Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN TARAPOTO - PERU

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú.
Vea una copia de esta licencia en http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/

Obra publicada con autorización del autor

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO DE REFUERZO Y PROTECCIÓN DEL TALUD SUPERIOR DE LA VÍA ALAMEDA SHILCAYO - CERCADO TARAPOTO, CON GEOSINTÉTICOS.

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR:

Bach. Jhoanni Navarro Salas

ASESOR:

Ing. Máximo Alcibiades Vilca Cotrina

Tarapoto-Perú

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO DE REFUERZO Y PROTECCIÓN DEL TALUD SUPERIOR DE LA VÍA ALAMEDA SHILCAYO - CERCADO TARAPOTO, CON GEOSINTÉTICOS.

Tesis para optar el título profesional de

INGENIERO CIVIL

Autor:

Bach. Jhoanni Navarro Salas

Sustentado y aprobado ante el honorable jurado el día 31 de julio del 2018

.....	.....
Ing. M.Sc. EDUARDO PINCHI VÁSQUEZ	**Ing. ERNESTO ELISEO GARCÍA RAMÍREZ**
Presidente	**Secretario**
.....	.....
Ing. VICTOR HUGO SÁNCHEZ MERCADO	**Ing. MÁXIMO ALCIBIADES VILCA COTRINA**
Vocal	**Asesor**

Declaratoria de Autenticidad

Yo, **Jhoanni Navarro Salas**, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, identificada con DNI N° 70541584, con la tesis titulada: **Diseño de Refuerzo y Protección del Talud Superior de la Vía Alameda Shilcayo – Cercado Tarapoto, con Geosintéticos.**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por lo tanto, la tesis no ha sido plagiada ni totalmente ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiado: es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por lo tanto los resultados presentados que se presenten en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, con el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de falsa), entre otros, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 31 de julio 2018

.....

Jhoanni Navarro Salas

DNI N° 70541584

DECLARACIÓN JURADA

Yo, Jhoanni Navarro Salas, identificada con DNI N° 70541584, domicilio legal en Jr. Ricardo Palma N° 953 – Tarapoto, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín –Tarapoto, **DECLARO BAJO JURAMENTO**, que todos los documentos, datos e información de la presente tesis, son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 31 de julio 2018

.....

Jhoanni Navarro Salas

DNI N° 70541584

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres: NAVARRO SALAS JHOANNI	
Código de alumno : 103157	**Teléfono:** 942427289
Correo electrónico : jhoanni.navarro.s@gmail.com	**DNI:** 70541584

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de: INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA	
Escuela Profesional de: INGENIERÍA CIVIL	

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	( )
Trabajo de suficiencia profesional	( )		

4. Datos del Trabajo de investigación

Titulo: DISEÑO DE REFUERZO Y PROTECCIÓN DEL TALUD SUPERIOR DE LA VÍA ALAMEDA SHILCAYO - CERCADO TARAPOTO, CON GEOSINTÉTICOS	
Año de publicación: 2018	

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	( )
Acceso restringido **	( )		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI **"Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA"**.

Jhonasd

.....

Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM – T.

Fecha de recepción del documento:

29 / 10 / 2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN REPOSITORIO INSTITUCIONAL TARAPOTO

.....

Firma del Responsable de Repossitorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM – T.

***Acceso abierto**: uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**** Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

DEDICATORIA

Dedico mi esfuerzo y dedicación a Dios, por darme la bendición de tener con vida a mis queridos padres Alberto y Teófila, quienes me han traído a este mundo y darme su apoyo incondicional para lograr una de mis metas, y por ser las personas que siempre están en todo momento y circunstancia que se ha presentado en estos 26 años de vida que tengo. A ustedes con mucho cariño y amor mis queridos papitos.

A mis hermanos José, Mirlanda, Rosa, Isabel, Koty y Esther por estar presentes en las diferentes etapas de mi vida. Así como se lo dedico a todos mis familiares que han sido partícipes de mis éxitos y enseñanzas que me ha dado la vida hasta ahora.

A Husseín y a nuestro pequeño Barán que viene en camino, por creer en mí y en el amor que sentimos.

Jhoanni.

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios porque sin su apoyo no hubiera logrado nada, gracias Diosito por todas las bendiciones que me das.

A mis queridos papitos Alberto y Teófila, por enseñarme a ser fuerte y a no dejarme por vencida, por impulsarme a seguir siempre adelante. Gracias papito Alberto y mamita Teo.

A mis hermanas, hermano, cuñados, cuñada, sobrinos, tíos, primos y a todos mis familiares por brindarme su apoyo en algún momento que los he necesitado, gracias querida familia.

A mi novio por darme su confianza y apoyo en todo momento que lo he necesitado y a nuestro pequeño bebé, por colaborar desde mi vientre para realizar con normalidad el desarrollo de mi tesis.

A mis compañeros y amigos que me han dado su apoyo en algún momento de mi formación universitaria, gracias por su apoyo.

A mis docentes quienes han compartido sus enseñanzas y conocimientos en el campo de la ingeniería civil, gracias por eso.

A mi asesor el Ing. Máximo A. Vilca Cotrina por su apoyo en el desarrollo de mi tesis, gracias estimado ingeniero.

Y a todas las personas que me han dado su apoyo de alguna manera en el desarrollo de mi investigación.

Jhoanni.

ÍNDICE

DEDICATORIA xii
AGRADECIMIENTO vii
ÍNDICE viii
INDICE DE FIGURAS xii
ÍNDICE DE TABLAS xiv
ÍNDICE DE CUADROS. xv
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS xvi
RESUMEN xviii
ABSTRACT xix
CAPÍTULO I. 1
INTRODUCCIÓN 1
1.1. Generalidades. 1
1.2. Exploración preliminar orientada a la investigación. 2
1.3. Aspectos generales del estudio. 2
CAPÍTULO II 7
MARCO TEÓRICO 7
2.1. Antecedentes del problema. 7
2.2. Planteamiento del problema. 7
2.3. Delimitación del problema. 8
2.4. Formulación del problema 8
2.5. Objetivos. 8
2.5.1. Objetivo general. 8
2.5.2. Objetivos específicos. 9
2.6. Justificación de la investigación. 9
2.6.1. Justificación teórica o temática. 9
2.6.2. Justificación de la metodología. 9
2.6.3. Justificación de viabilidad 9
2.6.4. Justificación práctica. 9
2.7. Delimitación de la investigación. 10
2.8. Antecedentes de la investigación. 10
2.9. Fundamentación teórica de la investigación. 10
2.9.1. Introducción 10

