



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Análisis dinámico de estabilidad por elementos finitos del
talud superior ubicado en la carretera Casma - Huaraz en la
provincia de Casma

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

AUTOR:

Gutierrez Samaritano, Nicolas Aldair (orcid.org/0000-0001-7274-1092)

ASESOR:

Mg. Noriega Vidal, Eduardo Manuel (orcid.org/0000-0001-7674-7125)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño Sísmico y Estructural

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo económico, empleo y emprendimiento

TRUJILLO — PERÚ

2024

Declaratoria de autenticidad del asesor



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, NORIEGA VIDAL EDUARDO MANUEL, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Análisis dinámico de estabilidad por elementos finitos del talud superior ubicado en la carretera Casma - Huaraz en la provincia de Casma", cuyo autor es GUTIERREZ SAMARITANO NICOLAS ALDAIR, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 10%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 19 de Junio del 2024

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
NORIEGA VIDAL EDUARDO MANUEL DNI: 43236142 ORCID: 0000-0001-7674-7125	Firmado electrónicamente por: ENORIEGAVI el 19- 06-2024 18:36:14

Código documento Trilce: TRI - 0765716





Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, GUTIERREZ SAMARITANO NICOLAS ALDAIR estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Análisis dinámico de estabilidad por elementos finitos del talud superior ubicado en la carretera Casma - Huaraz en la provincia de Casma", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
NICOLAS ALDAIR GUTIERREZ SAMARITANO DNI: 75974278 ORCID: 0000-0001-7274-1092	Firmado electrónicamente por: NAGUTIERREZS el 19- 06-2024 03:37:46

Código documento Trilce: TRI - 0765715

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 mi madre, por ser mi motor de vida, ser un buen ejemplo y guiarme por el camino correcto; quien me apoya siempre a realizar todas mis metas.

A mi hermano, por brindarme sabios consejos que me motivan a desarrollar y potenciar mis habilidades.

A mi tío Teófilo y a mi prima María, por ser los pilares que necesite en los momentos difíciles de mi vida,

Agradecimiento

A la Universidad César Vallejo de Trujillo, 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 de profesionales capaces de afrontar los retos que tendremos más adelante en el camino de la vida.

Al Mg. Noriega Vidal Eduardo, por ser un mentor ejemplar, compartir su sabiduría y experiencia conmigo, por guiarme en momentos en los que estaba perdido y por ser el apoyo necesario para alcanzar mi meta.

Índice de contenidos

Carátula	i
Declaratoria de autenticidad del asesor	ii
Declaratoria de originalidad del autor	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimiento	v
Índice de contenidos	vi
Índice de tablas.....	vii
Índice de figuras.....	viii
Resumen.....	x
Abstract.....	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. METODOLOGÍA.....	13
III. RESULTADOS	17
IV. DISCUSIONES.....	34
V. CONCLUSIONES.....	39
VI. RECOMENDACIONES	40
REFERENCIAS	41
ANEXOS	

Índice de tablas

Tabla 1. Factores de Seguridad.....	10
Tabla 2. Parámetros establecidos para determinar el factor de seguridad	28
Tabla 3. Parámetros establecidos para determinar el factor de seguridad post anclajes	33

Índice de figuras

Figura 1. El talud y sus partes.....	8
Figura 2. Nodos y elementos de una malla	9
Figura 3. Mapa de Sismicidad del Perú.....	10
Figura 4. Esquema de un anclaje.....	12
Figura 5. Mínimos y máximos desplazamientos A – A.....	17
Figura 6. Mínimos y máximos desplazamientos B – B.....	17
Figura 7. Mínimos y máximos desplazamientos C – C	18
Figura 8. Mínimos y máximos desplazamientos D – D	18
Figura 9. Mínimos y máximos desplazamientos.....	19
Figura 10. Mínimos y máximos desplazamientos induciendo sismo A – A	20
Figura 11. Mínimos y máximos desplazamientos induciendo sismo B – B	20
Figura 12. Mínimos y máximos desplazamientos induciendo sismo C – C.....	21
Figura 13. Mínimos y máximos desplazamientos induciendo sismo D – D.....	21
Figura 14. Mínimos y máximos desplazamientos induciendo sismo	22
Figura 15. Mínimos y máximos esfuerzos A – A	23
Figura 16. Mínimos y máximos esfuerzos B – B	23
Figura 17. Mínimos y máximos esfuerzos C – C.....	24
Figura 18. Mínimos y máximos esfuerzos D – D.....	24
Figura 19. Mínimos y máximos esfuerzos.....	25
Figura 20. Mínimos y máximos deformaciones A – A	26
Figura 21. Mínimas y máximas deformaciones B – B	26
Figura 22. Mínimas y máximas deformaciones C – C.....	27
Figura 23. Mínimas y máximas deformaciones D – D.....	27

Figura 24. Mínimas y máximas deformaciones	28
.....	29
Figura 25. Determinación de anclajes y generación del acelerograma A – A	29
Figura 26. Determinación del factor de seguridad a través de un análisis dinámico por MEF del perfil A – A	30
Figura 27. Determinación de anclajes y generación del acelerograma A – A	30
Figura 28. Determinación del factor de seguridad a través de un análisis dinámico por MEF del perfil B – B	31
Figura 29. Determinación de anclajes y generación del acelerograma C – C.....	31
Figura 30. Determinación del factor de seguridad a través de un análisis dinámico por MEF del perfil C – C.....	32
Figura 31. Determinación de anclajes y generación del acelerograma D – D.....	32
Figura 32. Determinación del factor de seguridad a través de un análisis dinámico por MEF del perfil D – D.....	33

Resumen

El objetivo de esta investigación fue realizar el análisis dinámico de estabilidad por elementos finitos del talud superior ubicado la provincia de Casma. La metodología empleada fue de tipo aplicada, con un diseño no experimental y descriptivo simple, utilizando el programa Excel, Civil3D, AutoCAD, Geo5 y Slide para la recolección y procesamiento de datos. Tras aproximadamente 12 horas de análisis dinámicos por medio de elementos finitos en líneas de tiempo y aceleración por el sismo inducido en los perfiles, se identificó que el máximo desplazamiento es 1339.2mm y el mínimo es 6.5mm, el máximo esfuerzo es de 189.49 kPa y el mínimo es de 3.6 kPa, la máxima deformación de 0.49% y la mínima de 0.04% y los factores de seguridad mayores a 1.25. En conclusión, la aplicación del MEF permitió un modelamiento eficiente y preciso del talud superior ubicado en la provincia de Casma. El diseño final cumplió con las especificaciones técnicas y parámetros del factor de seguridad. Esto demuestra que el análisis dinámico por elementos finitos es un método preciso y eficaz para determinar la estabilidad de taludes.

Palabras clave: Elementos finitos, estabilidad de talud, análisis dinámico, desplazamientos, deformaciones.

Abstract

The objective of this research was to perform a dynamic finite element stability analysis of the upper slope located in the province of Casma. The methodology used was applied, with a non-experimental and simple descriptive design, using Excel, Civil3D, AutoCAD, Geo5 and Slide for data collection and processing. After approximately 12 hours of dynamic analysis by means of finite elements in time lines and acceleration by the induced earthquake in the profiles, it was identified that the maximum displacement is 1339.2mm and the minimum is 6.5mm, the maximum stress is 189.49 kPa and the minimum is 3.6 kPa, the maximum deformation is 0.49% and the minimum is 0.04% and the safety factors are greater than 1.25. In conclusion, the application of the FEM allowed an efficient and accurate modeling of the upper slope located in the province of Casma. The final design complied with the technical specifications and safety factor parameters. This demonstrates that finite element dynamic analysis is an accurate and efficient method to determine slope stability.

Keywords: Finite element, slope stability, dynamic analysis, displacements, deformations.

I. INTRODUCCIÓN

Había un problema que estaba presente al momento de efectuar un análisis de estabilidad de taludes, los procedimientos empíricos o simplificados no tenían ventajas ni consideraciones necesarias para poder reflejar la realidad del comportamiento de un talud, es por eso que a lo largo de los años los resultados que se hacían en cada estudio variaban, de modo que dependían bastante del criterio del ingeniero, y no se conseguía una forma precisa de poder calcular la estabilidad deseada, ya que se basaban en la observación, la experiencia y en los ensayos, sin embargo, estos carecían de alguna fundamentación teórica rigurosa. Es por ello que para poder mejorar estos métodos nació el más usado hasta hace pocos años, el MEL (Método de equilibrio limite), que planteaba mejorar dichos métodos, introduciendo correcciones y generalización, lo que permitía resultados más confiables, pero, aún carecía de ciertas consideraciones. Mientras el tiempo transcurría nacían nuevas herramientas tecnológicas y métodos con los cuales se podían llegar a análisis mucho más precisos que si tomaban consideraciones mucho más acertadas para poder realizar el estudio de la estabilidad, tal y como nos comenta Estrada y Soberanis (2019)

De este modo, para modelar el comportamiento de los suelos y/o rocas, que son materiales anisótropos, no lineales y dependientes del tiempo, se necesitan modelos constitutivos avanzados en las aplicaciones geotécnicas. Además, como el suelo es un material compuesto por varias fases, se deben usar métodos especiales para manejar las presiones intersticiales que pueden ser hidrostáticas o no hidrostáticas en el suelo, así lo manifiesta Membreño (2012).

Por lo tanto, si se desea obtener datos mínimos de seguridad para el análisis de talud enfocado en su estabilidad se considera usar MEL. Es por ello que Mesa et al (2018) considera que en la actualidad se ponen en práctica algunos métodos numéricos, dentro de ellos se puede tener en cuenta el MEF, ya que no son tan tradicionales y nos dan resultados en un corto de tiempo de espera.

Así mismo, los métodos numéricos son muy usados hoy en día para el análisis de estructuras de tierra, gracias al progreso en el desarrollo computacional. Por lo que Angelino (2020) expone que estos métodos ofrecen más información sobre el comportamiento de los geo-materiales en términos de esfuerzos y deformaciones,

pero necesitan la utilización correcta de la ley que se rige para estos casos, y que refleje las condiciones de los materiales geológicos introducidos en el análisis.

Teniendo en cuenta que, para lograr un análisis dinámico de estabilidad de taludes mediante el MEF, se requiere de un análisis minucioso se plantea el siguiente problema ¿Cómo es el análisis dinámico de estabilidad por elementos finitos del talud superior ubicado en la carretera Casma - Huaraz en la provincia de Casma? De este modo, el presente proyecto busca aplicar mediante métodos numéricos, el análisis dinámico de estabilidad del talud superior ubicado en la carretera Casma – Huaraz utilizando el software Geo5 2024.

Es por ello que este proyecto tiene una justificación teórica, de modo que hay una carencia de la investigación en cuestión, es por ello que el avance adicional de la aplicación del MEF en el análisis dinámico de estabilidad sería nulo. De igual manera, a través de la investigación, podremos lograr realizar un planteado en el problema, mediante el MEF en la carretera Casma Huaraz, en la provincia de Casma, para poder así obtener resultados del factor de seguridad, desplazamientos, esfuerzos máximos; lo cual nos garantizará un diseño más adecuado para la seguridad de las personas.

Para la justificación práctica se pretende que, a través de la presente investigación se resuelvan los problemas de inestabilidad de talud, deslizamientos y pérdidas económicas en la provincia de Casma y, en consecuencia, los profesionales no sigan usando métodos conservadores que generen tiempo perdido al momento de hacer los cálculos y falta de consideraciones en los resultados. En ese sentido, esta investigación intenta resolver proponiendo un análisis dinámico de estabilidad del talud superior a través del MEF.

La mencionada investigación tiene una justificación metodológica, donde se expone el uso de elementos finitos para el análisis dinámico de estabilidad de taludes, como una forma de estimar la intensidad y el patrón de las tensiones, las deformaciones y la presión de los poros en las laderas. Con este análisis se puede evaluar el comportamiento no lineal del terreno, las condiciones de contorno complejas, las geometrías irregulares y una variedad de situaciones de construcción, tal como lo formuló Avila (2016).

Este proyecto se basa en el objetivo general de realizar el análisis dinámico de estabilidad por elementos finitos del talud superior ubicado en la provincia de Casma.

Los objetivos específicos son analizar los desplazamientos por elementos finitos del talud superior ubicado en la carretera Casma - Huaraz en la provincia de Casma, también determinar los máximos esfuerzos por elementos finitos del talud superior ubicado en la carretera Casma - Huaraz en la provincia de Casma, además determinar las deformaciones por elementos finitos del talud superior ubicado en la carretera Casma - Huaraz en la provincia de Casma, determinar el factor de seguridad por elementos finitos del talud superior ubicado en la carretera Casma - Huaraz en la provincia de Casma y finalmente proponer una estabilización por elementos finitos del talud superior ubicado en la carretera Casma - Huaraz en la provincia de Casma .

Finalmente, se diseña como hipótesis lo siguiente: Mediante la utilización de los elementos finitos se podría determinar el análisis dinámico de estabilidad del talud superior en la carretera Casma – Huaraz en la provincia de Casma.

Se ha considerado como antecedentes internacionales, el artículo titulado "Análisis dinámico de estabilidad de taludes por medio de elementos finitos" (Bojerque, 2016) este artículo llevó a cabo un análisis paramétrico para analizar las consecuencias de las propiedades del registro dinámico y las características de la tierra en lo que respecta a la estabilidad dinámica de talud. Dado que tuvo como objetivo fundamental del estudio fue evaluar la estabilidad del talud a través de los desplazamientos de sentido horizontal. Para lograr este objetivo, se empleó el programa PLAXIS, que utiliza el MEF, que permitió analizar el impacto de la frecuencia, la aceleración más grande considera máxima, el tiempo de duración, y las propiedades que se tiene del terreno en lo que se considera desplazamientos totales o generales. Los resultados del estudio indicaron que la estabilidad de los taludes se ve afectada por varios factores, incluyendo la frecuencia, la amplitud y la duración del movimiento, así como también, las características que tiene el suelo, como el peso unitario, el módulo de Young, la cohesión, el ángulo de fricción y el amortiguamiento. Se encontró que la disminución del coeficiente de amortiguamiento resultó en desplazamientos más altos en la cresta del talud.

Monte (2022) en su trabajo de investigación, efectuó una profunda investigación sobre el análisis de estabilidad de taludes de roca mediante el MEF. Los objetivos de la investigación fueron: Analizar la estabilidad de taludes de roca en una mina subterránea, comparar los resultados obtenidos mediante el MEF con los obtenidos mediante la metodología de diseño históricamente utilizada, y evaluar la influencia de las discontinuidades en la estabilidad de los taludes. Interpretando los resultados, se pudo dar con la conclusión que dicho método es una herramienta útil para el análisis, ya que permite una evaluación más precisa y detallada de la influencia de los errores en la estabilidad de los taludes. Además, se encontró que la metodología de diseño históricamente utilizada puede subestimar la inestabilidad de los taludes, lo que puede llevar a un riesgo mayor de accidentes en la mina.

Beneyto et al (2011), en su artículo se efectuó una investigación sobre el análisis de estabilidad de talud, el objetivo de la investigación fue desarrollar un método de optimización que se basa en lo que se cómo algoritmos genéticos y estos están aplicados a obtener como resultado la superficie de deslizamiento frágil o crítica, analizada mediante el MEL a través del MEF. Una vez concluida el proceso y la investigación, obtener resultados que nos indican que el método de optimización

propuesto es una herramienta eficiente y precisa para encontrar la superficie de falla con factor de seguridad mínima posible, el cual se obtiene utilizando un programa de elementos finitos desarrollado específicamente para suelos. El método permite una búsqueda dinámica y flexible de la superficie de deslizamiento, y es comparable con otros métodos de búsqueda avanzados basados en distintos algoritmos, además, la investigación demostró que el MEF es una herramienta potente para simular comportamientos físicos del suelo sin tener que reducir el problema, obteniendo resultados más confiables y realistas. Por lo tanto, se concluyó que el método de optimización heurística combinado con el MEF es una herramienta valiosa para la ingeniería civil ya que permite una evaluación rigurosa y detallada del inconveniente que se presenta en la estabilidad de taludes.

Cruz (2023) propuso ejecutar una investigación explicativa sobre el análisis de estabilidad de taludes mediante el MEF. El objetivo de la investigación fue desarrollar una herramienta eficiente y precisa para estudiar el comportamiento del suelo y la superficie de falla. Para ello, se desarrolló un modelo de elementos finitos basado en el modelo constitutivo de Mohr-Coulomb y el método de reducción con respecto a los parámetros de resistencia al corte. Los resultados de la investigación mostraron que el MEF es una herramienta eficaz para la rigurosidad en el análisis de estabilidad de taludes. El método permite una evaluación rigurosa y detallada del comportamiento del suelo, y es comparable con otros estudios previos y con el software Plaxis 2D. Además, la investigación demostró que el método de reducción de parámetros de resistencia al corte es un método adecuado para calcular el FS mediante el MEF. Este método permite una estimación precisa del factor de seguridad, incluso en condiciones de carga compleja es por ello que se llegó a la conclusión, que el MEF es una herramienta valiosa para la ingeniería civil ya que permite una evaluación más precisa y realista del comportamiento del suelo que los métodos analíticos, y es comparable con otros softwares comerciales.

Dentro de los antecedentes nacionales encontramos a Carranza (2017), quien ejecutó una investigación explicativa sobre el análisis de inestabilidad de taludes mediante los MEL y elementos finitos. El objetivo de la investigación fue diagnosticar e identificar el grado de inestabilidad del tramo Santa Rosa - Tuco Bajo, en la carretera Bambamarca - Centro Poblado Tuco. Para ello, se cartografiaron las unidades lito morfoestructurales, se identificaron los datos geológicos en los taludes, se caracterizó

la mecánica de los suelos de los taludes en investigación y se realizó los estudios de inestabilidad de taludes a partir de los factores de seguridad que se obtienen a través de los softwares Phase2 y Slide. Los resultados de la investigación mostraron que el 32.25% de los taludes son de inestabilidad muy alta, el 4.27% de inestabilidad alta, en porcentajes mínimos (<2%) se tienen de baja inestabilidad y en mayor porcentaje (>50%) son taludes estables. La inestabilidad está condicionada por la lito morfoestructural, la hidrología y las propiedades mecánicas de la tierra en las rocas y suelos. Además, la investigación demostró que los métodos de equilibrio límite y elementos finitos son herramientas eficientes y precisas para el análisis de inestabilidad de taludes. Estos métodos permiten una evaluación rigurosa y detallada del comportamiento del suelo y la superficie de falla, y son comparables con otros estudios previos. Por ello, se llegó a la obtener la conclusión de que el análisis de inestabilidad de taludes es un instrumento valioso para la ingeniería geológica ya que permite una evaluación más precisa y realista del comportamiento del suelo que los métodos analíticos.

Tardeo et al (2016), para alcanzar el título en Ingeniería Civil, realizaron una investigación explicativa sobre el análisis dinámico de estabilidad de taludes por elementos finitos en la zona de Huayllapampa. El objetivo de dicho proyecto fue determinar el FS del talud, utilizando el análisis dinámico por MEF. Para ello, se emplearon los variados métodos para el análisis anteriormente mencionando en esta investigación, nos da como resultado la propensión a problemas como deslizamientos, y para emplear este mencionado análisis, se optó por un método también usado tradicionalmente el de Mora, considerando variables de susceptibilidad como la composición física del suelo, la forma de los suelos y su estudio, la flora y las variantes que son detonantes como precipitaciones o fallas sísmicas. Los resultados de la investigación mostraron que el factor de seguridad del talud es menor a 1.25, lo que indica una alta inestabilidad. La inestabilidad del talud está condicionada por la litología, la hidrología, las propiedades geomecánicas y la acción sísmica. Además, la investigación demostró que el MEF es una herramienta eficiente y precisa para el análisis dinámico de estabilidad de taludes. Este método permite una evaluación rigurosa y detallada del comportamiento de la tierra y la superficie de frágil o también llamada superficie falla, y es comparable con otros estudios previos. Por ello, se logró determinar cómo conclusión que el análisis dinámico de estabilidad de taludes es un

instrumento valioso para la ingeniería civil ya que permite una evaluación más precisa y realista del comportamiento del suelo que los métodos analíticos.

Quispe et al (2021) realizaron una investigación aplicada sobre la estimación de estabilidad de taludes a través del MEF. Y se identificó que el objetivo de la investigación fue evaluar la estabilidad del talud mediante el MEF. Para ello, se usaron variados métodos de análisis con respecto a la composición de material rocoso, donde se obtuvieron los parámetros geomecánicos de los macizos rocosos y los coeficientes de estabilidad mediante el software especializado Phase 2. Los resultados de la investigación mostraron que el factor de seguridad del talud es mayor a 1.8, lo que indica una buena estabilidad. La estabilidad del talud está condicionada por la topografía, la geología, las condiciones hidrológicas y la acción sísmica. Además, la investigación propuso algunas técnicas de estabilización como el control de aguas de lluvia, las estructuras de refuerzo y otras técnicas. Por ello, se llegó a la conclusión de que la evaluación de estabilidad de taludes a través de elementos finitos es una herramienta útil y precisa para la ingeniería civil ya que permite una evaluación rigurosa y detallada del comportamiento del macizo rocoso y la superficie de falla.

