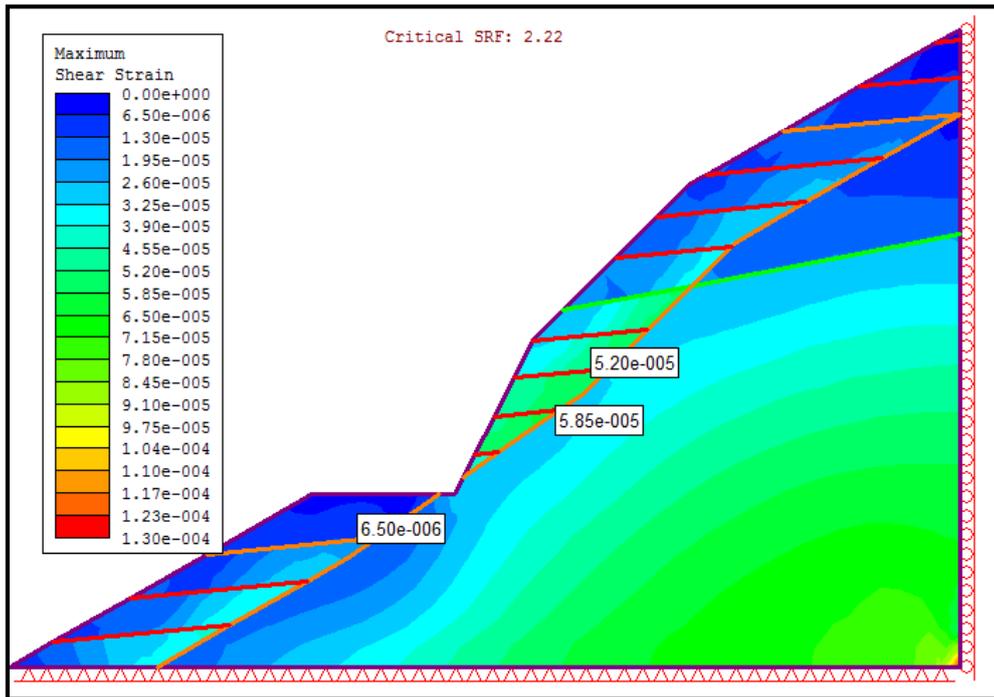
Figura 37. Factores de seguridad Sección 2, con las Juntas de la Roca



Fuente: Elaboración Propia

En la figura 38, se observa la concentración de los esfuerzos cortante en el pie del talud modificado, sin embargo, estos valores pueden ser soportado por la roca, en la figura anterior se observar factores de esfuerzos en esta zona de 1,5.

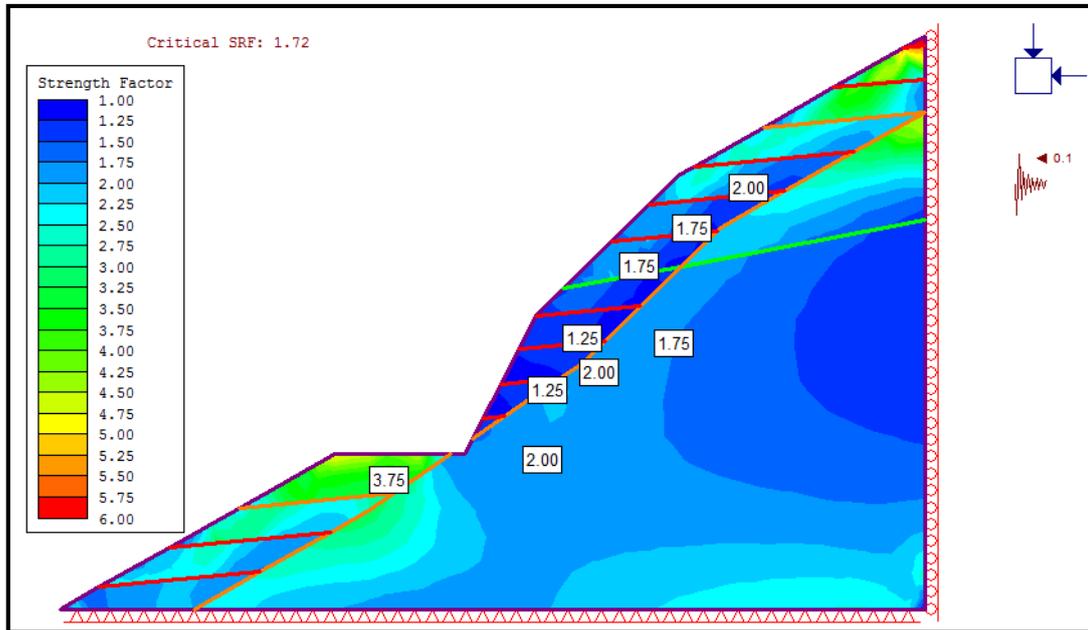
Figura 38. Esfuerzos cortantes máximos Sección 2, con juntas