2.9.2. Estabilidad de Taludes.....11
2.9.2.1. Nomenclatura de taludes y laderas.....11
2.9.2.2. Metodologías para el Análisis de Estabilidad.....12
2.9.2.3. Método de Equilibrio Límite.....15
2.9.2.4. Método Análisis: Método Simplificado de Bishop (1955).....23
2.9.3. Análisis de Estabilidad de Taludes bajo acción sísmica.....24
2.9.4. Introducción a los Geosintéticos.....25
2.9.4.1. Descripción básica de geosintéticos.....26
2.9.4.2. Tipos de Geosintéticos.....26
2.9.4.3. Diseño de taludes reforzados con geosintéticos.....27
2.10. Marco Conceptual: Terminología Básica.....36
2.11. Marco Histórico.....37
2.12. Hipótesis a Demostrar.....41
CAPÍTULO III.....41
MATERIALES Y MÉTODOS.....41
3.1. Materiales.....41
3.1.1. Recursos Humanos.....41
3.1.2. Recursos Materiales.....41
3.1.3. Recursos de Equipos.....41
3.1.4. Otros Recursos.....41
3.2. Metodología.....41
3.2.1. Universo y Muestra.....41
3.3. Sistemas de Variables.....43
3.3.1. Variable Independiente.....43
3.3.2. Variable Dependiente.....43
3.4. Operacionalización de variables.....43
3.5. Diseño Experimental de la investigación.....44
3.6. Diseño de Instrumentos.....45
3.6.1. Fuentes Técnicas.....45
3.6.2. Instrumentos de Selección de Datos.....45
3.7. Procesamiento de la Información.....46
3.7.1. Reconocimiento del lugar.....46
3.7.2. Características Geológicas.....46

3.7.3. Vegetación existente. 46
3.7.4. Estudio Topográfico.....47
3.7.4.1. Introducción. 47
3.7.4.2. Objetivo del Estudio topográfico. 48
3.7.4.3. Ubicación Geográfica.....48
3.7.4.4. Personal y Equipo Utilizado.....48
3.7.4.5. Metodología. 49
3.7.5. Estudio de mecánica de suelos y geotecnia. 49
CAPÍTULO IV 54
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 54
4.1. Resultados 54
4.1.1. Realizar los estudios básicos de mecánica de suelos y geotecnia, y de topografía.....54
4.1.1.1. Resultados del Estudio Topográfico.....54
4.1.1.2. Resultados del Estudio de Mecánica de Suelos.....54
4.1.2. Interpretar los resultados de los estudios básicos para el análisis de la inestabilidad existente del talud, con el uso del programa MacStars W. 61
4.1.2.1. Resultados del análisis de inestabilidad existente del talud (Sin Refuerzo).....61
4.1.3. Interpretar los resultados del análisis de inestabilidad existente del talud, para la propuesta del diseño de refuerzo y protección del talud con geosintéticos, con el uso del programa MacStars W. 64
4.1.4. Resultado del análisis de la estabilidad interna del Muro Terramesh System. 64
4.1.5. Resultados del análisis de la estabilidad del talud reforzado con el muro Terramesh System (Con refuerzo) 72
4.2. Discusión 74
4.2.1. Realizar los estudios básicos de mecánica de suelos y geotecnia, y de topografía.....74
4.2.2. Interpretar los resultados de los estudios básicos para el análisis de la inestabilidad existente del talud, con el uso del programa MacStars W. 74
4.2.3. Interpretar los resultados del análisis de inestabilidad existente del talud, para la propuesta del diseño de refuerzo y protección del talud con geosintéticos, con el uso del programa MacStars W. 75
4.2.4. Contrastación de Hipótesis. 76
CONCLUSIONES. 77
RECOMENDACIONES. 78

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. 79
Bibliografía. 79
Linkografía. 79
ANEXOS……. 80
ANEXOS A: Panel Fotográfico 81
ANEXOS B: Resultados del Estudio de Mecánica de Suelos. 98
ANEXOS C: Constancia de ejecución de ensayos de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos UNSM-FICA. 99
ANEXOS D: Planos Topográficos. 100
ANEXOS E: Plano de la Sección 00+220 101
ANEXOS F: Muro de Suelo Reforzado 102
ANEXOS G: Mapa de Riesgo a deslizamiento. 103
ANEXOS H: Reporte del análisis realizado en el programa MacStARS W – Rel. 4.0. ... 104

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Captura del google earth de la ubicación del Talud.....2
Figura 2: Nomenclatura de taludes y laderas.....11
Figura 3: Esquema de los métodos de análisis de estabilidad de taludes 13
Figura 4: Superficie curva no circular. 24
Figura 5: Mapa de zonificación sísmica del Perú (Norma E030-RNE, Actualizado).....24
Figura 6: Reforzamiento del talud. 27
Figura 7: Beneficios de la utilización de geotextiles en la construcción de taludes de Terraplenes.....28
Figura 8: Vista de Perfil de un Talud Reforzado con Geosintéticos. 28
Figura 9: Elementos que conforman un muro de suelo reforzado.....29
Figura 10: Esquema de superficie de falla.....31
Figura 11: Esquema de obras de subdrenaje en un terraplén 34
Figura 12: Estructura Romana – “wharfroman” (JONES, 1996) 38
Figura 13: Estructura de suelo reforzado Munster (JONES, 1996).....39
Figura 14: Muro Vidal. (NAVFAC, 1986). 39
Figura 15: Vegetación en los Taludes 47
Figura 16: Sección Transversal 0+220, escogida para el análisis de Estabilidad.....54
Figura 17: Curva Granulométrica de la P-01 (0.50-1.50).....56
Figura 18: Curva Granulométrica de la P-02 (0.50-1.50).....56
Figura 19: Curva Granulométrica de la P-03 (0.90-1.40).....56
Figura 20: Curva Granulométrica de la P-03 (1.40-1.80).....57
Figura 21: Curva Granulométrica de la P-04 (0.50-1.50).....57
Figura 22: Curva Granulométrica de la P-05 (0.50-1.50).....58
Figura 23: Curva Granulométrica de la P-06 (0.50-1.50).....58
Figura 24: Gráfica de esfuerzo principal vs. Deformación axial.....59
Figura 25: Gráfica de esfuerzo cortante vs. Esfuerzo normal. 59
Figura 26: Gráfica de esfuerzo principal vs. Deformación axial.....59
Figura 27: Gráfica de esfuerzo cortante vs. Esfuerzo normal 60
Figura 28: Gráfica relación de esfuerzos vs. Deformación unitaria 60
Figura 29: Diagrama p´vs. q´.....61
Figura 30: Análisis de la estabilidad existente del talud -condiciones estáticas. 63
Figura 31: Análisis de la estabilidad existente del talud -condiciones pseudoestáticas. 63