Urrutia (2008), para alcanzar el título en Ingeniería Civil, llevó a cabo un estudio detallado sobre el análisis dinámico de estabilidad de talud en la Costa Verde, Miraflores. El objetivo fundamental de este proyecto fue determinar y analizar la estabilidad del talud utilizando el MEF. Para alcanzar este objetivo, se recurrió al software Geo5 2024, con el cual se efectuaron análisis dinámicos, aplicando registros sísmicos a modelos numéricos de las secciones más críticas de los taludes. Los hallazgos de este estudio revelaron que, bajo las condiciones y registros sísmicos evaluados, los factores de seguridad nunca descendieron por debajo de 1, lo que sugiere una estabilidad adecuada de los taludes. Es importante destacar que la estabilidad de estos taludes está influenciada por diversos factores, incluyendo la geología, la topografía y las condiciones sísmicas. A partir de estos resultados, se puede concluir que el análisis dinámico de estabilidad de taludes mediante el MEF es una herramienta valiosa y precisa en el campo de la ingeniería civil, ya que ofrece una evaluación metódica del comportamiento del talud, especialmente en condiciones sísmicas.

Para poder comprender lo que nos indican los antecedentes anteriormente mencionados para sustentar esta tesis, se deberá crear un apartado conceptual donde

definiremos ciertos parámetros y términos para la comprensión de este trabajo de investigación. Para ello iniciaremos con una pequeña definición de lo que es un talud, el cual tiene por característica resaltante ser una masa de tierra con una superficie exterior, con una inclinación respecto al nivel (Figura 1). Normalmente se les puede clasificar de 2 maneras, ya sea por intervención humana o no, denominados talud artificial y talud natural, asimismo, pueden ser de suelos, rocas o mixtos, variando a su vez la metodología de estudio, así lo enunció Valiente et al (2016).



Figura 1. El talud y sus partes

El MEF, es un método numérico que el ingeniero utiliza para resolver problemas prácticos complejos. Consiste en descomponer el problema en elementos más simples y hallar una solución aproximada para cada uno de ellos, que no es la solución “exacta” (Figura 2). El ingeniero debe tener criterio para juzgar si la aproximación es aceptable o no y aplicarla con prudencia a un problema real. El MEF es un instrumento de la computación bastante eficaz en el área de ingeniería. Obtiene fuerza de la habilidad de simular conductas, formas de reaccionar o también, comportamientos, así lo expresaron Benito et al (2022).

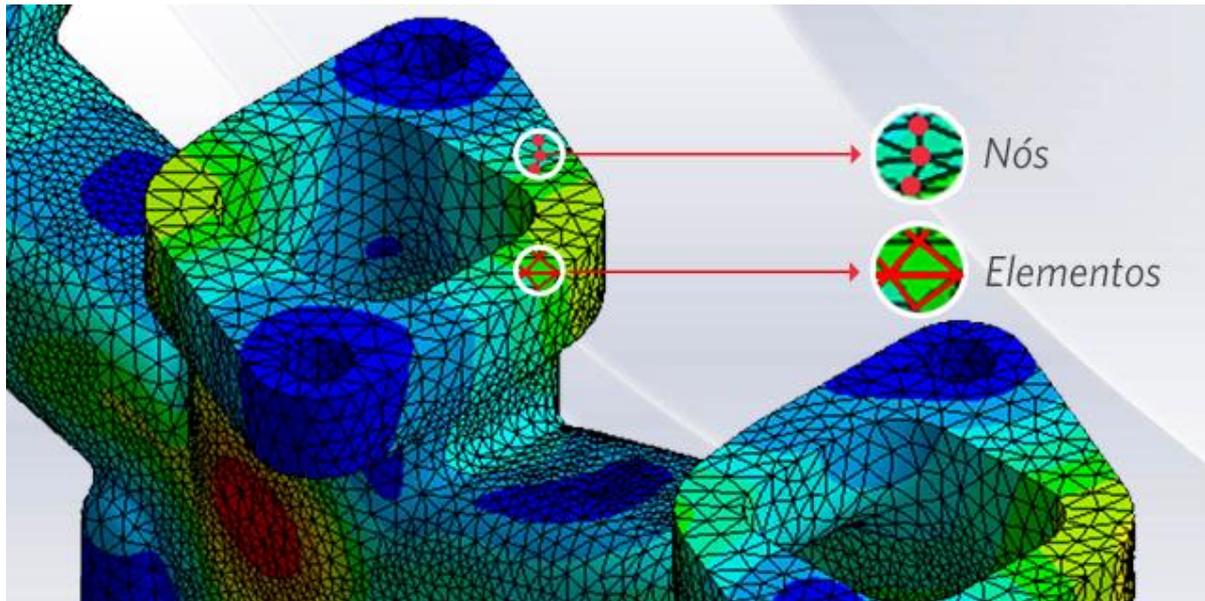


Figura 2. Nodos y elementos de una malla

Dentro del Reglamento Nacional de Edificaciones tenemos la Norma CE.020, que nos menciona, un talud será catalogado como estable cuando cumple ciertos parámetros de estabilidad, es decir, cuando el requisito estático $FS > 1.50m$ y requisito sísmico el $FS > 1.25m$, se podrá decir que el talud es estable.

Suárez (2009) expone que según el MEL, cuando el FS es en comparación inferior a 1 se considera inestable, en cambio, el facto de seguridad es equivalente a 1, se considera en una confirmación a medias, equilibrado o frente a una posible falla, por último si el factor de seguridad es mayor a 1, con total seguridad se le considera estable, cabe mencionar que hay 2 maneras de poder medir el facto de seguridad , es decir, se considera mayor a 1 para características pseudo- estática, y el factor de seguridad optara por ser mayor a 1.5 para condiciones estáticas y 1.25 para dinámicas (Tabla 1). Además, no menciona que el factor de seguridad se usa para estimar el nivel de riesgo de que el talud se derrumbe bajo las condiciones más desfavorables de diseño, y esto se puede definir como la relación que existe entre la resistencia del corte real y los esfuerzos al cortante actuado. Así mismo, es necesario el concepto de superficie de falla mencionado, donde nos expresa que la superficie de falla es una superficie hipotética donde el talud puede deslizarse o romperse. Se asume que esta superficie existe para analizar la estabilidad del talud ante posibles movimientos de tierra.

Tabla 1. Factores de Seguridad

Factor de seguridad	Estabilidad
<1	Inestable
=1	Equilibrio o frente a posible falla
>1	Estable

Perez et al (2018) manifiesta que la sismicidad es la emisión de energía, producto de la actividad volcánica o del desplazamiento de las placas tectónicas, es el motivo por el que se generan la mayor parte de los terremotos. Los sismos técnicamente llamados interplaca, o también llamados sismos de subducción, se producen por el hundimiento de la corteza marítima o también llamada oceánica debajo de la corteza continental y ocurren justo en la unión de dos placas. El Perú está catalogado como un país con alta probabilidad sísmica, de modo que está dentro de lo que se conoce como el Cinturón de fuego del Pacífico, es por ello que se creó un mapa sísmico seccionado en 4 partes (Figura 3).



Figura 3. Mapa de Sismicidad del Perú

Vásquez et al (2001) exteriorizó que el MEF es una técnica numérica que permite resolver problemas difíciles y tediosos en la ingeniería y ciencia. El método consiste en tres fases principales: preproceso, solución y postproceso. En la fase de preproceso, se define el problema físico, se divide el dominio en elementos finitos, se asume una función de forma para cada elemento, se obtienen las ecuaciones elementales y se ensamblan en la matriz global de rigidez. También se aplican las condiciones y las cargas. En la fase de solución, se resuelve el sistema de ecuaciones lineales o no lineales para obtener los resultados globales, como los desplazamientos y las temperaturas en los nodos. En la fase de postproceso, se analizan los resultados globales y se calculan los resultados locales, como los esfuerzos y las deformaciones en los elementos.

Holtz et al (2011) hizo muestra de que la deformación es el cambio de forma o tamaño que tiene algo cuando le aplicas una fuerza externa. La deformación se mide por el cambio de tamaño que tiene algo, dividido por el tamaño que tenía antes. La deformación depende de la fuerza que le aplicas a algo, y también de las propiedades que tiene ese algo. La fuerza y la deformación se relacionan por la tensión efectiva, que dice cómo se comporta algo cuando le aplicas una fuerza.

Para poder estabilizar un talud hay diferentes métodos que se tomaran en cuenta de acuerdo al criterio del profesional, en entorno del trabajo, las propiedades del talud, los resultados de los laboratorios y el presupuesto establecido para el proyecto, es por ello que en esta investigación se optó por usar anclajes (Figura 4)

Según Monroy (2007), un anclaje para porciones de suelo es un sistema de tipo estructural diseñado para transmitir fuerzas de tensión al terreno. Se utiliza para estabilizar este tipo de masas de suelo, tanto naturales como artificiales, que están sujetas a fuerzas laterales u otro tipo de fuerzas. De esta manera, se limita el movimiento de desplazamiento o giro, proporcionando estabilidad. Para lograr este efecto, el anclaje debe colocarse en una ubicación de terrero firme de suelo o en algunos casos de roca.

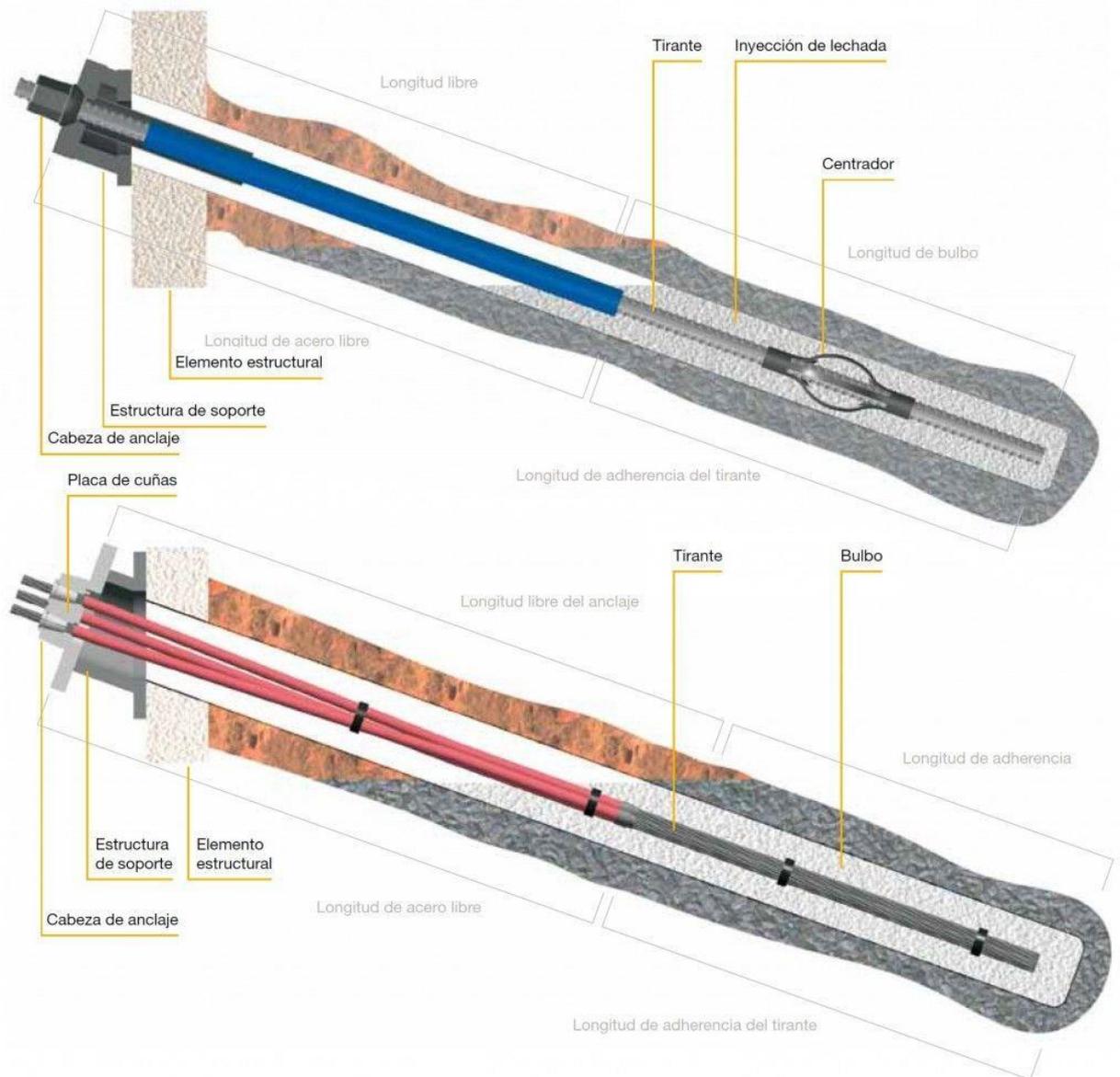


Figura 4. Esquema de un anclaje

II. METODOLOGÍA

La presente investigación será de tipo aplicada porque esta principalmente se enfoca en la practicidad y la búsqueda rápida de soluciones.

El diseño de esta investigación es no experimental, específicamente del tipo transversal descriptiva, puesto que no se cambiarán deliberadamente las variables y, además, descriptivo porque buscara describir la situación en un momento determinado a través de la recopilación y análisis de datos, variables y operacionalización. La presente investigación está enfocada en 2 variables, variable 1 que es estabilidad de talud y variable 2 que son los elementos finitos.

La población que se tomó en la presente investigación son los taludes a lo largo de la carretera Casma – Huaraz, desde el km 43 al 44. La muestra utilizada en esta investigación son los taludes artificiales con altura determinada, ubicadas entre el km 43+000 y km 44+000 de la carretera Casma – Huaraz. Se consideró como muestreo, en el presente proyecto de investigación, no probabilístico, ya que la muestra es escogida con conveniencia de la investigación. En la presente investigación se tomó como unidad de análisis consideró el talud Superior ubicado en el km 43+220 - km 43+560.

Este proyecto se basó en investigaciones para realizar una compilación de datos o información, para así lograr un proceso de entendimiento más eficaz en la definición de lo que son nuestros objetivos. La técnica a usada es la observación, en tal sentido, es la forma que utilizamos para consignar el comportamiento del talud porque el investigador será parte en dicho proyecto observando el talud superior en el software Geo5 2024, que funciona mediante el MEF y está creado esencialmente para poder analizar los parámetros que se desean evaluar como son las deformaciones y lo que es la estabilidad de los contratiempos en taludes y para ello se recolectaron los datos verificando el correcto procesamiento de esto.

En la presente investigación se analizó y consideró las propiedades mecánicas resistentes del material del talud, es por ello que el primer paso fue la recolección de datos en campo, tales como el estudio de mecánica de suelos, donde se hicieron 4 calicatas a una separación de 250m aproximadamente y a una profundidad de 1.5m, de los cuales se recolectaron 3 estratos. Posteriormente se obtuvieron los datos topográficos del área en estudio, para ello se empleó el uso del equipo topográfico de

estación total, herramienta la cual brindo puntos de coordenadas, luego se pasó a gabinete para poder importar todos los puntos obtenidos e se generó el plano topográfico, plano de ubicación y localización, además se generaron los perfiles para a analizar. Para esto se tuvo a la mano la ficha técnica de recolección de datos y luego se introdujo al programa Geo5 2024, programa que fue de apoyo para poder determinar la estabilidad del talud superior ubicado en la provincia de Casma. Este programa trabajó usando el MEF, que se considera una solución bastante óptima al momento de comprender los problemas complejos de la ingeniería no ya que nos permite entender mejor las fuerzas y deformaciones de un sistema y poder predecir, con los cálculos y datos necesarios, lo que puede soportar una estructura o elemento, en este caso, nos permitirá saber la estabilidad que tiene el talud a través de los del factor de seguridad, los desplazamientos y deformaciones máximas. Por consiguiente, de acuerdo a los primeros resultados que se obtuvieron se planteó un sistema de estabilidad a base de anclajes para poder aumentar el factor de seguridad y por consecuencia, estabilizar el talud. Para ello se usó como herramienta el software Slide, el cual nos permitió obtener datos de fuerza de estabilidad necesaria para realizar los cálculos pertinentes y así determinar tanto longitudes como fuerzas de tensado de nuestros anclajes. Esto nos ayudó a generar los anclajes dentro del software Geo5 y a través de los del MEF se pudo discretizar los perfiles y generar la malla de elementos finitos, la cual nos ayudo a interpretar el comportamiento de talud en condiciones dinámicas.

Para que se tuviera un panorama de los cálculos que se hizo, se mostró los cálculos para el perfil C – C, en primera instancia usaremos el software Slide, el cual nos dio el dato de relevancia que es la fuerza necesaria para estabilizar el talud, posterior a ello se realizaron los siguientes cálculos.

$$F_{fs} = 1.5 \approx 323.7 \text{ kN/m}$$

$$F_{fs} = 1.5 = \frac{F}{H} = 23.457 \text{ kN/m}^2$$

Estos cálculos nos sirvieron para determinar la estimación aproximada de anclaje que necesitaremos en el perfil del talud en estudio.

En este caso por criterio se consideró tener 5 líneas de anclaje en el perfil C – C, es

por ello que determinaremos con exactitud la cantidad de fuerza que deberá ejercer cada anclaje aproximadamente.

$$F_p = \frac{23.46 * 15.9}{5} = 64.74 \text{ kN/m}$$

$$F_p = \frac{23.46 * 15.9}{\cos(15^\circ)} = 328.6935943 \text{ kN}$$

$$F_p = 328.69 \approx 32.9 \text{ tn}$$

$$F_p = 33.0 \text{ tn}$$

Siguiendo el proceso, el siguiente paso fue determinar la cantidad de cables que se utilizarían en el presente diseño, teniendo en cuenta la N.T.P E050 suelos y cimentaciones.

$$\# \text{ cables} = \frac{330}{156} = 2.12 \approx 2 \text{ cables}$$

Luego se procedió a calcular las longitudes tanto del bulbo como la longitud libre, teniendo como consideración que las mínimas longitudes son de 4.5m para ambos datos a encontrar según la E050 y que a longitud libre se hará de acuerdo al criterio del profesional y del proyecto.

$$L_b = \frac{330}{\pi D \alpha \tau_w} = 3.109407874 \text{ m} = 4.5\text{m}$$

Como resumen del procedimiento para análisis dinámico lo primero que se hizo fue realizar un bosquejo del problema para posteriormente definir las regiones del modelo y así construir la malla de elementos finitos, una vez construida la malla se procedió a realizar, en primera, instancia el análisis dinámico inicial dónde vamos a definir las propiedades, definimos las cargas la superficie para luego verificar y resolver el problema, posterior a ello realizamos un análisis dinámico en segunda etapa con anclajes dónde se importó los registros sísmicos previamente estudiados y

seleccionados con el fin de realizar la investigación para poder así definir las condiciones, definir las propiedades de los materiales y los nodos para así poder verificar el problema y poder analizar los resultados, posteriormente dependiendo del resultado de estabilidad se propuso un sistema de estabilidad basado en anclajes y como siguiente paso se realizó el análisis por medio del Geo5 a base de elementos finitos.

El método de análisis de datos utilizado en este proyecto de investigación después fue obtener los diferentes datos obtenidos por la mecánica de suelos y el levantamiento topográfico, y empezar el proceso de encontrar el factor de seguridad del talud superior de la provincia de Casma. Se procedió a emplear el software Geo5 2024, y se continuó introduciendo los resultados en Excel 2018 para su respectivo procesamiento. De esta forma se logró analizar y comprender mejor los resultados de esta investigación a través de la generación de gráficos y demás.

Esta investigación se realiza con los valores que caracterizan al centro de estudios, como son responsabilidad y compromiso y basándose en la moral y la ética. El investigador deberá presentar la información asegurando la verdad, asegurando que el proyecto es original y confiable y que todos los datos obtenidos y mostrados en la investigación, en donde se debe seguir normas y reglas, que sustenten que los resultados sean exactos, además que sigan el sentido y las pretensiones del objetivo planteado al inicio. El formato debe seguir los parámetros dados por la casa de estudios, los datos e información sacados de tesis y/o artículos científicos estarán hechas deben estar correctas y su correcto citado por la normativa ISO 690. Además, se debe considerar el RNE, la normativa CE 020 y E050. Para garantizar que este proyecto tiene originalidad este será sujeto de evaluación de la herramienta Turnitin.

III. RESULTADOS

3.1. Análisis de estabilidad estática por elementos finitos en el perfil A - A

Se ingresaron los datos obtenidos en el estudio topográfico como son los perfiles del talud y las propiedades del suelo obtenido en el EMS, designamos los materiales y se procesaron los datos para obtener resultados enfocados al primer objetivo. (Figura 5,6,7,8), posteriormente analizamos en Excel de los datos obtenidos (figura 9).

