

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL: DE INGENIERÍA CIVIL



Tesis

**Análisis técnico - económico de muro de suelo reforzado, con fibra de coco, para
estabilización de taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, 2023**

Asesor:

Phd. Vásquez Ramírez, Abbon Alex

Autores:

Guerrero Suarez José Carlos

Juro Rivas Jonathan Richard

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Abancay – Apurímac – Perú

2024



Universidad Tecnológica de los Andes

Transformando vidas

ACTA DE EXAMEN DE TITULACIÓN N°042-2024-EPIC-FI- UTEA- SA

Reunidos el Jurado Evaluador constituido por los señores Docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería de la Universidad Tecnológica de los Andes:

- | | |
|--------------------------------------|--------------|
| ➤ MSc. Ing. Angel MALDONADO MENDÍVIL | PRESIDENTE |
| ➤ Dr. Wilfredo SOTO PALOMINO | DICTAMINANTE |
| ➤ Ing. Rubén GAMARRA MOTA | REPLICANTE |

y el (la) postulante al TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO (a) CIVIL, Bachiller: **JURO RIVAS, Jonathan Richard** con código de matrícula N°20201701474-B, y **GUERRERO SUAREZ, José Carlos** con código de matrícula N°201803578-G.

Ha cumplido con las exigencias del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos de la Universidad Tecnológica de los Andes, aprobado mediante resolución del Vicerrectorado Académico N°002-2024-UTEA-VRAC, de fecha 23 de enero del año 2024, respecto a la sustentación de tesis, para optar al título profesional de Ingeniero Civil.

SUSTENTACIÓN DE TESIS titulado: "Análisis técnico-económico de muro de suelo reforzado, con fibra de coco, para estabilización de taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, 2023", habiendo aprobado con la nota de catorce (14).

Se expide, la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 300.

Abancay, 23 de diciembre 2024.


MSc. Ing. Angel MALDONADO MENDÍVIL
PRESIDENTE


Dr. Wilfredo SOTO PALOMINO
DICTAMINANTE


Ing. Rubén GAMARRA MOTA
REPLICANTE

Análisis técnico-económico de muro de suelo reforzado, con fibra de coco, para estabilización de taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
2	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes Trabajo del estudiante	1%
4	repositorio.unamba.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet	1%
8	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	1%

Metadatos

Datos del Autor	
Apellidos y nombres	: Guerrero Suarez José Carlos
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 71710110
URL ORCID	: https://orcid.org/0009-0007-0585-0871
Apellidos y nombres	: Juro Rivas Jonathan Richard
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 70383355
URL ORCID	: https://orcid.org/0009-0007-4000-673X
Datos del Asesor	
Apellidos y nombres	: Vásquez Ramírez, Abbon Alex
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 06532658
URL ORCID	: https://orcid.org/0000-0001-7299-5367
Datos de la Investigación	
Facultad	Ingeniería
Escuela Profesional	Ingeniería Civil
Línea de Investigación	Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	2023 al 2024
Fuente de Financiamiento	Propia
Porcentaje de similitud	19%
URL de OCDE	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford# 2.01.01

Dedicatoria

A mi madre y hermana que son mi soporte e inspiración de perseverancia y constancia. A Dios, mis abuelos y mi padre que con seguridad desde el cielo guían mis pasos para superar las adversidades de la vida.

A mi madre, mi tía Sonia y tío Ronald, por ser fuente primordial de afecto, persistencia y comprensión, quienes me han acompañado con paciencia a lo largo de este arduo pero gratificante camino académico. A Dios, mis abuelos, mi padre Willmer, hermanos y primos, por los consejos y aliento de perseverar y completar una etapa importante en mi formación académica.

Agradecimiento

A los catedráticos de la Universidad Tecnológica de los Andes de la escuela profesional de Ingeniería Civil, que impartieron su experiencia y conocimiento.

Asimismo, a la empresa minera CHINA RAILWAY TUNNEL GROUP CO., LTD SUCURSAL DEL PERU, por permitirnos desarrollar la presente tesis y darnos la oportunidad de desempeñarnos en el área de Oficina Técnica y Obras de Arte, importante para el desarrollo de la presente tesis y nuestro crecimiento profesional.

Resumen

La construcción de “La Vía de evitamiento Tamburco – Abancay”, sumada a las condiciones geotécnicas y climáticas propias del sector Leonpampa, ha generado inestabilidad en los taludes de la zona, presentando eventos geológicos, como deslizamientos y caídas de rocas. Ante esta problemática, este estudio tiene por objetivo analizar técnica y económicamente el uso de muro de suelo reforzado, con fibra de coco, para la estabilización de taludes en “La Vía de evitamiento Tamburco – Abancay”. Se utilizó material de préstamo como relleno, geomallas para el refuerzo y biobolsas de fibra de coco para el revestimiento para la aplicación del sistema Terramesh, así mismo, la investigación fue de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo, de diseño experimental, y alcance descriptivo, exploratorio y explicativo. Como resultado de la investigación, se determinó que los factores de seguridad (FS) aplicando la tecnología Terramesh son superiores a los límites mínimos permisibles establecidos en la norma CE.020 y a su vez se analizó y verificó que su construcción es más rentable respecto a otro sistema de estabilización de taludes. Se concluye que el uso de MSR con fibra de coco es técnicamente viable, mientras que económicamente justifica su viabilidad, siendo 5.7 % más económico que el muro de concreto armado.

Palabras clave: muro, reforzado, fibra, coco, estabilización

Abstract

The construction of “La Vía de evitamiento Tamburco – Abancay”, added to the geotechnical and climatic conditions of the Leonpampa sector, it has generated instability in the slopes of the area, presenting geological events, such as landslides and rockfalls. Faced with this problem, this study aims to analyze technically and economically the use of reinforced soil wall, with coconut fiber, for the stabilization of slopes in “La Vía de evitamiento Tamburco – Abancay”. Borrowed material was used as filling, geogrids for reinforcement and coconut fiber biobags for the coating for the Terramesh system application, likewise, the research was applied, with a quantitative approach, experimental design, and descriptive, exploratory and explanatory scope. As a result of the investigation, it was determined that the safety factors (FS) applying Terramesh technology are higher than the minimum permissible limits established in the CE.020 standard and at the same time, it was analyzed and verified that its construction is more profitable compared to another slope stabilization system. It is concluded that the use of MSR with coconut fiber is technically feasible, while economically justifying its feasibility, being 5.7 % cheaper than reinforced concrete wall.

Keywords: wall, reinforced, fiber, coconut, stabilization

Índice general

Portada.....	i
Acta de sustentación	ii
Reporte de similitud.....	iii
Metadatos	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento	vi
Resumen.....	vii
Abstract	viii
Índice general	ix
Índice de tablas	xii
Índice de figuras.....	xiv
Índice de anexos	xv
I. Introducción.....	16
II. Planteamiento del problema	18
2.1. Descripción y formulación del problema.....	18
2.2. Objetivos.....	22
2.2.1. Objetivo General.....	22
2.2.2. Objetivos Específicos	22
2.3. Justificación e Importancia.....	23
2.4. Hipótesis.....	24
2.5. Variables.....	25
III. Marco teórico	27

3.1.	Antecedentes.....	27
3.2.	Bases Teóricas.....	31
3.2.1.	Muro de Suelo Reforzado (MSR).....	31
3.2.1.2.	Método de diseño por factores de carga y resistencia (LRFD).....	33
3.2.1.3.	La metodología ASD (Allowable Stress Design)	34
3.2.1.4.	El Sistema Terramesh	35
3.2.1.5.	Características Geotécnicas	41
3.2.1.6.	Análisis Técnico-Económico	43
3.3.	Definición de Términos	46
IV	Metodología	50
4.1.	Tipo y Nivel de Investigación	50
4.2.	Ámbito Temporal y Espacial	51
4.3.	Población y Muestra	51
4.4.	Instrumentos.....	52
4.5.	Procedimientos.....	52
4.6.	Análisis de datos.....	53
4.7.	Consideraciones éticas.....	54
V.	Resultados y discusión.....	55
5.1.	Resultados.....	55
5.1.1.	Generalidades	55
5.1.2.	Resultados del Objetivo Específico 1.....	57
5.1.3.	Resultados del Objetivo Específico 2.....	62
5.1.4.	Resultados del Objetivo Específico 3.....	65

5.1.5.	Resultados del Objetivo Específico 4.....	71
5.2.	Discusión de Resultados.....	77
5.3.	Prueba de Hipótesis.....	80
VI.	Conclusiones	88
VII.	Recomendaciones	90
VIII.	Referencias	91
IX.	Anexos	103

Índice de tablas

Tabla 1 Condiciones de pre dimensionamiento del MSR.....	32
Tabla 2 Condiciones de pre dimensionamiento de base de MSR.....	33
Tabla 3 Granulometría recomendada para MSR	33
Tabla 4 Factor de Seguridad mínimo para análisis estático.....	39
Tabla 5 Clasificación de Suelos por su Granulometría	41
Tabla 6 Factores de aceleración	45
Tabla 7 Sectores Inestables	55
Tabla 8 Características de la información sísmica.....	56
Tabla 9 Máximas aceleraciones esperadas.....	56
Tabla 10 Resultados de análisis granulométrico.....	57
Tabla 11 Resultados de ensayo de corte directo	58
Tabla 12 Resultados de Peso Unitario	59
Tabla 13 Parámetros Geotécnicos	59
Tabla 14 Propiedades del material de refuerzo	60
Tabla 15 Geometría del muro de suelo reforzado.....	62
Tabla 16 Análisis de estabilidad en talud natural	68
Tabla 17 Análisis de estabilidad de taludes con MSR.....	70
Tabla 18 Metrados para la construcción de un MSR	71
Tabla 19 Presupuesto de MSR.....	72
Tabla 20 Metrados para la construcción de un-MCA	73
Tabla 21 Presupuesto de MCA.....	74
Tabla 22 Comparación de Costos	75
Tabla 23 Cálculo del Valor de Reducción de Gasto de Combustible	76
Tabla 24 Cálculo de Costo Beneficio.....	77
Tabla 25 Contrastación de la Hipótesis General.....	81
Tabla 26 Prueba de Normalidad para muestras menores a 50.....	83
Tabla 27 Resultados de Prueba de T-Wilcoxon.....	85

Tabla 28 Contrastación de Hipótesis Específica 3.....	86
Tabla 29 Contrastación de Hipótesis Específica 4.....	87

Índice de figuras

Figura 1 Abaco para determinar K_r	40
Figura 2 Proceso de Diseño de MSR	41
Figura 3 Sección tipo de muro de suelo reforzado	63
Figura 4 Sistema drenante	63
Figura 5 Detalle de lloradores	64
Figura 6 Secuencia de construcción de revestimiento con biomanto	64
Figura 7 Detalle de fachada y acabado de muro	65
Figura 8 Análisis Estático Km 6+790-talud natural	66
Figura 9 Análisis Pseudo estático del Km 6+790-talud natural	67
Figura 10 Análisis Estático Km 6+790-talud con MSR	69
Figura 11 Análisis Pseudo Estático Km 6+790-talud con MSR.....	69
Figura 12 Curva de Normalidad para el FS estático	84
Figura 13 Curva de Normalidad para el FS pseudo estático	84

Índice de anexos

Anexo 1 Matriz de consistencia.....	104
Anexo 2 Matriz de operacionalización de variables.....	107
Anexo 3 Análisis de datos.....	109
Anexo 4 Planos.....	111
Anexo 5 Secciones de muro de suelo reforzado.....	115
Anexo 6 Análisis de estabilidad en el software “Slide”.....	125
Anexo 7 Sustento de metrado de MSR.....	159
Anexo 8 Cálculo de pesos unitarios, ángulo de fricción y cohesión.....	168
Anexo 9 Certificaciones.....	176
Anexo 10 Autorización.....	179
Anexo 11 Registro fotográfico.....	180

I. Introducción

Según el Instituto Nacional de Defensa Civil (2020) Perú posee una topografía diversa, frecuentemente enfrenta desafíos en la accesibilidad a zonas remotas, lo que a menudo requiere la construcción de carreteras en áreas difíciles de acceder y la estabilización de terrenos estrechos. Las regiones montañosas andinas y tropicales son particularmente propensas a deslizamientos debido a factores como la geometría del terreno, la naturaleza del suelo, fuertes precipitaciones y la intervención humana.

La inestabilidad de taludes es un problema común en el país, impactando la integridad y viabilidad de los proyectos civiles, con consecuencias que van desde daños a infraestructuras hasta pérdidas humanas. Por ello, se realizan diversos estudios de estabilidad considerando la variabilidad de las propiedades del suelo en cada área específica. Por estas circunstancias, el objetivo principal de esta investigación es realizar un análisis técnico-económico del uso de muro de suelo reforzado, con fibra de coco, para estabilización de taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, 2023. Al considerar todos los factores que contribuyen a la inestabilidad, se propone una solución que consiste en un sistema de estabilización, teniendo en cuenta los factores más determinantes en la inestabilidad (Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2022).

La presente tesis está estructurada mediante capítulos, de la siguiente manera:

Capítulo I: Planteamiento del problema, se expone detalladamente el problema identificado que motivó la investigación, incluyendo la formulación del problema general y los problemas específicos. En la sección de justificación, se explica la razón de esta investigación y se establecen los objetivos, tanto generales como específicos.

Capítulo II: Marco Teórico, este capítulo abarca los antecedentes a nivel internacional, nacional y local, además de las bases teóricas y el marco conceptual que sustentan la investigación.

Capítulo III: Metodología de la Investigación, se describe el método, tipo, nivel y diseño de investigación usada, además de la población y la muestra delimitada, también cuales han sido los procedimientos, las técnicas, y los instrumentos de investigación. Están planteadas también las hipótesis, tanto generales como específicas, además se presenta como se han operacionalizado las variables de estudio, que es el lineamiento general para el correcto desarrollo de la investigación.

Capítulo IV: Resultados y Discusión, en esta sección, se ha llevado a cabo tanto un análisis descriptivo como inferencial de los resultados de la investigación. Además, se contrastaron las hipótesis utilizando estadísticas inferenciales. Finalmente, se discutieron los resultados en comparación con estudios de referencia.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema

Descripción

El escenario de transporte vial y sus efectos mundiales han ido generando gran impacto la última década, cada año, más de un millón de personas pierden la vida en accidentes de tránsito a nivel mundial. De los cuales el 22% corresponden a muertes por deslizamiento y/o desprendimiento de rocas de los taludes. En este contexto, los accidentes de tránsito generan costos económicos y sociales significativos: el 1,5 % en países de ingresos medios, el 1 % del Producto Nacional Bruto (PNB) en países de bajos ingresos y el 5 % en países de altos ingresos. A nivel global, se estima que los costos superan los 500 mil millones de dólares anuales, de los cuales 65 mil millones provienen de países de medianos y bajos ingresos, superando la ayuda para el desarrollo que estos reciben (Organización Mundial de la Salud, 2018).

En otro ámbito, los datos estadísticos proporcionan un porcentaje considerable de 40% de desprendimientos de fragmentos rocosos de taludes hacia las vías ocasionadas por las intensas lluvias a lo largo de cada año. El estudio se desarrolla por métodos cotidianos de análisis de estabilidad de taludes considerando como partida inicial un suelo completamente saturado. Varias técnicas están disponibles en la actualidad, como reemplazar el caso de corte de pendiente en la última situación de estrés sin cambiar sus propiedades, como alinearlo con la presión intersticial en la respuesta de compresión; el cual se realiza debido a que se manifiestan en investigaciones que validan la existencia de deslizamientos de menor grado, así como los desprendimientos de taludes en las zonas no saturada del talud. Se demuestra una certera relación entre la duración de una intensa precipitación pluvial con respecto a los Cambios en la presión intersticial del suelo, lo que conlleva a la formación de napas freáticas (Montoya, 2013).

El crecimiento de la necesidad de habilitar vías de acceso, muchas veces nos lleva a la construcción o habilitación en lugares de difícil accesibilidad, la red vial nacional

pavimentada en Perú se extiende a 30,208.8 kilómetros, con 1,069.2 kilómetros en la región de Apurímac. A pesar de que cada año se construyen más obras de infraestructura vial con carpeta asfáltica en el país, muchas de estas carecen de un diseño adecuado. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2022).

Por otro lado, según el Instituto Nacional de Estadística (INEI, 2023), el Índice Nacional del Flujo Vehicular en las unidades de peaje, en setiembre de 2023, subió ligeramente en 0,3%, con respecto a setiembre del año 2022.

Es así que, buscando una alternativa de solución, se ha encontrado que, en las últimas 04 décadas se ha tenido referencias sobre las propiedades de las geomallas como complemento en el reforzamiento de MSR en el campo de la ingeniería. La mayoría de las geomallas de polímero son vendidas por varios fabricantes y tienen operaciones específicas. Desde ese momento, la tecnología de suelo reforzado con geomalla ha sido adoptada en la construcción de la mayoría de las estructuras, así como también los terraplenes para ferrocarriles, carreteras principales y autopistas, del mismo modo los muros marinos, aeropuertos, estribos de puentes, etc (Doulala & Pérez, 2021).

Por otra parte, el rendimiento de las estructuras ya construidas sigue un proceso que exige examinar tanto el equilibrio estático interno como externo de la estructura, dependiendo del tipo de geosintético utilizado. Esto determina la forma (geometría) y la cantidad de refuerzo necesario en el muro para asegurar su buen rendimiento en las condiciones específicas del sector, ya sea el contenido de humedad, las pésimas propiedades del suelo, fallas geológicas, napas freáticas y relieve del terreno y en adición un especialista debe realizar los análisis necesarios para la planeación, funcionamiento, diseño y mejoramiento en la utilización de muro con el sistema de refuerzo en mención (Garnica et al., 2013, p. 15).

Cabe destacar que, los países de Estados Unidos y Japón han podido demostrar que los MSR tienen una alta resistencia hacia las acciones dinámicas. “Los suelos

mecánicamente estables, debido a su flexibilidad, son altamente resistentes a la dinámica de los eventos sísmicos, como lo demuestra su excelente desempeño en varios terremotos recientes” (VSL International Ltd., 2006, p. 7).

La vía de evitamiento Tamburco - Abancay, ubicada en la provincia de Abancay, de la región Apurímac, se caracteriza por presentar tramos muy accidentados y tramos angostos, la región Apurímac, forma parte de la cordillera de los Andes, por lo que presenta comúnmente deslizamientos, caídas de rocas, entre otros movimientos en masa; además comúnmente presenta precipitaciones pluviales intensas, lo que ocasiona crecida de los ríos; según el mapa de zonificación sísmica del Perú (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2020).

El tramo comienza en la intersección de la carretera Ruta Nacional 3S (Km 771+680) con el acceso existente al lado izquierdo (altura del grifo Wari) con coordenadas UTM aproximadas de 726614.292 E y 8490864.532 N, y termina en el Km 780+850 (San Antonio) de la misma ruta, también al lado izquierdo, con coordenadas UTM aproximadas de 732070.466 E y 8494632.971 N, abarcando una longitud total de 12+840 Km (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2022).

Formulación del problema de investigación

Ante el estado actual de los taludes existentes en la vía de evitamiento del sector Leonpampa y los desprendimientos frecuentes a causa del alto contenido de humedad y presencia de napas freáticas, y sumado a ello la irregularidad del relieve de algunos sectores y secciones angostas en el tramo de la carretera vía de evitamiento, resulta de especial interés buscar una alternativa de estabilización de taludes, que además sea viable técnica y económicamente; que permita su uso práctico, para el mejoramiento de esta vía. Debido a la orografía de nuestra localidad, la construcción de otras alternativas (muro) para la contención de laderas, nos condiciona a tener una base regular como cimiento y/o

soporte, así como la limitación a grandes alturas de la estructura, y es por ello que, se justifica la propuesta de usar un MSR (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2020).