Figura 32: Verificación de la Estabilidad del Muro Terramesh System - estática 71
Figura 33: Verificación de la estabilidad del Muro Terramesh System – pseudo estática..72
Figura 34: Análisis de Estabilidad del Talud Reforzado con el muro Terramesh System - condición estática.....72
Figura 35: Análisis de estabilidad del talud reforzado con el muro Terramesh System- condición pseudoestática. 73
Figura 36: Vista de perfil del Muro Terramesh System. 74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Peligros geológicos por regiones naturales 5
Tabla 2: Metodología utilizada en la modelación de Taludes. 13
Tabla 3: Métodos de análisis de estabilidad de taludes. 16
Tabla 4: Valores típicos del ángulo de fricción drenado para arenas y limos. 20
Tabla 5: Coeficientes de seguridad a emplear en el análisis de estabilidad de taludes. 23
Tabla 6: Factores de Zona del Perú 25
Tabla 7: Factores de Seguridad Elementos Extensibles 35
Tabla 8: Factores de seguridad para análisis estático 35
Tabla 9: Factores de seguridad para análisis dinámico. 35
Tabla 10: Ensayos de Laboratorio realizados. 51
Tabla 11: Simbología de Suelos (Referencial) 52

ÍNDICE DE CUADROS.

Cuadro 1: Operacionalización de variables. 43
Cuadro 2: Resumen de los resultados del estudio de mecánica de suelos. 55
Cuadro 3: Perfil del terreno del estrado inferior de la sección transversal 00+220.....62
Cuadro 4: Perfil del terreno del estrado superior de la sección transversal 00+220 62
Cuadro 5: Factores de seguridad del talud existente 64
Cuadro 6: Perfil del terreno del relleno seleccionado del Muro Terramesh System 65
Cuadro 7: Perfil del terreno del estrato inferior.....65
Cuadro 8: Perfil del terreno del estrato superior.....66
Cuadro 9: Comparación de factores de seguridad según norma CE.020 74
Cuadro 10: Comparación de factores de seguridad del Muro Terramesh System, con la norma FHWA-NHI-00-043 y AASHTO. 75
Cuadro 11: Comparación de factores de seguridad del talud con el muro de suelo reforzado, con la norma CE.020 76

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1: Vista de la roca que se desprendió del talud 46
Fotografía 2: Vista 1 del desprendimiento de un árbol en el área del talud 47
Fotografía 3: Vista 2 del desprendimiento de un árbol en el área del talud 47
Fotografía 4: Vista de la extracción de muestras con el instrumento Posteadora 51
Fotografía 5: Se hizo el levantamiento topográfico con estación total.....82
Fotografía 6: Con el apoyo del técnico se agilizó el seccionamiento del área de estudio. ..82
Fotografía 7: Se tuvo el apoyo de dos personas a cargo del prisma. 83
Fotografía 8: En cada punto de estación se anotó la altura del instrumento. 83
Fotografía 9: La extracción de muestras se realizó con el instrumento llamado Posteadora. 84
Fotografía 10: Las muestras extraídas fueron colocadas en bolsas negras de plástico, y asimismo puestos en sacos. 84
Fotografía 11: Con el apoyo de un técnico de suelos, nos permitió llegar a partes del talud, donde se realizó la extracción de muestras. 85
Fotografía 12: En cada calicata se tomó las alturas de cada estrato. 85
Fotografía 13: En cada calicata se tomó nota de coordenadas, para una mejor ubicación. .86
Fotografía 14: En la calicata 4, se encontró suelo de relleno. 86
Fotografía 15: Utensilios usados para los ensayos del laboratorio. 87
Fotografía 16: Se procedió a pesar cada utensilio y registrar en la hoja de ensayos. 87
Fotografía 17: Las muestras extraídas, fueron trasladadas al laboratorio de mecánica de suelos y pavimentos de la FICA-UNSM- T.....88
Fotografía 18: Las muestras extraídas fueron colocadas en los utensilios para ser pesados. 88
Fotografía 19: Las muestras después de ser pesadas se llevaron al horno para determinar el contenido de humedad. 89
Fotografía 20: Las muestras que se observan, fueron llevadas a lima para el ensayo de Compresión triaxial. 89
Fotografía 21: De cada estrato de muestra se selección una porción para realizar el secado al sol, para el ensayo de Compresión Triaxial. 90
Fotografía 22: Para el ensayo de clasificación del suelo, se procedió con el lavado de las muestras. 90

Fotografía 23: Se hizo el lavado de muestras repetidas veces, hasta obtener una muestra limpia de impurezas. 91
Fotografía 24: Como se observa en la imagen se realizó el lavado de muestras. 91
Fotografía 25: Se obtuvo muestras limpias de impurezas. 92
Fotografía 26: Después se procedió a poner las muestras limpias al horno. En la imagen se observa la muestra limpia sacada del horno. 92
Fotografía 27: Después se procedió a pesar cada muestra limpia seca y anotarlo en el formato de registro de ensayos. 93
Fotografía 28: Después realizar el ensayo de clasificación de suelos, haciendo uso de los tamices. 93
Fotografía 29: Se realizó el removido de muestras manualmente. 94
Fotografía 30: Se realizó el pesado de cada porción de suelo retenido en cada tamiz. 94
Fotografía 31: Asimismo se verificó que no quedara ningún segmento de suelo en cada tamiz. 95
Fotografía 32: Se realizó el vaciado de cada tamiz en el papel, para luego ser pesado. 95
Fotografía 33: Se realizó ensayo de Límite de Atterberg. 96
Fotografía 34: Con el apoyo del Técnico del Laboratorio de Suelos se realizó el ensayo para la determinación de los índices de los Límites de Atterberg. 96
Fotografía 35: Cada porción humedecida y amasada con la paleta, se puso en la copa de casa grande. 97
Fotografía 36: Al final del ensayo de límites de Atterberg se obtuvo filamentos de suelo que se pusieron al horno a secar. 97

RESUMEN

El presente proyecto de investigación, denominado “Diseño de refuerzo y protección del talud superior de la vía Alameda Shilcayo-Cercado Tarapoto, con geosintéticos”, nace a raíz de lo que se ha observado en el área de estudio del talud, tales como deslizamiento de suelo y desprendimiento de rocas y árboles que han puesto en riesgo la vida de los usuarios de la vía. Asimismo se considera que los deslizamientos de tierra son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos en sus asentamientos de permanencia. La mayoría de pérdidas por deslizamientos de tierra son evitables si estos se identifican con anterioridad y se toman acciones para su prevención o control contra los desastres que provocan.