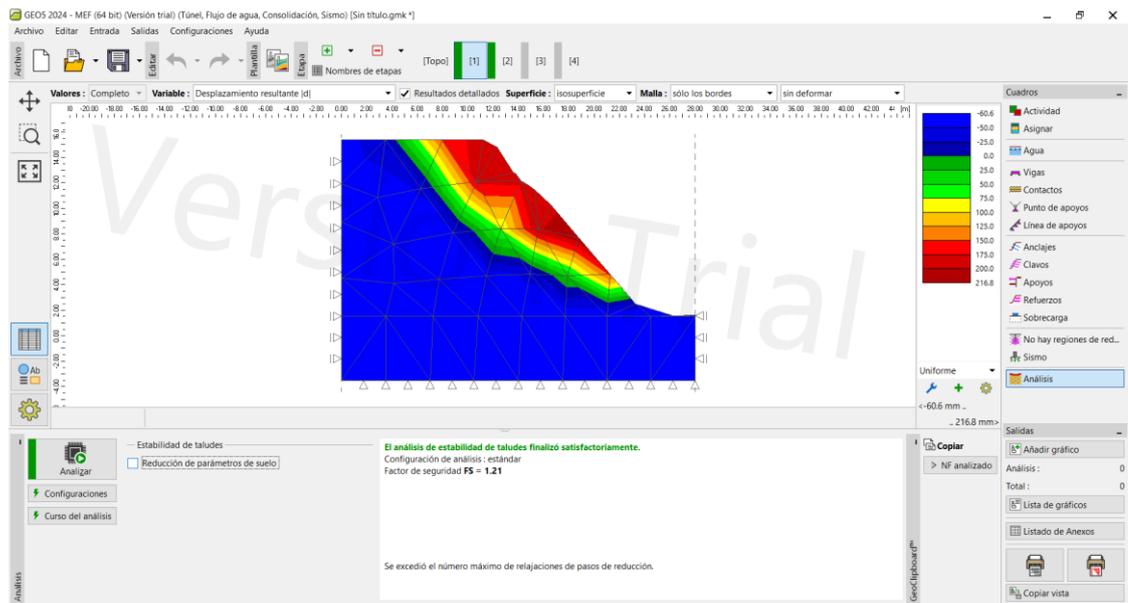


Figura 5. Mínimos y máximos desplazamientos A – A

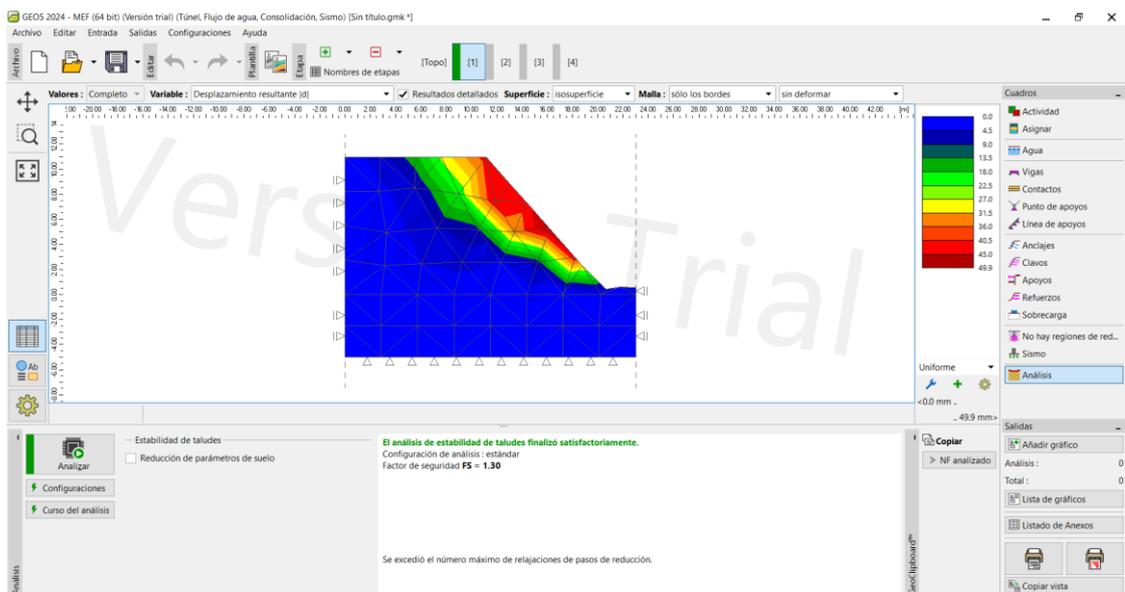


Figura 6. Mínimos y máximos desplazamientos B – B

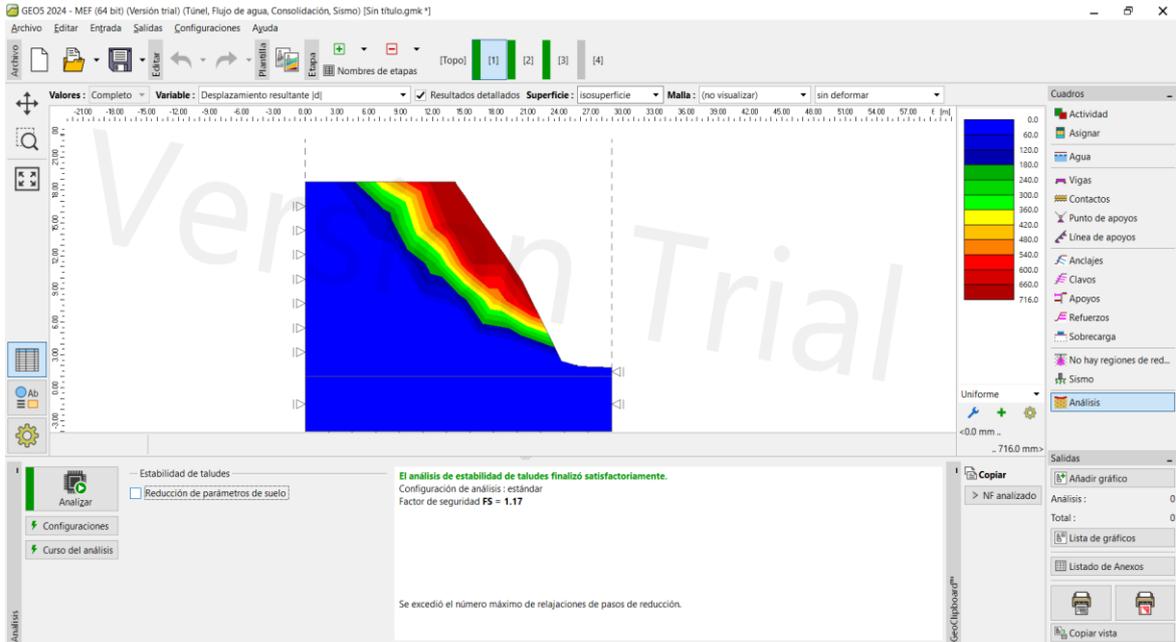


Figura 7. Mínimos y máximos desplazamientos C – C

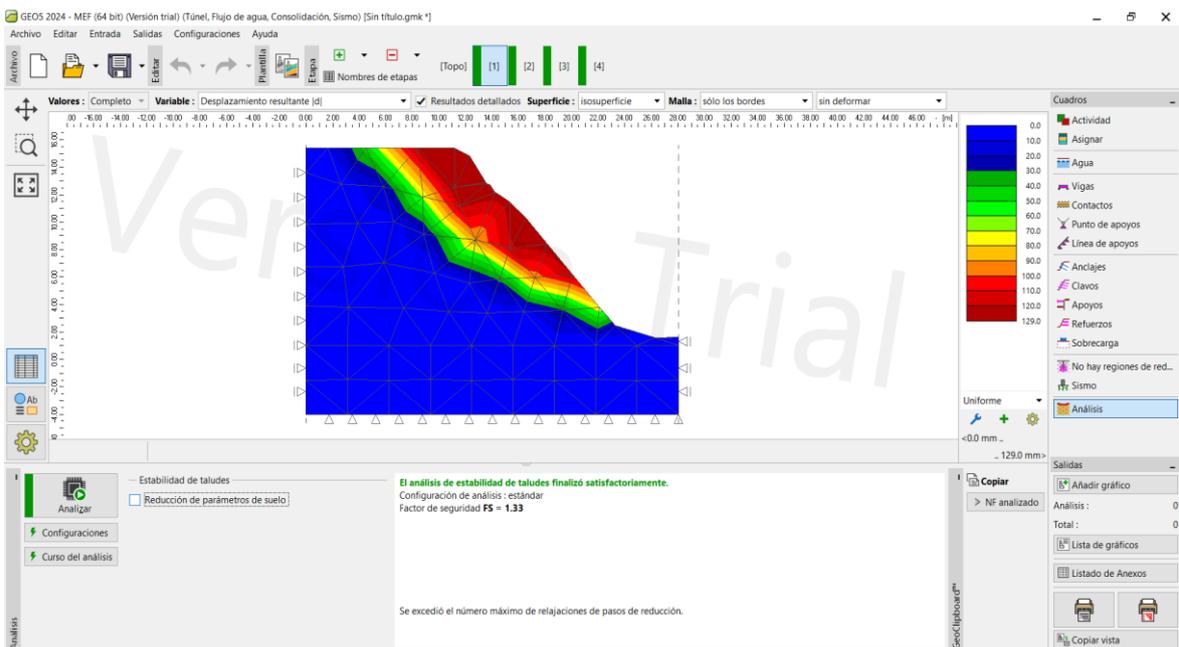


Figura 8. Mínimos y máximos desplazamientos D – D

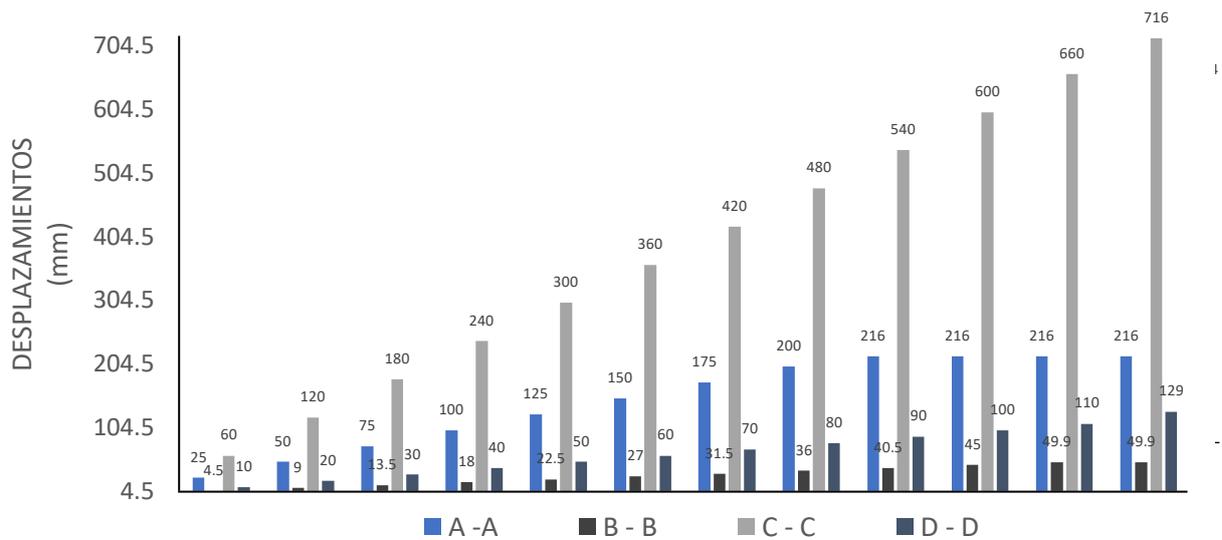


Figura 9. Mínimos y máximos desplazamientos

Nota: En los desplazamientos de los 4 perfiles del talud superior ubicado entre el km 42+000 y 43+000 de la carretera Casma - Huaraz, se pudo observar mínimos y máximos desplazamientos en cada perfil del talud, de ese modo determinamos a través de los elementos finitos, que los máximos desplazamientos que se pueden dar es en el perfil C – C, teniendo una diferencia a comparación del perfil D – D de 587 mm en su máximo desplazamiento y una diferencia de 50 mm en comparación con el mínimo desplazamiento, de igual manera con el perfil B – B donde vemos una diferencias de desplazamientos mínimos y máximos de 666.1 mm y 55.5 mm respectivamente, así mismo en la comparativa con el perfil A – A se puede observar que la diferencia entre los mínimos y máximos desplazamientos es 35 mm y 500 mm en forma respectiva.

3.2. Análisis de estabilidad dinámica por elementos finitos en los perfiles

Se ingresaron los datos obtenidos en el estudio topográfico como son los perfiles del talud y las propiedades del suelo obtenido en el EMS, designamos los materiales y se procesaron los datos para obtener resultados enfocados al primer objetivo, pero en condiciones dinámicas. (Figura 10,11,12,13), posteriormente analizamos en Excel de los datos obtenidos (figura 14).

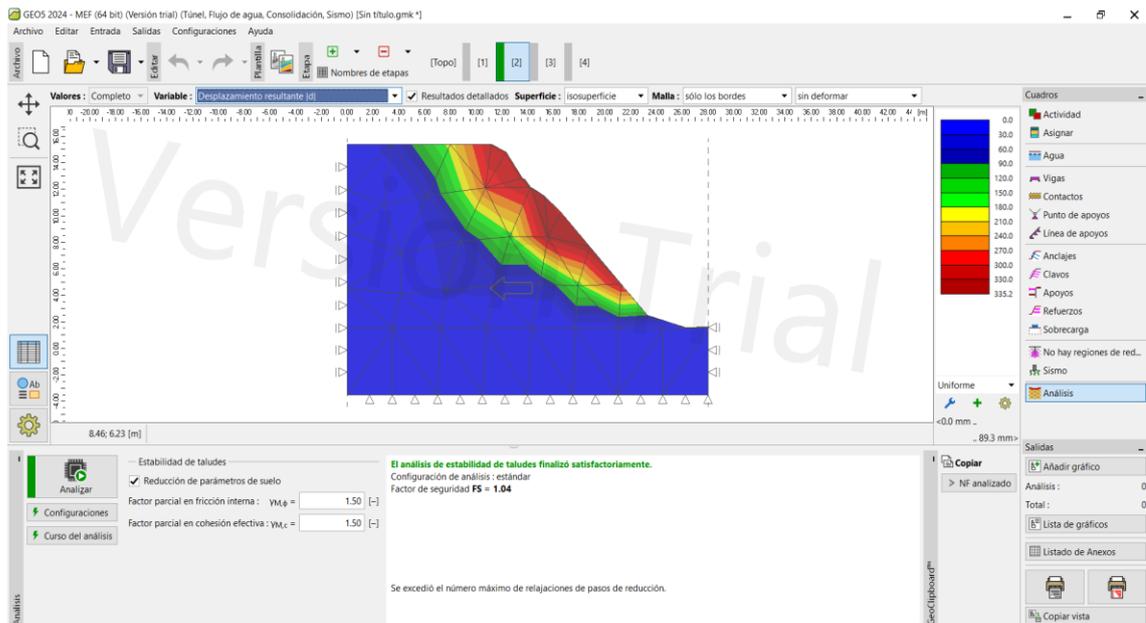


Figura 10. Mínimos y máximos desplazamientos induciendo sismo A – A



Figura 11. Mínimos y máximos desplazamientos induciendo sismo B – B

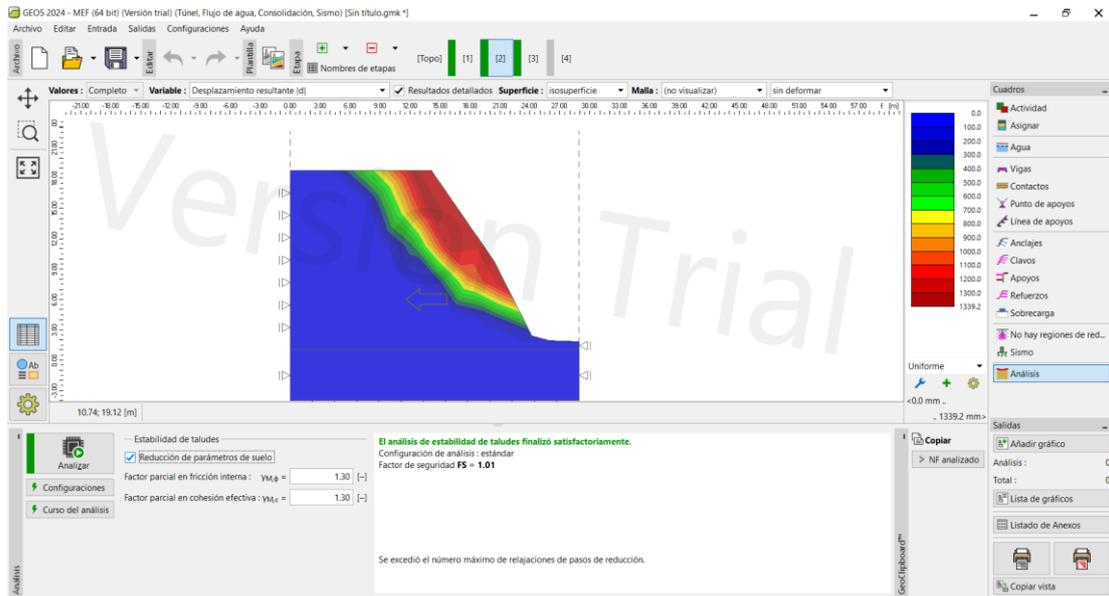


Figura 12. Mínimos y máximos desplazamientos induciendo sismo C – C

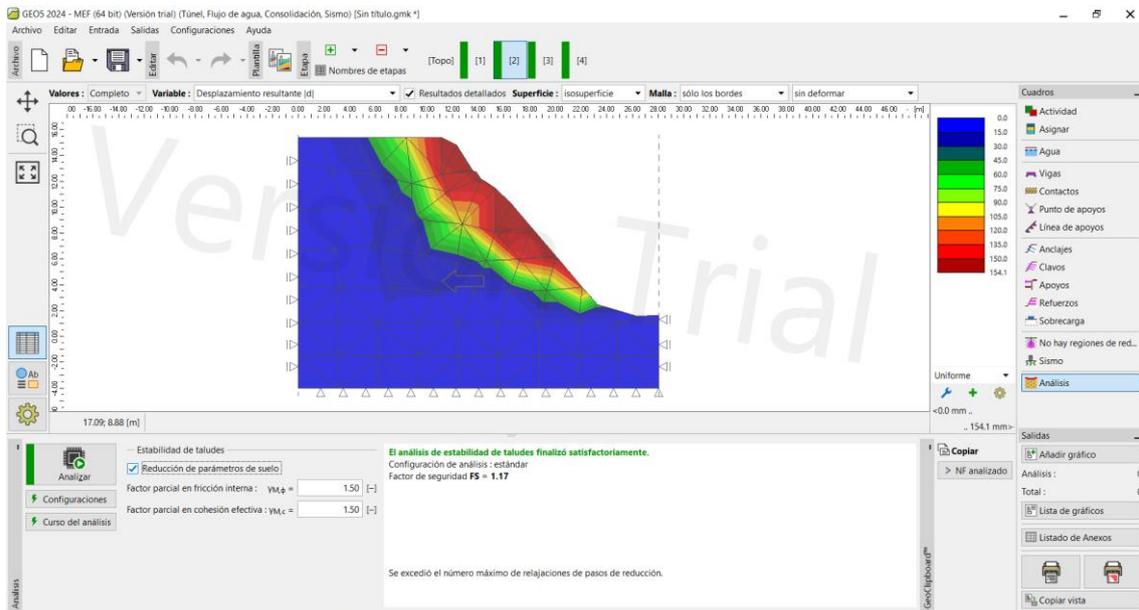


Figura 13. Mínimos y máximos desplazamientos induciendo sismo D – D

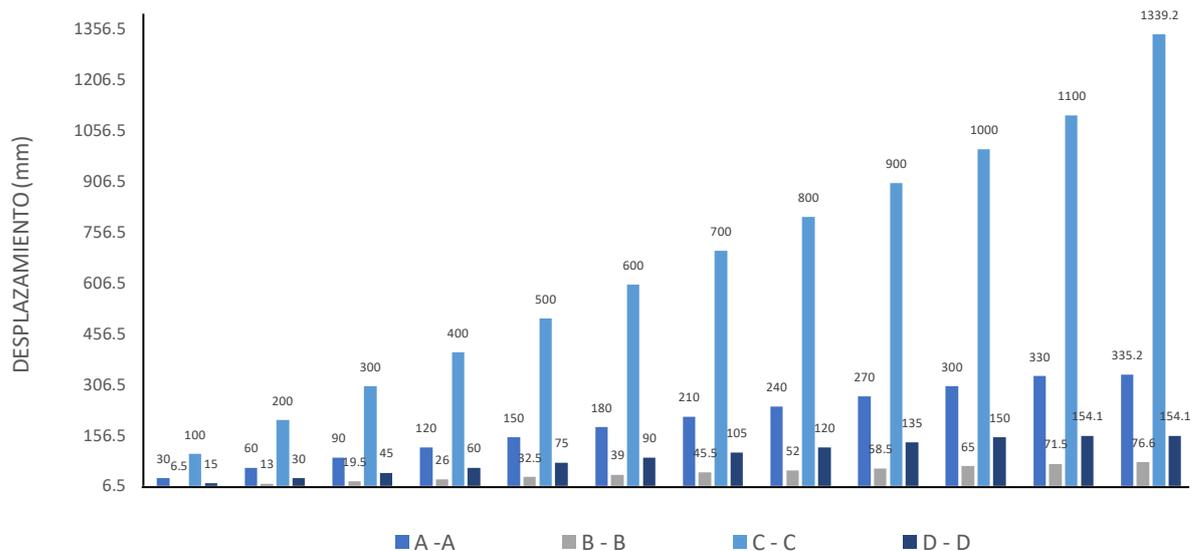


Figura 14. Mínimos y máximos desplazamientos induciendo sismo

Nota: En los desplazamientos de los 4 perfiles del talud superior ubicado entre el km 42+000 y 43+000 de la carretera Casma - Huaraz, se pudo observar mínimos y máximos desplazamientos en efectos de sismos en cada perfil del talud, de ese modo determinamos a través de los elementos finitos, que los máximos desplazamientos que se pueden dar es en el perfil C – C, teniendo una diferencia a comparación del perfil D – D de 1185.1 mm en su máximo desplazamiento y una diferencia de 85 mm en comparación con el mínimo desplazamiento, de igual manera con el perfil B – B donde vemos una diferencias de desplazamientos mínimos y máximos de 1262.6 mm y 93.5 mm respectivamente, así mismo en la comparativa con el perfil A – A se puede observar que la diferencia entre los mínimos y máximos desplazamientos es 70 mm y 1004 mm en forma respectiva.