Así mismo, al usar MSR, de manera complementaria se propone el uso de fibras de coco debido a sus propiedades de alta resistencia a la tracción, en condiciones de presencia de agua subterránea las fibras de coco son fuertes y duraderas, lo que les permite resistir las fuerzas erosivas del agua, contribuyendo a la estabilidad del talud. Además, por su permeabilidad, permite el paso del agua, evitando la saturación del suelo y reduciendo así el riesgo de deslizamientos. Otro beneficio, pero de largo plazo es su biodegradabilidad, la retención de humedad y que ayuda a mantener la humedad del suelo, esto promueve el crecimiento de las raíces de las plantas, lo que a su vez contribuye a la consolidación del talud (Universidad Técnica de Ambato, 2021).

Con respecto al factor económico, generalmente los muros de suelo reforzado representan una alternativa económica para la estabilización de taludes, ya que, el suelo utilizado en los muros reforzados es extraído del mismo sitio de la obra, lo que reduce significativamente los costos de transporte y adquisición de materiales, así mismo los geos sintéticos (geomallas, geotextiles) son más económicos que el concreto y el acero de refuerzos utilizados en los muros de concreto armado. Sin embargo, es fundamental realizar un análisis detallado considerando las condiciones técnicas y el dimensionamiento de los muros (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres [CENEPRED], 2020).

Problema General

- ¿Cuál es la viabilidad técnico - económica del uso de muro de suelo reforzado, con fibra de coco, para la estabilización de taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, Tamburco, Abancay, Apurímac, 2023?

Problemas Específicos

- ¿Cuál es la viabilidad técnico-económica respecto a las características geotécnicas del muro de suelo reforzado, con fibra de coco, en los taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, Tamburco, Abancay, Apurímac, 2023?
- ¿Cuál es la viabilidad técnico-económica respecto a las condiciones geométricas del muro de suelo reforzado, con fibra de coco, para la estabilización de taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, Tamburco, Abancay, Apurímac, 2023?
- ¿Cuál es el análisis de estabilidad de taludes del uso de muro de suelo reforzado, con fibra de coco, en la vía de evitamiento, Leonpampa, Tamburco, Abancay, Apurímac, 2023?
- ¿Cuál es el análisis de costo-efectividad del uso de muro de suelo reforzado, con fibra de coco, para la estabilización de taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, Tamburco, Abancay, Apurímac, 2023?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo General

- Analizar técnica y económicamente el uso de muro de suelo reforzado, con fibra de coco, para la estabilización de taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, Tamburco, Abancay, Apurímac, 2023.

2.2.2. Objetivos Específicos

- Evaluar la viabilidad técnico-económica respecto a las características geotécnicas del muro de suelo reforzado con fibra de coco para la estabilización de taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, Tamburco, Abancay, Apurímac, 2023.
- Evaluar la viabilidad técnico-económica respecto a las condiciones geométricas del muro de suelo reforzado con fibra de coco, para la estabilización de taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, Tamburco, Abancay, Apurímac, 2023.

- Realizar el análisis de estabilidad de taludes del uso de muro de suelo reforzado con fibra de coco, para la estabilización de taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, Tamburco, Abancay, Apurímac, 2023.
- Realizar el análisis de costo-efectividad del uso de muro de suelo reforzado con fibra de coco, para la estabilización de taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, Tamburco, Abancay, Apurímac, 2023.

2.3. Justificación e Importancia

Justificación

Ante el estado actual de los taludes existentes en la vía de evitamiento del sector Leonpampa y los desprendimientos frecuentes a causa del alto contenido de humedad y presencia de napas freáticas, y sumado a ello la irregularidad del relieve de algunos sectores y secciones angostas en el tramo de la carretera vía de evitamiento, resulta de especial interés buscar una alternativa de estabilización de taludes, que además sea viable técnica y económicamente; que permita su uso práctico, para el mejoramiento de esta vía.

La Norma Técnica CE.020 es una norma obligatoria en Perú que establece las condiciones mínimas para mejorar la estabilidad de taludes y la resistencia de los suelos. Debido a la orografía de nuestra localidad, la construcción de otras alternativas (muro) para la contención de laderas, nos condiciona a tener una base regular como cimiento y/o soporte, así como la limitación a grandes alturas de la estructura, y es por ello que, se justifica la propuesta de usar un MSR.

Importancia

La investigación es de gran importancia debido a la escasez de estudios específicos en relación con el análisis de estabilidad de taludes con presencia de napas freáticas y una considerable cantidad de precipitaciones en el sector de Leonpampa, en la provincia de Abancay, en particular la adición de las biobolsas de fibra de coco como material amigable para el medio ambiente refleja un panorama muy interesante para realizar investigaciones

afines a su utilidad. Esta ausencia de datos actualmente limita la decisión de la elección de un sistema de estabilización poco usado en la región como son los muros de suelo reforzado. Esta tesis tiene como finalidad llenar las brechas existentes, brindando un recurso utilizable para el campo de la ingeniería y su aplicación en nuestra región.

2.4. Hipótesis

Hipótesis General

- El uso de muro de suelo reforzado, con fibra de coco, es viable técnica y económicamente para la estabilización de taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, Tamburco, Abancay, Apurímac, 2023.

Hipótesis Específicas

- Las características geotécnicas del muro de suelo reforzado con fibra de coco, son viables técnica y económicamente, para la estabilización de taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, Tamburco, Abancay, Apurímac, 2023.
- Las condiciones geométricas del muro de suelo reforzado con fibra de coco, son viables técnica y económicamente, para la estabilización de taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, Tamburco, Abancay, Apurímac, 2023.
- El uso de muro de suelo reforzado con fibra de coco mejora significativamente la estabilidad de los taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, Tamburco, Abancay, Apurímac, 2023.
- El uso de muro de suelo reforzado con fibra de coco es una solución con costo-efectividad significativo para la estabilización de taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, Tamburco, Abancay, Apurímac, 2023.

2.5. Variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
Independiente Muro de Suelo Reforzado con fibra de coco	"Suelo reforzado es cualquier muro de carga o sistema de talud en el que se colocan elementos de refuerzo (materiales de cobertura) dentro de la masa de suelo para mejorar sus propiedades mecánicas" (Christopher et al., 1990, p. 3).	Para el diseño de un MSR mecánicamente estable nos debemos centrar en la distribución de tensiones, las superficies de falla, los controles de estabilidad y las condiciones geotécnicas del suelo.	Características Geotécnicas	Tipo de Suelo	MTC E-107
				Cohesión	MTC E-123
				Ángulo de Fricción	MTC E-123
				Peso Unitario	
				Nivel Freático	MTC E-107
				Altura del muro	AUTOCAD
Dependiente Análisis Técnico - Económico	En el análisis de la estabilidad de taludes, se examinan los fenómenos de estado último o rotura de masas de suelo. La inestabilidad resulta de agentes externos, principalmente la fuerza de la masa y su peso, y en	El análisis técnico se hará desde el punto de vista de la estabilidad de los taludes. El análisis de costo se hará en cuanto al costo-efectividad, por tratarse de	Análisis de Estabilidad	Base del muro	AUTOCAD
				Análisis Estático	Slide
				Análisis Pseudo Estático	Slide

ciertos casos, los efectos de filtración. Además, se deben considerar factores adicionales como las sobrecargas, que pueden ser estáticas o dinámicas (Valiente et al., 2015, p. 50). El análisis de costo-efectividad, es definido como “una técnica analítica que compara los costos de un proyecto con los beneficios resultantes, no expresados en la misma unidad de medida” (Rossi, Freeman & Wright (1979), en Cohen & Franco, 1992, p. 199).	un proyecto con orientación a la prestación de un servicio a la sociedad.	Análisis Costo-Efectividad	Estimación de Costos	Hoja de cálculo para estimación de costos
			Estimación de Beneficios	Observación

III. Marco teórico

3.1. Antecedentes

En Bogotá, Tapia & Ortiz (2019) llevaron a cabo un proyecto para diseñar un muro de contención en el parque "La Esperanza" del barrio Alaska en Usme, Bogotá. Realizaron un estudio en la zona para abordar el problema de los deslizamientos de tierra que afectaban a la comunidad, y el diseño se fundamentó en la metodología de la norma colombiana de diseño de puentes CCP14, considerando cargas como el empuje horizontal del suelo, sobrecargas, sismos y el peso propio de la estructura. Se evaluaron dos opciones: muros de contención por voladizo y por contrafuertes, optando finalmente por el primero debido a su menor costo en concreto. Utilizando el software AutoCAD, se generaron planos detallados del muro de contención, incluyendo su geometría, refuerzo y cantidades de materiales. Concluyeron que, este diseño podría solucionar el problema de la localidad de Usme.

En La Paz, Bolivia, Torrez (2024) desarrolló un proyecto que se centró en diseñar un MSR para estabilizar un talud crítico en la carretera Comarapa – Santa Cruz. Utilizó la metodología AASHTO LRFD 2020, aplicada de forma manual y verificada con software especializado (GEO5 y MacStars W 4.0). El diseño contempló tanto condiciones estáticas como dinámicas (sísmicas), asegurando la estabilidad del muro ante diferentes escenarios de carga. Los cálculos manuales fueron corroborados por los programas, garantizando la confiabilidad de los resultados. Los estudios de estabilidad tanto externa como interna y la verificación global confirmaron que el diseño cumple con los estándares de seguridad requeridos. Se concluyó que el proyecto facilitó la implementación de muros de suelo reforzado en Bolivia, proporcionando una solución técnica sólida y fiable para la estabilización de taludes.

Por su parte, Cañas (2021) realizó una investigación, con el objetivo de comparar los resultados de la evaluación de estabilidad global de un muro de suelo reforzado, empleando el método simplificado, junto con los métodos de elementos finitos (PLAXIS) y

equilibrio límite (SLIDE). Dentro de la metodología, esta investigación fue aplicada, no experimental-transversal. El método simplificado postula un mecanismo de ruptura en tres rebanadas, ignorando las fuerzas entre estas y utilizando un punto de referencia conocido. Para este análisis, se realizó una evaluación de sensibilidad ajustando las propiedades del suelo, la rigidez de los refuerzos e interfaces, la geometría del muro (altura), la pendiente de coronación y la pendiente al pie del muro. Como resultado obtuvo que, Para un muro de 18 metros, el método simplificado y PLAXIS arrojan un factor de seguridad de 1.22, mientras que el método de Fellenius muestra un valor de 1.41. En el caso de un muro de 12 metros, el método simplificado proporciona un factor de seguridad de 1.39, apenas superior al obtenido con PLAXIS, que es de 1.38. Concluyó que, los factores de seguridad (FS) obtenidos a través del método simplificado se asemejan a los logrados con PLAXIS, mientras que los resultados del método de Fellenius son superiores en todos los análisis de sensibilidad.

Según Salazar (2019) en su investigación tuvo como objetivo evaluar la viabilidad técnica y económica de los MSR en comparación con estructuras de concreto armado y acero. Dentro de la metodología, realizó una revisión bibliográfica y un análisis de caso práctico. Como resultado del análisis demostró que la construcción de MSR presentaron un Valor Actual Neto (VAN) significativamente mayor (US\$ 1'379,428.42) en comparación con las otras alternativas (concreto armado: US\$ 3'751,615.66 y estructura metálica: US\$ 2'481,571.62). Además de ofrecer un mejor retorno de inversión, los MSR presentaron ventajas técnicas como mayor rapidez de construcción, adaptabilidad a diferentes condiciones de suelo y menor impacto ambiental. Concluyó que, los MSR ofrecían un mayor valor actual neto y diversas ventajas técnicas, como una construcción más rápida y una mayor adaptabilidad a las condiciones del terreno, siendo una opción más rentable y eficiente para proyectos mineros que requieren una infraestructura sólida y adaptable.

Por otro lado, Herrera (2023) elaboró su tesis con el fin de evaluar la estabilidad de los taludes en un segmento de la carretera PE-3N en Huánuco-La Unión, Perú, evaluando

la influencia de un MSR. Realizó análisis estáticos y pseudoestáticos (considerando sismos) tanto con como sin el muro, utilizó los programas Slide V.6 y Geo5. Los resultados mostraron que los taludes sin el muro presentaban factores de seguridad inferiores a los aceptables, especialmente en condiciones sísmicas. Al incorporar el MSR, los factores de seguridad aumentaron significativamente, alcanzando valores aceptables y garantizando la estabilidad de los taludes. En conclusión, demostró la efectividad de los MSR para estabilizar taludes en zonas con alta susceptibilidad a movimientos en masa, como es el caso del tramo de carretera analizado.

En tanto, Cabrera & Falcon (2019), tuvieron el objetivo de diseñar un MSR con la finalidad de contrarrestar la inestabilidad del talud en la progresiva Km 163+960 al Km 164+024 IIRSA SUR tramo 2, Cusco. La metodología fue de tipo aplicada, con un diseño no experimental-transversal. El resultado del trabajo fue un prediseño de un MSR, la estructura ha sido pasada por el programa MacStar2000, para cumplir con las normas internacionales, determinándose un FS en condición estática de entre 1.923 y 2.143, y en condición pseudo estática, de 1.319 hasta 4.831. El presupuesto de construcción ascendió a un monto de 472.270,27. Concluyeron que según la norma americana el diseño del MSR cumple con los parámetros mínimos establecidos, y que el tipo de suelo influye directamente en el diseño de un MSR.

Herrera & Silva (2021), llevaron a cabo un estudio con el objetivo de evaluar y contrastar dos sistemas de contención: muro con gaviones y el MSR con la metodología terramesh, la investigación se realizó en la vía de Choropampa Cospán – Cajamarca. La investigación se realizó con una metodología aplicada y con diseño experimental, tuvo 03 sectores críticos para realizar el análisis, con antecedentes de derrumbes e inestabilidad de taludes en estas zonas. Como resultado del análisis técnico, hallaron que el MSR tuvo un tiempo de ejecución de 222 días, requería material de relleno propio y piedra para la fachada, mano de obra especializada, menor mano de obra local, maquinaria para movimiento de tierra, equipos de compactación, el sistema de drenaje y conducción se

construyó sobre un suelo con especificaciones técnicas determinadas. Por otro lado, el muro de gaviones, que tuvo un tiempo de ejecución de 122 días, requería piedra para la fachada, mano de obra local y maquinaria para el movimiento de tierra. En el análisis económico, se determinó que, para el tramo I, el muro de gaviones es 1 % más económico que el MSR. En el tramo II, el MSR es 2.5 % más económico que el muro de gaviones, y en el tramo III, el MSR es 11.0 % más económico que el muro de gaviones. Finalmente concluyeron que los MSR son más solventes debido a las alturas establecidas para diseños superiores a los 4 m, por lo que utilizaron muro de gaviones en los tramos I y II, mientras que se optó por MSR para el tramo III.

En Abancay, Gamero (2023) desarrollo un trabajo de suficiencia profesional con el objetivo de realizar el diseño de un muro de suelo reforzado con geomallas de 82 metros de longitud en la Vía de Evitamiento de Abancay. Aplicó la metodología NHI-10-024 para el diseño, considerando análisis de estabilidad externa, interna y global para tres estados límite (Resistencia I, Servicio I y Extremo I). Los resultados del análisis permitieron determinar las dimensiones del muro, la cantidad y tipo de geomallas, así como las especificaciones para su construcción. Los planos de construcción detallan la geometría del muro, las secciones transversales y los detalles constructivos para su ejecución en obra. Como conclusión indicó que el diseño garantizó la estabilidad del muro ante las cargas estáticas y sísmicas, asegurando la funcionalidad y durabilidad de la estructura.

Quispe & Reyes (2021), desarrollaron una investigación cuyo objetivo fue evaluar y contrastar el uso de MSR y muros de gaviones, tanto desde el punto de vista técnico como económico, para la estabilización del talud coluvial en la carretera Yanaquillca – Apurímac. La metodología de la investigación fue mixta, no experimental - transversal. Como resultado, determinaron que, el FS global del muro de gaviones arrojó resultados más óptimos frente al MSR, en un 11.1% en el FS estático y 24.6% en FS pseudo estático; para el FS al volteo el MSR presentó resultados superiores en 36.09% al muro de gaviones para FS estático y 27.5% para un FS pseudo estático; para el FS al deslizamiento, el MSR

registró resultados superiores en 40.8% al muro de gaviones para FS estático y 8.1% para FS pseudo estático. Por otro lado, para el MSR, el presupuesto fue de S/. 357,824.28 y para el muro de gaviones S/. 348,683.16. Concluyeron que, el muro de gaviones fue la mejor alternativa respecto al MSR; basándose sobre todo en el aspecto económico.

3.2. Bases Teóricas

3.2.1. Muro de Suelo Reforzado (MSR)

Según Mejía (2017) “Los muros que estabilizan el suelo de manera mecánica, también conocidos como muros de suelo mecánicamente estabilizado (MSE), se presentan como una alternativa a los muros tradicionales. Su desarrollo ha avanzado notablemente en los últimos años”.

De acuerdo con Suarez (1998), Son estructuras en las que el suelo constituye el componente principal. Durante el proceso de compactación, se integran elementos de refuerzo para incrementar su resistencia a la tensión y al corte, funcionando como estructuras masivas por gravedad. Su construcción es sencilla y son aptas para suelos de fundaciones débiles, toleran asentamientos diferenciales y pueden demolerse o repararse con facilidad.

Las estructuras de MSR tiene mucha influencia con el tipo de terreno en la cual interactúan, ya que dentro del proceso de consolidación los elementos utilizados como refuerzo proveen un incremento de resistencia a la cortante y la tensión, brindando un comportamiento masivo por efecto de gravedad. Poseen una facilidad para el proceso de la construcción y tiene gran versatilidad en los suelos de fundaciones de baja capacidad, además se caracteriza por que permite una demolición más adecuada sin dañar el resto de la estructura y tolera mayores asentamientos diferenciales, esta metodología es innovadora en el país y su uso actualmente tiene buenos resultados, y todo se basa en la interacción del suelo con el geotextil, lo cual es capaz de tolerar las fuerzas tensionales gracias a la resistencia a la fricción interna característicos de las fuerzas internas de la masa

de suelo y la vez se transmiten del suelo a los refuerzos que trabajan por fricción (Garnica et al., 2013, p.28).

3.2.1.1. Diseño de MSR

El diseño de un muro de suelo mecánicamente estabilizado (MSR) debe enfocarse en la distribución de tensiones, las superficies de falla y los factores de seguridad. Existen varias metodologías para su diseño, como la LFRD (Load and Resistance Factor Design) y la ASD (Allowable Stress Design) y la metodología propuesta en los manuales de la FHWA (Berg et al., 2009).

Para el diseño de los MSR, en primer lugar, se debe tener en cuenta las condiciones de pre dimensionamiento.

Tabla 1

Condiciones de pre dimensionamiento del MSR

Talud frente al muro	Empotramiento (cm)
Mínimo	60.0
Horizontal (muro)	H/20
Horizontal (estribos)	H/10
3H:1V	H/10
2H:1V	H/7
1.5H:1V	H/5

Nota: Tomado de (Berg et al., 2009). En la tabla 1, observamos que para el diseño del MSR, se partirá estableciendo su altura total, aumentándole un empotramiento en la base.

Tabla 2

Condiciones de pre dimensionamiento de base de MSR

Caso	Ratio L/H
Mínimo	0.70
Talud aguas arriba	0.80
Carga sísmica	0.80-1.10

Nota: Tomado de (Berg et al., 2009). Una vez calculada la altura del muro, se calcula la base del muro según las condiciones descritas en la tabla 2.

Según Berg et al. (2009), la granulometría recomendada para los MSR, se describe en la tabla 3.