En este sentido, el presente proyecto de investigación propone diseñar la protección y el refuerzo del talud superior de la vía Alameda Shilcayo, con un material geosintético. Y de esta manera se incrementará el factor de seguridad del talud, dando como resultado una solución que tendrá un impacto significativo, que contribuirá a la gestión para la solución del problema de inestabilidad existente del talud superior de la vía Alameda Shilcayo – Cercado Tarapoto.

Y para lograr el objetivo principal se realizaron los estudios básicos de mecánica de suelos y geotecnia, y de topografía. Así como también se interpretaron los resultados de los estudios básicos para el análisis de la inestabilidad existente del talud, con el uso del programa MacStars W y finalmente se interpretaron los resultados del análisis de inestabilidad existente del talud, para la propuesta del diseño de refuerzo y protección del talud con geosintéticos, con el uso del programa MacStars W.

Finalmente con el desarrollo de la tesis se logró diseñar con éxito el muro de suelo reforzado, y se cumplió con todos los factores de seguridad mayores a lo indicado en la norma Federal Highway Administration– Administración Federal de Carreteras) y AASHTO.

Palabras claves: deslizamiento, inestabilidad del talud, factor de seguridad, muro de suelo reforzado, geosintéticos.

ABSTRACT

The following research project, titled as "Design of reinforcement and protection of the upper slope of the Alameda Shilcayo-Cercado Tarapoto highway, with geosynthetics", was developed from what has been observed in the study area of the slope, such as landslide soil and rocks and trees that have risked the lives of road users. It is also considered that landslides are one of the most destructive geological processes that affect humans in their permanent settlements. The majority of losses due to landslides are avoidable if these are identified beforehand and actions are taken to prevent or control them against the disasters they cause.

In this sense, this research project proposes to design the protection and reinforcement of the upper slope of the Alameda Shilcayo road, with a geosynthetic material. And in this way the safety factor of the slope will be increased, resulting in a solution that will have a significant impact, which will contribute to the management for the solution of the existing instability problem of the upper slope of the Alameda Shilcayo - Cercado Tarapoto road.

And to achieve the main objective the basic studies of soil mechanics and geotechnics, and topography were carried out. As well as interpreting the results of the basic studies for the analysis of the existing instability of the slope, with the use of the MacStars W program and finally the results of the analysis of existing instability of the slope, for the proposal of the reinforcement design and protection of the slope with geosynthetics, with the use of the MacStars W. program

Finally, with the development of the thesis, the reinforced soil wall was successfully designed, and all safety factors greater than that indicated in the Federal Highway Administration (Federal Highway Administration) and AASHTO standards were met.

Keywords: slippage, slope instability, safety factor, reinforced soil wall, geosynthetics.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN
Dirección
CENTRO DE IDIOMAS

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades.

El presente proyecto de tesis nace a raíz de lo que se ha observado en el área de estudio del talud, tales como deslizamiento de suelo y desprendimiento de rocas y árboles que han puesto en riesgo la vida de los usuarios de la vía. Asimismo se considera que los deslizamientos de tierra son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos en sus asentamientos de permanencia. La mayoría de pérdidas por deslizamientos de tierra son evitables si estos se identifican con anterioridad y se toman acciones para su prevención o control contra los desastres que provocan.

Núñez, S. & Luque, G (Riesgos Geológicos en la Región San Martín), menciona que el análisis de la base de datos inventariados de las ocurrencias de peligros geológicos y geohidrológicos, revelan que los deslizamientos rotacionales ocupan el primer lugar (38,45 %), le siguen las inundaciones fluviales (15,61 %), los derrumbes (11,80%), erosión de laderas (7,87 %), deslizamiento traslacional (5,46 %), flujo (5,46 %), erosión fluvial (4,95 %), avalanchas de rocas (3,30 %), caídas de rocas (2,66 %), movimiento complejo (2,54 %), reptaciones de suelos (1,40 %), inundación pluvial (0,38 %) y hundimientos (0,13 %). Considerando los peligros que generan o generarían daños, éstos representan un 18,2% del total inventariado; siendo las inundaciones y los procesos de erosión fluvial, los que ocasionan mayores daños, seguidos por los deslizamientos y derrumbes.

En muchos casos las propiedades geomecánicas de los suelos no satisfacen las características deseables para diferentes aplicaciones, requiriendo de diferentes procesos y tratamientos especiales para modificar su comportamiento a las condiciones deseadas. En ese sentido los geosintéticos complementan las falencias que presentan los materiales térreos, permitiendo obtener excelentes ventajas técnicas y económicas en la construcción de muros en suelo reforzado, taludes reforzados, terraplenes sobre suelos blandos, sistemas de subdrenaje, etc. Los suelos al igual que el concreto presentan una buena resistencia a la compresión pero son deficientes cuando se trata de asumir esfuerzos de tracción, por tal motivo cuando los suelos son combinados con elementos que sean capaces de absorber esfuerzos de tracción como son los geotextiles se puede lograr estructuras de suelo reforzadas

1.2. Exploración preliminar orientada a la investigación.

En los últimos años se ha observado que el talud ubicado en la parte superior de la vía Alameda Shilcayo ha sufrido desprendimiento de rocas y árboles, asimismo el deslizamiento de masas de suelo. Esto es un indicador para realizar el análisis de la estabilidad del talud, y determinar el factor de seguridad que permitirá saber qué tan estable o inestable es el talud. Asimismo para incrementar el factor se seguridad del talud es necesario plantear una solución de ingeniería con ventajas técnicas y económicas.

En este sentido, el presente proyecto de investigación propone diseñar la protección y el refuerzo del talud superior de la vía Alameda Shilcayo, con un material geosintético. Y de esta manera se incrementará el factor de seguridad del talud.