3.3. Análisis de estabilidad dinámica por elementos finitos en los perfiles

Se ingresaron los datos obtenidos en el estudio topográfico como son los perfiles del talud y las propiedades del suelo obtenido en el EMS, designamos los materiales y se procesaron los datos para obtener resultados enfocados al segundo objetivo en condiciones dinámicas. (Figura 15,16,17,18), posteriormente analizamos en Excel de los datos obtenidos (figura 19).

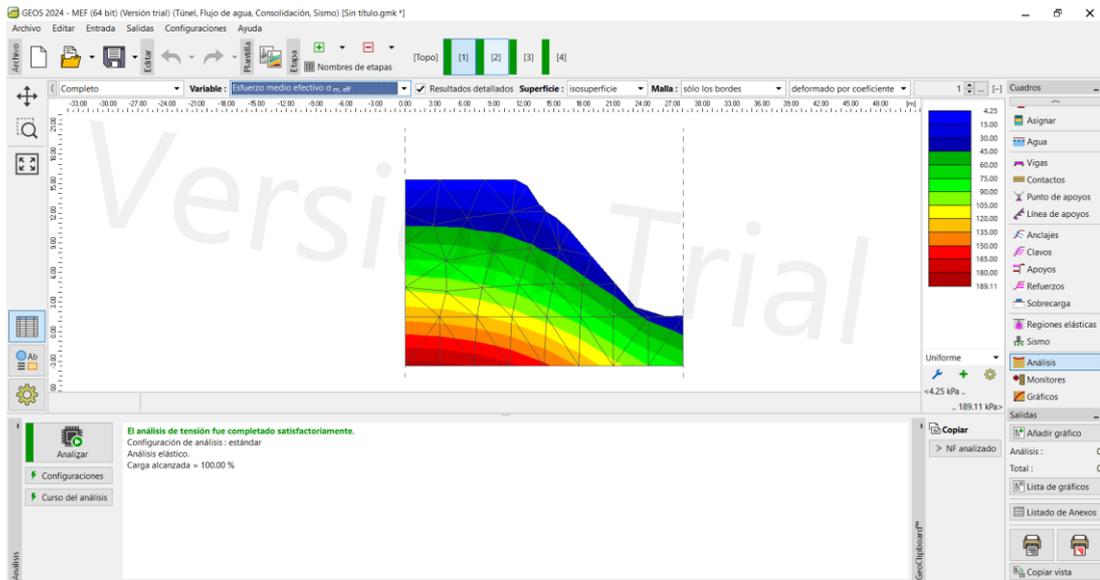


Figura 15. Mínimos y máximos esfuerzos A – A

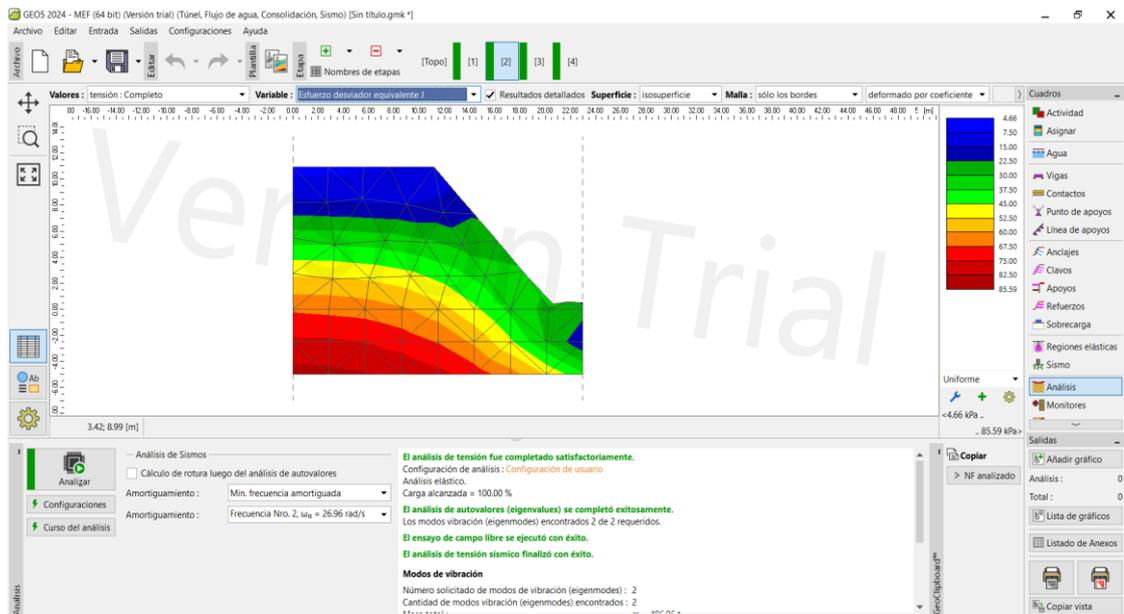


Figura 16. Mínimos y máximos esfuerzos B – B

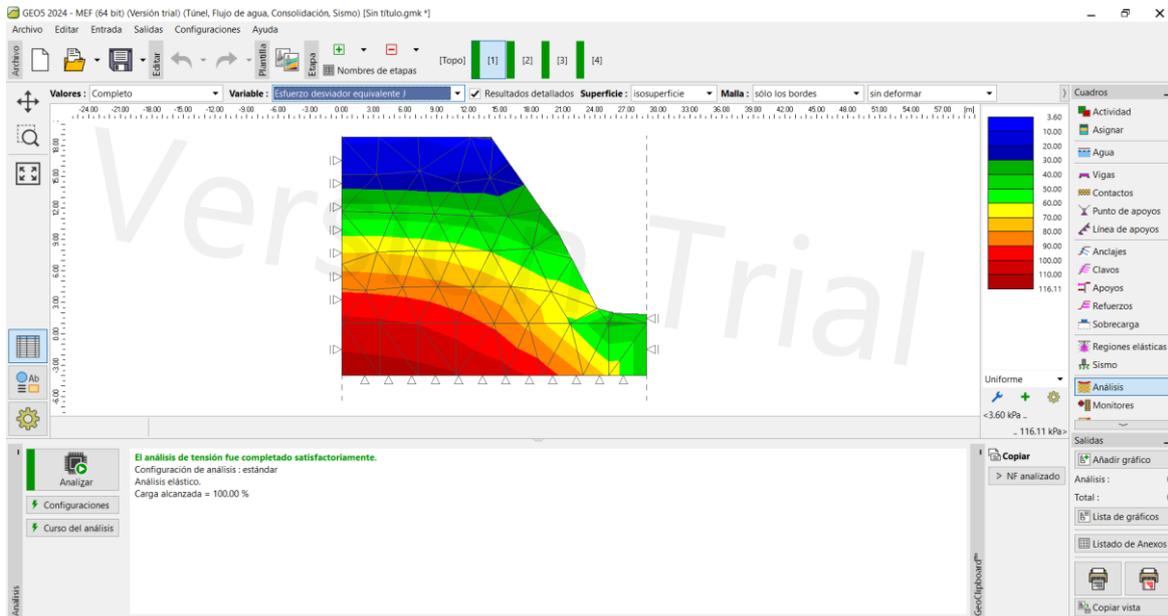


Figura 17. Mínimos y máximos esfuerzos C – C

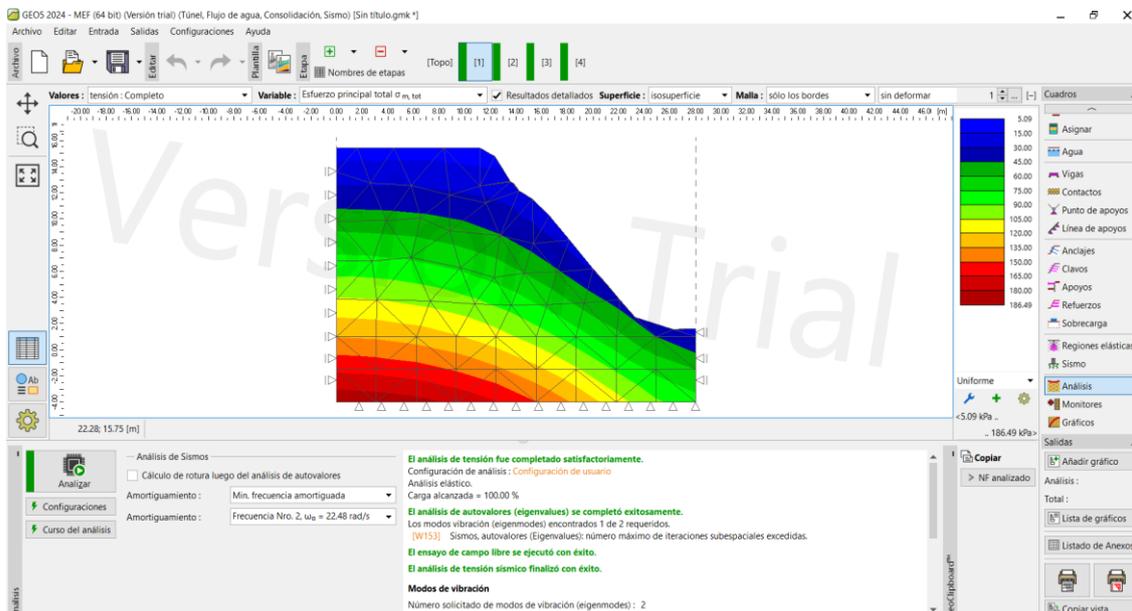


Figura 18. Mínimos y máximos esfuerzos D – D

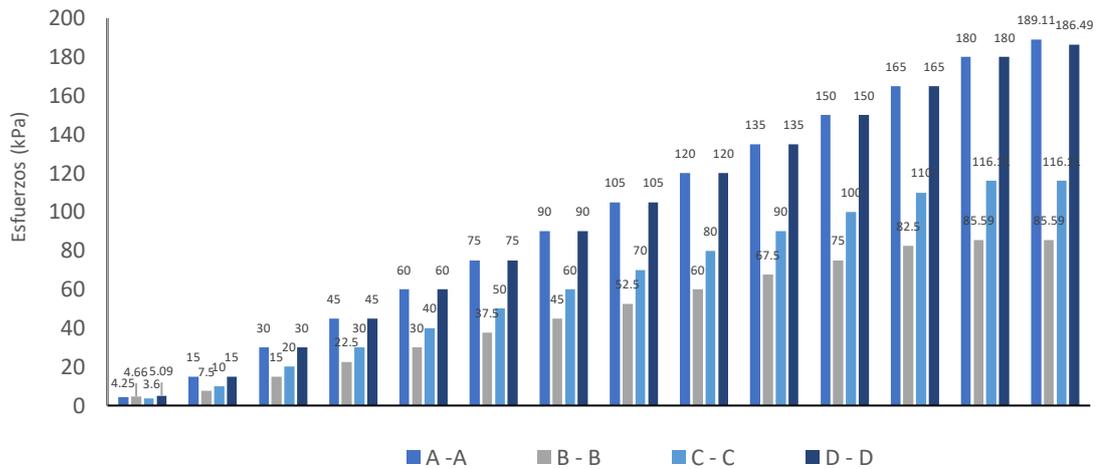


Figura 19. Mínimos y máximos esfuerzos

Nota: : En los esfuerzos de los 4 perfiles del talud superior ubicado entre el km 42+000 y 43+000 de la carretera Casma - Huaraz, se pudo observar mínimos y máximos esfuerzos en cada perfil del talud, de ese modo determinamos a través de los elementos finitos, que los máximos esfuerzos que se pueden dar son en los perfiles A – A y D – D con valores 189.11 kPa y 186.49 respectivamente, existe una diferencia de 70 kPa y 100 kPa a comparación de los demás perfiles, de igual manera se observó que dentro los parámetros mínimos de esfuerzos de predomina la diferencia que mostraron los esfuerzos máximos.

3.4. Análisis de estabilidad dinámica por elementos finitos en los perfiles

Se ingresaron los datos obtenidos en el estudio topográfico como son los perfiles del talud y las propiedades del suelo obtenido en el EMS, designamos los materiales y se procesaron los datos para obtener resultados enfocados al tercer objetivo, en condiciones dinámicas. (Figura 20,21,22,23), posteriormente analizamos en Excel de los datos obtenidos (figura 24).