Fuente: Elaboración Propia

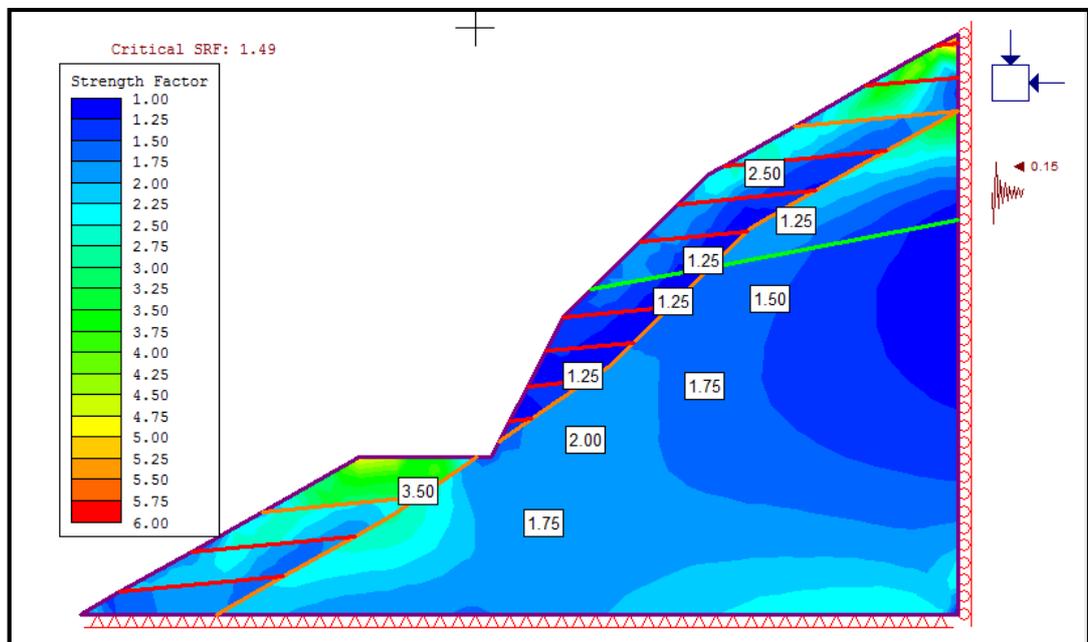
Se procedió a realizar el análisis sismo del talud para lo cual se utilizó diferentes valores del coeficiente de aceleración horizontal, obteniéndose; para un  $K_h$  de 0,10 un factor de seguridad de 1,72, para un  $K_h$  de 0,15 un factor de seguridad de 1,49, y para un  $K_h$  de 0,20 un factor de seguridad de 1,2. Estos valores están dentro del límite mínimo asumido en este trabajo como factor de seguridad mínimo por lo que no se requiere estructura de refuerzo, se presenta en las figuras a continuación el comportamiento del factor de esfuerzo.