Por lo que la solución considerada tendrá un impacto significativo, que permitirá contribuir con la sociedad en general y usuarios de la vía.

1.3. Aspectos generales del estudio.

1.3.1. Ámbito Geográfico.

El ámbito geográfico donde se encuentra ubicado el talud, es aguas abajo del río Shilcayo, entre la escalinata de la Alameda de la Paz y el hotel Cumbaza, Cercado Tarapoto, distrito de Tarapoto, provincia de San Martín, departamento de San Martín y república del Perú.

Figura 1: Captura del google earth de la ubicación del Talud

1.3.2. Vías de acceso.

El acceso es por vía terrestre a través de la carretera Fernando Belaunde Terry para llegar a la parte inferior del Talud, así como a través del Jr. Maynas, a la altura de la Alameda de la Paz.

1.3.3. Fisiografía y Topografía.

En Plan de desarrollo urbano de la ciudad de Tarapoto y núcleos urbanos de Morales y la Banda de Shilcayo (Diagnóstico Volumen I), se describe que Los distritos de Tarapoto, La Banda de Shilcayo y Morales se encuentran asentados fisiográficamente en Laderas Moderadamente Empinadas, presentando ondulaciones y pendientes moderadas, la zona de estudio es relativamente plana, sin embargo existen zonas diferenciadas altitudinalmente, las mismas que generan el discurrimiento acelerado de las aguas pluviales hacia las zonas bajas de la ciudad, generando perjuicios por erosión e inundaciones sobre las viviendas asentadas en los sectores del Barrio Huaico y Aucaloma.

- **Tarapoto**

Se asienta sobre un terreno ondulado, con diferentes pendientes desde la zona baja plana con suave pendiente en el Aeropuerto hasta la vía de Evitamiento, luego con una pendiente moderada del Jr. Orellana a la Plaza Mayor (2.5%) y una mayor pendiente (7 %), y superficie accidentada de la Plaza a la Avenida Circunvalación.

- **Morales**

Posee accidentes geográficos en su zona limítrofe con el distrito de Tarapoto, la zona céntrica es relativamente plana hasta el borde del río Cumbaza.

- **La Banda de Shilcayo**

Es poco accidentada y relativamente plana en su parte baja, pero a partir de la plaza hacia las laderas de la Cordillera Escalera se vuelve accidentada.

1.3.4. Clima.

La temperatura media anual en las ciudades de Tarapoto, Morales y Banda de Shilcayo es de 33.3° C. El clima predominante de las ciudades de Tarapoto, La Banda de Shilcayo y Morales es “cálido y semi-seco”, sin exceso de agua durante el año y con una concentración térmica normal en verano.

1.3.5. Hidrología.

En Plan de desarrollo urbano de la ciudad de Tarapoto y núcleos urbanos de Morales y la Banda de Shilcayo (Diagnóstico Volumen I) se describe que la ciudad de Tarapoto, (Tarapoto, Morales y Banda de Shilcayo) se encuentra ubicada en la red hidrográfica de la cuenca del Cumbaza. Constituida por el río Cumbaza, como eje principal, siendo sus afluentes principales por la margen izquierda el río Shilcayo y las quebradas Ahuashiyacu y Pucayacu y por la margen derecha la quebrada Shupishiña. El caudal de estos cuerpos de agua son muy variables durante todo el año y dependen de la intensidad de las lluvias. Así mismo el cambio climático está generando variación en la intensidad y temporalidad de las precipitaciones, reportándose meses de sequía y precipitaciones no acordes a los registros históricos.

1.3.6. Geología General.

La estratigrafía de las zonas de Tarapoto, Morales y La Banda de Shilcayo está comprendida en la era cenozoica y en el sistema cuaternario, la cual está formada por depósitos aluviales, fluviales, talud de escombros y suelos residuales, compuestas por limos, arcillas, y gravas inconsolidados. Los depósitos aluviales están constituidos principalmente por bloques de arenisca, cuyas aristas desgastadas son muestra de su resistencia a la meteorización y disgregación; generalmente englobadas o rellenadas de una matriz areno-limosa, limo-arcillosa no plástica a baja plasticidad, que en conjunto se pueden constituir en buenos acuíferos o reservorios de aguas subterráneas. Los depósitos residuales son de naturaleza arcillosa, arcillo arenosa, areno-limosa, de colores marrón rojizo a amarillento, cuya potencia (espesor) es variable alcanzando los 20 m. Sobre todo en las rocas.

1.3.7. Sismicidad.

La zona correspondiente al área de estudio, donde está ubicado el Talud, está en el distrito de Tarapoto, el cual tiene alta sismicidad de acuerdo a la última actualización de la Norma E030 Diseño Sismoresistente del reglamento nacional de edificaciones, Tarapoto está ubicado en la Zona 3 del mapa de Zonificación Sísmica.

1.3.8. Peligros, Vulnerabilidad y Riesgo de los Ecosistemas Urbanos.

Existen peligros geológicos por regiones naturales, tal como se presenta en la siguiente tabla 1:

Tabla 1

Peligros geológicos por regiones naturales

PELIGROS GEOLÓGICOS POR REGIONES NATURALES

PELIGROS GEOLÓGICOS	TIPO DE PELIGROS	Costa	Bajo Andina	Meso Andina	Alto Andina	Ceja de Selva	Selva Alta	Selva Baja
CAÍDA	Alud				29			
	Caída de Roca	960	909	692	558	18	62	
	Derrumbes	323	883	1729	450	237	819	90
DESLIZAMIENTO	Deslizamiento	173	825	2406	481	576	1757	42
FLUJO	Aluvión		6	6	16			
	Avalancha de Roca	33	45	82	90	8	75	
	Flujo de detritos	1169	1348	892	437	266	659	10
	Huaycos	646	317	208	55	5	21	10
REPTACIÓN	Reptación		25	218	277	17	41	
	Arenamiento	251						
	Erosión de laderas	305	981	1173	385	29	167	13
OTROS	Erosión Fluvial	371	377	354	235	16	256	310
	Hundimiento	18		38	11			
	Inundación	455	100	155	75	19	548	386
TOTALES		4704	5816	7953	3099	1191	4405	861

Fuente: Memoria descriptiva del mapa de vulnerabilidad física del Perú (Ministerio del Ambiente – MINAM, 2011)

Se ha estimado que el 35.1% (44’915,800.3 ha.) del territorio nacional se encuentra en condiciones de susceptibilidad Muy Alta; el 22.4% (28’684,167.2 ha.) en Alta

susceptibilidad; el 35.1% (44’897,641.4 ha.) Moderada susceptibilidad, el 6.2% (7’979,960.2 ha.) Baja susceptibilidad y el 0.9% (1’223,323.1 ha.) en condiciones de Muy Baja susceptibilidad.