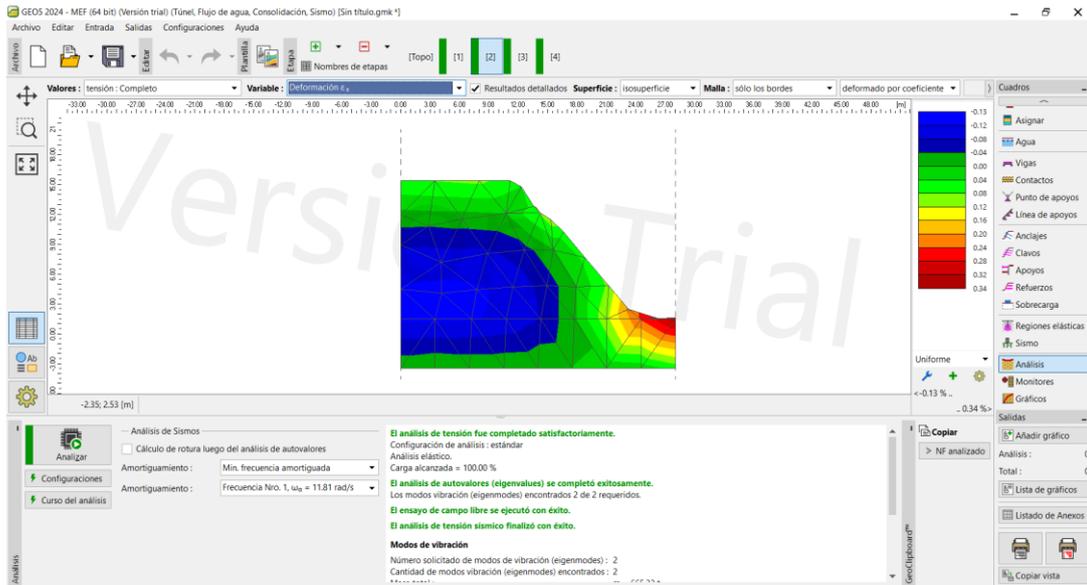


Figura 20. Mínimas y máximas deformaciones A – A

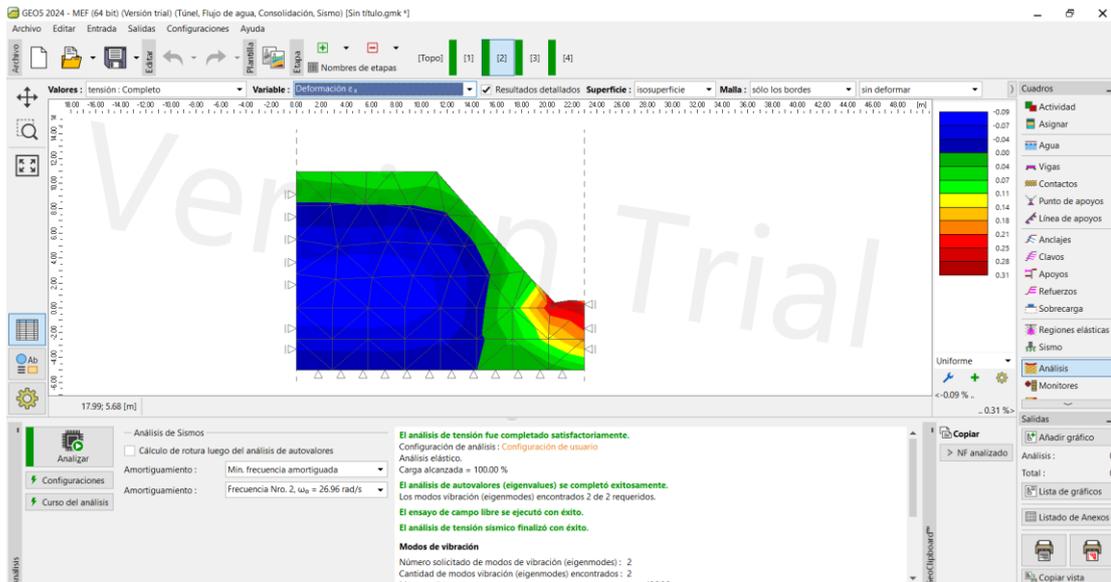


Figura 21. Mínimas y máximas deformaciones B – B

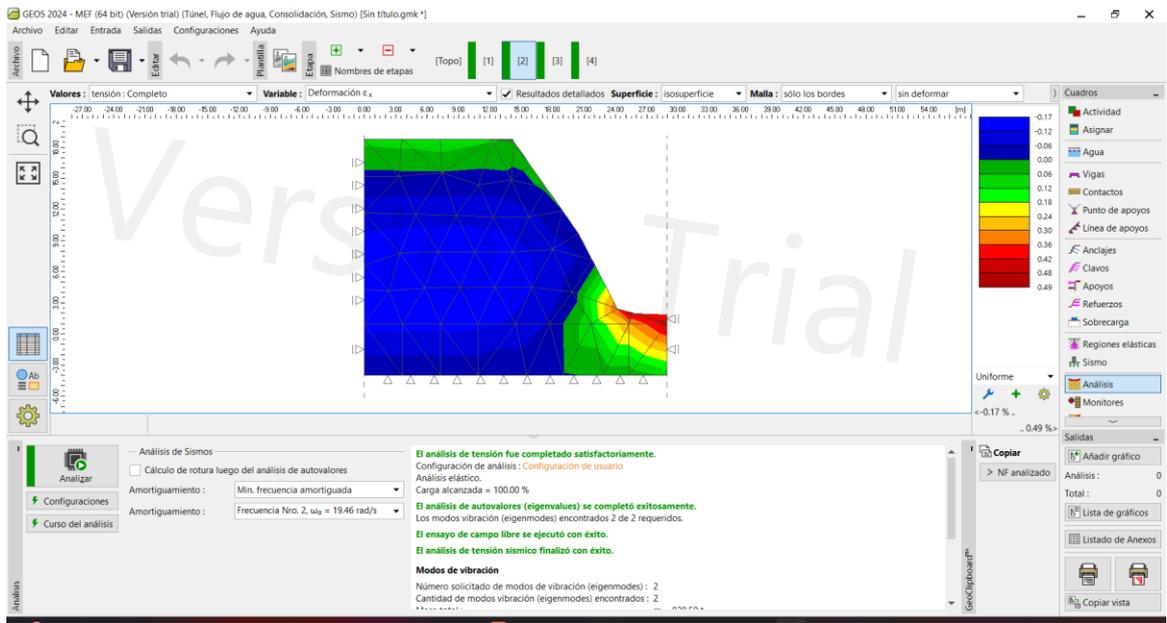


Figura 22. Mínimas y máximas deformaciones C – C

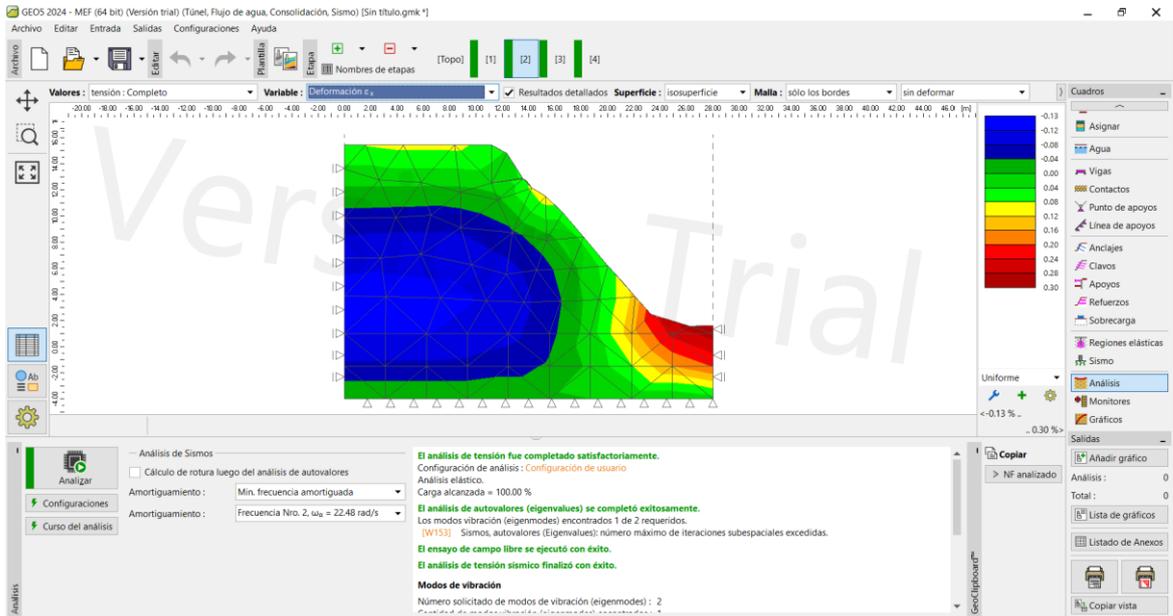


Figura 23. Mínimas y máximas deformaciones D – D

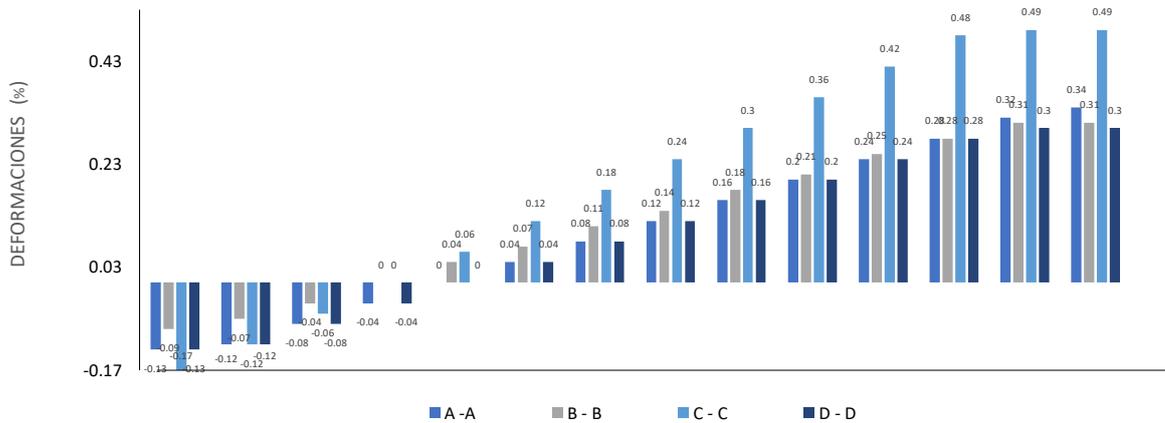


Figura 24. Mínimas y máximas deformaciones

Nota: En las deformaciones de los 4 perfiles del talud superior ubicado entre el km 42+000 y 43+000 de la carretera Casma - Huaraz, se pudo observar mínimas y máximas deformaciones en cada perfil del talud, de ese modo determinamos a través de los elementos finitos, que las máximas deformaciones que se dan son en los perfiles C – C y D – D, teniendo en cuenta que los porcentajes negativos y positivos nos expresaron distintas deformaciones, en este caso, el suelo experimento tanto compresión como dilatación, es por ello que tenemos valores máximos de compresión de 0.17% en el perfil C – C , siguiendo de los perfiles A – A y D – D, terminando con el perfil B – B quien sufrió menos deformación máxima a compresión. Por consiguiente, en los valores máximos de dilatación tenemos como perfil de máxima deformación al perfil C – C con un valor de 0.49%, le sigue perfil A – A con 0.34%, el perfil D – D con 0.3% y se finalizó con el perfil B – B 0.31%.

Tabla 2. Parámetros establecidos para determinar el factor de seguridad

	Perfiles			
	A – A	B – B	C – C	D – D
Factor de seguridad en condiciones dinámicas	1.04 < 1.25	1.11 < 1.25	1.01 < 1.25	1.17 < 1.25
Condición	inestable	inestable	inestable	inestable

Nota: En los parámetros de factor de seguridad de los 4 perfiles se determinó que, dentro de los parámetros óptimos para considerar estable un talud, los 4 perfiles están por debajo de lo requerido en consideraciones dinámicas, como se observó la diferencia entre el factor recomendado de 1.25 respecto al factor de seguridad en condiciones dinámicas que se obtuvo en el perfil A – A tiene una diferencia con respecto al parámetro requerido de 0.21, el perfil B – B de 0.14, en cuanto al perfil C – C de 0.24 y finalmente el perfil D – D de 0.08. Por último, se determinaron que los factores de seguridad a través del sistema de estabilidad propuesto en los 4 perfiles del talud superior son estables.

3.5. Análisis de estabilidad dinámica por elementos finitos en los perfiles con sistema de estabilización de anclajes

Luego de obtener los resultados enfocados en los 3 primeros objetivos, se enfocó en desarrollar el cuarto objetivo, en base a ello se configuró en el programa Geo5 2024 un sistema de estabilización a base de anclajes, previos cálculos para determinar las longitudes mínimas y otros datos, para su posterior análisis dinámico, en base a registros sísmicos del país (Figura 25,27,29,31). Por consiguiente, obtendremos los nuevos factores de seguridad del talud ya estabilizado (26,28,30,32).

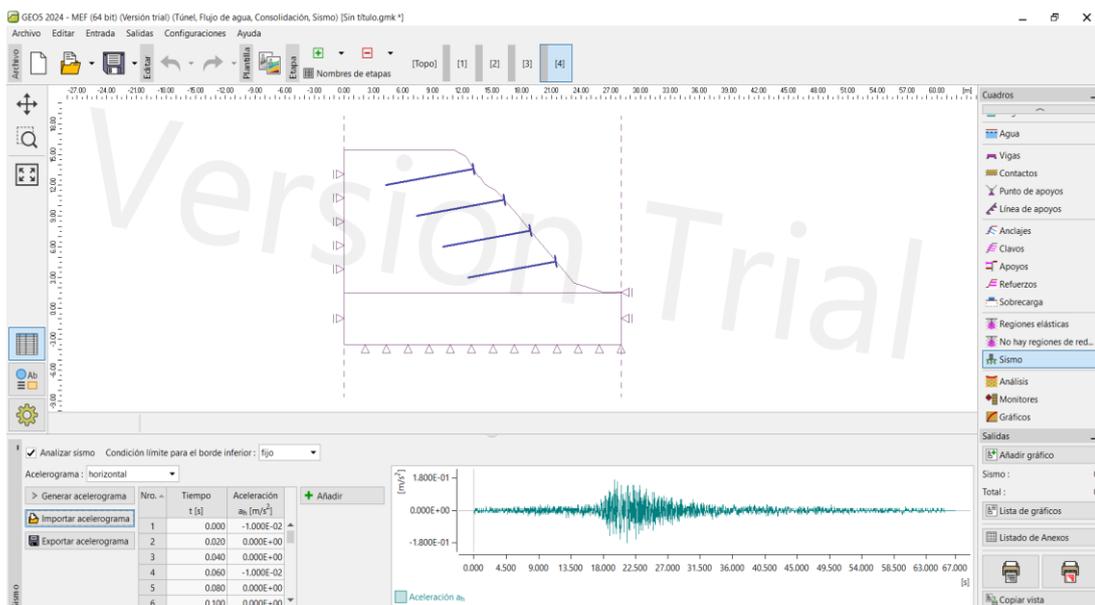


Figura 25. Determinación de anclajes y generación del acelerograma A – A

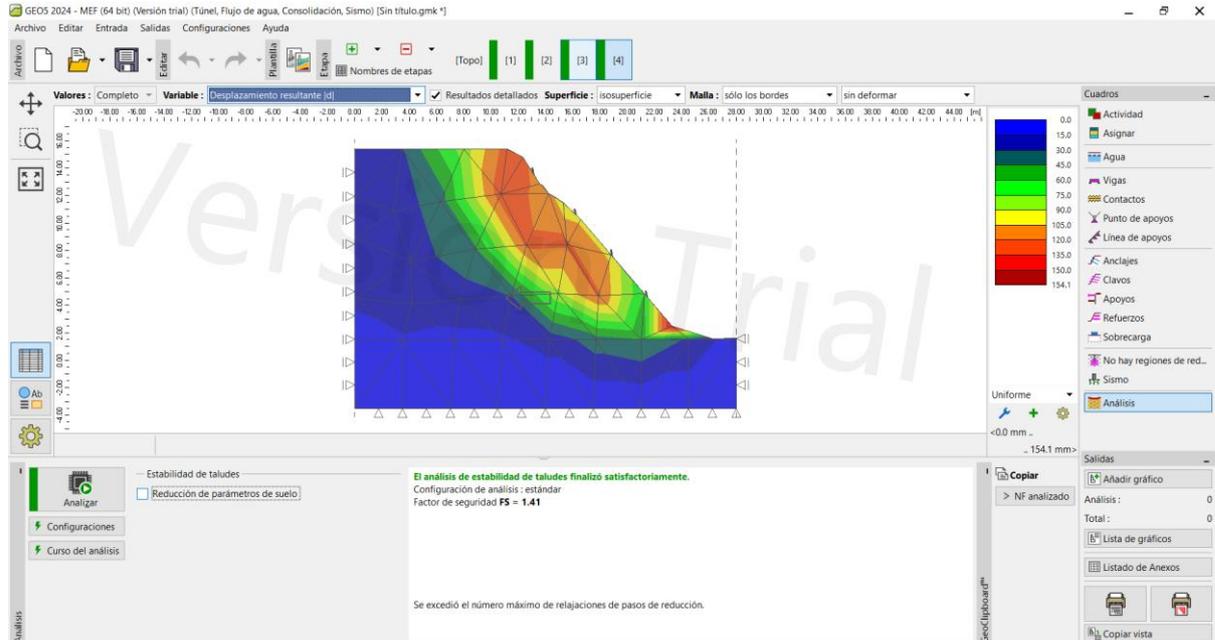


Figura 26. Determinación del factor de seguridad a través de un análisis dinámico por MEF del perfil A – A

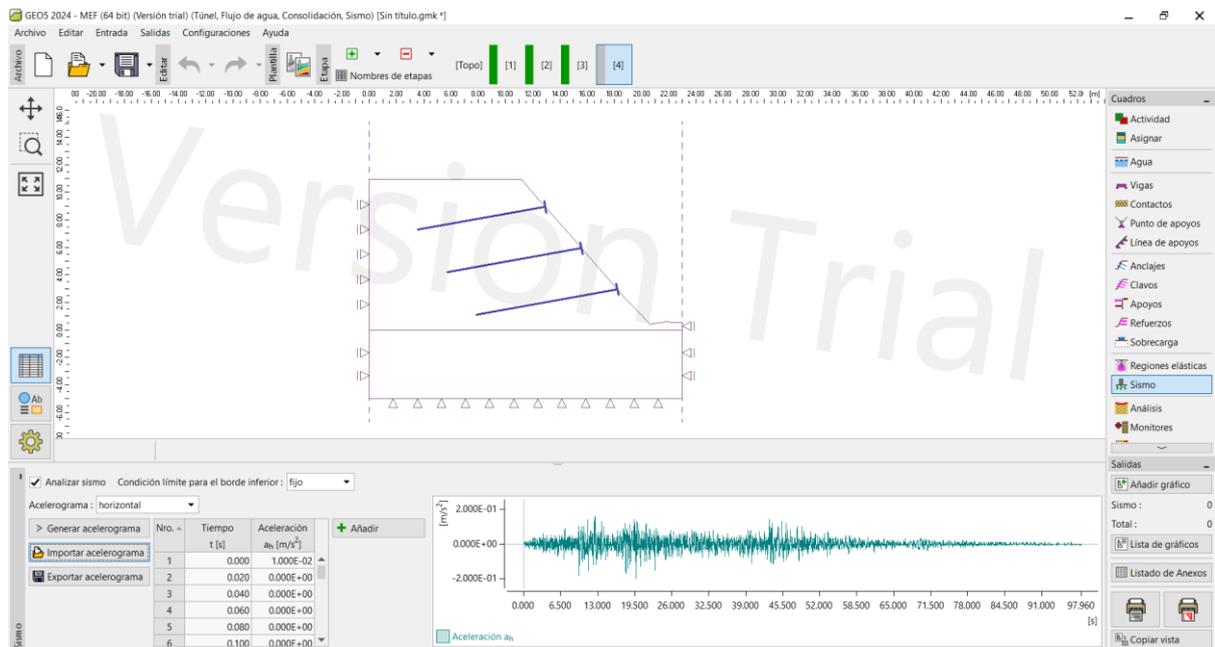


Figura 27. Determinación de anclajes y generación del acelerograma A – A

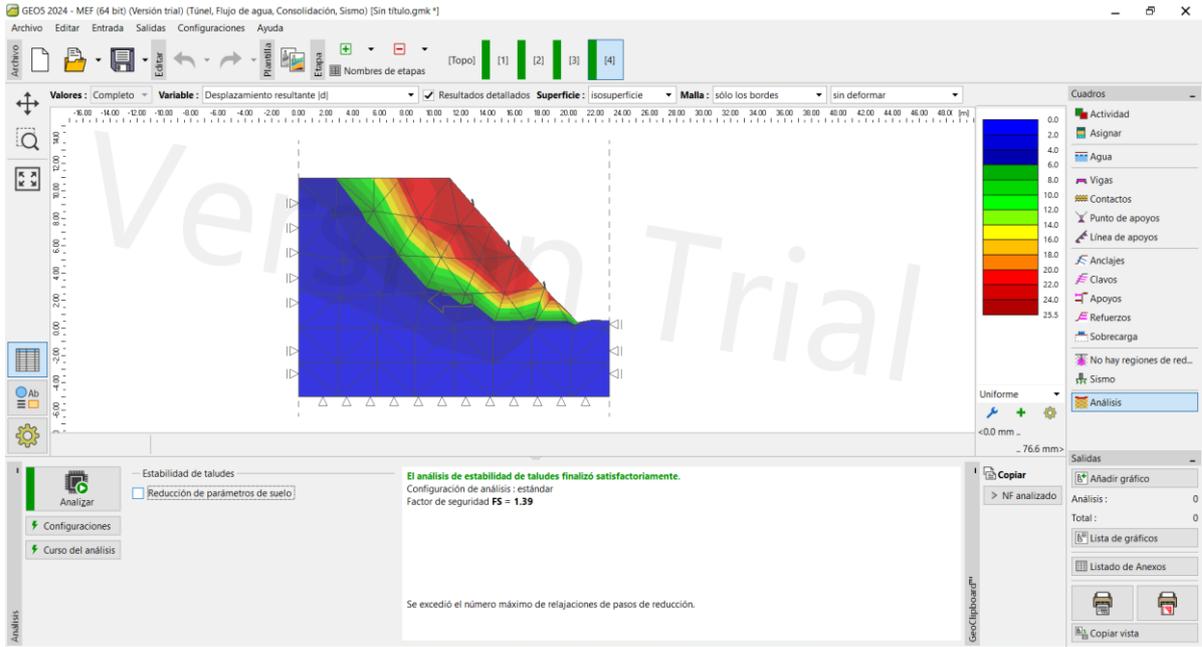


Figura 28. Determinación del factor de seguridad a través de un análisis dinámico por MEF del perfil B – B

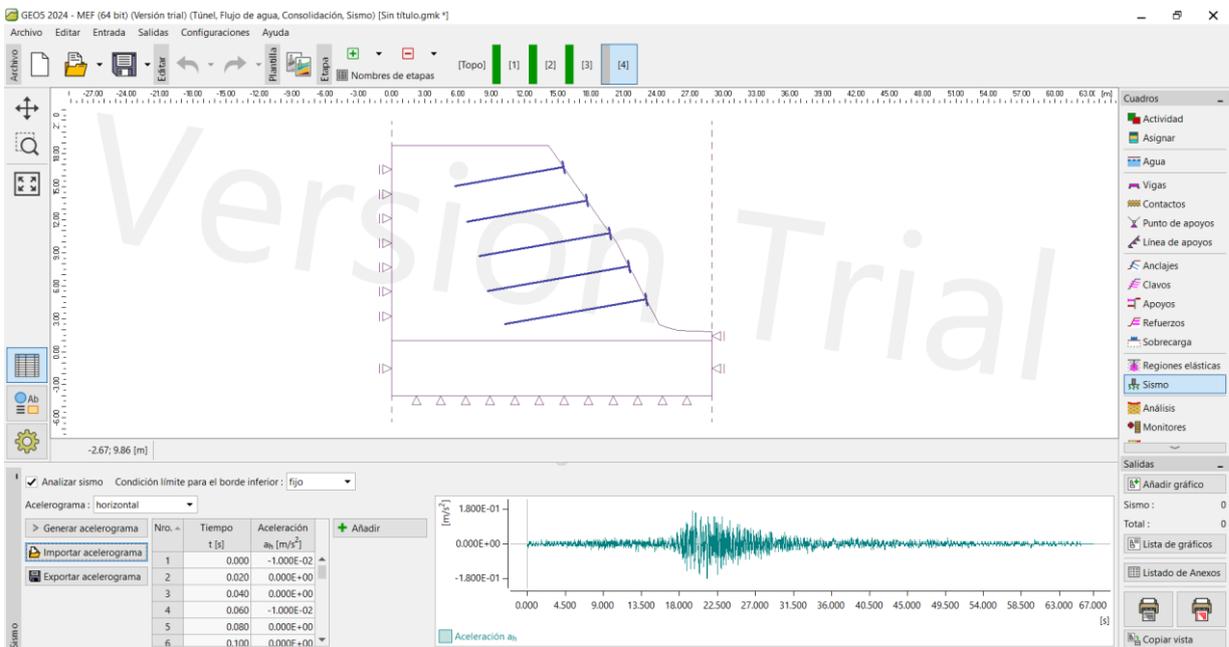


Figura 29. Determinación de anclajes y generación del acelerograma C – C

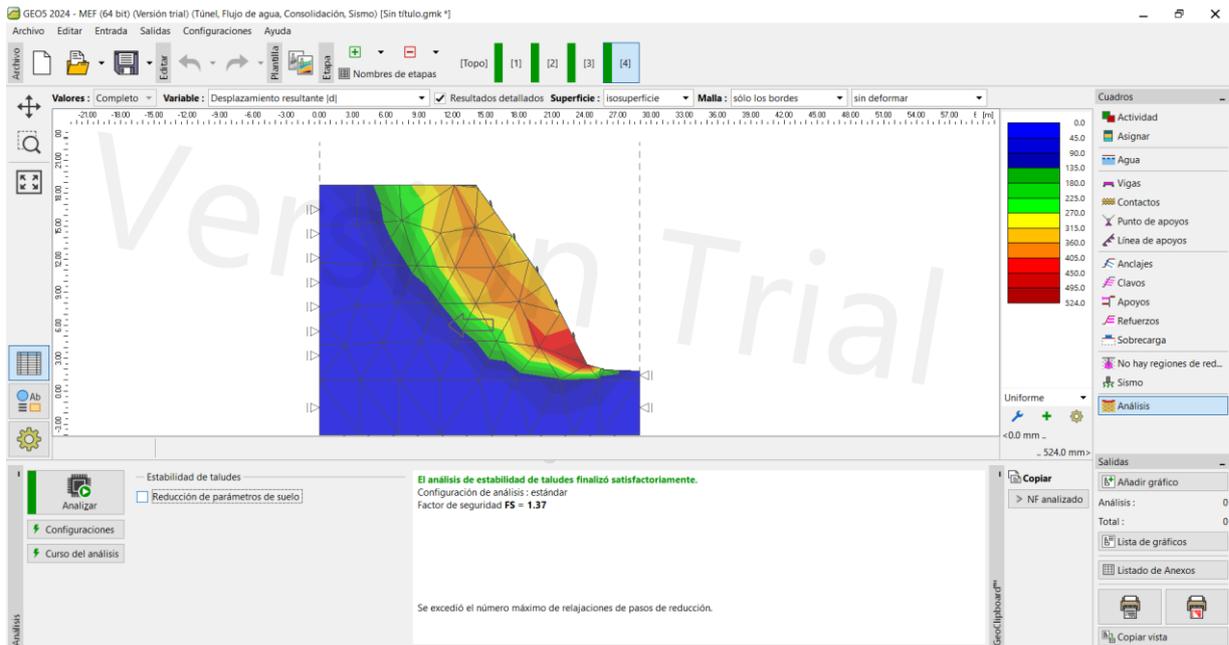


Figura 30. Determinación del factor de seguridad a través de un análisis dinámico por MEF del perfil C – C