Figura 39 Sección 2, con juntas, con sismo KH de 0,10



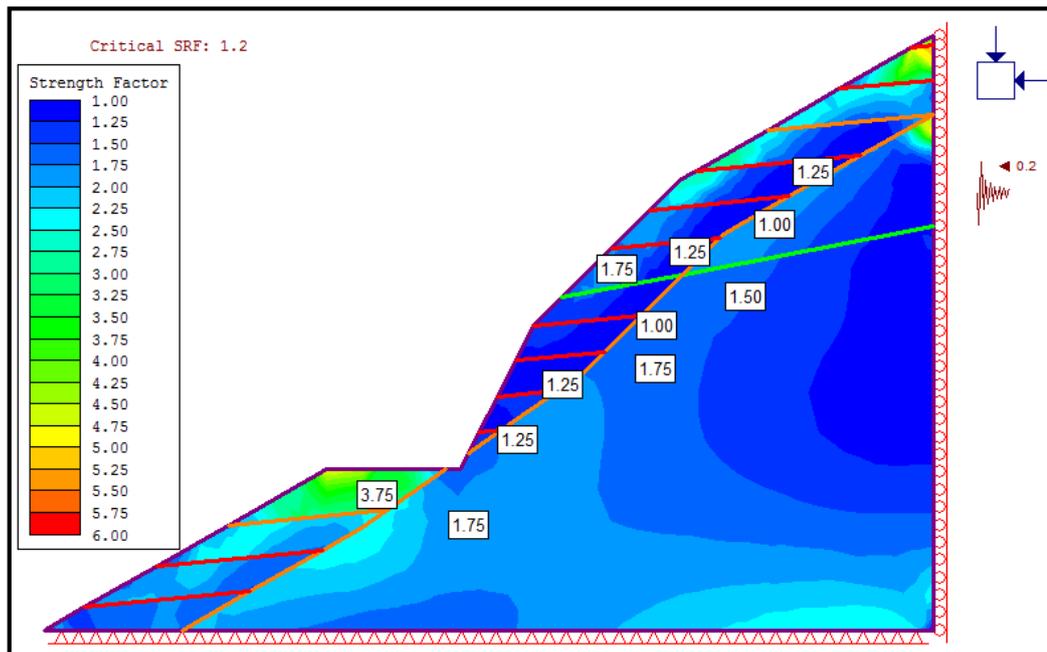
Fuente: Elaboración Propia

Figura 40. Sección 2, con juntas, con sismo KH de 0,15



Fuente: Elaboración Propia

Figura 41. Sección 2, con juntas, con sismo KH de 0,20



Fuente: Elaboración Propia

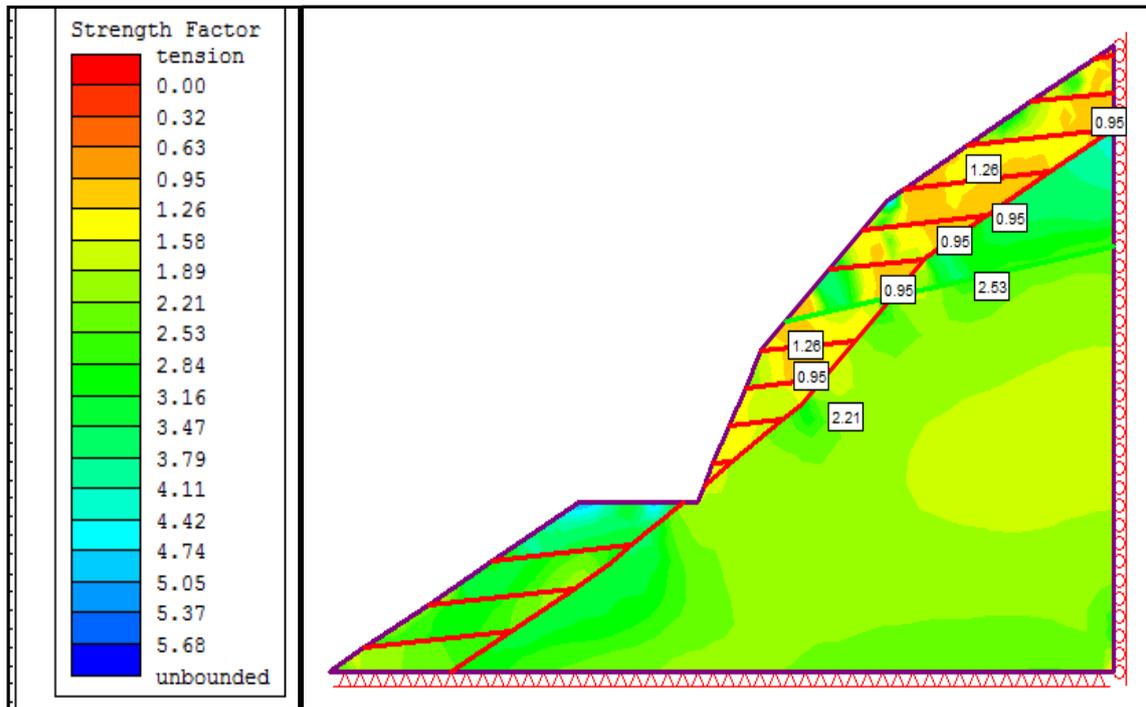
Con el propósito de identificar las razones por la que están ocurriendo algunos deslizamientos en los taludes de esta sección se procedió a tratar la unión entre los estratos entre las rocas meteorizadas y sanas como junta, obteniéndose factores de esfuerzos inferiores a 1

se presenta a continuación el comportamiento de esta sección bajo los efectos combinado de las juntas (juntas de la roca y junta entre estratos).

La roca debería ser estable debido a que se tiene menor pendiente, luego a que se debe los posibles deslizamientos. Se considero que la causa más probable es que se haya generado una debilidad entre la unión de la roca meteorizada con la roca sana, esta debilidad puede ser debida a diferentes factores: un factor interno es la descompresión de la roca que genera planos de debilidad paralelos al talud, y un factor externo puede ser la acumulación de humedad en el contacto con la

roca sana. Si consideramos esta debilidad con las juntas de la roca, se obtuvo factores de estabilidad puntuales menores de 1, como se muestra en la figura, y el deslizamiento ocurre por la unión de los estratos