Los departamentos que presentan los niveles más altos de susceptibilidad física a peligros múltiples son: Tumbes, San Martin, Puno, Pasco, Junín, Huancavelica, Cusco, Cajamarca, Ayacucho y Amazonas.

San Martin es el departamento con mayor porcentaje de centros poblados ubicados en zonas expuestas a diferentes peligros. De los 1,522 poblados registrados por el INEI, el 69.3% (1,054) se encuentran localizados en zonas de Muy Alta susceptibilidad; el 12% (184) en zonas de Alta susceptibilidad; el 5.5% (83) en zonas de Moderada susceptibilidad; el 13.0% (198) en zonas de Baja susceptibilidad y solo el 0.2% (3) se localizan en zonas de Muy Baja susceptibilidad.

1.3.9. Área de Influencia y Flujo Vehicular.

Existe un flujo vehicular concurrido en la parte inferior del talud, en la vía de la Carretera Fernando Belaunde Terry, y existe un flujo vehicular menos concurrido en la parte superior del Talud, en la vía del Jr. Maynas.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema.

Se ha observado más de una vez en el área de estudio del Talud superior de la vía Alameda Shilcayo, han ocurrido deslizamientos de suelos y desprendimiento de roca y árboles que cayeron a la calzada, los cuales han puesto en riesgo la vida de las personas que transitaban por la vía. En ese sentido se debe tomar medidas de mitigación para evitar posteriores deslizamiento y/o desprendimientos. Asimismo algunos autores mencionan que las zonas montañosas tropicales son muy susceptibles a sufrir problemas de deslizamientos de tierra debido a que generalmente, se reúnen cuatro de los elementos más importantes para su ocurrencia tales como son la topografía, sismicidad, meteorización y lluvias intensas.

Al estudiar los fenómenos de inestabilidades de taludes, es necesario identificar y caracterizar los distintos tipos de comportamiento, y clasificarlos adecuadamente. Un análisis preciso del tipo de rotura permite optimizar las medidas de contención y estabilización de taludes y laderas, ya que atiende al mecanismo actuante, la velocidad y las dimensiones. Por el contrario, una incorrecta definición del mecanismo de rotura puede dar lugar a soluciones incorrectas o ineficaces, y en algunos casos contraproducentes.

2.2. Planteamiento del problema.

Se ha identificado que el talud tiene problemas de estabilidad, ya que han ocurrido deslizamientos de suelos y desprendimiento de roca. Esto indica que tiene un alto riesgo de sufrir posteriores deslizamientos, y que además representa un peligro para las personas que transitan diariamente por esta zona.

En varias oportunidades se ha observado la ocurrencia de desprendimiento de árboles y roca que cayeron en la calzada de la vía, interrumpiendo el tránsito vehicular por varias horas y exponiendo la integridad de las personas que circulaban por allí. Pudiendo tener consecuencias fatales, pero hasta ahora solo ha causado daños leves en la vía y generando preocupación para las personas que viven alrededor del talud, así como también de las transeúntes.

Suárez Díaz, Jaime (Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales), menciona que el 90 % de las pérdidas son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se toman medidas de prevención o control. Por lo que es imprescindible plantear una solución ingeniería para este problema, para salvaguardar la vida y la integridad de los usuarios de la vía y las personas vecinas al sector afectado.

2.3. Delimitación del problema.

El problema de inestabilidad del talud, está delimitada por el área que comprende las coordenadas ((349776.866, 9282329.342) ;(349912.930, 9282459.724) ;(349955.796, 9282487.661); (349969.373, 9282463.994); (349822.176, 9282341.475)) del talud superior de la vía Alameda Shilcayo – Cercado Tarapoto, y el análisis de inestabilidad del talud se realizará con el método de equilibrio límite con la técnica de Bishop Simplificado, con el apoyo de la herramienta MacStars W.

2.4. Formulación del problema.

El talud ubicado en la parte superior de la vía de la Alameda Shilcayo – Cercado Tarapoto, perteneciente al patrimonio de la Municipalidad Provincial de San Martín, está en riesgo de sufrir próximos deslizamientos y/o desprendimientos de material rocoso, suelo y/o vegetal, lo cual ocasione pérdidas de vidas humanas, ya que actualmente representa un peligro para los usuarios de la vía y para las personas que viven por esta zona. Asimismo por los antecedentes similares que ha venido ocurriendo en esta zona, tales como desprendimiento de rocas y árboles, deslizamiento de suelo, se requiere diseñar el refuerzo del talud para evitar que ocurran próximos deslizamientos. Por esta razón tengo el propósito de investigar para que mi proyecto sea un aporte a la comunidad.

En tal sentido formulo la pregunta: ¿De qué manera se contribuirá a la gestión para la solución del problema de inestabilidad existente del talud superior de la vía Alameda Shilcayo – Cercado Tarapoto?

2.5. Objetivos.

2.5.1. Objetivo general.

Diseñar el refuerzo y protección del talud superior de la vía Alameda Shilcayo – Cercado Tarapoto, con Geosintéticos.

2.5.2. Objetivos específicos.

Realizar los estudios básicos de mecánica de suelos y geotecnia, y de topografía.

Interpretar los resultados de los estudios básicos para el análisis de la inestabilidad existente del talud, con el uso del programa MacStars W.

Interpretar los resultados del análisis de inestabilidad existente del talud, para la propuesta del diseño de refuerzo y protección del talud con geosintéticos, con el uso del programa MacStars W.

2.6. Justificación de la investigación.

La estabilidad de los taludes es de suma importancia para cualquier vía, sobre todo teniendo en cuenta que se trata de una vía urbana que une dos ciudades importantes, donde se debe garantizar la seguridad de las personas que se trasladen diariamente desde la Banda de Shilcayo hacia Tarapoto y viceversa, y de esta manera se evitará pérdidas de vidas humanas y horas hombre por la interrupción de la vía. Por lo cual es necesario contrarrestar posteriores deslizamientos que pondrán en peligro a las personas.

2.6.1. Justificación teórica o temática.

Con la investigación bibliográfica y la metodología de estudio, se dejará como antecedente para futuras investigaciones en el campo del estudio de la estabilidad de los taludes expuestos a deslizamientos y/o movimientos de masas de suelo y roca.