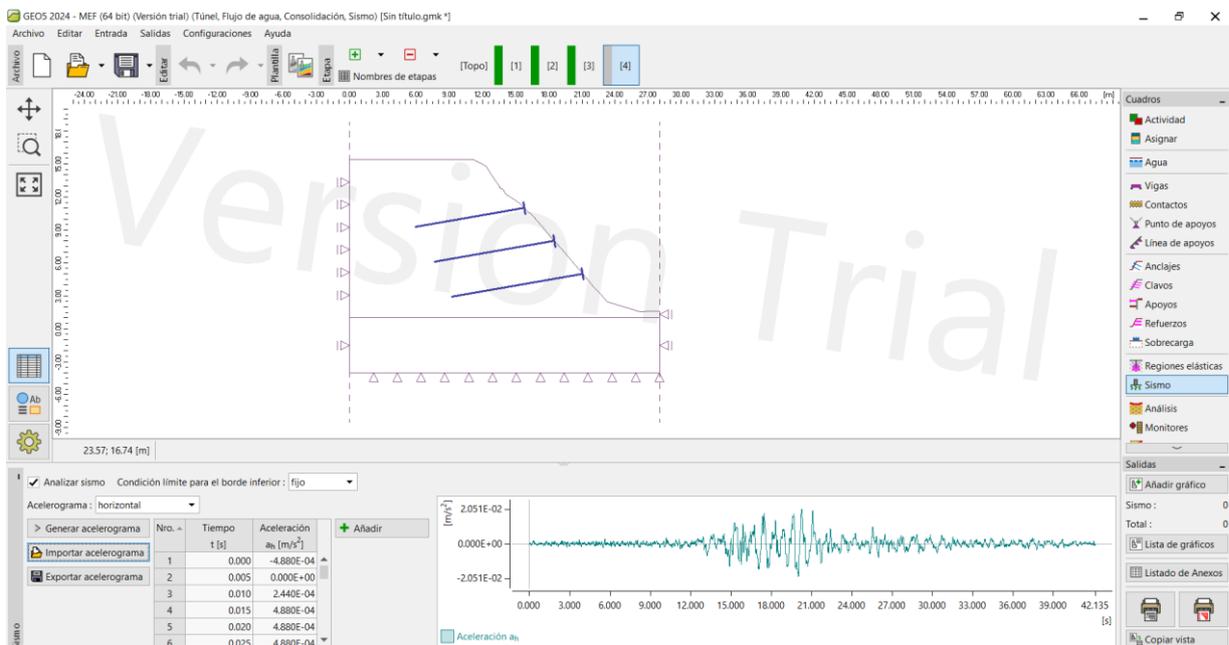


Figura 31. Determinación de anclajes y generación del acelerograma D – D

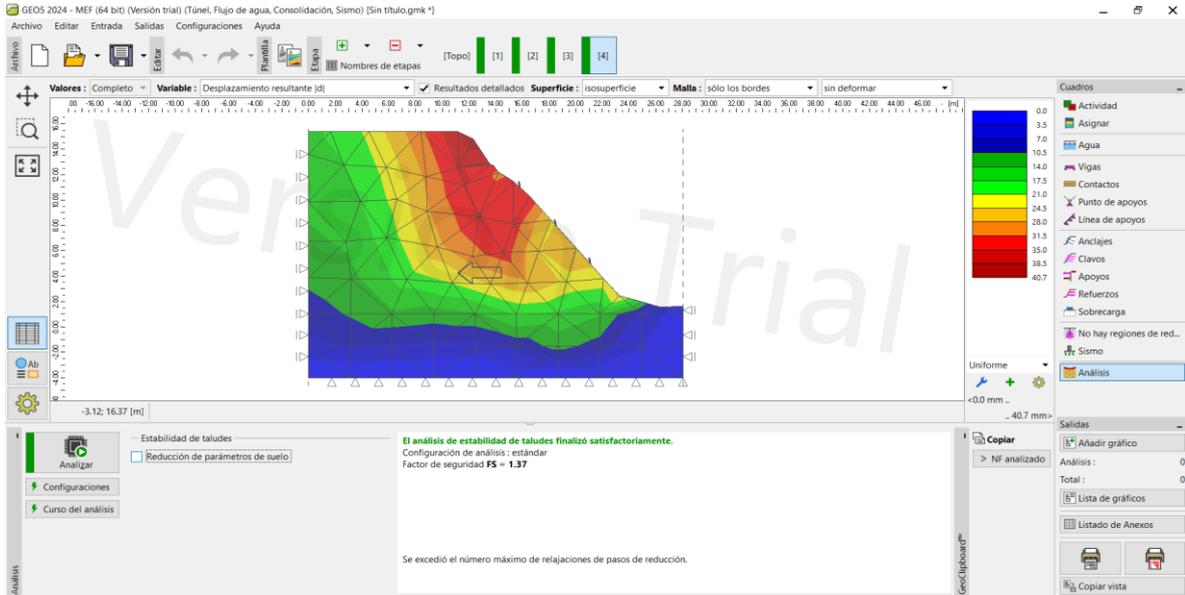


Figura 32. Determinación del factor de seguridad a través de un análisis dinámico por MEF del perfil D – D

Tabla 3. Parámetros establecidos para determinar el factor de seguridad post anclajes

	Perfiles			
	A – A	B – B	C – C	D – D
Factor de seguridad en condiciones dinámicas	1.41 < 1.25	1.39 < 1.25	1.37 < 1.25	1.37 < 1.25
Condición	estable	estable	estable	estable

Nota: En los parámetros de factor de seguridad de los 4 perfiles se determinó que, dentro de los parámetros óptimos para considerar estable un talud, los 4 perfiles están por encima de lo requerido en consideraciones dinámicas, ya que se hizo la estabilidad con anclajes, como se observó la diferencia entre el factor recomendado de 1.25 respecto al factor de seguridad en condiciones dinámicas que se obtuvo en el perfil A – A tiene una diferencia con respecto al parámetro requerido de 0.16, el perfil B – B de 0.14, en cuanto al perfil C – C de 0.12 y finalmente el perfil D – D de 0.12. Por último, se determinaron que los factores de seguridad a través del sistema de estabilidad propuesto en los 4 perfiles del talud superior son estables.

IV. DISCUSIÓN

El análisis dinámico de estabilidad por elementos finitos del talud superior ubicado en la carretera Casma - Huaraz en la provincia de Casma, valida la hipótesis establecida en la presente de investigación, de modo que, se nos permitió realizar el análisis dinámico mediante la utilización de elementos finitos y por consiguiente obtener el FS del talud superior.

Se determinó los máximos desplazamientos de los perfiles del talud superior ubicado entre el km 42+000 y 43+000 mediante un programa que utilizó el MEF. Se estudió cuatro perfiles del talud superior ubicado en la provincia de Casma, consiguiendo resultados en cada perfil y presentando valores diferentes, el cual fue incrementando con respecto a cada perfil. En los desplazamientos se observa mínimos y máximos valores en cada perfil del talud, de ese modo determinamos a través de los elementos finitos, que el máximos desplazamiento que se puede dar, es en el perfil C – C teniendo una diferencia a comparación del perfil D – D de 587 mm en su máximo desplazamiento y una diferencia de 50 mm en comparación con el mínimo desplazamiento, de igual manera con el perfil B – B donde vemos una diferencias de desplazamientos mínimos y máximos de 666.1 mm y 55.5 mm respectivamente, así mismo en la comparativa con el perfil A – A se puede observar que la diferencia entre los mínimos y máximos desplazamientos es 35 mm y 500 mm en forma respectiva. Además, obtuvimos resultados de mínimos y máximos desplazamientos en los 4 perfiles del talud superior, donde se pudo añadir el efecto de sismos en cada perfil del talud, esto se visualizó en la figura 14. Por consiguiente, determinamos a través de los elementos finitos, que los máximos desplazamientos que se pueden dar es en el perfil C – C, teniendo una diferencia a comparación del perfil D – D de 1185.1 mm en su máximo desplazamiento y una diferencia de 85 mm en comparación con el mínimo desplazamiento, de igual manera con el perfil B – B donde hubo una diferencias de desplazamientos mínimos y máximos de 1262.6 mm y 93.5 mm respectivamente, así mismo en la comparativa con el perfil A – A se determinamos que la diferencia entre los mínimos y máximos desplazamientos es 70 mm y 1004 mm en forma respectiva. Por lo tanto, Bojerque (2016) hizo un énfasis la relevancia de determinar el factor de seguridad de un talud teniendo en cuanto varios factores tanto del suelo como del sismo. Él consideró especialmente importante evaluar la estabilidad a través de desplazamientos, ya que permite lograr una óptima respuesta sísmica, es por ello que

dentro del análisis se enfocó en las consecuencias de las propiedades del registro dinámico y las características de la tierra en la evaluación de la estabilidad. Dado que tuvo como objetivo fundamental del estudio fue evaluar la estabilidad del talud a través de los desplazamientos de sentido horizontal. Para lograr este objetivo, se empleó el programa PLAXIS, que utiliza el MEF, que permitió analizar el impacto de la frecuencia, la aceleración más grande considera máxima, el tiempo de duración, y las propiedades que se tiene del terreno en lo que se considera desplazamientos, obteniendo resultados que van desde los 48mm como mínimo hasta los 214mm, esto gracias a los elementos finitos. Los resultados del estudio indicaron que la estabilidad de los taludes se ve afectada por varios factores, incluyendo la frecuencia, la amplitud y la duración del movimiento, así como también, las características que tiene el suelo, como el peso unitario, el módulo de Young, la cohesión, el ángulo de fricción.

Se determinaron los máximos y mínimos esfuerzos de los perfiles del talud superior ubicado en la provincia de Casma. A través de los elementos finitos obtuvimos valores máximos en los esfuerzos de los perfiles A – A y D – D con valores 189.11 kPa y 186.49 respectivamente, teniendo como predominante al perfil A – A por una diferencia de 2.62 kPa, seguido de esos valores, se determinó que existe una diferencia de 70 kPa y 100 kPa a comparación a los perfiles B – B y C – C respectivamente. De igual manera, se observó que dentro los parámetros mínimos de esfuerzos, predomina la diferencia que mostraron los esfuerzos máximos. Teniendo como valores mínimos los perfiles B – B Y C – C de valores de 4.25 kPa y 3.6 kPa respectivamente y como mayores valores mínimos a 4.66 kPa y 5.09 kPa respectivamente. Esto simpatiza con Carranza (2017), quien ejecutó una investigación explicativa sobre el análisis de inestabilidad de taludes mediante los MEL y elementos finitos. El objetivo de la investigación fue diagnosticar e identificar el grado de inestabilidad del tramo Santa Rosa - Tuco Bajo, en la carretera Bambamarca - Centro Poblado Tuco. Para ello, se cartografiaron las unidades lito morfoestructurales, se identificaron los datos geológicos en los taludes, se caracterizó la mecánica de los suelos de los taludes en investigación y se realizó los estudios de inestabilidad de taludes a partir de los factores de seguridad que se obtienen a través de los softwares Phase2 y Slide. Los resultados de la investigación mostraron que el 32.25% de los taludes son de inestabilidad muy alta, el 4.27% de inestabilidad alta, en porcentajes mínimos (<2%) se tienen de baja inestabilidad y en mayor porcentaje (>50%) son taludes estables, estos resultados se obtuvieron a base de resultados de

esfuerzos de parámetros que van desde 2 kPa hasta los 238 kPa, en taludes estables e inestables respectivamente. La inestabilidad está condicionada por la lito morfoestructural, la hidrología, las propiedades mecánicas de la tierra en las rocas y suelos, finalizando con un enfoque en el análisis del MEF si en todo caso se quiera determinar la estabilidad a través del análisis dinámico, ya que son herramientas eficientes y precisas para determinar valores de esfuerzos, deformaciones y desplazamientos, con los cuales la realidad reflejada en los software ayudaría a los ingenieros a entender el comportamiento en distintas situaciones.

En la figura 24 se determinó las máximas deformaciones de los perfiles del talud superior ubicado entre el km 42+000 y 43+000 mediante un programa que utilizó el MEF. Se estudió cuatro perfiles del talud superior ubicado en la provincia de Casma, consiguiendo resultados en cada perfil y presentando valores diferentes, el cual fue incrementando con respecto a cada perfil. En las deformaciones se observa mínimos y máximos valores en cada perfil del talud, de ese modo determinamos a través de los elementos finitos, que la máxima deformación que se puede dar son en los perfiles C – C y D – D, teniendo en cuenta que los porcentajes negativos y positivos nos expresaron distintas deformaciones, en este caso, el suelo experimento tanto compresión como dilatación, es por ello que tenemos valores máximos de compresión de 0.17% en el perfil C – C , siguiendo de los perfiles A – A y D – D, terminando con el perfil B – B quien sufrió menos deformación máxima a compresión. Por consiguiente, en los valores máximos de dilatación tenemos como perfil de máxima deformación al perfil C – C con un valor de 0.49%, le sigue perfil A – A con 0.34%, el perfil D – D con 0.3% y se finalizó con el perfil B – B 0.31%. De la misma manera, tenemos a Cruz (2023), quien propuso ejecutar una investigación explicativa sobre el análisis de estabilidad de taludes mediante el MEF. El objetivo de la investigación fue desarrollar una herramienta eficiente y precisa para estudiar el comportamiento del suelo y sus esfuerzos. Para ello, se desarrolló un modelo de elementos finitos basado en el modelo constitutivo de Mohr-Coulomb y el método de reducción con respecto a los parámetros de resistencia al corte. Los resultados de la investigación mostraron que el MEF es una herramienta eficaz para la rigurosidad en el análisis de estabilidad de taludes, de modo que los resultados a través de esta herramienta, arrojo los datos esperados, como son desplazamientos y esfuerzos, cada uno con parámetros que van desde los 20mm como mínimo y como máximo de 145mm en desplazamientos, con respecto a los

esfuerzos, nos dejaron resultados de rangos que van desde los 4 kPa hasta los 134 kPa, lo que se asemeja a los resultados de la presente investigación, enfocándose en las deformaciones, parámetros dentro de los esperados con porcentajes que van desde los 0.18% hasta los 0.27%, resaltando que estos están en función de los desplazamientos y esfuerzos. El método permite una evaluación rigurosa y detallada del comportamiento del suelo, sobre todo obtener datos con respecto al esfuerzo y desplazamientos con el software Plaxis 2D. Además, la investigación demostró que el método de reducción de parámetros de resistencia al corte es un método adecuado para calcular el FS mediante el MEF. Este método permite una estimación precisa del factor de seguridad, incluso en condiciones de carga compleja.

En la tabla 3 se obtuvo los parámetros necesarios para poder determinar si un talud es estable o inestable según la norma técnica peruana E.50 suelos y cimentaciones, en donde se visualizó que dentro de los primeros resultados del análisis dinámico de estabilidad por elementos finitos del talud superior ubicado en la carretera Casma - Huaraz en la provincia de Casma, determinaba la inestabilidad en los cuatro perfiles críticos de modo que todos los FS fueron menos de 1.25, es por ello que se propuso un sistema de estabilización por medio de anclajes, a través de unos cálculos para determinar tanto la longitud como fuerzas de tensado se terminó la cantidad y tamaño de los anclajes, se pueden visualizar en las figuras 21, 23, 25 y 27, posteriormente se hace un nuevo análisis dinámico de estabilidad por elementos finitos del talud superior ubicado en la carretera Casma - Huaraz en la provincia de Casma, para poder evaluar nuevamente la estabilidad, por consiguiente se determinó en la tabla 7 los nuevos FS a través del sistema de estabilidad a base de anclajes, donde vemos que todos los perfiles pasaron el parámetro en condiciones dinámicas, dando como resultado final la estabilidad del talud superior ubicado en la carretera Casma - Huaraz en la provincia de Casma. es por ello que se llegó a la conclusión, que el MEF es una herramienta valiosa para la ingeniería civil ya que permite una evaluación más precisa y realista del comportamiento del suelo que los métodos analíticos, teniendo como puntos clave los desplazamientos y esfuerzos. Mientras que Tardeo et al (2016), nos explica la relevancia actual sobre el análisis dinámico de estabilidad de taludes por elementos finitos en la zona de Huayllapampa. El objetivo de dicho proyecto fue determinar el FS del talud, utilizando el análisis dinámico por MEF. Para ello, se emplearon los variados métodos para el análisis anteriormente mencionando en esta investigación, nos da

como resultado la propensión a problemas como deslizamientos y mostrando la realidad del esfuerzo y deformación del suelo, y para emplear este mencionado análisis, se optó por un método también usado tradicionalmente el de Mora, considerando variables de susceptibilidad como la composición física del suelo, la forma de los suelos y su estudio, la flora y las variantes que son detonantes como precipitaciones o fallas sísmicas. Los resultados de la investigación mostraron que el factor de seguridad del talud es menor a 1.25, lo que indica una alta inestabilidad. La inestabilidad del talud está condicionada por la litología, la hidrología, las propiedades geomecánicas y la acción sísmica. Es por ello que se planteó un sistema de estabilidad a través de anclajes, teniendo en cuenta que los sistemas de estabilización dependen del proyecto, tipo de suelos y presupuesto. La investigación demostró que el sistema funcionó, mejorando la estabilidad considerablemente, además, que el MEF es una herramienta eficiente y precisa para el análisis dinámico de estabilidad de taludes. En base a los resultados obtenidos del análisis dinámico de estabilidad por elementos finitos del talud superior ubicado en la carretera Casma - Huaraz en la provincia de Casma, se podrán abrir oportunidades para futuras investigaciones, de modo que, se adjuntaran cálculos, el EMS y la topografía para que futuros ingenieros puedan tener como base el proyecto de investigación y así determinar, con más factores influyentes, la estabilidad de taludes y así fomentar el uso del MEF para problemas de ingeniería. Por último, la presente investigación buscó la realización del análisis dinámico de estabilidad por elementos finitos del talud superior ubicado en la carretera Casma - Huaraz en la provincia de Casma, concluye con la estabilidad de las secciones críticas y, por ende, del talud superior.

V. CONCLUSIONES

- En relación al objetivo general, se logró realizar el análisis dinámico de estabilidad por elementos finitos del talud superior ubicado la provincia de Casma, respetando las normativas existentes para la verificación de los elementos estructurales como la N.T.P E.050, concluyendo que se obtuvo el FS, las propiedades mecánicas del suelo y los parámetros topográficos del sitio en estudio.
- Por otro lado, se determinó los máximos y mínimos desplazamientos, a través de la discretización de los perfiles, generando la malla de elementos finitos y el software GeO5 que utiliza el MEF, teniendo como desplazamiento máximo al perfil C – C con un valor de 1339.2 mm y un desplazamiento mínimo al perfil B – B con un valor de 76.6 mm
- Por consiguiente, se obtuvo los máximos y mínimos esfuerzos, a través de la discretización de los perfiles, generando la malla de elementos finitos y el software GeO5 que utiliza el MEF, teniendo como resultado de esfuerzo máximo al perfil A – A con un valor de 189.11 kPa y un esfuerzo mínimo al perfil B – B con un valor de 85.59 kPa.
- Respecto a las deformaciones, se identificó la máximas y mínimas deformaciones a través de la discretización de los perfiles, generando la malla de elementos finitos y el software GeO5 que utiliza el MEF, dentro de los resultados tenemos como máximas deformaciones los perfiles C – C con un valor de 0.49% y el perfil A – A con un valor de 0.34%, en cuanto a las mínimas deformaciones tenemos al perfil D – D con una deformación 0.3% y al perfil B – B con un valor 0.34%.
- Finalmente, se analizó el factor de seguridad mediante la discretización de los perfiles, generando la malla de elementos finitos y el software GeO5 que utiliza el MEF, con los anclajes propuestos como alternativa de solución a la inestabilidad concluyendo que el talud es estable con anclajes de dimensiones y longitudes determinadas por cálculos de modo que todos los perfiles superan el FS de 1.25 establecida por la N.T.P E050 suelos y cimentaciones en el artículo 30.

VI. RECOMENDACIONES

- Se debe asegurar que el diseño del perfil del talud y los elementos finitos utilizado en el software para llevar a cabo correctamente el modelamiento, considerando una evaluación y revisión exhaustiva de los parámetros, las condiciones de carga y los resultados obtenidos para confirmar que cumplen con los estándares de seguridad y los requisitos del proyecto.
- Realizar un análisis de estabilidad global del talud en estudio, considerando los desplazamientos, deformaciones y esfuerzos obtenidos, determinar si los valores máximos y mínimos de los desplazamientos y deformaciones están dentro de los límites aceptables y si los esfuerzos se encuentran dentro de los rangos de resistencia de los materiales utilizados.
- Si en investigaciones futuras, teniendo como base este proyecto de investigación, se detectan desplazamientos, deformaciones o esfuerzos que superen los límites permitidos, es crucial considerar la implementación de medidas de refuerzo o ajustes en el diseño. Estas acciones podrían incluir el uso de materiales más resistentes, modificaciones en la del talud o la incorporación de sistemas de soporte adicionales para garantizar la estabilidad y seguridad del talud en estudio.
- Para aquellos involucrados en la construcción de taludes en Perú, se sugiere encarecidamente establecer un sistema de vigilancia constante. Este sistema permitirá rastrear los movimientos, deformaciones y tensiones reales en los taludes. De esta manera, se podrán identificar cambios inesperados y tomar medidas correctivas de manera oportuna
- Es crucial analizar si es necesario actualizar las normativas y regulaciones vigentes relacionadas con el diseño, análisis y construcción taludes. En caso afirmativo, los resultados de esta investigación podrían ser utilizados para colaborar con las autoridades competentes en la mejora de los procedimientos y estándares en el ámbito de la ingeniería civil.
- A través de la aplicación del método de elementos finitos en taludes, se pudo demostrar lo importante que es el análisis previo al proceso de construcción de esta. Permitiendo tener bajo lineamiento el comportamiento y respuesta de los perfiles, y así tener taludes más seguros, consecuentemente se tendrán vías más seguras.