Tabla 3

Granulometría recomendada para MSR

Malla	% que pasa
4"	100
N° 4	20-100
N° 40	0-60
N° 200	0-15

Nota: Tomado de (Berg et al., 2009). De la tabla 3, se deduce que el material más adecuado para los MSR, no debe pasar más del 15%, de la malla N° 200, y el 100%, debe ser pasante de la malla de 4".

3.2.1.2. Método de diseño por factores de carga y resistencia (LRFD)

La metodología LRFD se fundamenta en un principio probabilístico con la finalidad de determinar un margen de seguridad dentro del proceso del diseño, también podemos definirla como metodología donde se establece las cargas de diseño extremas al límite de

falla, así como minimizar las resistencias combinadas con un factor de seguridad cuyos valores deben ser menores a la unidad. Es así que se tiene la siguiente fórmula.

$$Ru \leq \phi Rn \quad (1)$$

Dónde: Ru: carga factorizada, Rn: resistencia nominal. Φ : Factor de resistencia

En términos generales, este método se centra en que los componentes soporten cargas máximas sin llegar a sus estados límite de falla. Se resalta la importancia entre ingenieros estructurales y geotécnicos cuenten con un conocimiento de las características y/o propiedades más importantes de cada método de diseño, puesto que el conocimiento de ello es decisivo al momento de diseñar por esfuerzos admisibles ASD o mediante LRDF (Ámbar, 2020).

3.2.1.3. La metodología ASD (Allowable Stress Design)

La metodología ASD se basa en principios determinísticos puesto que abarcan un campo elástico a diferencia de la metodología LRFD que a lo contrario se basa en principios probabilísticos y comprende una resistencia de falla del material, es por ello que cada características de estas metodologías son prácticamente diferentes entre si pues que diversos estudios han optado por la utilización en materiales de concreto armado, para poder calcular la eficiencia y finalmente comparar los resultados de diseño. numéricamente se puede calcular mediante la siguiente fórmula (Dussán et al., 2018).

$$Ra \leq Rn/\Omega \quad (2)$$

Ω : Factor de seguridad, Ra: resistencia solicitada, Rn: Esfuerzo nominal

3.2.1.4. El Sistema Terramesh

Actualmente en el Perú, según Arana (2013, p.13), el uso de MSR mediante el sistema Terramesh está experimentando un crecimiento sostenido y ha logrado varios proyectos de vital importancia para el país; entre ellos, destaca el desarrollo de carreteras a lo largo de toda la ruta transoceánica. Asimismo, estos proyectos son importantes para la industria minera ya que consideran como ventaja prioritaria las excelentes propiedades de este sistema.

También podemos indicar que el sistema terramesh se expone como una alternativa en la estabilización de taludes, la utilización de mallas hexagonales con doble torsión es característica de refuerzo en este sistema, las cuales forman un parámetro vertical (Dussán et al., 2018).

Manual FHWA NHI-0043

Una vez definida la geometría del muro, se procede a la evaluación externa y posteriormente a la verificación interna de los refuerzos. Esta metodología establece controles específicos para los estados límite de servicio y de resistencia necesarios, conforme al FHWA NHI-0043 son:

Estabilidad externa

De manera similar a las estructuras de contención clásicas por gravedad y semi gravedad, al dimensionar los MSR se suelen considerar cuatro posibles mecanismos de falla externa, estos incluyen:

Deslizamiento

Según Berg et al. (2009, p. 161), la evaluación de la resistencia al deslizamiento en la base del muro sigue procedimientos similares a los utilizados para zapatas extendidas sobre el suelo, conforme al artículo 10.6.3.4 (AASHTO, 2007). La resistencia factorizada contra la falla por deslizamiento (RR) puede estimarse mediante:

$$RR = \phi_{\tau} R_{\tau} \quad (3)$$

Donde:

ϕ_{τ} = factor de resistencia al corte entre el suelo y los cimientos

R_{τ} = resistencia nominal al deslizamiento entre el relleno reforzado y el suelo de cimentación.

Se determinar también el empuje nominal:

Para un muro con pendiente posterior horizontal:

$$F_1 = \frac{1}{2} * K_{ab} \gamma_b H^2 \quad (4)$$

Para un recargo uniforme, la resultante es:

$$F_2 = K_{ab} qH \quad (5)$$

Donde:

K_{ab} : coeficiente de presión activa del suelo para el relleno retenido

q: recargo uniforme por carga viva

H: altura del muro de contención

γ_b : peso unitario húmedo del suelo de relleno retenido

Volcamiento

Es la distancia entre la carga de cimentación resultante y el centro de la zona reforzada ($L/2$). Se obtiene sumando los momentos de vuelco y de resistencia en el fondo y el centro de la base, y dividiéndolo por la carga vertical (Berg et al., 2009).

$$e = \frac{\sum MD - \sum MR}{\sum V} \quad (6)$$

Donde las cargas verticales se determinan mediante las siguientes ecuaciones:

$$V_1 = \gamma_r HL \quad (7)$$

$$V_2 = \frac{\gamma_r L(h-H)}{2} \quad (8)$$

Finalmente, la fórmula queda de la siguiente manera:

$$e = \frac{\gamma_{EH-MAX} F_1(H/3) + \gamma_{LSFq-LS}(H/2)}{\gamma_{EV-MIN} V_1} \quad (9)$$

Capacidad Portante

Hay dos tipos de fallas por capacidad de carga: la falla por corte general y la falla por corte local. La falla por corte local ocurre cuando el suelo blando o suelto bajo el muro se comprime o punzona. Los cálculos de rodamientos requieren verificar tanto el estado límite de resistencia como el estado límite de servicio. Los cálculos del límite de resistencia aseguran que la presión factorizada del rodamiento sea menor que su resistencia factorizada, mientras que los cálculos del límite de servicio se emplean para determinar la presión nominal de apoyo en los cálculos de asentamiento. Cabe señalar que el peso y el ancho del revestimiento de la pared normalmente no se tienen en cuenta en los cálculos. La verificación del rodamiento aplica carga viva sobre la zona reforzada y el relleno retenido (Berg et al., 2009).

Así mismo, Berg et al. (2009), para evitar fallas de soporte en un suelo de cimentación uniforme, la presión vertical factorizada en la base del muro, calculada según la distribución uniforme de Meyerhof, no debe superar la resistencia de carga factorizada del suelo de cimentación:

$$q R \geq q_{uniform}$$

La presión vertical uniforme se calcula como:

$$\sigma = \Sigma V / (V L - 2e_B) \quad (10)$$

ΣV = suma de fuerzas verticales

L = ancho de la base, igual a la longitud del refuerzo

$L e_B$ = excentricidad para el cálculo del rodamiento

Luego debemos determinar la excentricidad, mediante la ecuación 11:

$$e_B = \frac{\gamma_{EH-MAX} F_1 (H/3) + \gamma_{LS} F_{q-LS} (H/2)}{\gamma_{EV-MAX} V_1 + \gamma_{LS} qL} \quad (11)$$

Posteriormente determinamos la tensión vertical factorizada:

$$\sigma_{V.F} = \frac{\gamma_{EV-MAX} V_1 + \gamma_{LS} qL}{L - 2e_B} \quad (12)$$

Luego la tensión de rodadura se calculará por la ecuación 13:

$$q_{V.F} = \frac{\gamma_{EV-MAX} V_1 + \gamma_{EV-MAX} V_2 + \gamma_{EH-MAX} F_T \sin \beta}{L - 2e_B} \quad (13)$$

Por último, determinaremos la capacidad portante:

$$q_n = C_f N_c + 0.5 L' \gamma_f N_\gamma \quad (14)$$

Estabilidad Global

Es esencial realizar un análisis de asentamiento tradicional para garantizar que el asentamiento del muro, ya sea inmediato, de consolidación o secundario, cumpla con los requisitos de rendimiento del proyecto. Se sugiere evaluar el asentamiento bajo la presión de apoyo determinada en un estado límite de Servicio I, y ajustar las elevaciones planificadas de los muros si los asentamientos estimados después de la construcción son significativos. Esto se puede lograr aumentando las elevaciones durante el diseño, ajustando la altura del revestimiento, o retrasando el vaciado de paneles. Se sugiere considerar juntas deslizantes para asentamientos diferenciales significativos y, en casos

extremos, técnicas de mejora del suelo como drenajes de mecha, columnas de piedra, compactación dinámica o construcción en dos fases. (Berg et al., 2009, p. 173)

Tabla 4

Factor de Seguridad mínimo para análisis estático

TIPO DE ANÁLISIS	FACTOR DE SEGURIDAD
Deslizamiento	1.5
Vuelco	2.0
Capacidad Portante	3.0
Estabilidad Global	1.3
Asentamientos	según los requerimientos del proyecto

Nota: Tomado de Hernández (2011, p. 36). El FS evaluado mínimamente deberá ser de 1.5.

Estabilidad interna

Según Christopher et al. (1990), la estabilidad interna, así como la estabilidad general (es decir, parte de la estabilidad externa) de estructuras estabilizadas mecánicamente, se calcula mediante un análisis de la superficie de deslizamiento. Mientras que la estabilidad general se determina mediante métodos clásicos de estabilidad de taludes, el análisis de estabilidad interna requiere conceptos y métodos adicionales, que tienen características que se describen brevemente en los párrafos siguientes.

La falla interna de un MSR puede ocurrir de dos maneras diferentes:

Las fuerzas de tracción (y, para los refuerzos rígidos, las fuerzas de corte) en las inclusiones pueden aumentar tanto que estas se alargan excesivamente o se rompen, causando grandes movimientos o incluso el colapso de la estructura. Este tipo de falla se conoce como falla por elongación o rotura de las armaduras. Para evaluar la estabilidad interna, es esencial determinar el coeficiente de presión activa (K_a):

$$K_a = \tan^2\left(45 - \frac{\phi_r}{2}\right) \quad (15)$$

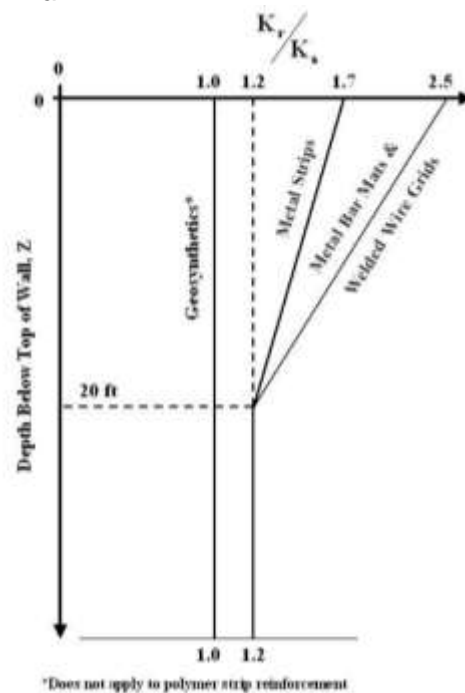
Posteriormente, determinaremos la tensión horizontal:

$$\sigma_H = K_r[(\gamma_r Z)\gamma_{EV-MAX}] \quad (16)$$

donde, γ_r es el peso unitario del suelo en la zona de suelo reforzado, y γ_{EV-MAX} es el factor de carga máximo (=1.35) para el tipo de carga "EV".

Figura 1

Abaco para determinar K_r

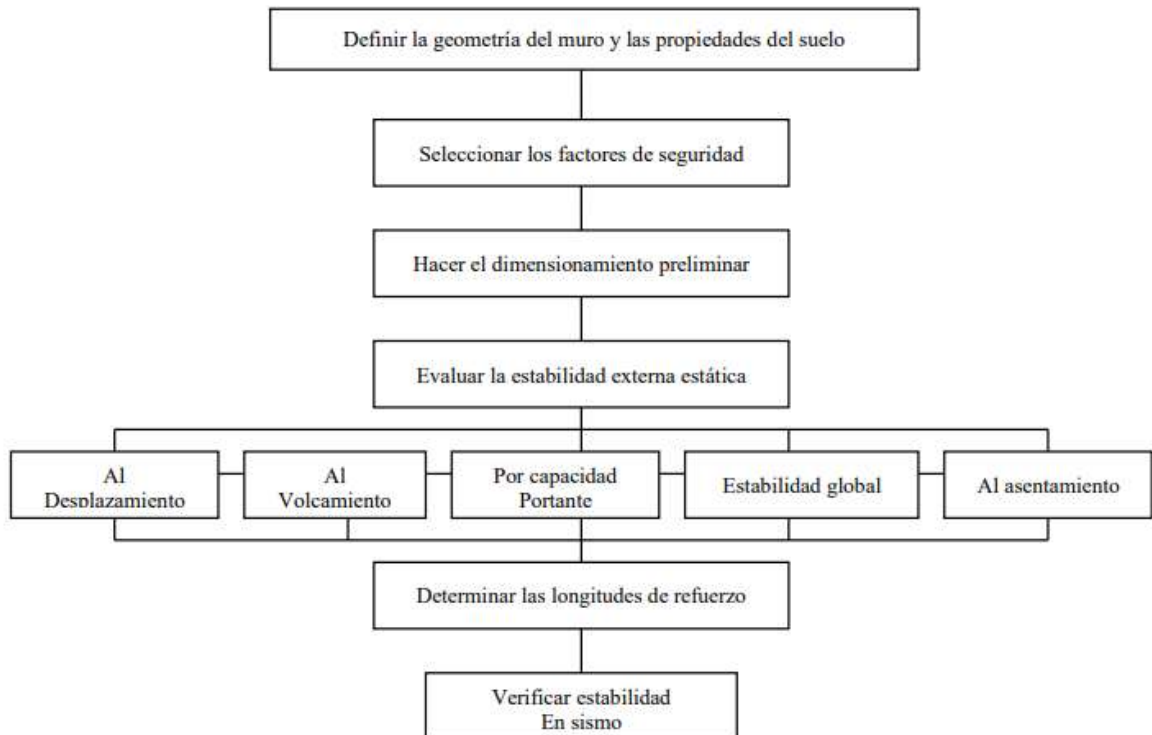


Nota: Tomado de (Berg et al., 2009). El valor de K_r se obtiene asumiendo que: la variación de la relación K_r/K_a mostrada en la figura 1, comienza desde la parte superior de la zona de suelo reforzado.

Mejía (2017), resume todo el proceso de diseño en la figura N° 2.

Figura 2

Proceso de Diseño de MSR



Nota: Tomado de Mejía (2017, p. 48). En la figura 1, el proceso de diseño de un MSR inicia con la definición de la geometría del muro y las propiedades del suelo y culmina con la verificación de la estabilidad.

3.2.1.5. Características Geotécnicas

Tipo de Suelo

Esta característica se refiere a la distribución de tamaños del agregado, determinada mediante el tamizado según las especificaciones técnicas del MTC E 107.

Esto permite una clasificación más precisa de los suelos. La tabla 5 detalla la clasificación basada en el tamaño de sus componentes (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2016).

Tabla 5*Clasificación de Suelos por su Granulometría*

Tipo de material		Tamaño de la Partículas
Grava		75 mm-4.75 mm
	Arena gruesa	4.75 mm-2 mm
Arena	Arena media	2.00 mm-0.425 mm
	Arena fina	0.425 mm-0.075 mm
	Limo	0.075 mm-0.005 mm
Material fino	Arcilla	Menor a 0.005 mm

Nota: Obtenido de Manual de Carreteras, MTC (2016).

Dentro del ensayo MTC E 107, al momento de tomar la muestra in situ, se procede a registrar también la altura a la que se encuentra el nivel freático en el terreno evaluado, esto ira registrado en el formato del perfil estratigráfico, dentro del estudio de suelos.

Resistencia al Corte

Dentro de este ensayo, las características de resistencia de los materiales secos y consolidados se determinan rápidamente. La ventaja es que el camino de drenaje a través de la muestra es corto, lo que permite que el exceso de presión de poro se disipe más rápidamente que en otras pruebas de drenaje. Esta prueba es aplicable a todo tipo de suelo, ya sea sin modificar, modificado o compactado, aunque existen límites en el tamaño máximo de partícula de la muestra. Estos resultados son útiles para estimar la resistencia al corte en el campo después de completar la consolidación bajo la tensión estándar actual. La ruptura se produce gradualmente en condiciones de drenaje, lo que permite que se disipe el exceso de presión de poro. Además, los resultados de diversas pruebas permiten expresar la relación entre la tensión de consolidación y la resistencia al corte en condiciones de deshidratación. Al final, se genera un gráfico que muestra los valores de las fuerzas normales frente a la resistencia al corte, lo que permite determinar los valores

del ángulo de fricción ϕ y la cohesión, c . (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2016).

Contenido de Humedad

MTC (2016), indica que la humedad se refiere al contenido de agua que presente un suelo, esta propiedad es muy importante para el diseño de los pavimentos, debido a que esta propiedad se encuentra relacionada directamente asociada a la resistencia de la subrasante. La humedad natural se determina mediante el ensayo MTC E 108, esta propiedad se compara con la humedad óptima, obtenida en el ensayo MTC E 132, y se condiciona:

Si: Humedad natural \leq humedad óptima, compactación normal, y agregar cantidad de agua conveniente.

Si: Humedad natural $>$ humedad óptima, según la saturación del suelo, se debe proponer incrementar la energía de compactación, airear el suelo, o en su defecto se debe reemplazar el suelo saturado.

3.2.1.6. Análisis Técnico-Económico

Para realizar el análisis técnico del uso de MSR con fibras de coco, para la estabilización de taludes, se ha determinado considerar un análisis de estabilidad y un análisis de costo - efectividad (Palomino & Guardia, 2024).

Análisis de Estabilidad

Para evaluar la estabilidad de una masa de suelo, es necesario calcular su coeficiente de seguridad al deslizamiento, comparando las fuerzas que promueven el deslizamiento con las que lo previenen (Valiente et al., 2015, p. 51).

Valiente et al. (2015), menciona que, en el campo del análisis estructural, el análisis de seguridad se realiza mediante el método del FS parcial, que implica aumentar el impacto y reducir la resistencia. Este enfoque también se utiliza en el diseño geotécnico según estándares como el Euro código 7 en Europa y el LRFD (Diseño de factor de carga y

resistencia) de AASHTO en EE. UU., que utiliza el método del factor parcial en el diseño geotécnico. El FS global tiene en cuenta imprecisiones operativas, fuerzas de arrastre, modelos de cálculo e incertidumbres humanas.

La principal fuerza que causa el pandeo es el peso del bloque deslizante, junto con fuerzas adicionales como la sobrecarga estructural o la presión del agua en las grietas. La fuerza principal que estabiliza es la resistencia al corte del suelo en la superficie que se desliza lentamente.

El Perú cuenta con normativa nacional e internacional que regula los FS. La elección de este factor depende de la naturaleza temporal de la construcción (inicial o final) y de la condición de diseño (estática o sísmica).

Análisis Estático

La norma CE 020 Suelos y Cimentaciones (2012), establece que, “el FS en condiciones estáticas debe ser mínimamente de 1.5”.

Análisis Dinámico

Los efectos de un sismo en un talud pueden simularse usando aceleraciones horizontales constantes. En 1959, Terzaghi fue pionero en utilizar un modelo pseudoestático para analizar la estabilidad de taludes durante eventos sísmicos. Estos modelos emplean aceleraciones pseudoestáticas que generan fuerzas de inercia localizadas en el centro de gravedad de cada dovela. (Valiente et al., 2015, p. 53).

La norma CE 020 Suelos y Cimentaciones (2012), establece que, “el FS en condiciones pseudo estáticas debe ser mínimamente de 1.25”.

Para determinar los factores de aceleración, se debe conocer la zona sísmica en la que se encuentra ubicada el área de estudio, en ese entender, de acuerdo con la norma E.030 Diseño sismorresistente (2018), el Perú se encuentra dentro de 4 zonas. la región de Apurímac se encuentra entre las zonas 2 y 3, mientras que la provincia de Abancay se encuentra emplazado en la zona 2.

Y las aceleraciones correspondientes a esta zona se encuentran plasmadas en la tabla 6.