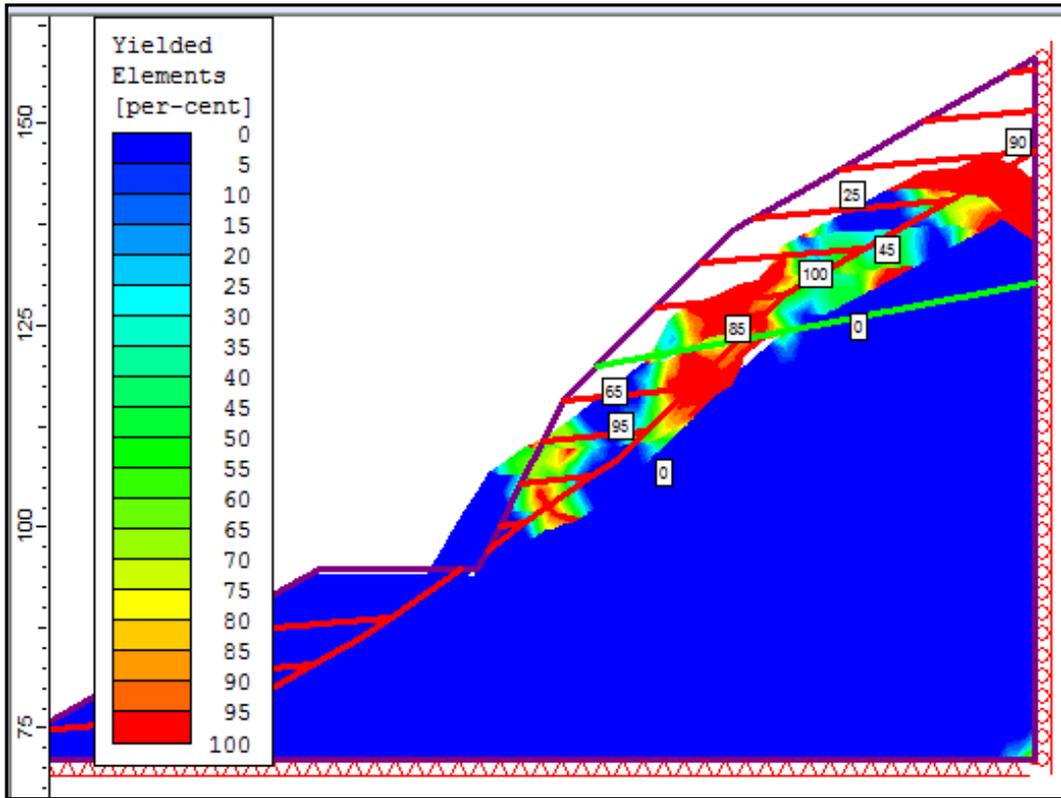
Figura 42. Factores de seguridad Sección 2, con las Juntas Combinadas



Fuente: Elaboración Propia

Para dar una idea de esta deformación se presentó la curva de desplazamiento totales deformada que se encuentra en la gráfica inferior, donde se observa un desplazamiento de grandes magnitudes en forma de escurrimiento sobre la superficie de la roca sana.

Figura 43. Zona con mayor desplazamiento. Sección 2



Fuente: Elaboración Propia

#### 4.3.- Revisión de las Técnicas de Estabilización

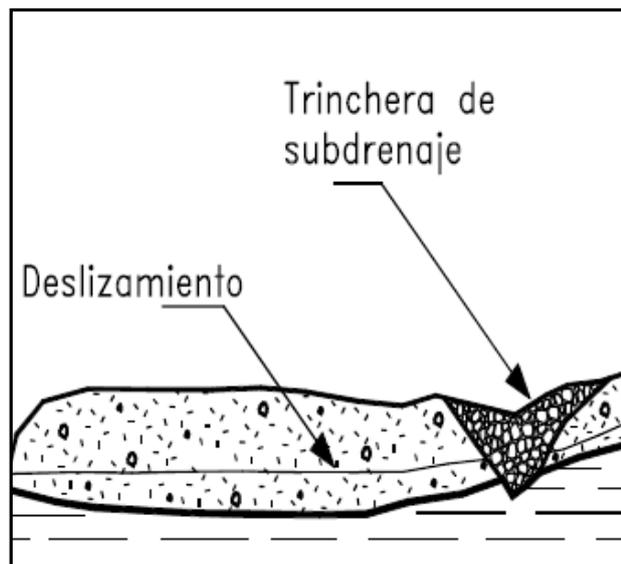
En este aparte se revisan las técnicas de estabilización más utilizadas de acuerdo a las características topográficas de las secciones, características de la vegetación, condiciones climáticas, características y parámetros geomecánicos de los macizos rocosos, secciones litológicas y características de drenajes naturales.

### 4.3.1.- Control de Aguas de Lluvias

#### Superficiales

Como se observó en el análisis mediante el método de los elementos finitos, la junta producto del agua subterránea en el contacto de la roca sana con la meteorizada no deben ocurrir, es posible que sea una de las causas de los deslizamiento y caída del material rocoso en la sección 2. Se debe implementar en caso de ser necesario una obra de drenaje que sea económica y a la vez eficiente en la recolección del agua de lluvia sobre todo en las cabeceras de los taludes modificado, por lo que se recomienda el uso de trincheras de drenajes, acompañada con torrenceras de gravas y concreto pobre que alejen el agua del talud. Se comprende la dificultad de este trabajo, sin embargo, las cunetas que se observan en la carretera Interoceánica no están cumpliendo su trabajo.