REFERENCIAS

AL-JEZNAWI, D., Alzabeebee, S., Mohammed Shafiqu, Q. S., & Güler, E. (2022). Analysis of Slope Stabilized with Piles Under Earthquake Excitation. *Transportation Infrastructure Geotechnology*. (11), 197-215. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s40515-022-00265-z>

Análisis de estabilidad de taludes mediante técnicas de optimización heurística. *Mecánica Computacional* por Beneito Pablo [et al]. Rosario [en línea]: 2011, n.o30 [Fecha de consulta: setiembre 2023]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/267946430_ANALISIS_DE_ESTABILIDAD_DE_TALUDES_MEDIANTE_TECNICAS_DE_OPTIMIZACION_HEURISTICA

ANGELINO, Whitney. Reducción de parámetros de resistencia al corte para la evaluación de estabilidad de talud de una presa de relave. Tesis (Bachiller en Ingeniería Civil). Lima: Universidad San Ignacio de Loyola, 2020. Disponible en: <https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/aa6d970d-af22-44c2-b975-fc52c0aff5c2>

AN, H., Fan, Y., Liu, H., Cheng, Y., & Song, Y. (2022). The State of the Art and New Insight into Combined Finite–Discrete Element Modelling of the Entire Rock Slope Failure Process. *Sustainability*, 14(9), 4896. <https://doi.org/10.3390/su14094896>

AVILA, Luis. Comparativa entre los métodos pseudoestático y dinámico para la estabilidad de taludes mediante el método de elementos finitos. Caso de estudio: terremoto de bahía de Caráquez. Tesis (Bachiller en Ingeniería Civil). Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2016. Disponible en: <https://dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/53978>

BENITO, Limaco y DE LA CRUZ, Fidel. Inestabilidad de taludes por el MEF en el sector Puka Puka Haycco – Acoria – Huancavelica 2017. Tesis (Titulo de Ingeniero Civil). Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica, 2017. Disponible en: <https://repositorio.unh.edu.pe/items/1861be52-48d9-4f11-a004-915760c502d0>

BOJERQUE, Jaime. Análisis dinámico de estabilidad de taludes por medio de elementos finitos. *Revista MASKANA* [en línea] 2016, n°7. [consulta: noviembre de 2023]. Disponible en: [doi:10.18537/mskn.07.02.12](https://doi.org/10.18537/mskn.07.02.12)
ISSN 2477-8893

CEN, W., Luo, J., Yu, J., & Rahman, M. S. (2020). Slope Stability Analysis Using Genetic Simulated Annealing Algorithm in Conjunction with Finite Element Method. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 24(1), 30–37. <https://doi.org/10.1007/s12205-020-2051-5>

CHEN, X., Wang, D.-Y., Tang, J.-B., Ma, W.-C., & Liu, Y. (2021). Geotechnical stability analysis considering strain softening using micro-polar continuum finite element method. *Journal of Central South University*, 28(1), 297–310. <https://doi.org/10.1007/s11771-021-4603-3>

CRUZ, Giordy. Aplicación del método de los elementos finitos para el análisis de estabilidad de taludes. Tesis (Bachiller en Ingeniería Civil). La paz: Universidad Mayor de San Andrés. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/31194/PG-8375.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

EUGENIO, Mildor. Análisis de inestabilidad de taludes mediante equilibrio límite de elementos finitos, tramo Santa Rosa – Tuco Bajo carretera Bambamarca – centro poblado Tuco. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca. Disponible en: <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/1404/ANALISIS%20DE%20INESTABILIDAD%20MEDIANTE%20EQUILIBRIO%20LIMITE%20Y%20ELEMENTOS%20FINITOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

GRIFFITHS, Vaughan y LANE, P. Slope stability analysis by finite elements. *Revista Geotechnique* [en línea]. 2001, n°49. [consulta: octubre de 2023]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/290467867_Slope_stability_analysis_by_finite_elements
ISSN: 0016 – 8505

JIANG, X., Liu, W., Yang, H., Li, Z., Fan, W., & Wang, F. (2023). A 3D Model Applied to Analyze the Mechanical Characteristic of Living Stump Slope with Different Tap Root Lengths. *Energy & Environmental Science*, volumen(13). Disponible en: <https://doi.org/10.3390/app13031978>

KADLÍČEK, Tomás y MAŠÍN, David. Surface layer method for analysis of slope stability using finite elements. *Revista Computers and Geotechnics* [en línea]. 2023,

n°164. [Fecha de consulta: octubre 2023]. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0266352X23005566?via%3Dihub>

ISSN: 0266-352X

KAMAL, A. S. M. M., Hossain, F., Ahmed, B., Rahman, M. Z., & Sammonds, P. (2023). Assessing the effectiveness of landslide slope stability by analysing structural mitigation measures and community risk perception. *Natural Hazards*, 117(3), 2393–2418. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-05947-6>

KARAMI, M., Nazari-Sharabian, M., Bristow, J., & Karakouzian, M. (2023). Evaluation of the stability of terraced slopes in clayey gravel soil using a novel numerical technique. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 17(5), 796–811. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11709-023-0922-9>

KHATTAB, F. A. K., & Muhawiss, F. M. (2023). Slope Stability Analysis of Vertical Unsupported Slopes near West Approaches of Al-Alam Bridge. *Tikrit Journal of Engineering Sciences*, 29(4), 19-26. <https://doi.org/10.25130/tjes.29.4.3>

LI, D., ZHANG, J., Lian, Y., & Tang, W. (2023). Dynamic Stability Analysis of Slope Under the Impact Load of Large Diameter Punched Cast-in-Place Pile. (9). Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s40891-023-00449-8>

LI, L., LIN, H., QIANG, Y., ZHANG, Y., Liang, S., Hu, S., Xu, X., & Ni, B. (2024). Stability analysis of rainfall-induced landslide considering air resistance delay effect and lateral seepage. *Scientific Reports*, 14, 8377. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59121-4>

LOZADA, José. Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. *Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica* [en línea]. 2014, n°3. [Fecha de consulta: octubre de 2023]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163749>
ISSN-e 1390-9592

LYU, Y.-N., Chen, X., Tang, J.-B., Cui, L.-S., & Liu, Z.-Q. (2023). Application assessment of hybrid smoothed finite element method for geotechnical deformation and stability analysis. (30), 919-933. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11771-023-5285-9>

MAHMOOD, N. S., Aude, S. A., Abdullah, H. H., Sulaiman, S. O., & Ansari, N. A. (2023). Analysis of Slope Stability and Soil Liquefaction of Zoned Earth Dams Using Numerical Modeling. *GEOMATE*, 17(4), 557-562. Disponible en: <https://doi.org/10.18280/ijdne.170409>

MARIN, R. J., Mattos, A. J., & Fernández-Escobar, C. J. (2022). Understanding the sensitivity to the soil properties and rainfall conditions of two physically-based slope stability models. *Boletín de Geología - Universidad Industrial de Santander*, 44(1), 93-109. <https://doi.org/10.18273/revbol.v44n1-2022004>

MEMBREÑO, Donald. Análisis de estabilidad de taludes por el MEF: aplicación al terraplén de entrada viaducto de Mas Rubió. Tesis (Magister en Ingeniería Civil). Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2099.1/17868>.

MESA, Milena y TEJADA, Eduardo. Análisis de la estabilidad de taludes en terraplenes mediante los métodos de equilibrio límite y el método de elementos finitos. *Revista Cubana de Ingeniería*. 2017, n°9 [consulta: octubre de 2023] Disponible en: <https://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/view/519/pdf> ISSN: 2223 – 1781

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Suelos y taludes. DS N° 017-2012. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/munisantamariadelmar/informes-publicaciones/2619680-ce-020-suelos-y-taludes-ds-n-017-2012>

MONTE, Ignacio. Análisis de estabilidad de taludes de roca mediante el método de elementos finitos. Tesis (Bachiller en Ingeniería Civil). Concepción: Universidad de Concepción, 2020. Disponible en: [http://repositorio.udec.cl/jspui/bitstream/11594/461/1/Tesis_Analisis_de_estabilida d.pdf](http://repositorio.udec.cl/jspui/bitstream/11594/461/1/Tesis_Analisis_de_estabilida_d.pdf)

NIÑO, John. Análisis probabilístico para el diseño de taludes en explotación minera a cielo abierto [en línea]. Tesis de maestría. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2017. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/60957>

PEREZ, Juan; AGUIRRE, Jorge y RAMIREZ, Leonardo. Sismicidad y seguridad estructural en las construcciones: lecciones aprendidas en México. *Revista Salud*

pública Méx [en línea]. 2018, n°60 [consulta: octubre de 2023]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342018000700041&lng=es&nrm=iso
ISSN 0036-3634.

PIMIENTA, Rodrigo. Encuestas probabilísticas vs. no probabilísticas. Revista de Política y Cultura [en línea]. 2000, n°30 [consulta: noviembre de 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=26701313>
ISSN: 0188-7742.

QUISPE ANCCALLE, Luis y RODRIGUEZ ALFARO, Yimeng, 2021. Evaluación de estabilidad de taludes a través de elementos finitos en la carretera Interoceánica sur de Marcapata, Quispicanchis, Cusco, 2021 [en línea]. Tesis de pregrado. Callao: Universidad César Vallejo [consulta: octubre de 2023] Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/88776/Quispe_AL-Rodr%c3%adguez_AYE-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

REN, G. M., Xia, M., & Lv, S. M. (2023). Stability Analysis of a Landslide Influenced by Rainfall. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 60(1), 55–62. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11204-023-09863-6>

SUÁREZ, Jaime, 2009. Deslizamientos. Tomo I: Análisis Geotécnico. En: *Erosion.com.co* [en línea]. Disponible en: <https://www.erosion.com.co>

TARDEO DE LA CRUZ, Cesar y ZANABRIA PARI, Ever, 2016. Análisis dinámico de estabilidad de taludes por elementos finitos en la zona de Huayllapampa del distrito de Cuenca – Huancavelica [en línea]. Tesis de pregrado. Lircay: Universidad Nacional de Huancavelica [consulta: octubre de 2023] Disponible en: <https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/45410ce2-db20-48d5-8d5d-16e4542a926b/content>

TIMCHENKO, A., & Briaud, J.-L. (2023). Stability of slope corners: a displacement-based FEM study. (61), 562-574. Disponible en: <https://doi.org/10.1139/cgj-2022-0495>

TURGAY, C., Oguz, U., Baris, S., & Kamil Kerem, Z. (s.f.). Seismic vulnerability assessment of a masonry structure and an FRP-strengthening proposal. Disponible en: <https://doi.org/10.12989/sem.2024.89.3.253>

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL, 2014. Centro de Investigación de Métodos Computacionales. Introducción al Método de los Elementos Finitos. En: CIMEC [en línea]. Disponible en: https://cimec.org.ar/foswiki/pub/Main/Cimec/CursoFEM/cursofem_0.pdf.

URRUTIA, Pablo. Análisis Dinámico de Estabilidad por Elementos Finitos de los Taludes de la Costa Verde en el Distrito de Miraflores. Tesis de pregrado. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2011. Disponible en: https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/1065/URRUTIA_VARESE_PABLO_ELEMENTOS_FINITOS_TALUDES_MIRAFLORES.pdf#:~:text=El%20objetivo%20de%20un%20an%C3%A1lisis%20din%C3%A1mico%20de%20estabilidad,aplicaci%C3%B3n%20de%20uno%20o%20varios%20sismos%20de%20dise%C3%B1o.

VALIENTE, Ricardo; SOBRECASES, Salvador y DÍAZ, Aníbal, 2015. Estabilidad de Taludes: Conceptos Básicos, Parámetros de Diseño y Métodos de Cálculo. Civilizate [en línea]. Lima: 7 [consulta: octubre de 2023]. Disponible en: <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/civilizate/article/view/16157>

VÁZQUEZ, Manuel y LOPEZ, Eloísa, 2001. El método de los elementos finitos aplicado al análisis estructural. España: Editorial Noela. Disponible en: https://www.academia.edu/38827344/El_m%C3%A9todo_de_los_Elementos_Finitos_aplicado_al_an%C3%A1lisis_estructural_Manuel_V%C3%A1zquez_Elo%C3%ADsa_L%C3%B3pez

WANG, X., Su, Q., Zhang, Z., Huang, F., & He, C. (2024). Stability analysis of loose accumulation slopes under rainfall: case study of a high-speed railway in Southwest China. *Railway Engineering Science*, 32, 95–106. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s40534-023-00317-1>

ZHANG, T., & Zhang, J.-Z. (2023). Numerical estimate of critical failure surface of slope by ordinary state-based peridynamic plastic model. *Engineering Failure Analysis*, 140. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106556>

ANEXOS

Anexo 1

Matriz de Operacionalización de Variables

Variables de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Escala de medición
Variable 1: Estabilidad de Talud.	Un talud es la inclinación del suelo, es decir se encuentra más elevado de un área en específico. El Reglamento Nacional de Edificaciones nos menciona, en la Norma CE.020 que “la estabilización de taludes es la solución geotécnica que se le aplica a un talud, para poder llegar al equilibrio, usando distintos y variados métodos”. Por lo que podemos decir que, la estabilidad de talud es la capacidad de un talud de resistir los esfuerzos que tienden a provocar su deslizamiento o rotura.	La variable se operacionalizará mediante sus dimensiones expuestas, tales como factor de seguridad, desplazamientos, deformaciones.	Esfuerzo	$\sigma = P/A$	Intervalo
			Factor de seguridad	$FS = \frac{\sigma_{última}}{\sigma_{máxima}}$	
			Desplazamientos	mm	
			Anclajes	$Q_s = \pi * D * \frac{\tau}{2}$	
Variable 2: Elementos finitos.	El MEF es un método numérico que permite resolver problemas de física que se rigen por ecuaciones diferenciales, dividiendo el sistema que se estudia en partes finitas llamadas elementos, cuyo comportamiento depende de unos parámetros finitos asociados a unos puntos específicos llamados nodos. (Torres, 2015)	Se basa en la subdivisión de una estructura en triángulos para simplificar el cálculo de soluciones numéricas a través de interpolaciones polinómicas. Esto proporciona una manera eficiente de calcular y predecir cómo se comportará una estructura bajo ciertas condiciones, permitiendo estimar las deformaciones, tensiones, fuerzas y movimientos. Por lo que, la variable se operacionalizara mediante los nodos.	Deformación	%	Razón
Nodo	Elemento triangular isoparamétrico de 6 nodos				

Anexo 2

Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	ANTECEDENTES	METODOLOGÍA
<p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿Cómo es realizar el análisis dinámico de estabilidad por elementos finitos del talud superior ubicado en la carretera Casma - Huaraz en la provincia de Casma?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Realizar el análisis dinámico de estabilidad por elementos finitos del talud superior ubicado en la carretera Casma - Huaraz en la provincia de Casma.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>Analizar las deformaciones por elementos finitos del talud superior ubicado en la carretera Casma - Huaraz en la provincia de Casma.</p> <p>Determinar los máximos esfuerzos por elementos finitos del talud superior ubicado en la carretera Casma - Huaraz en la provincia de Casma.</p> <p>Calcular el factor de seguridad por elementos finitos del talud superior</p>	<p>HIPÓTESIS GENERAL</p> <p>Mediante el programa de elementos finitos se puede realizar el análisis dinámico de estabilidad de talud superior en la carretera Casma - Huaraz en la provincia de Casma.</p> <p>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</p> <p>Mediante el programa de elementos finitos se podría analizar las deformaciones del talud superior ubicado en la carretera Casma - Huaraz en la provincia de Casma.</p> <p>A través el programa de elementos finitos se podría determinar los máximos esfuerzos del talud superior ubicado</p>	<p>Antecedentes Internacionales:</p> <p>- Análisis dinámico de estabilidad de taludes por medio de elementos finitos (Bojerque, 2016) este artículo llevó a cabo un análisis paramétrico para evaluar los efectos de las características del registro dinámico y las características del suelo en la estabilidad dinámica de los taludes</p> <p>- (Monte, 2020), realizó una investigación sobre el análisis de estabilidad de taludes de roca mediante el MEF para poder analizar la estabilidad de taludes de roca en una mina subterránea, comparar los resultados obtenidos mediante el MEF con los obtenidos mediante la metodología de diseño históricamente utilizada.</p> <p>Antecedentes Nacionales:</p> <p>- (Carranza, 2017), para obtener el título de Ingeniero Geólogo, realizó una investigación explicativa sobre el análisis de inestabilidad de taludes mediante los métodos de equilibrio límite y elementos finitos. El objetivo de la investigación fue evaluar e identificar el grado de inestabilidad del tramo Santa Rosa - Tuco Bajo, en la carretera Bambamarca - Centro Poblado Tuco. La inestabilidad de taludes está condicionada por la lito morfoestructural, la hidrología y las propiedades geomecánicas de las rocas y suelos.</p> <p>-, (De la Cruz y otros, 2016), para alcanzar el título de Ingeniería Civil, realizaron una investigación explicativa sobre el análisis dinámico de estabilidad de taludes por elementos finitos. El objetivo de la investigación fue determinar el factor de seguridad de talud mediante el</p>	<p>TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</p> <p>TIPO: Aplicada</p> <p>POR EL DISEÑO: No experimental</p> <p>DISEÑO DE INVESTGACIÓN: No experimental transversal descriptiva</p> <p>POBLACIÓN: La población que se establecerá en la presente investigación serán los taludes a lo largo de la carretera Casma – Huaraz, desde el km 40 al 42.</p> <p>TÉCNICA E INSTRUMENTO DE MEDICIÓN: Observación directa y ficha de recolección de datos</p>

ubicado en la carretera Casma - Huaraz en la provincia de Casma. Estabilizar el talud por elementos finitos.	en la carretera Casma - Huaraz en la provincia de Casma. Mediante el programa de elementos finitos se podría calcular el factor de seguridad del talud superior ubicado en la carretera Casma - Huaraz en la provincia de Casma.	análisis dinámico por elementos finitos. se emplearon los variados métodos para el análisis anteriormente mencionando en esta investigación, nos da como resultado la propensión a problemas como deslizamientos, y para emplear este mencionado análisis, se optó por un método también usado tradicionalmente el de Mora, considerando variables de susceptibilidad como la composición física del suelo, la forma de los suelos y su estudio, la flora y las variantes que son detonantes como precipitaciones o fallas sísmicas.
---	---	--

Anexo 3. Validaciones de instrumento por expertos



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

VALIDEZ DE FICHA DE RECOLECCION DE DATOS

PROYECTO: ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTABILIDAD POR ELEMENTOS FINITOS DEL TALUD SUPERIOR UBICADO EN LA CARRETA CASMA - HUARAZ EN LA PROVINCIA DE CASMA.

AUTOR: GUTIERREZ SAMARITANO NICOLAS ALDAIR

I.- INFORMACION GENERAL DEL PROYECTO			
UBICACIÓN:			
DISTRITO	Yaután	ALTITUD	720 msnm
PROVINCIA	Casma	LATITUD	9°31'50.9"S
DEPARTAMENTO	Ancash	LONGITUD	77°58'6.9"W
II.- PARAMETROS DEL SUELO			
III.- FACTOR DE SEGURIDAD			
< 1 inestable		= 1 estable con posibles fallas	
> 1 estable			
IV.- DEFORMACIONES			
Mínimas		Regulares	
Máximas			
V.- ESFUERZOS			
Mínimos		Regulares	
Máximos			
APELLIDOS Y NOMBRES	Martell Ortiz Juan Carlos		
PROFESION	Ing. Civil		
REGISTRO (CIP) N°	153009		
TELEFONO	948149884		



VALIDEZ DE FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

PROYECTO: ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTABILIDAD POR ELEMENTOS FINITOS DEL TALUD SUPERIOR UBICADO EN LA CARRETA CASMA - HUARAZ EN LA PROVINCIA DE CASMA.

AUTOR: GUTIERREZ SAMARITANO NICOLAS ALDAIR

I.- INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO			
UBICACIÓN:			
DISTRITO	Yaután	ALTITUD	720 msnm
PROVINCIA	Casma	LATITUD	9°31'50.9"S
DEPARTAMENTO	Ancash	LONGITUD	77°58'6.9"W
II.- PARÁMETROS DEL SUELO			
III.- FACTOR DE SEGURIDAD			
	< 1 inestable	= 1 estable con posibles fallas	> 1 estable
IV.- DEFORMACIONES			
	Mínimas	Regulares	Máximas
V.- ESFUERZOS			
	Mínimos	Regulares	Máximos
APELLIDOS Y NOMBRES	DIAZ DIAZ ALEX FABIAN		
PROFESIÓN	INGENIERO		
REGISTRO (CIP) N°	83569		
TELEFONO	957239951		

Dr. ALEX FABIAN DIAZ DIAZ



VALIDEZ DE FICHA DE RECOLECCION DE DATOS

PROYECTO: ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTABILIDAD POR ELEMENTOS FINITOS DEL TALUD SUPERIOR UBICADO EN LA CARRETA CASMA - HUARAZ EN LA PROVINCIA DE CASMA.