Tabla 6

Factores de aceleración

Zona Sísmica	Factor de Aceleración
1	0.15
2	0.25
3	0.35
4	0.45

Nota: Tomado de la Norma E 030 Diseño Sismorresistente. La región de Apurímac se encuentra entre las zonas 2 y 3, mientras que la provincia de Abancay se encuentra emplazado en la zona 2.

3.2.1.7. Software de Estimación de Estabilidad

Hoy en día, hay cada vez más software de modelización geotécnica disponibles, tanto en general como específicamente para la estabilidad de taludes. Sin embargo, no todos los programas poseen la potencia de procesamiento y confiabilidad de Slide. El cual se destaca por su interfaz clara y fácil de usar, y su funcionamiento intuitivo con diversas opciones en su menú de análisis. Este software de análisis de estabilidad de taludes utiliza métodos de equilibrio límite, incluye análisis de agua subterránea mediante elementos finitos en estado estacionario, y cuenta con capacidades de análisis de sensibilidad, probabilísticos y retrospectivos. (Tierra y Tecnología, 2016).

Según Medina (2018) el software Slide es una potente herramienta para el análisis de estabilidad de taludes mediante métodos de equilibrio límite 2D, fácil de usar y aplicable a todo tipo de terrenos y rocas, incluyendo taludes, embalses y represas terrestres. El software también ofrece análisis finitos de infiltración de agua subterránea, análisis probabilísticos, modelado de múltiples panoramas y soporte de diseño.

En esta investigación, usaremos el software SLIDE, para evaluar cuan efectivo es el uso de MSR con fibras de coco, en la estabilidad de taludes, a través, del cálculo del FS en este SOFTWARE.

3.2.1.8. Análisis de Costos

El análisis de costo-efectividad se describe como una técnica analítica que compara los costos de un proyecto con los beneficios obtenidos, los cuales no se expresan en la misma unidad de medida. (Rossi, Freeman y Wright (1979), en Cohen & Franco, 1992, p. 199).

Guerrero & La Rosa (2013), destacan que el principal beneficio de planificar la gestión de costos es que brinda orientación y directrices sobre cómo se manejarán los costos del proyecto durante su ejecución.

Estimación de Costos

Para Guerrero & La Rosa (2013), La estimación de costos implica desarrollar una aproximación de los recursos financieros necesarios para llevar a cabo las actividades de un proyecto. Esta estimación se basa en la información disponible, y no representa el presupuesto final, ya que se ajusta a medida que el proyecto avanza. Para estimar costos correctamente, es crucial disponer del cronograma del proyecto (que detalla los recursos necesarios para cada actividad), el plan de gestión de recursos humanos (incluyendo salarios y otros costos), el registro de riesgos (para gastos de mitigación), factores ambientales, y los activos de los procesos de la organización.

3.3. Definición de Términos

Ángulo de Fricción (Φ)

Es el parámetro que determina la resistencia al corte de un suelo, se determina mediante el ensayo de corte directo (MTC, 2016).

Cohesión (C)

Es la fuerza que une partículas en la estructura de un suelo, se simboliza con la letra C, y se determina mediante el ensayo de compresión (MTC, 2016).

Contenido de Humedad

El agua o humedad existente en una porción de masa de suelo, su unidad de medición es en porcentaje en relación al peso del agua que se pueda cuantificar dentro de una masa al peso de partículas sólidas. Así mismo representa la cantidad de agua concentrada en un material sólido, obtenido a través de análisis volumétrico o gravimétrico. Los suelos tienen una humedad contenida que comprende entre el 5 al 50% hallándose en su máxima capacidad de retención. (García, 2006, p. 1-2)

Napa Freática o Nivel Freático

Las acumulaciones de aguas subterráneas de escasa profundidad son denominadas napas o capas freáticas. De estos acuíferos superficiales el hombre ha hecho uso para satisfacer su alimentación a través de fuentes de agua. Hemos de saber que estas napas freáticas tienen como contenedor o limitantes dos capas, una inferior, zona profunda, que es impermeable y la zona superior que puede o no ser impermeable. A estos límites se les conoce como nivel freático. Estas características de las napas freáticas están firmemente relacionadas con la impermeabilización y el mundo de la construcción. Es por ello que al realizar una excavación es primordial realizar los estudios requeridos para examinar la profundidad de estas y si los trabajos son factibles (Kactus, 2022).

Los niveles freáticos están íntimamente relacionados con el mundo de la impermeabilización y la construcción. A la hora de excavar un edificio, se deben realizar los levantamientos necesarios para analizar estas profundidades y la viabilidad del proyecto (Meza, 2012).

Muro

Es una estructura por gravedad, ya que trabaja con su propio peso gracias a su envergadura, peso de los materiales los cuales son estables que pertenecen al grupo estructural de contención (Arqueñiva & Romero, 2021).

Muro de Suelo Reforzado (MSR)

Un MSR se define como una estructura de gravedad que está conformado por dos componentes como es el material de relleno y el geo sintético como material de reforzamiento (Arqueñiva & Romero, 2021).

Talud

Talud en el vocablo de construcción hace referencia a la pendiente que se registra en parámetro de un muro o superficie y da al muro una resistencia a la presión ejercida por la tierra acoplada a él (Valiente, 2016).

Estabilidad de Talud

La estabilidad de un talud depende del potencial que tenga el talud para soportar y experimentar movimiento. La estabilidad del talud está determinada por el equilibrio entre el esfuerzo cortante y la resistencia al corte (Arias, 2019).

Análisis de Estabilidad de Taludes

Evaluación cuantitativa de la interacción entre las fuerzas estabilizadoras o resistentes y las fuerzas desestabilizadoras o movilizantes que afectan un talud (Ministerio de Vivienda y Saneamiento, 2012, p. 3).

Fibras de Coco

El fruto del coco también posee una fibra que podría ser usada en construcciones. Al ser una fibra multicelular compuesta por leño y celulosa que le proporciona un aislamiento acústico, además de brindar resistencia al agua y bacterias, como también

características de resiliencia, durabilidad y rigidez. Un coco genera un aproximado de 125 gramos de fibras (Ticona, 2020).

Deslizamiento

Movimiento hacia abajo de una masa de suelo o roca que se desplaza principalmente a lo largo de una superficie de falla o en áreas relativamente delgadas con alta deformación cortante (Ministerio de Vivienda y Saneamiento, 2012, p. 4).

Factor de Seguridad (FS)

Para determinar la estabilidad de los muros, se comparan las fuerzas que los estabilizan con las que los desestabilizan, lo cual permite calcular un factor de seguridad (FS) (Singh, 2020, p. 16).

Geomalla

Las geomallas son materiales poliméricos de alto módulo, fabricados mediante métodos de estirado. Estas estructuras, relativamente rígidas y en forma de red, tienen espacios amplios que permiten la fricción (Hernández, 2011, p. 17).

IV Metodología

4.1. Tipo y Nivel de Investigación

Tipo de Investigación

La presente investigación pertenece al tipo de investigación aplicada. Por cuanto “busco dar solución a un problema existente” (Hernández, 2014).

Nivel o Alcance de Investigación

El nivel o alcance se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto del estudio (Hernández, 2014).

La investigación fue de nivel descriptivo, exploratorio y explicativo, ya que, al analizar los antecedentes encontrados, se buscó la relación existente para poder resolver el problema en estudio ya que se cuentan con pocos estudios acerca de MSR incorporando fibras de coco en la región de Apurímac.

Además, el alcance explicativo se da porque la presente investigación establece la viabilidad técnica y económica del uso de MSR con fibras de coco, como solución para la estabilización de taludes. También abarca un nivel descriptivo, al realizar una descripción detallada de las posibles soluciones generadas de las bases teóricas, acerca del diseño del MSR y justificando la hipótesis inicialmente planteada.

Diseño de la investigación

La investigación es de carácter experimental. Según Hernández (2014), el significado específico de experimento, que es más consistente con el significado científico del término, se refiere a investigaciones en las que una o más variables independientes se manipulan intencionalmente (premisa propuesta) para analizar los efectos de la manipulación de las variables dependientes (efectos posteriores esperados) en una situación de control.

4.2. Ámbito Temporal y Espacial

Ámbito temporal

La investigación se realizó en el año 2023, y parte del 2024.

Ámbito espacial

La investigación se realizó entre las progresivas 06 +750 hasta 10+000 del trayecto de la vía de evitamiento Tamburco-Abancay, en el sector de Leonpampa. Dentro de estas progresivas, la investigación se limitó a los sectores que presentaban condiciones críticas, presentándose 3 tramos: km 6+790 al km 7+090, km 9+050 al km 9+100 y km 9+400 al km 10+000.

4.3. Población y Muestra

Población

Para Hernández (2014) la población es un conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones.

Para el presente trabajo se optó por el criterio de inclusión y exclusión, dentro de las progresivas KM 6 + 750 al 10 + 000, las cuales deben contener presencia de flujo de agua, debe tener características de suelo granulares limos arcillosos, los cuales son existentes en el proyecto "Construcción de la vía evitamiento de Abancay", dicho proyecto en mención tiene una longitud de más de 12 km es por ello que los tramos excluidos al sector establecido no son tomados en cuenta por la inexistencia de exceso de humedad o inestabilidad de taludes.

Muestra

La muestra es básicamente una porción representativa de la población. Es un subconjunto de elementos que comparte las mismas características definidas del conjunto completo conocido como población (Hernández, 2014, p. 174).

La muestra es de tipo no probabilística, para Hernández (2014) en este tipo de muestra, la selección de los elementos se basa en criterios específicos relacionados con la investigación o los objetivos del investigador, en lugar de depender de la probabilidad. El procedimiento no es mecánico ni se fundamenta en fórmulas de probabilidad, sino en las decisiones tomadas por un investigador o un grupo de investigadores, y las muestras elegidas siguen otros criterios de investigación.

Se eligió una sola muestra de los tres sectores críticos en los tramos del km 6+790 al km 7+090, km 9+050 al km 9+100 y del km 9+400 al km 10+000, el tramo 6+790 al Km 7+090.

4.4. Instrumentos

Se usaron los formatos para los ensayos aprobados por el MTC:

- Formato de Análisis granulométrico de suelos por Tamizado (MTC E-107)
- Formato de Determinación del contenido de humedad de suelos (MTC E 108)
- Formato de Límite líquido, (MTC E 110)
- Formato de límite plástico e índice de plasticidad, (MTC E-111)
- Formato de densidad con relación a la humedad (Proctor Modificado), (MTC E-115)
- Formato de corte directo, (MTC E 123)
- Formato de resistencia al corte mediante compresión triaxial, (MTC E 131)
- Formato de CBR de suelos (Laboratorio), (MTC E-132)

4.5. Procedimientos

Se llevaron a cabo diversos ensayos para analizar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, incluyendo el contenido de humedad y los niveles freáticos, mediante un estudio de suelos, los cuales se introdujeron al MS Excel en una hoja de cálculo para

así modelar los muro y brindarles las características que le corresponden y de esta manera tener un factor de seguridad, que a su vez estima la falla, por consiguiente se consigue la confiabilidad del diseño de MSR el cual se estima obtener mejores cualidades a menor costo y sea aplicable en sectores de gran magnitud.

Para concluir con el estudio se realizó una comparación de datos usando el software MS Excel y el SLIDE para estimar el factor de seguridad. Para la contrastación de hipótesis se usó el software estadístico SPSS.

4.6. Análisis de datos

Respecto al análisis de datos es multidisciplinario, puesto que se consideró distintos ámbitos y especialidades para compilar y consolidar la información global. Inicia con el adecuado levantamiento topográfico de toda la longitud de la vía evitamiento, haciendo uso de equipos topográficos eficientes, a partir de los cuales se obtuvieron distintos planos de detalle y principalmente el plano clave, donde podemos visualizar las zonas de inestabilidad y renfocar la aplicación de MSR.

Así mismo la información se recopiló y adjuntó información de los ensayos de mecánica de suelos realizados, como corte directo y SPT. A partir de estos ensayos, se determinaron las características físicas y mecánicas del suelo, incluyendo ángulo de fricción, peso específico y cohesión, a través de correlaciones. Estos datos se utilizaron para calcular el factor de seguridad en los distintos perfiles presentados en los anexos, tanto para consideraciones estáticas y pseudoestáticas.

Recabando tanto la información topográfica y geotécnica podemos definir adecuadamente los resultados requeridos para demostrar las hipótesis consideradas, así también teniendo datos a detalle podemos realizar estimaciones más precisas para la determinación de precios unitarios en MSR y muros de concreto armado, considerando todos los componentes para su realización.

4.7. Consideraciones éticas

La ética juega un papel importante en la investigación académica, por lo que para este trabajo se consideraron las siguientes cuestiones éticas:

Se explico a los involucrados en el desarrollo de este trabajo, claramente el propósito de la investigación, los procedimientos que se seguirán y los posibles riesgos.

Se presentan los resultados de forma honesta y transparente. Citando las fuentes de la información presentada con precisión y así reconocer las ideas de otros investigadores.

En relación con el ecosistema de la zona en estudio, ya que al implementar una tecnología de MSR con cobertura de vegetal incorporando fibra de coco, se cumple con el principio de conservación, reemplazo, reducción. refinamiento, preventivo, de precaución, de balance daño-beneficio y el principio de responsabilidad.

V. Resultados y discusión

5.1. Resultados

5.1.1. Generalidades

5.1.1.1. Topografía

Se realizó un levantamiento topográfico en la zona de estudio.

Sectores Inestables

En relación con la geodinámica externa de la vía se han identificado varias zonas inestables, cuyo riesgo puede ser calificado de moderado a bajo según ensayos realizados y no representa mayor riesgo para la estabilidad de la futura Vía de Evitamiento.

En la carretera de Evitamiento de la ciudad de Abancay los sectores identificados como inestables son los siguientes:

Tabla 7

Sectores Inestables

Sector	Progresiva i	Progresiva f	Proceso	Riesgo
1	01+670.00	01+720.00	Deslizamiento	Moderado
2	02+955.00	02+990.00	Derrumbe	Moderado
3	03+180.00	03+230.00	Deslizamiento	Moderado
4	03+640.00	03+770.00	Deslizamiento	Moderado
5	05+640.00	05+740.00	Deslizamiento	Moderado
6	05+850.00	06+060.00	Derrumbe	Moderado
7	07+300.00	07+400.00	Anegamiento	Moderado

Nota: En la tabla 7, se han identificado 7 sectores inestables, en las condiciones naturales, del talud, sin embargo, luego de realizar el corte para la ejecución de la vía de evitamiento, se identificaron 3 sectores críticos.

5.1.1.2. Sismicidad

La información histórica instrumental ha sido adquirida del Instituto Geofísico del Perú (IGP), el cual comprende 2109 eventos con magnitudes mayores o iguales a 4 a partir del año de 1960. Las características de dicha información están expresadas en la siguiente tabla:

Tabla 8

Características de la información sísmica

AREA	AREA DE INFLUENCIA				RANGO DE	NUMERO DE
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	MAGNITUD	EVENTOS
ABANCAY	-11	-75	-16	-70	≥ 4.0	2109

Nota: De la información de la tabla 8, es necesario resaltar los sismos de los años de 1998, 1974, con magnitudes de ondas de cuerpo (Mb) de 6.0 y del año de 1960 de 6.9, lo cual evidencia el grado sísmico al cual está expuesta la región, la carretera y las estructuras que se proyectarán sobre ella.

En el siguiente cuadro se muestran las máximas aceleraciones esperadas para períodos de retorno de 30, 50, 100, 200, 400, 475 y 1000 años.

Tabla 9

Máximas aceleraciones esperadas

Lugar	Aceleración g (según el Período de Retorno)						
	30	50	100	200	475	500	1000
Vía de Evitamiento de Abancay	0.16	0.19	0.23	0.27	0.34	0.34	0.4
-72.88 ; -13.62							

Nota: Para determinar el sismo de diseño, se considera el tiempo de vida útil de las obras del Proyecto, para el caso de los MSR, se contemplan períodos de retorno de 475 años para el sismo de diseño, adecuados para estructuras con una vida útil de 50 años.

5.1.2. Resultados del Objetivo Específico 1

Evaluar la viabilidad técnico - económica respecto a las características geotécnicas del muro de suelo reforzado con fibra de coco para la estabilización de taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, Tamburco, Abancay, Apurímac, 2023.

5.1.2.1. Investigación Geotécnica

Para este estudio, se analizaron 20 secciones mediante la excavación de 6 calicatas. A continuación, se detallan los datos obtenidos de las muestras de cada calicata.

5.1.2.2. Análisis Granulométrico

La granulometría se refiere a la distribución de las partículas de suelo según su tamaño. En la Tabla 10 se resume las características granulométricas de las muestras extraídas de las 6 calicatas.

Tabla 10

Resultados de análisis granulométrico

CALICATA		PROGRESIVA (km)	CLASIFICACIÓN		DESCRIPCIÓN
SÍMBOLO	MUESTRA		AASHTO	SUCS	
C - 1	M - 1	6+865-6+860	A-6 (6)	CL	Arcilla de Plasticidad Media
C - 2	M - 2	6+860-6+890	A-6 (7)	CL	Arcilla de Plasticidad Media
C - 3	M - 3	6+995-7+015	A-2-6 (0)	GM	Grava Arcillosa
C - 4	M - 4	7+015-7+030	A-6 (5)	CL	Arcilla de Plasticidad Media
C - 5	M - 5	7+030-7+065	A-4 (1)	CL	Arcilla de Plasticidad Media
C - 6	M - 6	7+065-7+090	A-4 (1)	CL	Arcilla de Plasticidad Media

Nota: Como se observa en la tabla 11 solo en el tramo 6+995-7+015, se ha encontrado grava arcillosa, mientras que los demás tramos son arcilla de plasticidad media.

5.1.2.3. Ensayo de Corte directo

Según el MTC (2016) estos ensayos proporcionan parámetros como el ángulo de fricción interna y la cohesión del suelo. La Tabla 11 presenta los valores obtenidos para cada muestra.

Tabla 11

Resultados de ensayo de corte directo

CALICATA		PROGRESIVA	Cohesión	Ángulo de Fricción
SÍMBOLO	MUESTRA	(km)	(Kg/m ²)	(Φ)
C - 1	M - 1	6+865-6+860	0.153	30
C - 2	M - 2	6+860-6+890	0.153	30
C - 3	M - 3	6+995-7+015	0.153	30
C - 4	M - 4	7+015-7+030	0.153	35
C - 5	M - 5	7+030-7+065	0.153	30
C - 6	M - 6	7+065-7+090	0.153	30

Nota: Como se observa en la tabla 11 el valor de la cohesión para todos los tramos es de 0.153, y el ángulo de fricción es de 30, a excepción del tramo 7+015-7+030, que tiene un ángulo de fricción de 35.

5.1.2.4. Peso Unitario

MTC (2016) menciona que: la densidad total de un agregado, que se obtiene al dividir la masa del agregado en estado seco entre el volumen que ocupa. Los resultados se aprecian en la tabla 12.

Tabla 12*Resultados de Peso Unitario*

CALICATA		PROGRESIVA	PESO UNITARIO	
SÍMBOLO	MUESTRA	(km)	gr/cm ³	KN/m ³
C - 1	M - 1	6+865-6+860	1.433	14.05
C - 2	M - 2	6+860-6+890	1.546	15.16
C - 3	M - 3	6+995-7+015	1.266	12.41
C - 4	M - 4	7+015-7+030	1.591	15.81
C - 5	M - 5	7+030-7+065	1.622	15.9
C - 6	M - 6	7+065-7+090	1.403	13.75

5.1.2.5. Parámetros geotécnicos

La tabla 13 detalla los parámetros geotécnicos del suelo retenido, el suelo de fundación y el material de relleno que se emplearán en el diseño del muro.