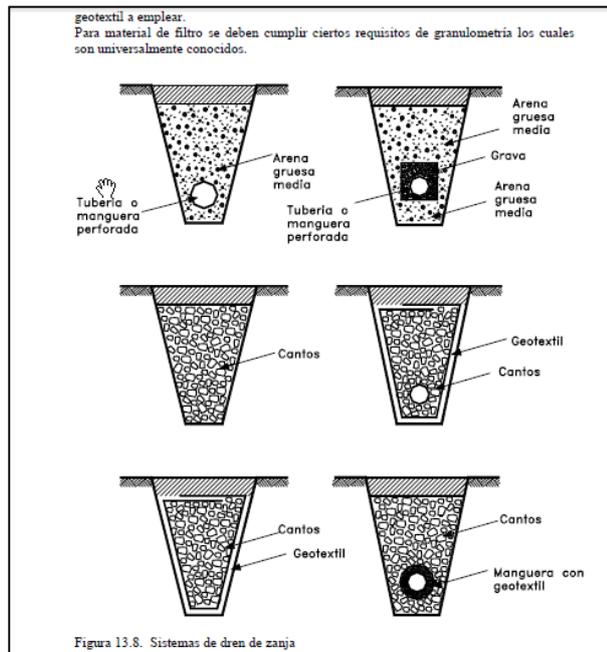
Figura 44. Método de Trinchera de Drenaje.



Fuente: (Díaz, 1998)

Otra técnica que se puede utilizar para la recolección de las aguas de lluvia son los drenes de zanja, aunque estos requieren de mayor trabajo que pasa a complicarse por la topografía de la zona, son muy efectivos.

Figura 45. Sistema de Dren de Zanja



Fuente: (Díaz, 1998)

También se puede utilizar la protección con cobertura vegetal liviana, muy efectiva para grandes extensiones de taludes, pero al igual que en las demás soluciones las pendientes altas generan mucha dificultad en su utilización. El escurrimiento superficial en estos taludes genera mucho arrastre por su velocidad.

## Subterráneas

El sistema de drenajes a través de perforaciones es el más adecuado en el caso de extraer el agua a mayor profundidad, sin embargo, esta técnica al requerir

equipos pesados de perforación, es más fácil utilizarlo cuando se estén realizando las reparaciones en los taludes.

#### **4.3.2.- Estructuras de Refuerzos**

##### **Estructuras Ancladas**

Los sistemas de anclajes en tresbolillo son los más adecuados para la estabilización de los bloques de roca en la zona de mayor pendiente, su profundidad está en el orden de los 20 mts con bulbo de anclaje entre 7 a 10 mts, con una capacidad de 10 a 12 toneladas, se recomienda el uso de tirante pretensados

#### **4.3.3.- Otras Técnicas**

##### **Estructuras de Sostenimiento**

Existe varios métodos de sostenimientos entre los que se encuentran pantallas atirantadas, gaviones, tierra armada. Los cuales se utilizan de acuerdo a las condiciones de los taludes. En los casos analizados se adapta mejor a las condiciones de la zona el uso de pantallas.

## **Inyección de Lechada**

Este método es recomendado en el caso de encontrarse zonas de gran fracturamiento de la roca, no se requiere de equipos muy pesado, y puede lograrse sanear la roca a gran profundidad y de manera económica. Se recomienda la utilización dos tipos de lechada, la primera de cemento y agua para eliminar flujos de agua (se debe tener cuidado para evitar al utilizar las lechadas con este propósito ya que se pueden generar columnas de agua).

El segundo tipo de lechada se utiliza bentonita, con la finalidad de aumentar la estabilidad de la lechada y poder sellar grietas, en el caso de discontinuidades abiertas o muy fracturadas.

## **Eliminación de la Inestabilidad**

### **Voladuras**

Debido a la dificultad y riesgo que conlleva la utilización de equipos pesados para la eliminación de las masas de rocas inestables en los taludes de grande pendientes, el uso de voladura controlada es la más adecuada, ya que no requieren prácticamente equipo, solo taladros pequeños manuales eléctricos o de gas para la colocación de las cargas. Los compresores o generadores eléctricos se pueden colocar en la vía y llevar el aire a presión mediante mangueras o la corriente mediante cableados.

La voladura debe realizarse en bloques de rocas y de manera controlada evitando la inestabilidad del macizo rocoso, los explosivos a utilizar no requieren que sean de gran intensidad, se pueden utilizar Anfo granulado.

## V.- DISCUSIÓN

**Determinar el perfil actual del macizo rocoso en el tramo de la carretera estudiado a través de un estudio geotécnico.**

Revisando los trabajos de **(Milena Mesa, 2020)**, **(Torres Latorre Paula, 2016)** y **(Romero & Galviz, 2016)** como antecedentes, podemos encontrar que analizan las propiedades mecánicas de las rocas o suelos, sin embargo, no se revisa la influencia que tiene el sistema de discontinuidades en el macizo rocoso fracturado, además no se escriben los tipos de deslizamientos en áreas cercanas para determinar las posibles causas de inestabilidad de los taludes.