2.6.2. Justificación de la metodología.

La presente investigación ha tomado como referencia la metodología de estudio que se realiza en la geotecnia, por lo que el enfoque de estudio que se realiza es similar.

2.6.3. Justificación de viabilidad.

La investigación es viable ya que tenemos acceso al laboratorio de suelos, el cual sería crucial para llevar a cabo la determinación de las propiedades físicas y mecánicas del suelo, que serán usados para realizar el análisis de la inestabilidad del talud. Por otro lado es viable porque se tiene los materiales bibliográficos de consulta para realizar un mejor análisis de los resultados, así como la información relacionado al diseño de muros de suelos reforzados

2.6.4. Justificación práctica.

El propósito de la Investigación es diseñar el refuerzo del talud, mediante un muro de suelo reforzado con geosintéticos, y de esta manera contribuir con la sociedad y dar una alternativa de solución, y que además sea una fuente de información y de referencia para proyectos de investigación posteriores.

2.7. Delimitación de la investigación.

La investigación empieza con el reconocimiento del lugar in situ, procediendo a realizar los estudios básicos de mecánica de suelos y geotecnia y topografía, que permitirán realizar el análisis de la inestabilidad existente del talud. Y termina con la propuesta del diseño del muro de suelo reforzado para el refuerzo y protección del talud superior de la vía Alameda Shilcayo, con la metodología de cálculo para la verificación de una estructura en suelo reforzado, con el programa MacStars W.

2.8. Antecedentes de la investigación.

Para realizar este proyecto de investigación se ha revisado material bibliográfico y trabajos anteriores, que nos permitirá tomar nota de antecedentes y resultados, que se estará teniendo en cuenta para los fines más convenientes:

Pinedo, A (2012), Comparación entre Muros de suelo reforzado con elementos extensible y no extensibles (Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

Pacheco, Z (2006), Estabilización del Talud de La Costa Verde en la zona del Distrito de San Isidro (Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

Egoavil, P (2012), Refuerzo de Cimentaciones Superficiales con Geosintéticos (Trabajo de Investigación de Master en mecánica de Suelos e ingeniería geotécnica). Universidad Nacional de Educación a Distancia, España.

Aguilar, G & Zúñiga, R (2015), Análisis comparativo de estabilidad de taludes mediante los métodos de equilibrio límite aplicado a taludes o laderas aledañas al Cerro de La Popa, casco urbano de Cartagena, (Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil). Universidad de Cartagena.

2.9. Fundamentación teórica de la investigación.

2.9.1. Introducción

Valiente, Z & Salvador, S (Texto sobre Estabilidad de Taludes: Conceptos Básicos, Parámetros de Diseño y Métodos de Cálculo. Revista Civilízate. Edición N° 07) describe bajo el nombre genérico de talud denominamos a la superficie inclinada, con respecto a la horizontal, que adoptan permanentemente o provisionalmente las estructuras de tierra. Estos pueden ser artificiales, cuando están construidos por el hombre en sus obras de ingeniería

(terraplén o desmonte), o naturales (laderas). Asimismo, pueden ser de suelos, rocas o mixtos, variando a su vez la metodología de estudio.

Los proyectos de ingeniería civil (fundamentalmente obras lineales) requieren el diseño de taludes tanto en corte de terreno como en terraplén, bajo las condiciones de seguridad adecuadas. En el estudio de la estabilidad de los taludes se abordan fenómenos de estado último o de rotura de masas de suelo. El agente externo responsable de la inestabilidad es una fuerza de masa, el peso y, eventualmente, los efectos de filtración, a los cuales hay que añadir otros factores como las sobrecargas (estáticas/dinámicas).

2.9.2. Estabilidad de Taludes.

2.9.2.1. Nomenclatura de taludes y laderas.

Un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana sino que posee pendiente o cambios de altura significativos. En la literatura técnica se define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y talud cuando se conformó artificialmente (Figura 2).

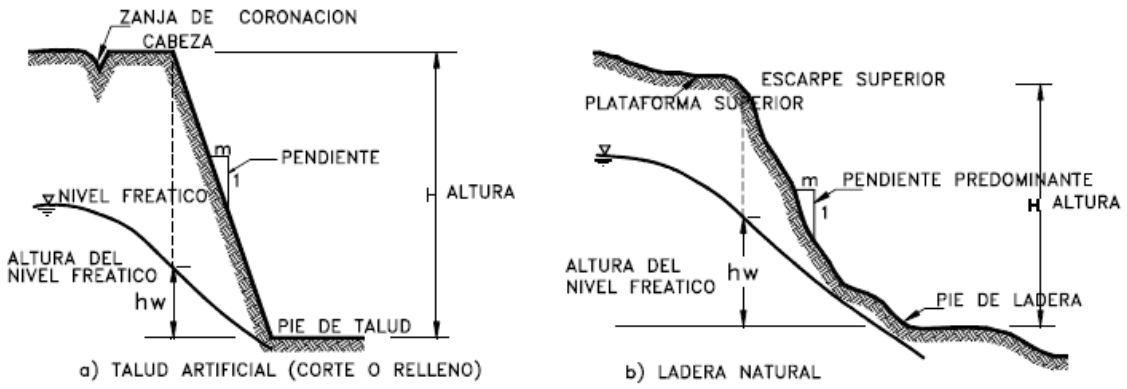


Figura 2: Nomenclatura de taludes y laderas

En el talud o ladera se definen los siguientes elementos constitutivos:

- **Altura:** Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados.
- **Pie**: Corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior.
- **Cabeza o escarpe**: Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.
- **Altura de nivel freático**: Distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza.

- **Pendiente**: Es la medida de la inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación m/1, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical.

2.9.2.2. Metodologías para el Análisis de Estabilidad.

Dentro de las metodologías disponibles, se encuentran los métodos de límite de equilibrio, los métodos numéricos y los métodos dinámicos para el análisis de caídos de roca y flujos, entre otros.