Tabla 13*Parámetros Geotécnicos*

Propiedades	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	Material de Relleno
Cohesión (KN/m ²)	0.153	0.153	0.153	0.153	0.153	0.153	1
Ángulo de Fricción (°)	30	30	30	35	30	30	35
Peso Unitario (KN/m ³)	14.05	15.16	12.41	15.81	15.9	13.75	27.32

Nota: Para el análisis de estabilidad de taludes con MSR, se tomará en cuenta los parámetros del material de relleno.

5.1.2.6. Propiedades del material de refuerzo

Las propiedades de los materiales de refuerzo se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14

Propiedades del material de refuerzo

	Geomalla	Geomalla	Geomalla	Geomalla	Geomalla
Descripción	Tipo V (J700MP)	Tipo IV (J1100MP)	Tipo III (J1600MP)	Tipo II (J2200MP)	Tipo I (J3000MP)
	Alcohol	Alcohol	Alcohol	Alcohol	Alcohol
Material	Polivinílico (PVA)	Polivinílico (PVA)	Polivinílico (PVA)	Polivinílico (PVA)	Polivinílico (PVA)
Deformación Máxima	< 5%	< 5%	< 5%	< 5%	< 5%
Módulo de Rigidez al 5% de deformación	>700 KN/m ²	>1100 KN/m ²	>1600 KN/m ²	>2200 KN/m ²	>3000 KN/m ²
Tamaño de abertura	MD-30.0 mm TD-20.0 mm	MD-30.0 mm TD-20.0 mm	MD-30.0 mm TD-20.0 mm	MD-30.0 mm TD-20.0 mm	MD-30.0 mm TD-20.0 mm
Características del Material	Resistente a la Radiación UV Coloración de Entorno	Resistente a la Radiación UV Coloración de Entorno	Resistente a la Radiación UV Coloración de Entorno	Resistente a la Radiación UV Coloración de Entorno	Resistente a la Radiación UV Coloración de Entorno

Nota: En el diseño del MSR, se usó la Geomalla Tipo V (J700MP), Geomalla Tipo IV (J1100MP), Geomalla Tipo III (J1600MP), Geomalla Tipo II (J2200MP), y Geomalla Tipo I (J3000MP).

5.1.2.7. Características de la fibra de coco

Ticona (2020) menciona que: la fibra de coco es un material natural, biodegradable y renovable, conocido por su alta resistencia a la tracción y su excelente capacidad para retener agua.

Las principales características que presenta son:

Permeabilidad: Permiten el paso del agua, lo que facilita el drenaje y evita la acumulación de agua en el talud, reduciendo el riesgo de deslizamientos.

Biodegradabilidad: Se descomponen con el tiempo, integrándose al suelo y formando una capa orgánica que beneficia el crecimiento de la vegetación.

Resistencia a la erosión: Evitan la erosión del suelo provocada por el viento y el agua, manteniendo la integridad del talud.

Favorecen la revegetación: Crean un microambiente favorable para el crecimiento de plantas, permitiendo la revegetación natural del talud y mejorando su estética.

Estabilización de taludes: Reducen el riesgo de deslizamientos y derrumbes, mejorando la seguridad de las estructuras cercanas.

Protección ambiental: Evitan la erosión del suelo, conservan la biodiversidad y contribuyen a la sostenibilidad ambiental.

Medidas:

Longitud: 50.4 m

Ancho: 2.4 m

Espesor: 38.5 cm

Peso: 48.87 Kg

5.1.3. Resultados del Objetivo Específico 2

Evaluar la viabilidad técnico - económica respecto a las condiciones geométricas del muro de suelo reforzado con fibra de coco, para la estabilización de taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, Tamburco, Abancay, Apurímac, 2023.

5.1.3.1. Geometría del Muro de Suelo Reforzado

Tabla 15

Geometría del muro de suelo reforzado

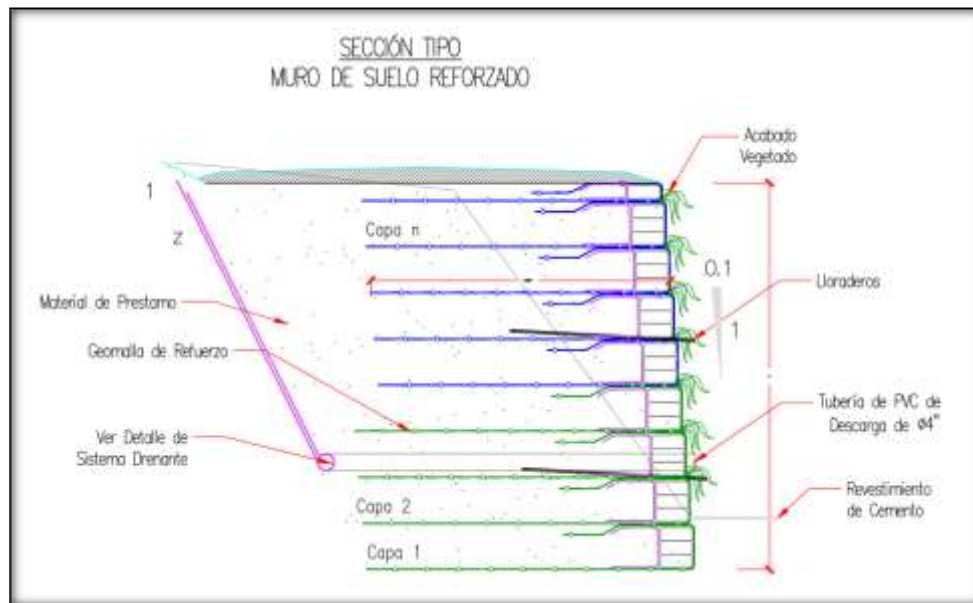
Geometría del muro de suelo reforzado			
Sección	Progresiva	Altura del muro (m)	Base del muro (m)
01	6+790.000	2.25	3.00
02	6+810.000	3.33	3.00
03	6+825.000	4.86	3.00
04	6+840.000	3.33	3.00
05	6+850.000	6.33	6.00
06	6+860.000	7.80	9.00
07	6+870.000	10.34	10.50
08	6+890.000	11.67	10.50
09	6+905.000	3.67	3.00
10	6+930.000	6.20	6.00
11	6+955.000	3.60	3.00
12	6+970.000	4.38	6.00
13	6+980.000	5.38	6.00
14	6+995.000	7.58	10.00
15	7+005.000	13.06	13.00
16	7+015.000	16.17	14.00
17	7+040.000	18.58	14.00
18	7+050.000	16.97	14.00
19	7+060.000	15.36	14.00
20	7+080.000	8.67	9.00

Nota: Se realizó la propuesta de la geometría del muro. Las dimensiones del muro (altura y base del muro) se muestran en la Tabla 15.

En la Figura 3, se muestra la sección transversal del MSR con la geometría propuesta.

Figura 3

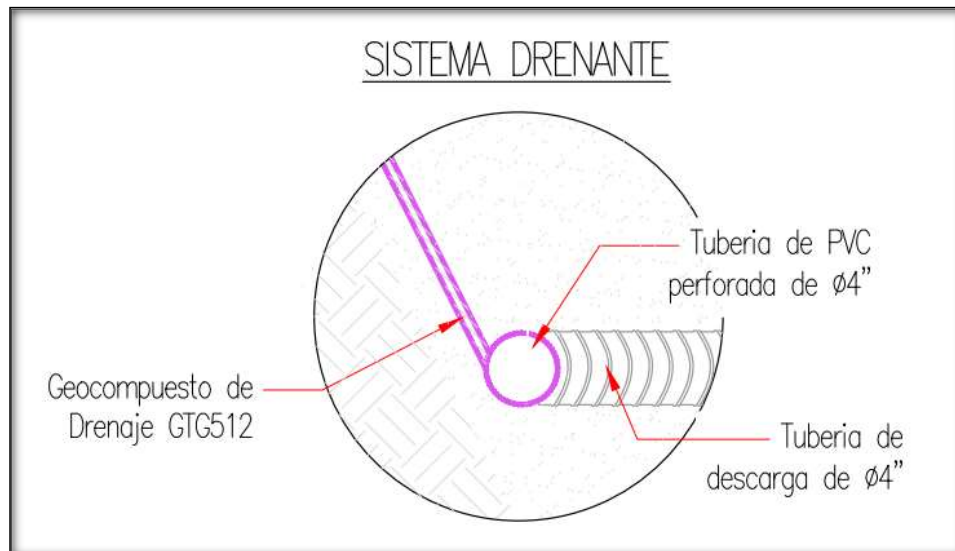
Sección tipo de muro de suelo reforzado



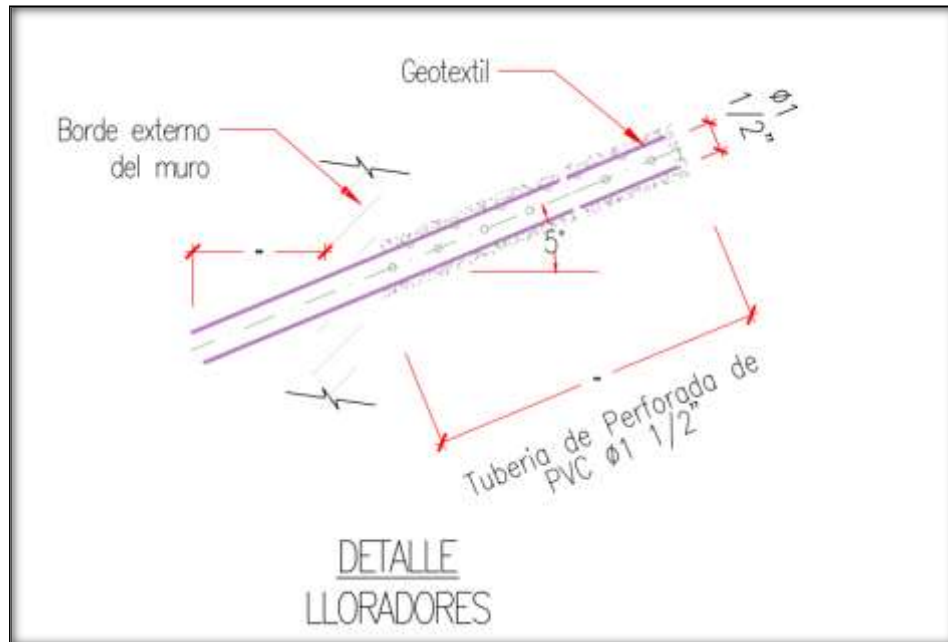
Nota: La estructura está compuesta por capas de suelo compactado de 0.20 m con refuerzos horizontales (geomallas) que proporcionan estabilidad y resistencia al talud.

Figura 4

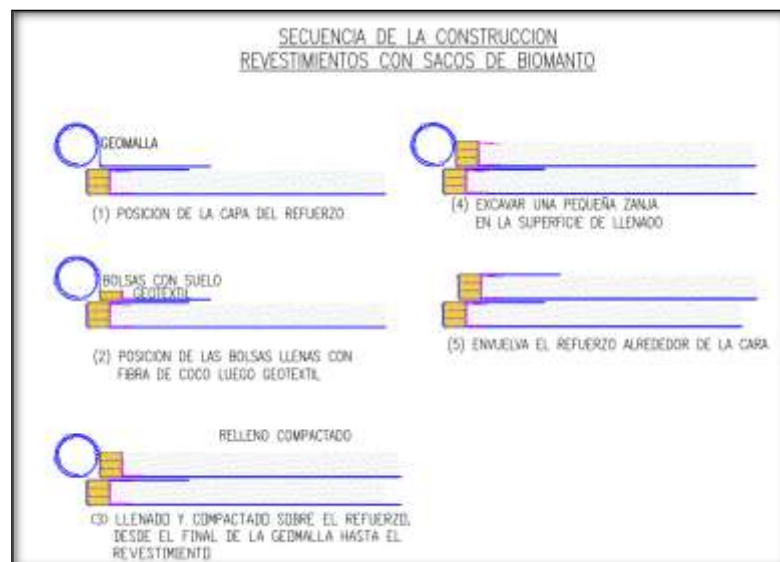
Sistema drenante



Nota: El sistema drenante está conformado por membranas de drenaje, que se colocan entre las capas de suelo reforzado para facilitar el flujo del agua y evitar la acumulación de agua en el interior del muro.

Figura 5*Detalle de lloradores*

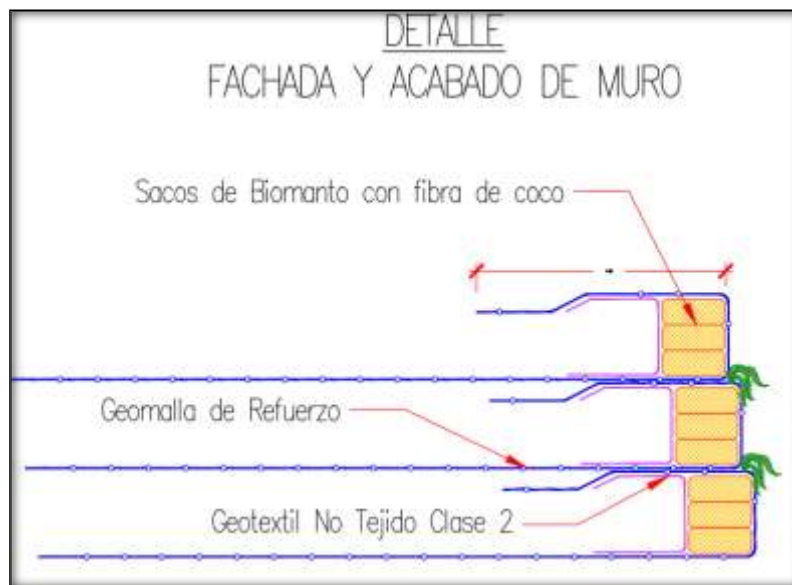
Nota: Posteriormente pasan por una red de tuberías perforadas que recolectan el efluente que ingresa a la estructura y lo conducen a puntos de descarga seguros (lloradores).

Figura 6*Secuencia de construcción de revestimiento con biomanto*

Nota: Se ha considerado sacos de biomanto de fibra de coco, lo que facilita que el agua y el aire fluyan, lo que es vital para el desarrollo de la vegetación.

Figura 7

Detalle de fachada y acabado de muro



Nota: Para el acabado del muro se considera una capa de cemento sobre la cara frontal del muro de suelo reforzado para protegerlo de la erosión y mejorar su apariencia.

Finalmente, una capa de tierra y vegetación que se coloca sobre la parte superior del muro para integrarlo con el paisaje natural y proporcionar beneficios ecológicos.

5.1.3.2. Diseño del muro de suelo reforzado

Condiciones de sobrecarga

Como carga de prueba se ha estimado una sobrecarga de tráfico vehicular, considerando 30 KN/m^2 en la parte superior del MSR.

5.1.4. Resultados del Objetivo Específico 3

Realizar el análisis de estabilidad de taludes del uso de muro de suelo reforzado con fibra de coco, para la estabilización de taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, Tamburco, Abancay, Apurímac, 2023.

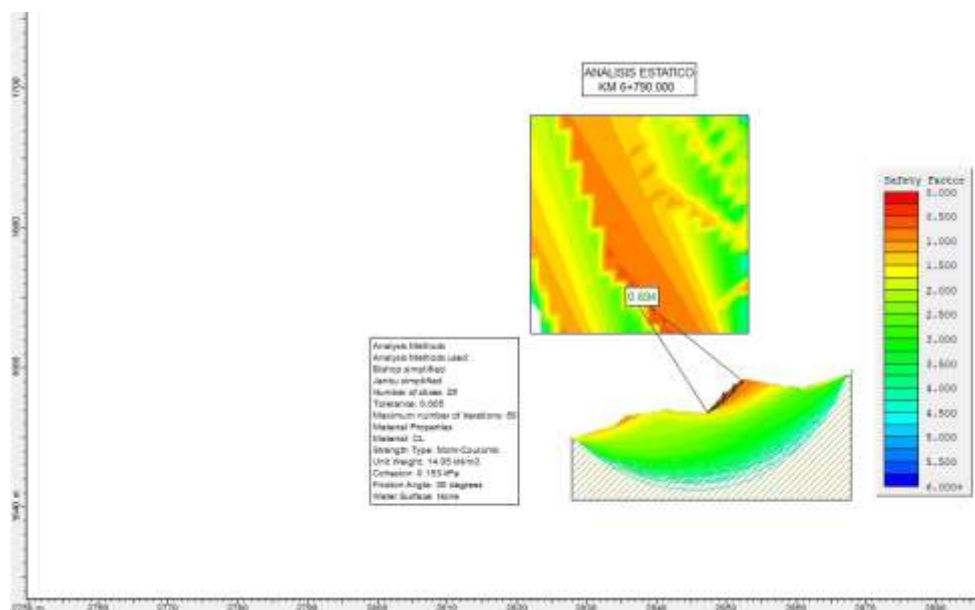
5.1.4.1. Análisis de estabilidad del talud natural

Posterior a la determinación de las propiedades del terreno natural, se procedió al cálculo de la estabilidad global del talud natural usando la herramienta Slide 6.0.

El análisis del talud abarco un estudio de 20 secciones, las cuales fueron evaluadas en condición estática y pseudo - estática haciendo uso del método de Bishop, puesto que este procedimiento es más estricto ya que toma en cuenta todas las condiciones de equilibrio, Braja M. Das (2016). Los FS adquiridos en el análisis estático y pseudo - estático de las secciones mediante la herramienta Slide 6.0 se aprecian en el Anexo E. La Tabla 16 muestra el resumen de los resultados

Figura 8

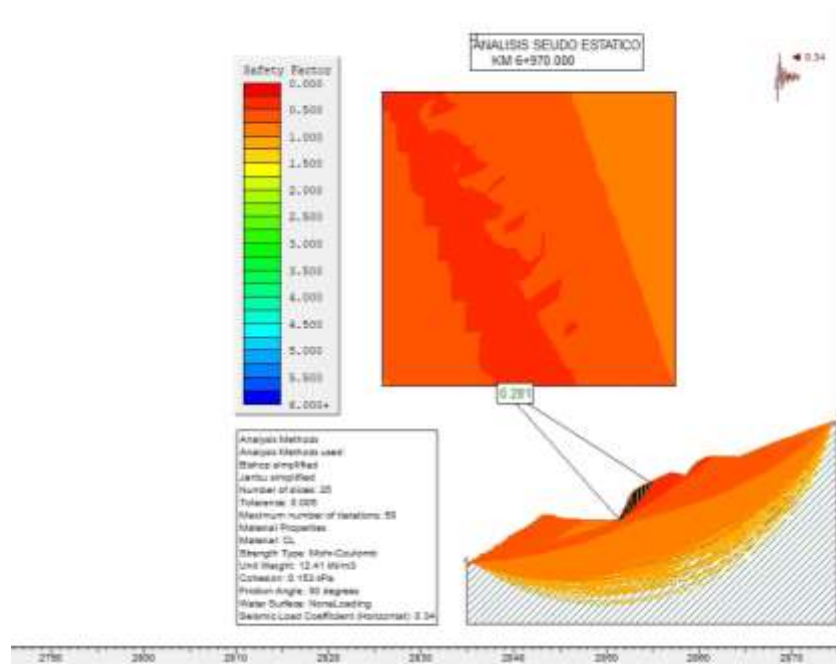
Análisis Estático Km 6+790-talud natural



Nota: Del análisis estático realizado mediante el software SLIDE 6.0, se halló un FS de 0.694.

Figura 9

Análisis Pseudo estático del Km 6+790-talud natural



Nota: Del análisis pseudo estático realizado mediante el software SLIDE 6.0, se halló un FS de 0.281.