En este sentido para nuestra investigación hemos resaltado estos indicadores considerados importantes, por lo que al analizarlos encontramos que se tiene alrededor de 160 kms de carretera Interoceánica cercana de Marcapata, teniéndose unos 6 kms con posibilidades altas de deslizamiento y desprendimiento de roca, aunque se tiene macizos rocosos con muy buena capacidad de soporte que inclusive pueden estar estables hasta con taludes prácticamente verticales, el efecto de los factores climáticos mayormente el flujo de agua subterráneo que causa que se creen juntas de deslizamiento entre la roca sana y la meteorizada, es la que generará los movimientos de masas.

En el basalto se presentan dos familias de discontinuidades verticales la primera perpendicular al talud, la cual no afecta la estabilidad y la segunda paralela, y en el caso de la anfibolita en el segundo tramo analizado, presenta una familia de discontinuidades bien definida a unos 20 metros de altura de la rasante de la vía,

con un ángulo de 8° hacia el talud. En ambos tramos las discontinuidades son rugosas y cerradas, de 10 mts a 15 mts de largo, y no se observan rasgos de deslizamientos.

En cuanto a tipo de deslizamientos encontrados en el recorrido de la zona, se contactó que los deslizamientos existentes en los taludes no presentan profundidades mayores de 15 mts por lo que no hay indicio de movimientos en la roca sana, se pudo observar también grandes bloques de roca alrededor de la vía sobre todo en la zona de mayor pendiente del relieve.

En cuanto a la presencia de capa vegetal y suelo, prácticamente es nula, en general no mayos a 1 metro.

**Estudiar los niveles de estabilidad y factor de seguridad de los taludes tomando en cuenta las fuerzas que actúan sobre ellos y las futuras condiciones a las que se verán sometidos**

**(Milena Mesa, 2020), (Carranza Eugenio, 2017) y (Hosinal & Lauriano, 2020)** realizan sus análisis de estabilidad por elemento finitos utilizando los programas Slide 6.0, Phase2 y Geo-Studio, el efecto obtenido es el análisis sísmico así como la verificación de filtración entre otros parámetros, comparación con nuestra investigación se realizaron análisis de estabilidad por elemento finito en las zonas más desfavorables incluyendo las discontinuidades presentes en las rocas factores de seguridades mayores a 1,8. Posteriormente se incluyó los daños que

ocasionan por sismos y flujo subterráneo de agua, los cuales son los causantes de la inestabilidad de los taludes.

A diferencia de los antecedentes antes mencionados en este trabajo se realizó el análisis de las deformaciones en el macizo rocoso, como también donde se encuentran la zona de mayores esfuerzos cortantes (generalmente ubicado en el pie del talud modificado).

De esta forma se procedió a realizar los reforzamientos adecuados con anclajes y pantallas en los casos de sismos, obteniéndose factores de seguridad de 1,5. En el caso de agua subterránea, el procedimiento más efectivo es el uso de perforaciones de drenaje, ya que es prohibitivo el uso de pantallas atirantada en toda la superficie de los taludes.

### **Determinar el método o combinación de métodos más adecuados para la estabilización de los taludes en la zona en estudio**

En la investigación de **(Latorre Paula, 2016)** se presenta la capacidad que posee los métodos de elementos finitos de determinar los esfuerzos y desplazamientos en cada punto del talud, y de poder determinar desplazamientos y fuerzas en los elementos estructurales, en este trabajo a diferencia del antecedente mencionado se procedió a darles a los elementos estructurales los parámetros que definen su capacidad estructural y posteriormente se revisaron, por ejemplo: se definieron anclajes que soportan 10 ton de tensión, y al verificarse se consiguieron esfuerzos menores de 5 ton.

Se puede separar en tres grupos los métodos de estabilización, el primer grupo es cuando el talud todavía se encuentra en buenas condiciones siendo recomendable la utilización de trincheras de drenajes con torrenteras y pantallas atirantadas generalmente en la parte superior del talud modificado donde de acuerdo a los análisis se presentan las inestabilidades. Estos métodos presentan la ventaja que se pueden utilizar el material de la roca, y no requieren la movilización de equipos muy pesado.

El segundo grupo se da cuando existe alta posibilidad de desplazamiento producto del estado de la roca, en este caso es recomendable eliminar la inestabilidad, se puede realizar a través de voladuras controladas de pequeña a mediana intensidad, ya que esta técnica no requiere la movilización de equipos a altura solo se requiere de camiones y cargadores frontales para eliminar la roca que se acumula en la carretera. Posteriormente se pueden utilizar los métodos de estabilización del grupo uno.

El tercer grupo se utiliza cuando existe un desplazamiento de cierta magnitud, requiriendo intervenir el talud, en este caso se utilizarán las perforaciones de drenaje y la estabilización de bloques de rocas mediante pantalla y anclajes. Se considera que tanto los drenajes y anclajes tendrán una longitud promedio de unos 15 mts, estos métodos son de mayores costos, pero de mayor eficiencia.