AUTOR: GUTIERREZ SAMARITANO NICOLAS ALDAIR

I.- INFORMACION GENERAL DEL PROYECTO			
UBICACIÓN:			
DISTRITO	Yaután	ALTITUD	720 msnm
PROVINCIA	Casma	LATITUD	9°31'50.9"S
DEPARTAMENTO	Ancash	LONGITUD	77°58'6.9"W
II.- PARAMETROS DEL SUELO			
III.- FACTOR DE SEGURIDAD			
< 1 inestable		= 1 estable con posibles fallas	> 1 estable
IV.- DEFORMACIONES			
Mínimas		Regulares	Máximas
V.- ESFUERZOS			
Mínimos		Regulares	Máximos
APELLIDOS Y NOMBRES	SALAZAR ALCALDE ROBERTO CARLOS		
PROFESION	INGENIERO CIVIL		
REGISTRO (CIP) N°	101231		
TELEFONO	948461203		

RS
41463122
CIP: 101231

Anexo 4. Matriz de evaluación de expertos

MATRIZ DE EVALUCACIÓN DE EXPERTOS

Título de la investigación	ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTABILIDAD POR ELEMENTOS FINITOS DEL TALUD SUPERIOR UBICADO EN LA CARRETERA CASMA – HUARAZ EN LA PROVINCIA DE CASMA.
Línea de investigación	DISEÑO SISMICO Y ESTRUCTURAL
Instrumento de Evaluación	FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Muy deficiente (1) Deficiente (2) Aceptable (3) Buena (4) Excelente (5)

INDICADORES	CRITERIOS	1	2	3	4	5
CLARIDAD	Está formulado con lenguaje apropiado.					X
OBJETIVIDAD	Está expresado en conductas observables.					X
ACTUALIDAD	El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento, científico y tecnológico.					X
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.					X
SUFICIENCIA	Los ítems del instrumento comprenden con suficientes aspectos en cantidad y claridad.					X
INTENCIONALIDAD	Es coherente con el tipo de investigación.					X
CONSISTENCIA	La información que se recoja a través del instrumento, permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.					X
COHERENCIA	Expresa relación con los indicadores de cada dimensión de la variable. Estabilidad de Taludes					X
METODOLOGÍA	La relación entre la técnica y el instrumento propuesto responden al propósito de la investigación.					X

SUGERENCIAS:

Nombre completo: DR. ALEX FABIAN DIAZ DIAZ

DNI: 40584500

Profesión: INGENIERO

Registro (CIP): 83569

Teléfono: 95723951



Firma del experto

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE EXPERTOS

Título de la investigación	ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTABILIDAD POR ELEMENTOS FINITOS DEL TALUD SUPERIOR UBICADO EN LA CARRETERA CASMA – HUARAZ EN LA PROVINCIA DE CASMA.
Línea de investigación	DISEÑO SISMICO Y ESTRUCTURAL
Instrumento de Evaluación	FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Muy deficiente (1) Deficiente (2) Aceptable (3) Buena (4) Excelente (5)

INDICADORES	CRITERIOS	1	2	3	4	5
CLARIDAD	Está formulado con lenguaje apropiado.					
OBJETIVIDAD	Está expresado en conductas observables.					X
ACTUALIDAD	El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento, científico y tecnológico.					Y
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.					
SUFICIENCIA	Los ítems del instrumento comprenden con suficientes aspectos en cantidad y claridad.					Y
INTENCIONALIDAD	Es coherente con el tipo de investigación.					X
CONSISTENCIA	La información que se recoja a través del instrumento, permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.					X
COHERENCIA	Expresa relación con los indicadores de cada dimensión de la variable. Estabilidad de Taludes					
METODOLOGÍA	La relación entre la técnica y el instrumento propuesto responden al propósito de la investigación.					X

SUGERENCIAS

Nombre completo: SALAZAR ALCALDE ROBERTO CARLOS

DNI: 41463122

Profesión: INGENIERO CIVIL

Registro (CIP): 101231

Teléfono: 948461203

Firma del experto

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE EXPERTOS

Título de la investigación	ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTABILIDAD POR ELEMENTOS FINITOS DEL TALUD SUPERIOR UBICADO EN LA CARRETERA CASMA – HUARAZ EN LA PROVINCIA DE CASMA.
Línea de investigación	DISEÑO SISMICO Y ESTRUCTURAL
Instrumento de Evaluación	FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ASPECTOS DE VALIDACIÓN
Muy deficiente (1) Deficiente (2) Aceptable (3) Buena (4) Excelente (5)

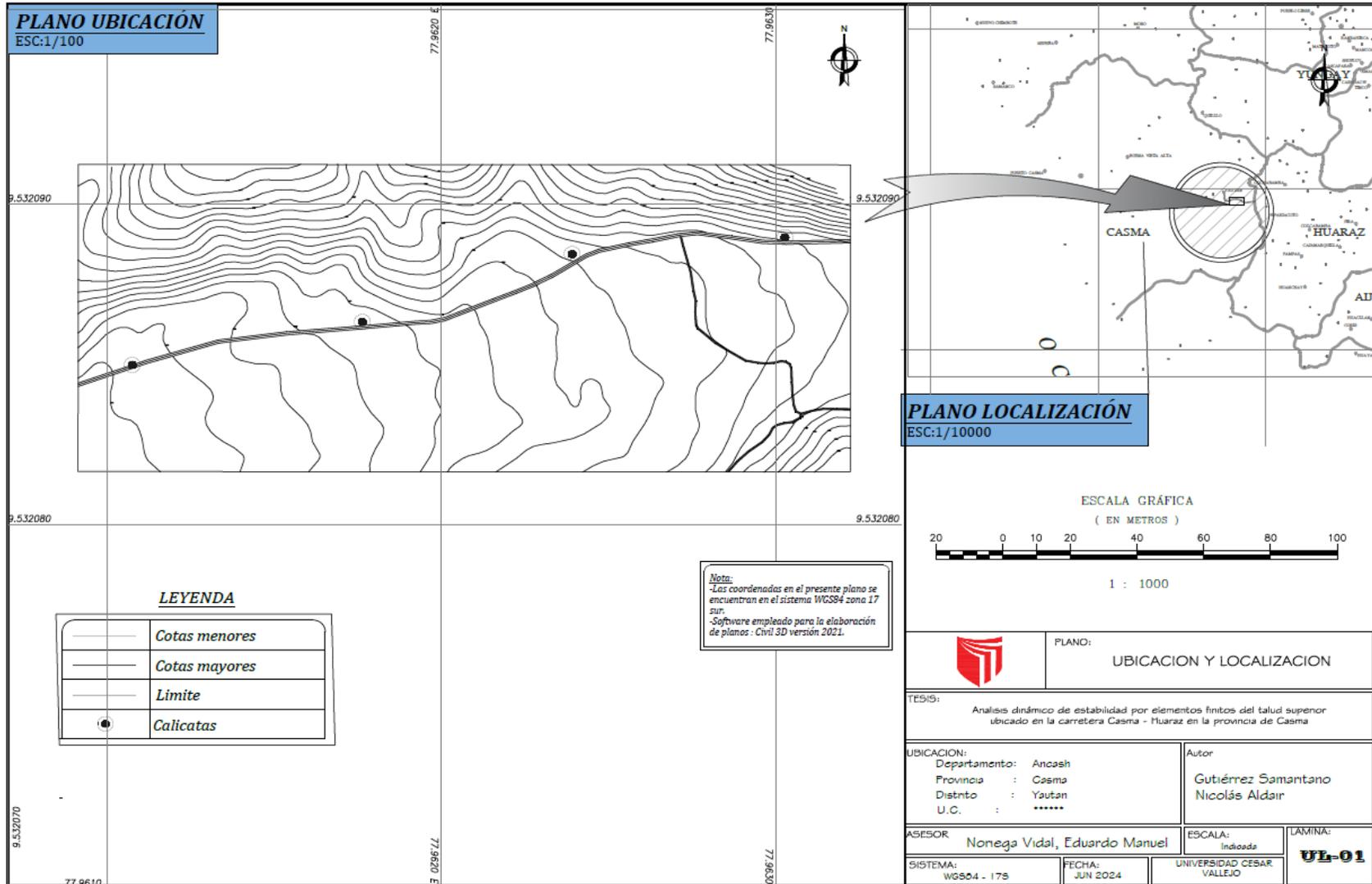
INDICADORES	CRITERIOS	1	2	3	4	5
CLARIDAD	Está formulado con lenguaje apropiado.				✓	
OBJETIVIDAD	Está expresado en conductas observables.				✓	
ACTUALIDAD	El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento, científico y tecnológico.				✓	
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.					✓
SUFICIENCIA	Los ítems del instrumento comprenden con suficientes aspectos en cantidad y claridad.					✓
INTENCIONALIDAD	Es coherente con el tipo de investigación.				✓	
CONSISTENCIA	La información que se recoja a través del instrumento, permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.				✓	
COHERENCIA	Expresa relación con los indicadores de cada dimensión de la variable. Estabilidad de Taludes					✓
METODOLOGÍA	La relación entre la técnica y el instrumento propuesto responden al propósito de la investigación.				✓	

SUGERENCIAS

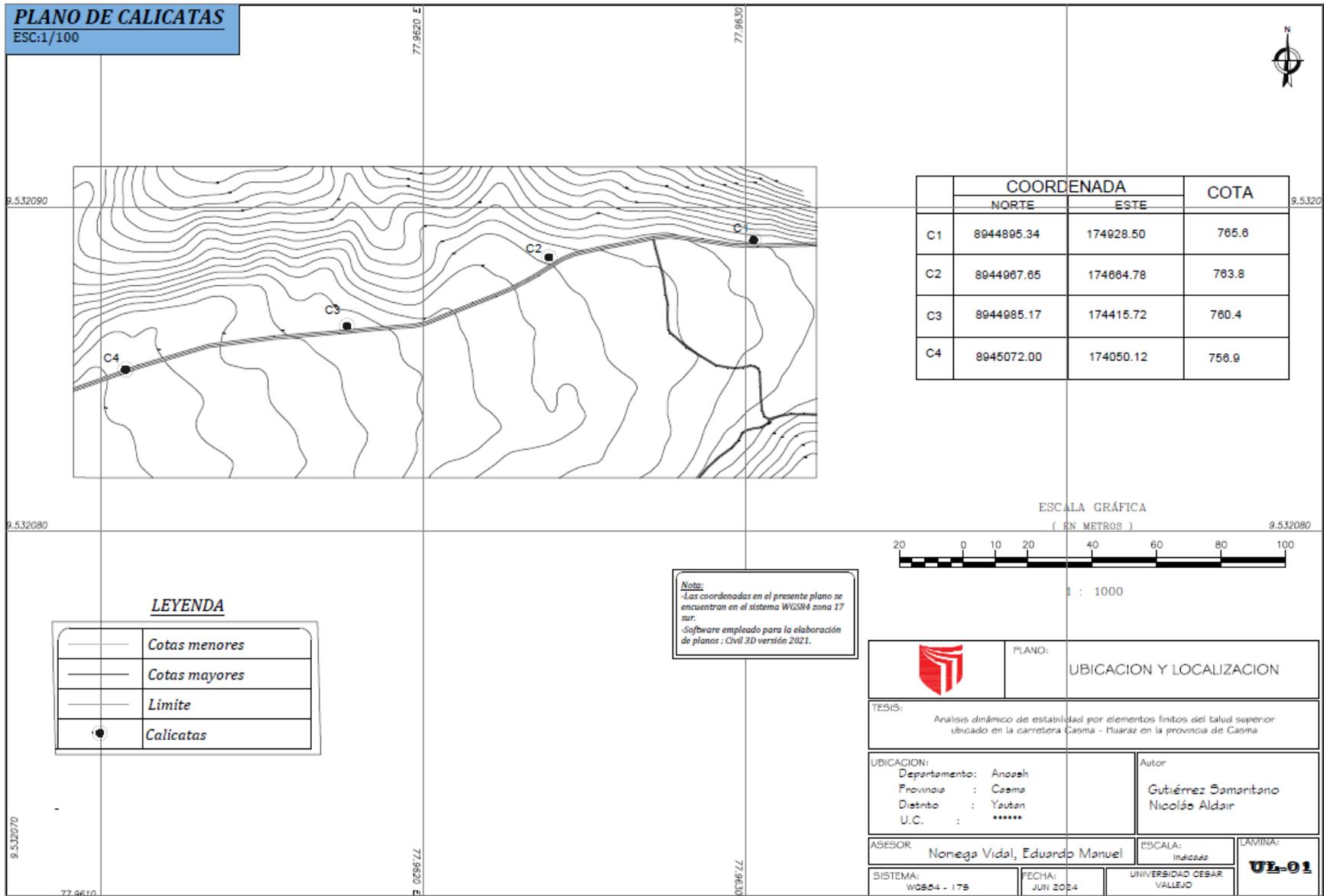
Nombre completo: *Martell Ortiz Juan Carlos*
DNI: *32286068*
Profesión: *Ing. Civil*
Registro (CIP): *153009*
Teléfono: *948149384*

Firma del experto

Anexo 4. Plano de Ubicación y localización



Anexo 5. Plano de Calicatas



Anexo 6. Estudio de mecánica de Suelos



INGEMAT GALLARDO SAC

Laboratorio de Estudios Geotécnicos, Suelos, Concreto, Asfalto y Albañilería

**ESTUDIO DE MECÁNICA SUELOS
CON FINES DE CIMENTACIÓN**



PROYECTO:

**ANÁLISIS DINAMICO DE ESTABILIDAD POR ELEMENTOS FINITOS DE
TALUD SUPERIOR UBICADO EN LA CARRETERA CASMA –
HUARAZ EN LA PROVINCIA DE CASMA**

SOLICITANTE:

CONSORCIO EMPRESARIAL DEL NORTE

JEFE DE ESTUDIO:

GUTIERREZ SAMARITANO NICOLAS ALDAIR

Luis D. Gallardo Murpa
GERENTE GENERAL
INGEMAT GALLARDO S.A.C.

UBICACIÓN:

LUGAR : CARRETERA CASMA - HUARAZ KM 43- 44
DISTRITO : YAUTAN
PROVINCIA : CASMA
DEPARTAMENTO : ANCASH

Ing. Liseth M. Chirinos Vasquez
JEFE DE LABORATORIO
CIP. 315842

MAYO DEL 2024

PLANO DE UBICACIÓN DE CALICATAS

Figura 1.
Mapa político del Perú



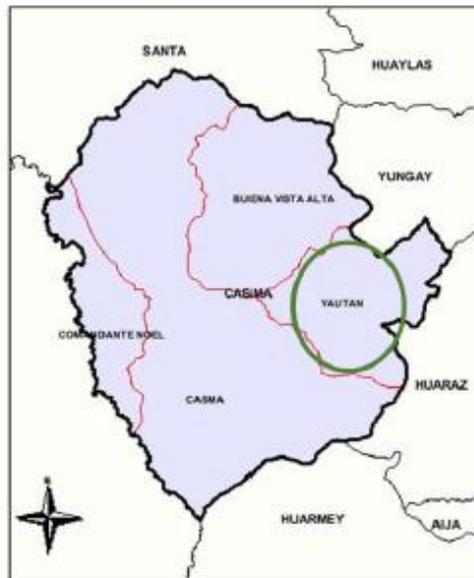

Luis D. Gallardo Murga
GERENTE GENERAL
INGEMAT GALLARDO S.A.C.


Ing. Liseth M. Chirinos Vasquez
JEFE DE LABORATORIO
CIP. 315842

Figura 2.
Mapa del departamento Ancash



Figura 3.
Mapa de provincia de Casma



Luis D. Gallardo Murga
Luis D. Gallardo Murga
GERENTE GENERAL
INGEMAT GALLARDO S.A.C.

Liseth M. Chirinos Vasquez
Ing. Liseth M. Chirinos Vasquez
JEFE DE LABORATORIO
CIP 315442

Figura 4.
Mapa de la zona de estudio



Figura 5.
Mapa de la ubicación de la calicata



Coordenadas de Calicatas

	N	E
C1	8944895.34	174928.50
C2	8944967.65	174664.78
C3	8944985.17	174415.72
C4	8945072.00	174050.12



Luis D. Gallardo Murga
Luis D. Gallardo Murga
GERENTE GENERAL
INGEMAT GALLARDO S.A.C.

Liseth M. Chirines Vasquez
Ing. Liseth M. Chirines Vasquez
JEFE DE LABORATORIO
CIP. 315442

PANEL FOTOGRÁFICO

C – 01

Figura 1.
Vista de la calicata C-1



Luis D. Gallardo Murga
Luis D. Gallardo Murga
GERENTE GENERAL
INGEMAT GALLARDO S.A.C.

Liseth M. Chirines Vasquez
Ing. Liseth M. Chirines Vasquez
JEFE DE LABORATORIO
CIP 315842

® INDECOPI N° 034506-2021

RUC 20607982971

TRUJILLO - PERU

Av. Húsares de Junín Mz. D Lt. 13 Int. 2 - Trujillo - Celular: 978 342 677 - Email: ingematgallardo@gmail.com

Anexo de

C – 02

Figura 3.
Vista de la calicata C-2




Luis D. Gallardo Murga
GERENTE GENERAL
INGEMAT GALLARDO S.A.C.


Ing. Liseth M. Chirinos Vasquez
JEFE DE LABORATORIO
CIP. 315402

Figura 4.
Vista interior de la calicata C-2, evidenciando el perfil estratigráfico



Luis D. Gallardo Murga
Luis D. Gallardo Murga
GERENTE GENERAL
INGEMAT GALLARDO S.A.C.

Liseth M. Chirinos Vasquez
Ing. Liseth M. Chirinos Vasquez
JEFE DE LABORATORIO
CIP. 315442

Figura 5.
Calicata culminada



C – 03

Figura 6.
Vista de la calicata C-3



Figura 7.
Vista interior de la calicata C-3, evidenciando el perfil estratigráfico del terreno




Luis D. Gallardo Murga
GERENTE GENERAL
INGEMAT GALLARDO S.A.C.


Ing. Liseth M. Chirrés Vasquez
JEFE DE LABORATORIO
CIP 315442

Figura 8.
Calicata C-03 culminada



Luis D. Gallardo Murga
Luis D. Gallardo Murga
GERENTE GENERAL
INGEMAT GALLARDO S.A.C.

Liseth M. Chirinos Vasquez
Ing. Liseth M. Chirinos Vasquez
JEFE DE LABORATORIO
CIP. 315882

C – 04

Figura 9.
Vista de la calicata C-4



Figura 10.
Vista interior de la calicata C-4, evidenciando el perfil estratigráfico del terreno




Luis D. Gallardo Murpa
GERENTE GENERAL
INGEMAT GALLARDO S.A.C.


Ing. Liseth M. Chirines Vasquez
JEFE DE LABORATORIO
CIP. 315882

Anexo 6. Licencia de estudiante por medio de Geo5

GEO5 (2024) : Version Trial



Solicitar una versión Trial

Envíe una solicitud para obtener la versión Trial por tiempo limitado sin restricciones de análisis. Se requiere de conexión a Internet para ejecutar la versión Trial. **Se le enviará una clave (llave) al correo electrónico registrado.**

Email * :

Nombre :

Apellido :

Teléfono * :

País * :

Compañía :

Puesto de trabajo :

Deseo recibir gratis el Newsletter de Fine

Al presionar el botón "Enviar solicitud", acepto los documentos :

[Acuerdo de licencia de usuario final](#)

[Política de Privacidad](#)

También acepto conectar mi computadora a los servidores de licencias en línea.

Ejecutar la versión Trial

Ingrese la llave (clave) enviada al correo electrónico registrado "nagutierrez@ucvvirtual.edu.pe".

Llave (clave) :

Anexo 7. Tabla de desplazamientos máximos y mínimos

DESPLAZAMIENTOS (mm)			
A - A	B - B	C - C	D - D
30	6.5	100	15
60	13	200	30
90	19.5	300	45
120	26	400	60
150	32.5	500	75
180	39	600	90
210	45.5	700	105
240	52	800	120
270	58.5	900	135
300	65	1000	150
330	71.5	1100	154.1
335.2	76.6	1339.2	154.1

Anexo 8. Tabla de esfuerzos máximos y mínimos

ESFUERZOS			
A - A	B - B	C - C	D - D
4.25	4.66	3.6	5.09
15	7.5	10	15
30	15	20	30
45	22.5	30	45
60	30	40	60
75	37.5	50	75
90	45	60	90
105	52.5	70	105
120	60	80	120
135	67.5	90	135
150	75	100	150
165	82.5	110	165
180	85.59	116.11	180
189.11	85.59	116.11	186.49

Anexo 9. Tabla de deformaciones máximos y mínimos

DEFORMACIONES			
A - A	B - B	C - C	D - D
-0.13	-0.09	-0.17	-0.13
-0.12	-0.07	-0.12	-0.12
-0.08	-0.04	-0.06	-0.08
-0.04	0	0	-0.04
0	0.04	0.06	0
0.04	0.07	0.12	0.04
0.08	0.11	0.18	0.08
0.12	0.14	0.24	0.12
0.16	0.18	0.3	0.16
0.2	0.21	0.36	0.2
0.24	0.25	0.42	0.24
0.28	0.28	0.48	0.28
0.32	0.31	0.49	0.3
0.34	0.31	0.49	0.3

Análisis dinámico de estabilidad por elementos finitos del talud superior ubicado en la carretera Casma - Huaraz en la provincia de Casma

INFORME DE ORIGINALIDAD

10% INDICE DE SIMILITUD	9% FUENTES DE INTERNET	1% PUBLICACIONES	2% TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
-----------------------------------	----------------------------------	----------------------------	--------------------------------------

FUENTES PRIMARIAS

1	tesis.pucp.edu.pe Fuente de Internet	2%
2	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	es.scribd.com Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.uladech.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.unapiquitos.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	azdok.org Fuente de Internet	<1%