Tabla 16*Análisis de estabilidad en talud natural*

Análisis de estabilidad del talud natural		
Sección	Análisis Estático	Análisis Pseudo Estático
01	0,694	0,281
02	1,303	0,702
03	1,498	0,25
04	0,96	0,419
05	1,924	0,438
06	0,766	0,415
07	0,724	0,399
08	0,968	0,811
09	0,625	0,33
10	0,533	0,276
11	0,567	0,294
12	0,541	0,281
13	0,649	0,35
14	0,968	0,52
15	0,857	0,21
16	0,427	0,659
17	1,246	0,458
18	0,851	0,455
19	0,924	0,486
20	1,395	0,683

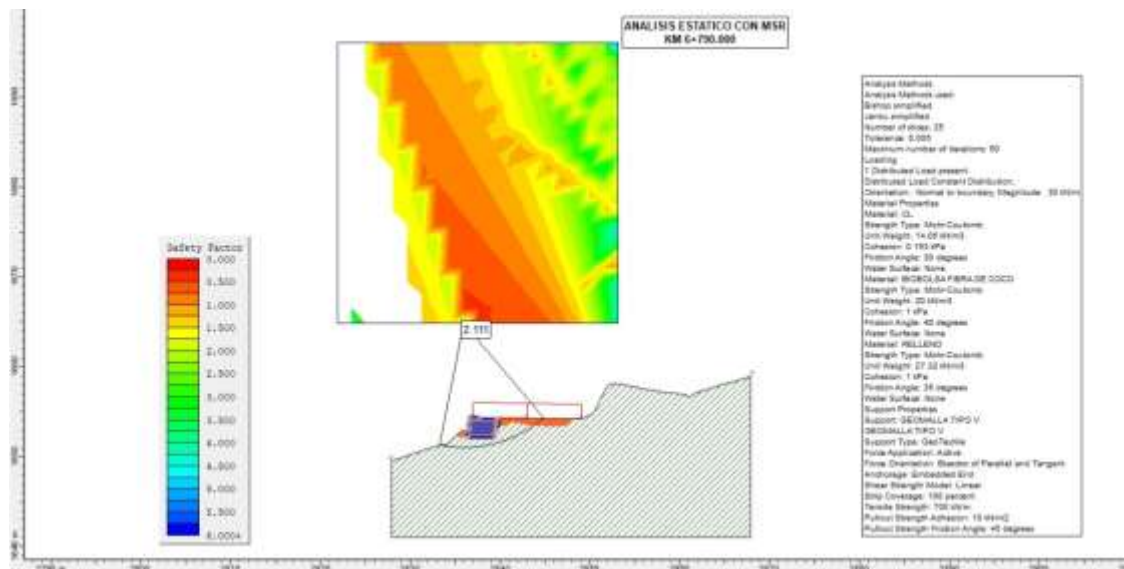
Nota: Según la norma CE.0.20, el FS mínimo en condición estática debe ser $FS = 1.50$ y en condición pseudo - estática, debe ser $FS = 1.3$. En la Tabla 16, se observa que la sección 3 y sección 5 son estables en condiciones estáticas. Sin embargo, en condición sísmica presentan un valor menor al mínimo requerido. Y para el resto de las secciones no se cumple con el mínimo requerido en ambas condiciones. Por tal motivo, se realizó la propuesta de diseño de MSR.

5.1.4.2. Análisis de Estabilidad del Talud con MSR

Una vez que se ha determinado el diseño del MSR, se elaboró el modelado aplicando la herramienta Slide 6.0.

Figura 10

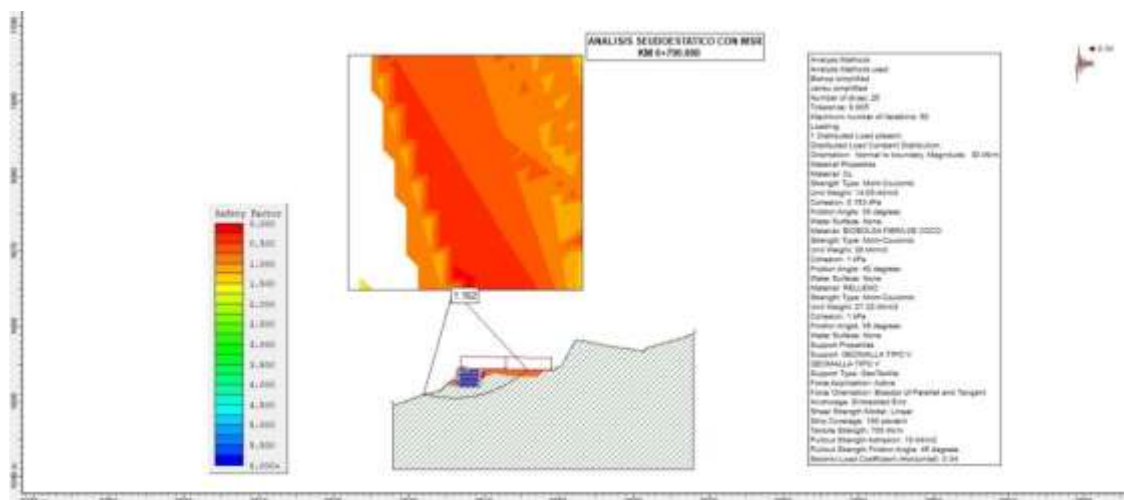
Análisis Estático Km 6+790-talud con MSR



Nota: Del análisis estático realizado mediante el software SLIDE 6.0, se halló un FS de 2.111.

Figura 11

Análisis Pseudo Estático Km 6+790-talud con MSR



Nota: Del análisis pseudo estático realizado mediante el software SLIDE 6.0, se halló un FS de 1.162.

Los FS generados en el análisis estático y pseudo - estático de las secciones en análisis se dieron mediante la herramienta Slide 6.0 os cuales se aprecian en el Anexo F. El resumen de los resultados se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17

Análisis de estabilidad de taludes con MSR

Análisis de estabilidad del talud con MSR		
Sección	Análisis Estático	Análisis Pseudo Estático
01	2,111	1,162
02	1,68	1,133
03	2,97	1,452
04	3,866	2,084
05	1,469	0,853
06	64,049	4,225
07	14,548	1,987
08	-	-
09	2,462	1,64
10	4,219	1,782
11	2,034	1,215
12	2,096	1,097
13	1,718	1,088
14	3,389	1,522
15	-	-
16	-	-
17	-	-
18	-	-
19	-	-
20	2,058	1,408

Nota: De los FS obtenidos, solo 13 se consideran para el análisis de resultados.

5.1.5. Resultados del Objetivo Específico 4

Realizar el análisis de costo - efectividad del uso de muro de suelo reforzado con fibra de coco, para la estabilización de taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, Tamburco, Abancay, Apurímac, 2023.

5.1.5.1. Estimación de Costos

Muro de Suelo Reforzado (MSR)

- **Metrados**

De acuerdo con el diseño del MSR, se ha determinado los materiales necesarios para su construcción, y las cantidades de cada uno de estos, obteniendo los datos de la tabla 18.

Tabla 18

Metrados para la construcción de un MSR

N°	Elemento	Unidad	Cantidad	Medidas		Total
				Traslape	Longitud	
01	MURO 01 PROGRESIVA 6+790 A 7+090 L= 300.00 ml					
	Excavación	M3	1		11.658,57	11.658,57
	Relleno	M3	1		48.986,32	48.986,32
	Geomalla Tipo I	M2	1	1,10	5.005,10	5.505,61
	Geomalla Tipo II	M2	1	1,10	11.339,12	12.473,03
	Geomalla Tipo III	M2	1	1,10	14.097,44	15.507,18
	Geomalla Tipo IV	M2	1	1,10	15.192,54	16.711,79
	Geomalla Tipo V	M2	1	1,10	22.915,46	25.207,01
	Geotextil Clase 2	M2	1	1,10	9.668,45	10.635,29
	Dren	M2	1	1,10	3.987,13	4.385,84
	Biobolsa de fibra de coco	UND	1	1,05	31.897,00	33.491,85
	Tubería Perforada de PVC 6"	M	1	1,02	352,60	359,65
	Tubería de descarga de PVC 6"	M	1	1,02	162,27	165,52
	Tubería Perforada de PVC 1 1/2"	UND	1	1,02	415,00	423,30

Nota: De los metrados calculados, se puede obtener el presupuesto para la construcción del MSR.

- **Presupuesto**

De acuerdo con los metrados realizados, se ha determinado el presupuesto necesario para la construcción del MSR, el detalle se encuentra en la tabla 19.

Tabla 19

Presupuesto de MSR

PRESUPUESTO MSR				
MSR PROGRESIVA 6+790 A 7+090 L= 300.00 ml				
DENOMINACIÓN	UND	METRADO	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Excavación	M3	11658,57	S/ 11,92	S/ 138.970,17
Relleno	M3	48986,32	S/ 38,38	S/ 1.880.095,02
Geomalla Tipo I	M2	5505,61	S/ 15,18	S/ 83.575,16
Geomalla Tipo II	M2	12473,03	S/ 15,18	S/ 189.340,63
Geomalla Tipo III	M2	15507,18	S/ 15,18	S/ 235.399,05
Geomalla Tipo IV	M2	16711,79	S/ 15,18	S/ 253.685,03
Geomalla Tipo V	M2	25207,01	S/ 15,18	S/ 382.642,35
Geotextil Clase 2	M2	10635,29	S/ 15,18	S/ 161.443,72
Dren	M2	4385,84	S/ 43,84	S/ 192.275,12
Biobolsa de fibra de coco	UND	33491,85	S/ 16,73	S/ 560.318,65
Tubería Perforada de PVC 6"	M	359,65	S/ 43,47	S/ 15.634,07
Tubería de descarga de PVC 6"	M	165,52	S/ 43,47	S/ 7.195,08
Tubería Perforada de PVC 1 1/2"	UND	423,30	S/ 43,47	S/ 18.400,85
			TOTAL	S/ 4.118.974,90

Nota: El presupuesto total asciende a 4,118,974.90 de soles, mientras que el costo por metro lineal se calcula en 13,729.92 soles.

Muro de Concreto Armado (MCA)

- **Metrados**

De acuerdo con el diseño del MCA, se ha determinado los materiales necesarios para su construcción, y las cantidades de cada uno de estos, obteniendo los datos de la tabla 20.

Tabla 20

Metrados para la construcción de un-MCA

MCA	MURO DE CONCRETO ARMADO		
MCA 01	Excavación de muro de concreto armado y ciclópeo	m3	17.274,42
MCA 02	Relleno de muro de concreto armado y ciclópeo	m3	13.972,74
MCA 03	Colocación concreto muro armados	m3	4.507,97
MCA 04	Colocación concreto muro ciclópeos	m3	1.049,42
MCA 05	Colocación acero de refuerzo	kg	223.851,81
MCA 06	Encofrado y Desencofrado	m2	10.278,76
MCA 07	Geotextil clase 2	m2	3.862,02
MCA 08	Capa filtrante	m3	1.045,18
MCA 09	Material impermeable	m3	121,49
MCA 10	Juntas de dilatación	m2	1.023,86
MCA 11	Emboquillado de piedra	m3	13,83
MCA 12	Tubería perforada y no perforada	m	1.890,62

Nota: De los metrados calculados, se puede obtener el presupuesto para la construcción del MCA

- **Presupuesto**

De acuerdo con los metrados realizados, se ha determinado el presupuesto necesario para la construcción del MCA, el detalle se encuentra en la tabla 21.

Tabla 21*Presupuesto de MCA*

MCA	MURO DE CONCRETO ARMADO				4.369.363,85
MCA 01	Excavación de muro de concreto armado y ciclópeo	m3	17.274,42	11,92	205.911,03
MCA 02	Relleno de muro de concreto armado y ciclópeo	m3	13.972,74	38,38	536.273,57
MCA 03	Colocación concreto muro armado	m3	4.507,97	339,48	1.530.368,27
MCA 04	Colocación concreto muro ciclópeos	m3	1.049,42	345,46	362.535,30
MCA 05	Colocación acero de refuerzo	kg	223.851,81	4,24	949.131,68
MCA 06	Encofrado y desencofrado	m2	10.278,76	54,00	555.053,23
MCA 07	Geotextil clase 2	m2	3.862,02	4,99	19.271,49
MCA 08	Capa filtrante	m3	1.045,18	78,27	81.806,00
MCA 09	Material impermeable	m3	121,49	19,29	2.343,55
MCA 10	Juntas de dilatación	m2	1.023,86	26,56	27.193,62
MCA 11	Emboquillado de piedra	m3	13,83	245,74	3.397,60
MCA 12	Tubería perforada y no perforada	m	1.890,62	50,82	96.078,51

Nota: El presupuesto total asciende a 4,369,363.85 de soles, mientras que el costo por metro lineal se calcula en 14,564.54 soles.

- **Comparación de Costos**

Tabla 22

Comparación de Costos

MSR	MCA	Diferencia	%
4.118.974,90	4,369,363.85	250,388.95	5.73

Nota: De acuerdo con la tabla 22, se observa que el costo de la construcción de un MCA, dadas las condiciones que presenta el talud en el tramo 6+790-7+090, representa un 5.73 % más de gasto que la construcción de MSR con fibra de coco.

- **Estimación de Beneficios**

La ruta nueva nacional PE-03S, correspondientes al proyecto de construcción de la Vía de Evitamiento de la ciudad de Abancay, ayuda a la integración comercial y cultural con acceso a los distintos mercados a nivel internacional, regional, provincial y distrital. La construcción de la Vía de Evitamiento de la Ciudad de Abancay (nueva ruta nacional PE-03S), contribuye a la integración cultural y comercial de acceso a los diversos mercados: internacional (Brasil), regional, interprovincial y distrital, permitiendo el emplazamiento del sobrante de la producción agropecuaria, además de proporcionar seguridad y confianza a los pobladores que hacen uso de la ruta. (VERA & MORENO S.A., 2016)

Entre los principales beneficios se han identificado los siguientes:

- **Generación directa de puestos laborales**
- **Dinamización de la economía local**
- **Efectos en la salud**
- **Reducción de costos de transporte:**

Con la fase de ejecución de la vía, se reducirán los tiempos de viaje, en consecuencia, menor consumo de combustible, y menor desgaste de vehículos. Ahora bien, si observamos a detalle los beneficios son incalculables, pero basándonos en uno de

ellos que será el más significativo y notorio económicamente hablando, analizaremos el costo beneficio de la reducción de los costos de transporte, basándonos en el cálculo del gasto de combustible de transporte por el tramo evaluado (300 m), y el cálculo del gasto de transporte que ocasionaría realizar el transporte por el tramo actual, que por su actual sinuosidad alcanza una longitud de 325 m. Es así que, de acuerdo al estudio de tráfico realizado por el proyecto, se deriva que distribución promedio del tráfico de acceso a la ciudad de Abancay el IMD es de 4080 vehículos /día (VERA & MORENO S.A., 2016), por otro lado se hace el cálculo aproximado de consumo de combustible por vehículo, en el tramo actual y el tramo evaluado, así mismo el costo, se ha establecido de acuerdo al precio de mercado actual, seguidamente se realizó el cálculo de la cantidad de kilómetros recorridos en el periodo de diseño (20 años), multiplicando la cantidad de vehículos por los kilómetros recorridos por vehículo, esto por 365 días y 20 años. Por último, se calculó el costo que representaría este recorrido en el periodo de diseño, de esta manera pudimos obtener el costo estimado por reducción de consumo de combustible, los resultados se muestran en la tabla 23.

Tabla 23

Cálculo del Valor de Reducción de Gasto de Combustible

Tramo evaluado	Cantidad de vehículo s/ día	Km recorridos/vehículo	Galones	Costo	Gasto por Kilómetro	Km recorridos por el periodo de diseño	Gasto por periodo de diseño (20 años)
Tramo actual	4080	0,325	0,13	S/ 1,95	S/ 6,000	9679800	S/ 58.078.800,000
Tramo de MSR	4080	0,300	0,12	S/ 1,80	S/ 6,000	8935200	S/ 53.611.200,000
Costos Estimados de Reducción por gasto de combustible							S/ 4.467.600,000
Porcentaje de Reducción por gasto de combustible							8%

Nota: De la tabla 23 se obtiene que el monto estimado de reducción por gasto de combustible es de 4.467.600,000 soles para el periodo de diseño de 20 años.

Tabla 24*Cálculo de Costo Beneficio*

Cálculo de Costo Beneficio	
Inversión	S/ 4.118.974,900
Beneficios	S/ 4.467.600,000
Porcentaje de beneficios con respecto a la inversión	108%

Nota: En la tabla 24 comparamos el costo de inversión con el gasto de reducción obtenido en la tabla anterior, obteniéndose así que los beneficios representan 108 % de la inversión, superando así en un 8% a la inversión realizada para la construcción del MSR, por lo que, se puede deducir que la inversión es rentable.

5.2. Discusión de Resultados

Según Torrez (2024), al igual que esta investigación se enfoca en el estudio de la estabilidad de taludes mediante el uso de muros de suelo reforzado (MSR). Sin embargo, presentan diferencias significativas en la metodología aplicada y los resultados generados, en ambas investigaciones se ha realizado el análisis estático y pseudoestático, obteniendo ambos resultados en el análisis estático, obtienen valores mayores a 1.5 en cuanto al FS, y en el análisis pseudoestático, mayor a 1.3. Corroborando así que el diseño propuesto es seguro y confiable para la estabilización de taludes.

Por su parte, Cañas (2021) obtuvo que, en relación de un muro cuya altura es de 18m los métodos simplificado y PLAXIS generan un factor de seguridad de 1.22 en cambio, Fellenius proporcionaron un valor de 1.41, y para el muro de 12m por el método simplificado dieron un factor de seguridad de 1.39, ligeramente mayor al obtenido en PLAXIS, 1.38, lo cual difiere de la investigación ya que a través del software SLIDE 6.0 se determina el FS a través del método BISHOP, factores de seguridad que varían desde 0.853 hasta 14.548

Sin embargo, ambas investigaciones validan la viabilidad de muros de contención para la estabilidad de taludes.

Salazar (2019) determinó que la construcción de MSR presentó un Valor Actual Neto (VAN) significativamente mayor, US\$ 1'379,428.42, que el concreto armado: US\$ 3'751,615.66 y estructura metálica: US\$ 2'481,571.62. de esta manera concluyó que los MSR son una opción más rentable, demostrando así su viabilidad económica. Estos resultados avalan el análisis de costo beneficio que se realizó en la investigación en desarrollo, donde se calculó que el costo de la construcción de un MCA, representa un 5.73 % más de gasto que la construcción de un MSR con fibra de coco. Por lo tanto, ambas investigaciones confirman la viabilidad económica de la construcción de un MSR en comparación a un MCA.

Por otro lado, Herrera (2023) utilizó los programas Slide V.6 y Geo5. Los resultados mostraron que los taludes sin el muro presentaban factores de seguridad inferiores a 1.5, y de igual forma en condiciones sísmicas, menores a 1.3, mientras que al incorporar el MSR, los factores de seguridad alcanzaron los valores permisibles. De esta manera, demostró la efectividad de los MSR para estabilizar taludes en zonas con alta susceptibilidad a movimientos en masa. De manera muy similar se ha realizado el análisis de estabilidad de taludes a través del software SLIDE V 6.0, a través del cual se obtuvo que las secciones evaluadas en su mayoría no superan el FS mínimo (1.5 en caso del análisis estático y 1.3 en el caso de análisis pseudoestático), mientras que, con el MSR, sucede todo lo contrario, garantizando así la estabilidad del talud del tramo evaluado.

En tanto, Cabrera & Falcon (2019) quienes realizaron un prediseño de un MSR, y utilizaron el programa MacStar 2000, determinaron un FS en condición estática de entre 1.923 y 2.143, y en condición pseudo estática, de 1.319 hasta 4.831. Por otra parte, el presupuesto de construcción de un MSR de 64 metros, ascendió a un monto de 472.270,27. Mientras que para esta investigación se halló un FS en condición estática de entre 1.46 y 14.548, y en condición pseudoestática, de 0.853 hasta 4.225. Por otra parte,

el presupuesto de construcción de un MSR con incorporación de fibra de coco, de una longitud de 300 metros asciende a un monto de S/ 4.118.974,90.