En cuanto al uso de pantallas de concreto se debe tener especial cuidado en la acumulación de humedad en la parte posterior, ya que puede ocasionar el

fracturamiento de la misma pantalla e incluso incrementar el deslizamiento al aumentar el peso. Es de suma importancia los drenajes de contactos.

**formular en base al método de elementos finitos y los datos obtenidos del estudio recomendaciones que permitan garantizar el buen funcionamiento del tramo de la vía.**

En la investigación de **(Romero & Galviz, 2016)** se llega a la misma recomendación de que el método de elemento finito actualmente representa un gran apoyo para determinar el estado de los taludes, permiten el control de los desplazamientos y las deformaciones, adicionalmente los ensayos que se puedan realizar en campo y el levantamiento de la geología superficial para determinar así la estabilidad que tiene el talud.

Es importante resaltar, que los softwares como el phase 2, actualmente RS2, entre sus resultados presentan asentamiento del macizo rocoso, así como los movimientos iniciales antes del deslizamiento, presentan una gran variedad de opciones y de cálculo como lo son: varios criterios de rotura tanto para suelo como roca, evaluaciones en el estado plásticos, y el estudio de las discontinuidades.

Además, se coincide con **(Hosinal & Lauriano, 2020)** y **(Cuyutupa Fredy, 2019)** en realizar cortes en las distancias establecidas en la investigación para que el proceso de construcción sea seguro y no exista desprendimientos y deslizamientos además de realizar un tratamiento periódico y oportuno

## VI.- CONCLUSIONES

En cuanto a los tramos de carretera Interoceánica cercano a Marcapata de unos 160 kms aproximadamente, alrededor de 4% pueden presentar deslizamiento y caída de rocas, aunque este porcentaje es bajo sus efectos en la circulación vehicular es considerable, ya que pueden parar el tránsito por días o semanas dependiendo de la magnitud del deslizamiento.

Se ha encontrado macizos rocosos muy estables, los cuales se ven afectado significativamente por las condiciones climáticas, en la zona donde se presentan mayor inestabilidad se tienen factores de seguridad de 1,8, sig. embargo este factor pasa a valores inferiores a 1 al variar el contacto entre la roca meteorizada y la sana, generándose una superficie de deslizamiento paralela al talud.

Los métodos recomendados para la estabilización de los taludes, son mayormente preventivos los cuales consisten en trincheras de drenajes, torrenteras y pantallas atirantadas, ubicados sobre el talud modificado. En cuanto a los taludes en la parte inferior de la carretera, estos son fácilmente controlables con los drenajes de la vía.

## VII.- RECOMENDACIONES

Se puede lograr disminuir los riesgos y las pérdidas ocasionadas por el deslizamiento con un adecuado programa de mantenimiento de los taludes, el cual no requiere de una gran inversión, este programa debe realizar las siguientes actividades:

- Una revisión continua de los taludes que incluyen los ensayos de campo de las condiciones de la roca, y el control topográfico de los desplazamientos sobre todo en la zona de mayor desprendimiento, con esto se logra mantener actualizado el estado de los taludes. Estos resultados se deben utilizarse para mantener actualizada la geología superficial que debió ser elaborada al momento de la construcción de la vía.
- Realizar una evaluación de los métodos de estabilización a utilizar en cada caso, para lo cual se puede seguir el criterio utilizado de los tres grupos: en zona estable, en zonas de posibles deslizamientos, y una vez ocurrido el deslizamiento.
- Mantener modelados las secciones de patrones mediante los diferentes programas de análisis como lo son: los de elementos finitos, de equilibrio límite, de clasificación y determinación de los parámetros geotécnicos, y los de análisis de discontinuidades. Estos permiten mantener actualizado el estado de la vía requiriéndose solamente una computadora y los softwares adecuados.

Es importante resaltar que se requiere formar un grupo especializados multidisciplinarios conformados por: geólogos, ingenieros hidráulicos, ingenieros de fundaciones, de pavimento, de construcción, planificadores, seguridad, calidad entre otros.

## REFERENCIAS

- Arias, F. (2006). *El proyecto de investigación Introducción a la metodología científica*. epistame.
- ALZATE, R. C. (2005). Estabilidad de taludes con aplicación en zonas húmedas tropicales. Universidad Tecnológica del Chocó Diego Luis Córdoba. Departamento de Ingeniería de Minas y Ambiental. Facultad de Ingeniería. Colombia.
- Carranza., M. (2017). *ANÁLISIS DE INESTABILIDAD DE TALUDES MEDIANTE EQUILIBRIO LÍMITE Y ELEMENTOS FINITOS, TRAMO SANTA ROSA–TUCO BAJO CARRETERA BAMBAMARCA*. Universidad nacional de cajamarca.
- CAF, (2013) carreteras interoceánica sur de Perú cooperación andina de fomento.
- Cifuentes, C. (30 de noviembre de 2015). Concepto de hidrosiembra. Obtenido de Projar: <https://www.projar.es/productos/restauracion-ambiental/materialhidrosiembra/productos-para-hidrosiembra/hidrosiembra>
- Costa, A. ((2004). Inestabilidades por degradación superficial. Santander: Universidad de Cantabria.
- Cuyutupa, F. (2019). *EVALUACIÓN GEOMECÁNICA CON FINES DE ESTABILIDAD DE TALUD CARRETERA MARISCAL CASTILLA HUANCAYO*. UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES.
- Díaz Jaime, (1998) Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales
- EMEL DIEGO, (2018) COMBINACIÓN DE LOS MÉTODOS JANBÚ – SPENCER EN EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES PARA EL EMPLEO DE SISTEMAS FLEXIBLES DE ALTA RESISTENCIA EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS”

- E. Napoles, R. Gonzalez y E. Olivares, Una introducción al análisis por elementos finitos: aplicaciones y ejemplos, pp. 28-32.(25)
- Escobar, D. ((2013). Representación de estados y trayectorias volumétricas y gravimétricas del suelo. Avances Investigación en Ingeniería, 20-26.
- Hernández-Sampieri, R., & Torres, C. P. M. (2018). *Metodología de la investigación* (Vol. 4). McGraw-Hill Interamericana México^ eD. F DF.
- Hospinal, M., & Lauriano, D. (2020). *PROPUESTA DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN TRAMOS SINUOSOS EN LA CARRETERA MOLLEPATA - PALLASCA*. Universidad ricardo palma.
- INVIAS. ((2017). Programa de revegetalización y paisajismo de taludes. Caquetá: Instituto Nacional de Vías.
- J. Celigüeta,(2011) Método de los elementos finitos para análisis estructural.
- Lavista, M. M. (2020). *EVALUACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD EN TALUDES DE TERRAPLENES CARRETEROS ALTOS ANTE CARGA SÍSMICA*. 1–17. <https://doi.org/10.18867/ris.103.489>
- O. Zienkiewicz y R. Taylor, (1994). El método de los elementos finitos, Vol. 1: Formulación básica y problemas lineales, CIMNE Barcelona, España: McGraw Hill.
- Quintero Figueroa, C. y. (2012). Inventario, caracterización, evaluación y propuesta de control y mantenimiento de medidas de mitigación y estabilización de taludes adelantados en el municipio de pereira. Universidad libre seccional pereira.
- Rodríguez, R. (20 de enero de 2016). Concepto de lito-estratigrafía. Obtenido de Geología Venezolana: <http://geologiavenezolana.blogspot.com/2012/01/litoestratigrafia.html>

Romero, D., & Galviz, W. (2016). *VIABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE FAJINAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN COLOMBIA*. UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA.

Suárez, J. ((1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga: Universidad de Santander.

S. Priest y J. Hudson, Discontinuity spacings in rock. *Int. J. Rock Mech. Min Sci & Geomech Abs.*, vol. 13, 1976, pp. 135-148.

Torres, P. (2016). *ESTABILIZACIÓN DE TALUDES CON NEUMÁTICOS USADOS PAULA*. Universidad Santo Tomas.

### ANEXO 3: Matriz de operacionalización de variables

Variables de Estudio	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicadores	Escala de Medición
Características topográficas del relieve <b>Independiente Cuantitativa</b>	Se refiere a las inclinaciones o pendientes que presenta la superficie del terreno.	Representa las diferentes secciones o perfiles realizados a la topografía a lo largo de un tramo de la vía.		Pendiente.	Razón.
Condiciones geológicas <b>Independiente Cuantitativa</b>	Se refiere a como están colocadas las diferentes capas geológicas, los factores a los cuales están sometida y a la calidad estructural de las capas.	Están definidas por el perfil litológico, estructuras geológicas y las estructura y calidad de los macizos rocosos y de los suelos.	Estratigrafía	Espesores. Pendientes.	Nominal Razón
			Estructuras geológicas. (Fallas)	Espesor. Longitud. Relleno.	Nominal. Nominal Nominal
			Condiciones hidrogeológicas.	Tipo de Flujo. Humedad.	Ordinario. Razón
			Calidad de los macizos rocosos.	Clasif. RMR Clasif. Q Barton. Clasif. GSI. Parámetro geomecánicos.	Razón. Razón. Razón. Nominales
Estabilidad de los taludes <b>Dependiente Cuantitativa</b>	Son los métodos utilizados que relacionan las fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras que actúan sobre el talud.	Es la aplicación de los diferentes métodos para determinar la relación entre las fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras para	Pendiente del talud.	Pendiente	Razón
			Altura del talud.	Longitud	Nominal.
			Ancho de las Bermas	Longitud	Nominal
			Elementos estabilizadores.	Revestimientos. Tensión anclajes	Ordinario. Nominal
			Método de elemento finito	Coeficiente de estabilidad	Razón.

**ANEXO 4: Galería Visita de Campo**