Así también, Herrera & Silva (2021), **compararon** el muro con gaviones y el MSR con la metodología terramesh, donde identificaron que el MSR tuvo un tiempo de ejecución de 222 días, y el muro con gaviones, un tiempo de ejecución de 122 días. En cuanto al análisis económico, determinaron que, en el tramo I, el muro de gaviones resulta 1 % más económico que el MSR. Mientras que en el tramo II, el MSR es 2.5% más económico que el muro de gaviones y en el tramo III el MSR es 11.0% más económico que el de gaviones, concluyendo que los MSR son más solventes en alturas superiores a los 4 m, ya que en los tramos II y el tramo III los taludes superaban estas alturas. Estos resultados apoyan la investigación, en cuanto a la viabilidad económica, sin embargo en nuestro caso se compara el costo de construcción con un MCA, y que representa un 5.73 % más de gasto que la construcción de un MSR con fibra de coco. Podemos deducir, que ambas investigaciones coinciden en la viabilidad económica de un MSR, con respecto a 2 diferentes métodos.

Por otra parte, Gamero (2023) realizó el diseño de un muro de suelo reforzado con geomallas de 82 metros de longitud, indicó que el diseño propuesto de un MSR con geomallas garantizó la estabilidad del muro ante las cargas estáticas y sísmicas, superando los límites mínimos de un FS, 1.5 para estabilidad estática y 1.3 , para estabilidad pseudo estática, corroborando así lo determinado en la presente investigación, obteniendo ambos resultados en el análisis estático, valores mayores a 1.5, y en el análisis pseudoestático, mayor a 1.3.

Por último, Quispe & Reyes (2021), Como **resultado**, determinaron que, el FS global del muro de gaviones presentó mejores resultados en comparación al MSR, en un 11.1% en el FS estático y 24.6% en FS pseudo estático; para el FS al volteo el MSR presentó resultados superiores en 36.09% al muro de gaviones para FS estático y 27.5% para un FS pseudo estático; para el FS al deslizamiento, el MSR registró resultados

superiores en 40.8% al muro de gaviones para FS estático y 8.1% para FS pseudo estático. Por otro lado, para el MSR, se estimó un presupuesto de S/. 357,824.28 y para el muro de gaviones S/. 348,683.16, por lo que determinaron que el muro de gaviones era la mejor opción. Esta investigación difiere con estos resultados ya que como se observa el FS, presento resultados superiores al muro de gaviones en la estabilidad al volteo y al deslizamiento, lo que se determinó también con nuestra investigación, donde se obtuvo que las secciones evaluadas en su mayoría superan el FS mínimo (1.5 en el caso del análisis estático y 1.3 en el caso de análisis pseudoestático), además en comparación de costos del MSR a un MCA, es menor a 5.73 %, y en la investigación de Quispe % Reyes la diferencia de costos es tan solo de 9,141.12 soles, lo que representa una cantidad ínfima, por lo que no se concuerda con estos resultados.

5.3. Prueba de Hipótesis

Hipótesis General

Ha: El uso de Muro de Suelo Reforzado, con fibra de coco, es técnica y económicamente viable, para la estabilidad de taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, Tamburco, Abancay, Apurímac, 2023.

Ho: El uso de Muro de Suelo Reforzado, con fibra de coco, no es técnica y económicamente viable, para la estabilidad de taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, Tamburco, Abancay, Apurímac, 2023.

Regla de decisión:

Si se cumple HE1, HE2, HE3 Y HE4, entonces aceptamos Ha y rechazamos Ho

Si no se cumple HE1, HE2, HE3 o HE4, entonces aprobamos Ho y negamos Ha

Tabla 25*Contrastación de la Hipótesis General*

Contrastación de Hipótesis General	
	Cumple
Hipótesis Específica 1	Si
Hipótesis Específica 2	Si
Hipótesis Específica 3	Si
Hipótesis Específica 4	Si

Nota: Para la verificación de esta hipótesis se recurrió al análisis deductivo, donde, de acuerdo la tabla 25, tanto la HE1, la HE2, la HE3 y la HE4, se cumplen. Por ende, para la hipótesis general aceptamos la hipótesis alterna, El uso de MSR, con fibra de coco, es técnica y económicamente viable, para la estabilidad de taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, Tamburco, Abancay, Apurímac, 2023, y cumpliéndose así con la hipótesis general de la investigación.

Hipótesis Específica 1

Ha: Las características geotécnicas del muro de suelo reforzado con fibra de coco, son viables técnica y económicamente, para la estabilización de taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, Tamburco, Abancay, Apurímac, 2023.

Ho: Las características geotécnicas del muro de suelo reforzado con fibra de coco, no son viables técnica y económicamente, para la estabilización de taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, Tamburco, Abancay, Apurímac, 2023.

Al verificar que se cuentan con las principales características geotécnicas para el diseño de un MSR, se comprueba la Ha: Las características geotécnicas del muro de suelo reforzado con fibra de coco, son viables técnica y económicamente, para la estabilización de taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, Tamburco, Abancay, Apurímac, 2023.

Hipótesis Específica 2

Ha: Las condiciones geométricas del muro de suelo reforzado con fibra de coco, son viables técnica y económicamente, para la estabilización de taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, Tamburco, Abancay, Apurímac, 2023.

Ho: Las condiciones geométricas del muro de suelo reforzado con fibra de coco, no son viables técnica y económicamente, para la estabilización de taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, Tamburco, Abancay, Apurímac, 2023.

Al verificar las condiciones geométricas requeridas para el diseño de un MSR, se comprueba la Ha: Las características geométricas del muro de suelo reforzado con fibra de coco, son viables técnica y económicamente, para la estabilización de taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, Tamburco, Abancay, Apurímac, 2023.

Hipótesis Específica 3

- **Análisis Estadístico Inferencial**

Prueba de Normalidad

Ho: La distribución es normal

Ha: La distribución no es normal

Regla de decisión:

Si $P\text{-valor} < 0.05$, entonces aceptamos Ha y rechazamos Ho

Si $P\text{-valor} > 0.05$, entonces aceptamos Ho y rechazamos Ha

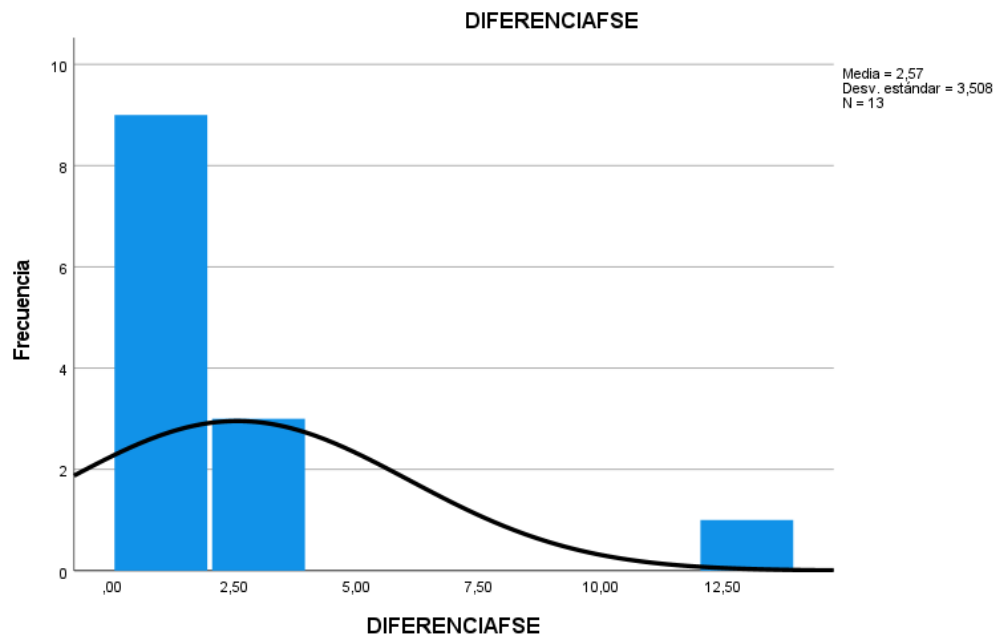
Tabla 26*Prueba de Normalidad para muestras menores a 50*

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	GI	Sig.
DIFERENCIAFSE	0,307	13	0,001	0,553	13	0,000
DIFERENCIAFSSE	0,129	13	0,200*	0,945	13	0,530

Nota: Datos Obtenidos del SPSS. Como, se muestra en la tabla 26, uno de los valores de significancia para el análisis estático es menor a 0.05, por lo tanto, se satisface con la hipótesis alterna, se considera que la distribución no es normal, por lo que se realizaran pruebas no paramétricas.

Figura 12

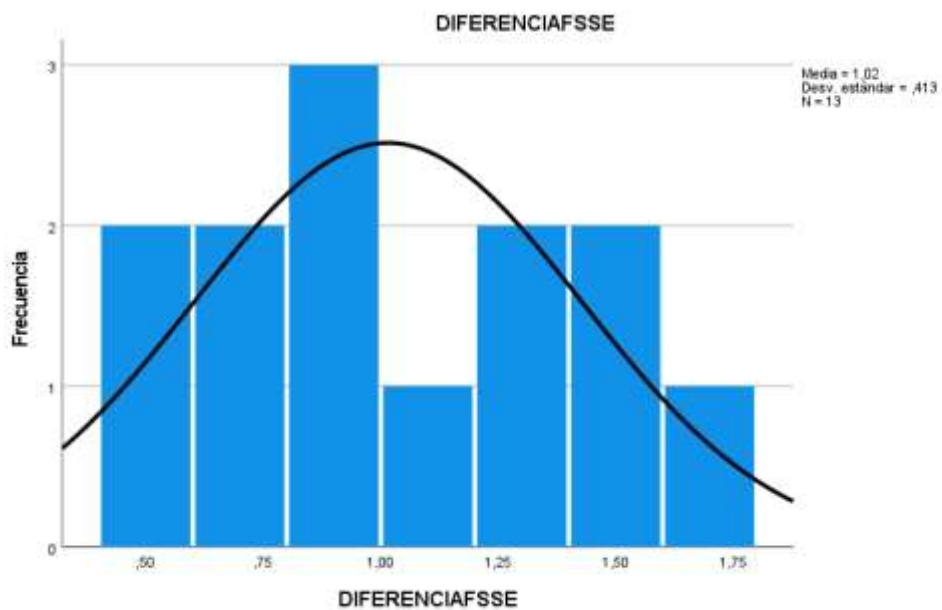
Curva de Normalidad para el FS estático



Nota: En la figura 12, se evidencia que, para el análisis estático, la curva no representa una distribución normal.

Figura 13

Curva de Normalidad para el FS pseudo estático



Nota: En la figura 13, se aprecia que para el análisis pseudo estático, la curva representa una distribución normal.

Ahora bien, para determinar si El uso de muro de suelo reforzado con fibra de coco mejora significativamente la estabilidad de los taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, Tamburco, Abancay, Apurímac, 2023, realizamos la prueba estadística no paramétrica, de T-de Wilcoxon.

Tabla 27

Resultados de Prueba de T-Wilcoxon

		Rangos		
		N	Rango promedio	Suma de rangos
FSEMSR - FSETN	Rangos negativos	0 ^a	0,00	0,00
	Rangos positivos	13 ^b	7,00	91,00
	Empates	0 ^c		
	Total	13		
FSSEMSR - FSSETN	Rangos negativos	0 ^d	0,00	0,00
	Rangos positivos	13 ^e	7,00	91,00
	Empates	0 ^f		
	Total	13		

a. FSEMSR < FSETN, b. FSEMSR > FSETN, c. FSEMSR = FSETN, d. FSSEMSR < FSSETN, e. FSSEMSR > FSSETN, f. FSSEMSR = FSSETN

Nota: Datos Obtenidos del SPSS. El FS mostro diferencias estadísticamente significativas en el FS en el análisis estático; donde se tiene 0 rangos negativos (FSEMSR < FSETN) y 13 rangos positivos (FSEMSR > FSETN). En el caso del análisis pseudo estático; se tiene 0 rangos negativos (FSSEMSR < FSSETN) y 13 rangos positivos (FSSEMSR > FSSETN).

- **Contrastación de Hipótesis Específica 3**

Ha: La aplicación de muro de suelo reforzado con fibra de coco mejora significativamente la estabilidad de los taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, Tamburco, Abancay, Apurímac, 2023.

Ho: La aplicación de muro de suelo reforzado con fibra de coco no mejora significativamente la estabilidad de los taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, Tamburco, Abancay, Apurímac, 2023.

Regla de decisión:

Si Sig. asin. < 0.05, entonces aceptamos Ha y rechazamos Ho

Si Sig. asin. > 0.05, entonces aceptamos Ho y rechazamos Ha

Tabla 28

Contrastación de Hipótesis Específica 3

	Estadísticos de prueba	
	FSEMSR - FSETN	FSSEMSR - FSSETN
Z	-3,180 ^b	-3,180 ^b
Sig. asin. (bilateral)	0,001	0,001
a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon		
b. Se basa en rangos negativos.		

Nota: Datos Obtenidos del SPSS. De acuerdo con la correlación hallada en la prueba T-de Wilcoxon, se tiene un valor de 0.001, de significancia, tal como lo indica la tabla 28.

Entonces para la hipótesis Específica 3 aceptamos la hipótesis alterna el uso de muro de suelo reforzado con fibra de coco mejora significativamente la estabilidad de los taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, Tamburco, Abancay, Apurímac, 2023, cumpliéndose con la hipótesis de la investigación.

Hipótesis Específica 4

Ha: El uso de muro de suelo reforzado con fibra de coco es una solución con costo-efectividad significativo para la estabilización de taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, Tamburco, Abancay, Apurímac, 2023.

Ho: El uso de muro de suelo reforzado con fibra de coco no es una solución con costo-efectividad significativo para la estabilización de taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, Tamburco, Abancay, Apurímac, 2023.

- **Regla de decisión:**

Si costo MSR < costo MCA, entonces aceptamos Ha y rechazamos Ho

Si costo MSR > costo MCA, entonces aceptamos Ho y rechazamos Ha

Tabla 29

Contrastación de Hipótesis Específica 4

Costos de MSR y MCA		
Tipo de Muro	MSR	MCA
Costos	4,118,974.90	4,369,363.85

Nota: Para la contratación de esta hipótesis se hizo uso del análisis deductivo, donde, de acuerdo con la tabla 29, el costo del MSR es menor al costo del MCA.

Por lo tanto, para la hipótesis Específica 4 aceptamos la hipótesis alterna, el uso de MSR, con fibra de coco, es una solución con costo-efectividad significativa, para la estabilidad de taludes en la vía de evitamiento, Leonpampa, Tamburco, Abancay, Apurímac, 2023, confirmándose la hipótesis de la investigación.

VI. Conclusiones

Conclusión para el objetivo general

Se analizó técnica y económicamente el uso de muro de suelo reforzado, se evaluó la viabilidad técnico-económica respecto a las características geotécnicas y condiciones geométricas, se realizó el análisis de estabilidad y finalmente también se realizó el análisis de costo-efectividad del uso de muro de suelo reforzado con fibra de coco obteniendo resultados favorables, de manera técnica se cumple con el FS mínimo, y de manera económica se obtienen beneficios significativos, además el MSR es más económico que un MCA.

Conclusión para el objetivo específico 1

Se ha evaluado las características geotécnicas del tramo los cuales son técnicamente adecuadas para optar por un MSR, además, el material de relleno presenta las características geotécnicas adecuadas para el MSR, la cohesión es de 0.153 KN/m³ y 1 KN/m³ para el material de relleno, el ángulo de fricción es de 30° y como máximo 35°, por último, los pesos unitarios varían entre 12.41 y 15.9 KN/m³ para el suelo natural y para el material de relleno 27.32 KN/m³.

Conclusión para el objetivo específico 2

Se ha evaluado técnica y económicamente las condiciones geométricas para estabilizar los taludes de la vía de evitamiento. El diseño ha considerado alturas desde 2.25 m hasta 18.58 m, además se ha considerado la colocación de geomallas de manera perpendicular a los muros, y sacos de biobolsa de fibra de coco para el revestimiento y protección del muro.

Conclusión para el objetivo específico 3

Se ha realizado el análisis de estabilidad de taludes a través del software SLIDE 6.0, dentro del análisis estático, para talud natural se obtuvo que de los valores obtenidos del factor de seguridad solo 2 de las 20 secciones superan el mínimo (1.5), mientras que el factor de seguridad para el MSR, 13 secciones superan el FS mínimo. En cuanto al análisis pseudoestático, para talud natural se obtuvo que de los valores obtenidos del factor de seguridad ninguna de las secciones evaluadas supera el FS mínimo (1.3), mientras que el factor de seguridad con el MSR, 10 secciones superan el FS mínimo.

Conclusión para el objetivo específico 4

Se ha realizado la comparación de costos, obteniendo que el costo de la construcción de un MCA, representa un 5.73 % más de gasto que la construcción de un MSR con fibra de coco. Además, se ha determinado el beneficio que representa la inversión, con respecto a la reducción de gasto de combustible, obteniendo que los beneficios superan en un 8% a la inversión realizada para la construcción del MSR.

VII. Recomendaciones

Recomendación del objetivo general

Para realizar un adecuado análisis técnico y económico es prioritario establecer y clasificar adecuadamente la información por el tipo de obra de arte y por los periodos de ejecución (diario, semanal y mensual).

Recomendación del objetivo específico 1

Se recomienda establecer un control de calidad de los materiales utilizados durante la fase del proceso constructivo del muro, incluyendo el material de relleno y las geomallas, para garantizar que cumplan con las especificaciones técnicas.

Recomendación del objetivo específico 2

Se recomienda analizar la geometría de la base de los cimientos para establecer los cortes adecuados para optimizar tiempos y costos en movimiento de tierras, así mismo evaluar la altura de diseño para una correcta apilación de material.

Recomendación del objetivo específico 3

Realizar análisis dinámicos más detallados, considerando diferentes escenarios sísmicos y evaluando la respuesta del muro ante cargas cíclicas.

Recomendación del objetivo específico 4

Cuantificar otros beneficios indirectos asociados a la implementación del MSR, como la reducción de riesgos para la población, generación de empleo, incremento de la comercialización, entre otros, lo que permitirá tener un panorama más amplio de los beneficios económicos de su construcción.

VIII. Referencias

- Abanto, S. (2018). *Tesis Ciencia*. Obtenido de <https://tesisciencia.com/2018/08/20/tesis-variables-dimensiones-indicadores/>
- Ambar, B. (2020). *Diseño geotécnico: Principales diferencias entre diseño por Tensiones Admisibles y método LRFD*. Obtenido de <https://es.linkedin.com/pulse/dise%C3%B1o-geot%C3%A9cnico-principales-diferencias-entre-por-y-diaz-amar>
- Ampuero, F. (2016). *Obras Urbanas*. Obtenido de <https://www.obrasurbanas.es/vegetacion-taludes/>
- Ampuero, M. F. (2015). *Estudio numérico de terraplenes sobre suelos blandos reforzados con geosintético y una capa superficial de arena*. UNI-Tesis. Obtenido de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_6ab2e4ebf94966d99a93b88db93aec2c
- Apaza Capcha, F. (2016). *Proyecto procesos constructivos para la implementación de sistemas terramesh en la construcción de carretera Yolosita-Coroico*. La Paz-Bolivia. Obtenido de <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/11992/P-1724-Apaza%20Capcha%2C%20Franklin.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arana Fajardo, L. H. (2013). *Muro de suelo reforzado con Terramesh System aplicado al proyecto "Chancadora primaria"*. UPC. Obtenido de https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/306534/quispe_cf-rest-tesis.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Arias Chu, L. V. (2019). *Evaluar la presencia de suelo para el nivel del agua subterránea Área de una casa unifamiliar En el centro densamente poblado de Leticia*. Pisco. Obtenido de <https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/3534/Leifhan%20Aria>

s_Jeyko%20Villa_Trabajo%20de%20Investigacion_Bachiller_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Arqueñiva, H., & Romero, R. (2021). Estudio y evaluación comparativa entre suelos reforzados con geomalla y muros de concreto armado para la estabilización de taludes de carreteras. *Revista Científica Ciencias Ingenieriles*, 1(1), 20-32. doi:<https://doi.org/10.54943/ricci.v1i1.202>
- Berg, R. R., Barry, R. C., & Naresh, C. S. (2009). *Design of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes – Volume II*. National Highway Institute.
- Cabrera, C.; Falcon, I. (2019). *Diseño de un muro de suelo reforzado por problemas de inestabilidad de taludes en el tramo km 163+960 al km 164+024 IIRSA sur tramo 2 - Cusco*. Cusco. Obtenido de <https://tesis.pucp.edu.pe>
- Cañas Pineda, A. (2021). *Análisis de la estabilidad global en muros de suelo reforzado*. Guatemala.
- Capcha Rosas, F. E., & Vera Chacchi, J. R. (2019). *Análisis del nivel de confianza en la estabilidad del muro de concreto armado y suelo reforzado - Costa Verde: Escardó – Virú*. Lima. Obtenido de <https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/2625/ANALISIS%20DEL%20NIVEL%20DE%20CONFIANZA%20EN%20LA%20ESTABILIDAD%20DE%20L%20MURO%20DE%20CONCRETO%20ARMADO%20Y%20SUELO%20REFORZADO.pdf?sequence=1>
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres [CENEPRED]. (2020). Obtenido de <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/>
- CEPAL. (2020). *La seguridad vial en la región de América Latina y el Caribe: situación actual y desafíos*. Obtenido de <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/6296>

- Chávez, J. C. (2020). *Joel Chucos Chávez*. Lima. Obtenido de <https://repositorio.ucss.edu.pe>
- Christopher, B. R., Gill, S., Giroud, J.-P., Juran, I., Mitchell, J. K., Schlosser, F., & Dunicliff, J. (1990). *Reinforced soil structures volume I, design and construction guidelines*. STS Consultants, Federal Highway Administration. Office of Engineering & Highway Operations Research and Development, Illinois. Obtenido de <https://rosap.nhl.bts.gov/view/dot/972>
- Cohen, E., & Franco, R. (1992). *Evaluacion de Proyectos Sociales* (4 ed.). Siglo veintiuno editores.
- Condori-Ojeda, P. (2020). *Universo, población y muestra*. Obtenido de <https://www.aacademica.org/cporfirio/18.pdf>
- Córdova, F. M. (2016). *Sistema de monitoreo de napas*. Obtenido de <https://rdu.iua.edu.ar/bitstream/123456789/1098/1/Tesis.pdf>
- CRTG, (. R.-2. (2022). Memoria Descriptiva, Abancay.
- Das, B. M. (2016). *Fundamentos de ingeniería y cimentaciones*. Mexico: Compañía de Cengage Learning, inc.
- Doulala Rigby, C., & Pérez, A. (2021). 40 años de estructuras de suelo reforzadas con geomalla de polietileno de alta densidad (HDPE): Los muros más altos de Latinoamérica a los Emiratos Árabes Unidos. *South Florida Journal of Development*, 2(2), 2729-2739 . doi:10.46932/sfjdv2n2-126
- Dussán Beltran, J. N., Piedrahita Escobar, L. M., & Isabella, R. D. (2018). *Comparación de los métodos de diseño AD y LFRD de una edificación de pórticos de madera con diagonales en Bogotá*. Bogota. Obtenido de https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5322/Comparaci%C3%B3n_

m%C3%A9todos_ASyLRFD_edificaci%C3%B3n_p%C3%B3rticos.pdf?isAllowed=y&sequence=1

Espada Loli, R. A. (2017). *Estudio Comparativo de Costos Entre Muros de Contención por el Método Convencional y Por el Método del Suelo Reforzado con Geomallas*. Ancash.

Galarza Muñiz, A. (2017). *Proceso constructivo de la estabilización de taludes del proyecto pantanos secos artificiales ubicado al pie de la vía perimetral en el km 39 de la ciudad de Guayaquil*. Guayaquil - Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/17727>

Gamero Montenegro, J. A. (2023). *Diseño de un muro de suelo reforzado con geomallas en la Vía de Evitamiento de la ciudad de Abancay*. Abancay.

Garcia Hermoso, F. (2006). "Estudios Geotecnicos". *Entesca-Escuela Politécnica Superior de Huesca*. Norma Técnica NCh 1515-1979. Obtenido de <https://geotecniaymecanicasuelosabc.com/humedad-suelos/#:~:text=El%20contenido%20de%20agua%20o,de%20an%C3%A1lisis%20volum%C3%A9trico%20o%20gravim%C3%A9trico>.

Garcia Hermoso, F. (2020). Ensayo de humedad de suelos. *Geotechnical Consulting*. Obtenido de <https://geotecniaymecanicasuelosabc.com/humedad-suelos/>

Garnica Anguas, P., Reyes Ramirez, R., & Gomez Rivera, J. (2013). *Diseño de muros reforzados con geosintéticos*. Instituto mexicano del Transporte. Obtenido de <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt382.pdf>

Garzón Gil, C. A., & Salazar Granja, J. (2015). *Técnicas para determinar la viabilidad técnica de un proyecto en la etapa de formulación*. Santiago de Cali.

Gomez Bastar, S. (2012). *Metodología de la investigación*. Estado de México: RED TERCER MILENIO S.C.

- González, M., Villalobos, F., Méndez, A. and Carrillo, P. (2018). Estudio de la respuesta estática y sísmica de un muro de suelo reforzado con geomalla como estribo de puente en Concepción. *SCIELO*, pp.41-52. Obtenido de https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-28132018000200041&script=sci_abstract
- Greta, A. R. (2015). *Propuesta de remediación geotécnica de un talud incorporando un muro de suelo reforzado con el sistema Terramesh para el proyecto de la carretera Matarani – El Arenal*.
- Guerrero, D., & La Rosa Lama, G. (2013). *Capítulo 7 Gestión de los Costos del Proyecto*. Universidad de Piura, Piura.
- Guerrero, M. R. (2021). *Diseño muro en suelo reforzado en Geosoft V4*. Documento Técnico, Colombia.
- Hernandez Astorga, F. (2011). *Análisis comparativo técnico-económico de muros de suelo reforzado con geotextiles con otras alternativas equivalentes*. Costa Rica.
- Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación* (6 ed.). Mc. Graw Hill.
- Hernández, R. F. (2002). *Metodología de la investigación* (3 ed.). Mexico: McGraw-Hill.
- Herrera Correa, J. B. (2023). *Análisis estático y pseudoestático en la estabilización de talud mediante muro de suelo reforzado de la carretera PE-3N del tramo km 263+100 - 263+150, Huánuco – La Unión, 2023*. Huánuco.
- Herrera Gaspar, A. E., & Silva Santisteban, R. (2021). *Análisis técnico-económico entre un muro de gaviones y un muro de suelo reforzado como solución de estabilidad de taludes en la carretera Choropampa – Cospan (Cajamarca)*. Choropampa - Cajamarca. Obtenido de https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/655858/HerreraG_A.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Hurtado Zamora, O. (2017). *Análisis técnico económico para estabilización de taludes en vías empleando sistema de muro no convencional, tramo de carretera Kishuara – puente Sahuinto - Abancay*. Kishuara - Abancay. Obtenido de https://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/20.500.12759/3730/1/REP_MAEST.INGE_OSVALDO.HURTADO_AN%C3%81LISIS.T%C3%89CNICO.ECON%C3%93MICO.ESTABILIZACI%C3%93N.TALUDES.V%C3%8DAS.EMPLEANDO.SISTEMA.MURO.NO.CONVENCIONAL.TRAMO.CARRETERA.KISHUARA.PUENTE.SAHUINTO.AB

Instituto Nacional de Defensa Civil. (2020). Lima, Perú.

Instituto Nacional de Estadística (INEI). (2023). Flujo Vehicular por Unidades de Peaje. *Informe Técnico*.

Instituto Tecnológico de Costa Rica. (2022). Obtenido de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/13932?show=full>

Jara Mori, G. A. (2008). *Estudio de la aplicabilidad de materiales compuestos al diseño de estructuras de contención de tierras y su interacción con el terreno, para su empleo en obras de infraestructura viaria*. Obtenido de https://oa.upm.es/1169/1/GONZALO_ANDRES_JARA_MORI.pdf

KACTUS. (22 de Agosto de 2022). *¿Qué es una napa freática?* Obtenido de <https://www.kactusempresa.cl/blog/qu-es-una-napa-fretica>

Kavazanjian, E. J., Matasovic, N., Hadj-Hamou, T., & Sabatini, P. (1997). *Geotechnical Engineering Circular No.3. Design Guidance: Geotechnical Earthquake Engineering For Highways*. United States. Federal Highway Administration, Washington, D.C. Obtenido de <https://rosap.nhl.bts.gov/view/dot/13897>

- Leoncio Avalos, M. E. (2015). *Estudio comparativo de costos entre muros de contención por gravedad, en voladizo y suelo reforzado*. Guatemala. Obtenido de <https://repositoriosiidca.csuca.org/Record/RepoUSAC510>
- Lucuara Gómez, K. J. (2010). *Determinación de humedad natural de suelos finos sin utilizar reductores de calor mediante el horno microondas*. La Salle. Obtenido de https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/191
- Maccaferri. (2017). *Maccaferri - America Latina*. Obtenido de Maccaferri: <https://www.maccaferri.com/br/es/reportajes-revista-grandes-construcciones/>
- Mamani, F. P. (2018). *Fibra sintética en vías a nivel de afirmado y su efecto en sus propiedades mecánicas, región Puno*. Puno. Obtenido de <https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/879/Mamani-Mamani-Fausto.PDF?sequence=1&isAllowed=y>
- Martines L., E. (2007). *Definiciones de humedad y su equivalencia*. Obtenido de <https://www.cenam.mx/dme/pdf/tm02.pdf>
- Medina Zaldivar, Y. (2018). Uso del software Slide para el análisis del comportamiento sísmico de taludes. *CT y F - Ciencia, Tecnología y Futuro*, 8, 1-17.
- Mejia Zuñiga, J. E. (2017). *Estudio comparativo de costos entre muros de contención por el método convencional y por el método del suelo reforzado con geomallas*. Huaraz, Ancash.
- Meza, V. (. (2012). *Suelos parcialmente saturados*. 22-37. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rbct/article/view/31251>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC]. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC]. (2022). *Estadística - Infraestructura de Transportes - Infraestructura Vial*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/344790-estadisticainfraestructur-de-transportes-infraestructura-vial>

Ministerio de Vivienda y Saneamiento. (2012). *Norma CE 020 Suelos y Cimentaciones* .

Ministerio de Vivienda y Saneamiento. (2018). *Norma E.030 Diseño Sismorresistente*.

Montoya, S. (17 de setiembre de 2013). *Estabilidad de taludes, deslizamientos de tierra y sus causas*. Obtenido de gidahatari.com: <https://gidahatari.com/ih-es/estabilidad-de-taludes-deslizamientos-de-tierra-causas?rq=estabilidad-de-taludes-deslizamientos-de-tierra-causas>

Olek, B. S. (2019). *Experimental evidence about misconception of Terzaghi's 1-D consolidation*. E3S Web of Conferences. Obtenido de doi:10.1051/e3sconf/201910601013

Ordoñez, E. P. (2020). *Análisis de prefactibilidad técnico y económico de la implementación de muros de tierra mecánicamente estabilizada con geosintéticos 550X – T 2100 en la ciudad de Tarma*. Tarma. Obtenido de https://repositorio.ucss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14095/877/Tesis%20-%20Puchoc%20Ordo%C3%B1ez%2C%20Andrea%20Emilia_compressed.pdf?sequence=6&isAllowed=y

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018). NU. CEPAL. División de Recursos Naturales e Infraestructura. Obtenido de <https://www.cepal.org/es/publicaciones/6296-la-seguridad-vial-la-region-america-latina-caribe-situacion-actual-desafios>

Palomino, J. L., & Guardia, J. J. (2024). *Estudio de estabilidad estática y pseudo estática en el diseño de muro de suelo reforzado para la estabilización de taludes de suelo arenoso en el pueblo joven Santa Rosa de las conchitas, Villa María del Triunfo*.

Villa María del Triunfo: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC).

Obtenido de <http://hdl.handle.net/10757/674810>

Parra Ruiz, J.J. & Jara Romero, W. (2016). *Estudios y diseños para el control de talud y movimientos de tierra en el kilómetro 22 vía Usme y vía al parque natural del Sumapaz, vereda los Arrayanes*. Trabajo de PosGrado, Bogotá - Colombia. Obtenido de <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3424910>

Perez de Agreda, E. A. (2005). *Estabilidad de Taludes*. Universidad Politecnica de Catalunya.

Pinedo Arévalo, M. A. (2012). *Comparación entre Muros de Suelo Reforzado con elementos extensibles y no extensibles*. Lima.

Piqueras, V. Y. (2019). *Densidad de los suelos granulares*. Universidad Politecnica de Valencia. Obtenido de <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/suelos-granulares/>

PUCP. (2016). *Reglamento del comité de ética de la investigación*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de <http://cdn02.pucp.education/investigacion/2016/06/23214253/Reglamento-2016-VF.pdf>

Quispe Sarmiento, W. N., & Reyes Sáenz, M. J. (2021). *Comparación técnica – económica entre muro de suelo reforzado y muro de gaviones para la carretera Yanakillca – Santa Rosa – Cerro Teta, Juan Espinoza Medrano –Antabamba – Apurímac*. Lima.

R. Berg, R., R. Christopher, B., & C. Samtani, N. (2009). *Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes*. Washington, D.C.: National Highway Institute Federal Highway Administration. Obtenido de <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/geotech/pubs/nhi10024/nhi10024.pdf>

Renzo S., Brandom V. (2021). *Propuesta de diseño de muro de suelo reforzado como estribo de puente por el Metodo*. Moquegua. Obtenido de

https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/655859/SarmientoV_R.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Ruiz-Tagle, L. y Villalobos, F. (2017). Estudio experimental y numérico del desplazamiento y rotación de suelo. *SCIELO*, pp. 59 -65. Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/oyp/n9/art07.pdf>

Salazar Izquierdo, R. L. (2019). *Análisis económico del diseño y construcción de muros de suelo reforzado como base de instalación de una chancadora primaria semi – móvil*. Lima.

Shuan Lucas, L. E. (2019). *Contenido de humedad - ASTM D2216*. Universidad Nacional de Ingeniería, Laboratorio de Mecánica de Suelos. Obtenido de <http://www.lms.uni.edu.pe/labsuelos/MODOS%20OPERATIVOS/S1.1%20Contenido%20de%20humedad%20LMS-FIC-UNI.pdf>

Singh Kaur, O. (2020). *Diseño de muros de suelo reforzado: comparativa y sensibilidad entre normas internacionales*. Barcelona.

Suárez Díaz, J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*. Bucaramanga: Ingeniería de Suelos Ltda.

Suarez Huaynatte, A. &. (2019). *Este método consiste en aplicar una malla hexagonal de doble torsión que consiste en una malla con alma de acero, luego una aleación llamada Galfan® (una aleación de zinc y aluminio) y finalmente un recubrimiento plástico para aumentar su resistencia*. Se. Obtenido de [file:///C:/Users/RICHARD/Downloads/T030_70775335_T%20%20%20GAVIRIA%20GUZMAN%20PIERO%20ANIBAL%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/RICHARD/Downloads/T030_70775335_T%20%20%20GAVIRIA%20GUZMAN%20PIERO%20ANIBAL%20(2).pdf)

T.H. Wu, J., Q. Pham, T., & T. Adams, M. (2013). *Composite Behavior of Geosynthetic Reinforced Soil Mass*. Denver: Office of Infrastructure Research and Development.

Obtenido de <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/10077/10077.pdf>

Tapia Hernández, A. L., & Ortiz Reyes, J. F. (2019). *Diseño del muro de contención para el parque La Esperanza del barrio Alaska de la localidad de Usme, Bogotá*. Bogotá.

Ticona Apaza, J. M. (2020). *Análisis comparativo entre el adobe tradicional y el adobe reforzado con fibras de coco, Huancané, Puno - 2019*. Puno. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe> › Ticona_AJM-SD

Tierra Armada, Tejada, Amell. (2018). Tierra Armada. *Tierra Armada*. Obtenido de <https://peruconstruye.net/wp-content/uploads/2018/11/PC49.pdf>

Tierra y Tecnología. (17 de octubre de 2016). *Tierra y Tecnología*. Obtenido de https://r.search.yahoo.com/_ylt=AwrFOrFRYXNIHzQLkWN7egx.;_ylu=Y29sbwNiZjEEcG9zAzEEdnRpZAMEc2VjA3Ny/RV=2/RE=1702089170/RO=10/RU=https%3a%2f%2fwww.icog.es%2fTyT%2findex.php%2f2016%2f10%2fslide-la-mejor-aplicacion-estabilidad-taludes%2f/RK=2/RS=HqzxysBYKI_.r

Torrez Bautista, H. A. (2024). *Diseño de un muro de suelo reforzado a nivel estático y dinámico en el tramo Comarapa - Santa Cruz "Prog. 431+800"*. La Paz, Bolivia.

Universidad Técnica de Ambato. (2021). Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/items/3b55ece8-1027-4cde-a1c9-12a1a44b2ef9>

Valiente Sanz, R., Sobrecases Martí, S., & Díaz Orrego, A. (2015). Estabilidad de Taludes: Conceptos Básicos, Parámetros de Diseño y Métodos de Cálculo. *CIVILIZATE(7)*, 50-54.

Vásquez Ramírez, A. A., Guanuchi Orellana, L. M., Cahuana Tapia, R. D., Vera Teves, R. M., & Holgado Tisoc, J. (2023). *Métodos de investigación científica*. Puno. doi:<https://doi.org/10.35622/inudi.b.094>

- VERA & MORENO S.A. (2016). *Estudio definitivo para la construcción de la vía de evitamiento de la ciudad de Abancay*. Abancay. Obtenido de http://gis.proviasnac.gob.pe/expedientes/2019/LPI_0004_2019/ExpedienteTecnico/15%20Resumen%20Ejecutivo.pdf
- Vettorelo, P., & Clariá, J. J. (2014). Suelos Reforzados con Fibras: Estado del Arte y Aplicaciones. *Revista Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 27-34.
- VSL International Ltd. (2006). *Vsol-Suelo Reforzado*. Obtenido de vsl.com: <http://www.vslchile.cl/Publicaciones/Catalogos/11%20VSoL%20VSL%20Suelo%20Reforzado%20Espa%C3%B1ol.pdf>
- Zorrilla, A. (2021). *Identidad y desarrollo - Observar para descubrir*. Obtenido de <https://identidadydesarrollo.com/tecnicas-de-investigacion-observacion/>

IX. Anexos

- Anexo 1 : Matriz de consistencias
- Anexo 2 : Matriz de operacionalización de variables
- Anexo 3 : Análisis de datos
- Anexo 4 : Planos
- Anexo 5 : Secciones de muro de suelo reforzado
- Anexo 6 : Análisis de estabilidad en el software "Slide"
- Anexo 7 : Sustento de metrado de MSR
- Anexo 8 : Cálculo de pesos unitarios, ángulo de fricción y cohesión
- Anexo 9 : Certificaciones
- Anexo 10 : Autorización
- Anexo 11 : Registro fotográfico

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca de la Universidad Tecnológica de los Andes