Asimismo Suárez, D (1998) en su libro Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales, describe que es práctica común en ingeniería definir la estabilidad de un talud en términos de un factor de seguridad (FS), obtenido de un análisis matemático de estabilidad. El modelo debe tener en cuenta la mayoría de los factores que afectan la estabilidad. Estos factores incluyen geometría del talud, parámetros geológicos, presencia de grietas de tensión, cargas dinámicas por acción de sismos, flujo de agua, propiedades de los suelos, etc. Sin embargo, no todos los factores que afectan la estabilidad de un talud se pueden cuantificar para incluirlos en un modelo matemático. Por lo tanto, hay situaciones en las cuales un enfoque matemático no produce resultados satisfactorios. A pesar de las debilidades de un determinado modelo, determinar el factor de seguridad asumiendo superficies probables de falla, permite al Ingeniero tener una herramienta muy útil para la toma de decisiones.

Se pueden estudiar superficies planas, circulares, logarítmicas, parabólicas y combinaciones de ellas. *La mayoría de los trabajos que aparecen en la literatura sobre el tema asumen que el suelo es un material isotrópico y han desarrollado métodos de análisis de superficies circulares o aproximadamente circulares principalmente*. Sin embargo, el mecanismo de falla en materiales residuales, donde aparece el suelo, la roca meteorizada y la roca sana, así como formaciones aluviales y coluviales noisotrópicas requieren de nuevos enfoques y del estudio de superficies de falla no simétricas. En los últimos años se han desarrollado algunos modelos de superficies de falla con forma no geométrica, pero se requiere todavía de un gran esfuerzo de investigación en este tema.

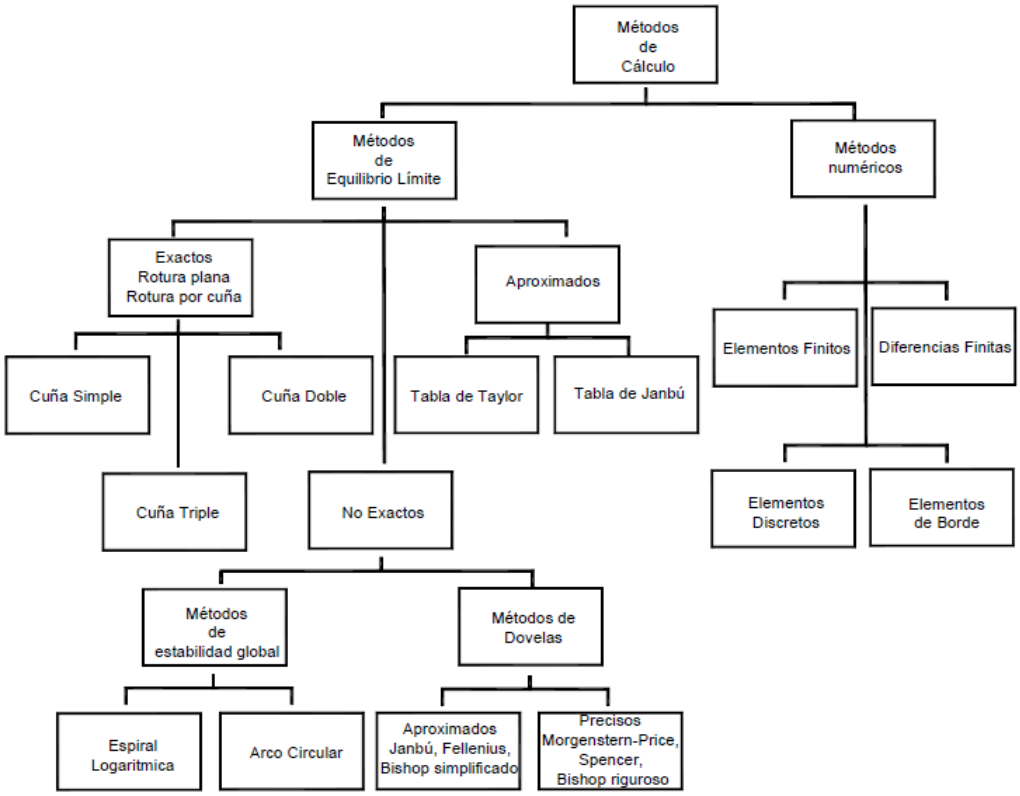


Figura 3: Esquema de los métodos de análisis de estabilidad de taludes

Tabla 2

Metodología utilizada en la modelación de Taludes.

Método	Parámetro Utilizados	Ventajas	Limitaciones.
Límite de Equilibrio	Topografía del talud, estratigrafía, ángulo de fricción, cohesión de peso unitario, niveles freáticos y cargas externas.	Existe una gran cantidad de paquetes de software. Se obtiene un número de factor de seguridad. Analiza superficies curvas, rectas, cuñas, inclinaciones, etc. Análisis en dos y tres dimensiones con muchos materiales,	Genera un número único de factor de seguridad sin tener en cuenta el mecanismo de inestabilidad. El resultado defiere de acuerdo con el método que se utilice. No

		refuerzos y condiciones de nivel de agua.	incluye análisis de las deformaciones.
Esfuerzo-Deformación continuos	Geometría del talud, propiedades de los materiales, propiedades elásticas, elastoplásticas y de “creep”. Niveles freáticos, resistencia.	Permite simular procesos de deformación. Permite determinar la deformación del talud y el proceso de falla. Existen programas para trabajar en dos y tres dimensiones. Se puede incluir análisis dinámico y análisis de “creep”.	Es complejo y no lineal. Comúnmente no se tiene conocimiento de los valores reales a utilizar en la modelación. Se presentan varios grados de libertad. No permite modelar roca muy fracturada.
Discontinuos Esfuerzo-Deformación elementos discretos.	Geometría del talud propiedades del material, rigidez, discontinuidades, resistencia y niveles freáticos.	Permite analizar la deformación y el movimiento relativo de bloques.	Existe poca información disponible sobre las propiedades de las juntas. Se presenta problemas de escala, especialmente en los taludes en roca.
Cinemáticos estereográficos	Geometría y características de las discontinuidades. Resistencia a las discontinuidades.	Es relativamente fácil de utilizar. Permite la identificación y análisis de bloques críticos, utilizando	Útiles para el diseño preliminar. Se requiere criterio de ingeniería para

para taludes en roca.		teoría de bloques. Pueden combinarse con técnicas estadísticas.	determinar cuáles son las discontinuidades críticas. Evalúa las juntas.
Dinámica de caídos de rocas.	Geometría del talud, tamaño y forma de los bloques y coeficiente de restitución	Permite analizar la dinámica de los bloques y existen programas en dos y tres dimensiones.	Existe muy poca experiencia de su uso en los países tropicales.
Dinámica de Flujos.	Relieve del terreno. Concentración de sedimentos, viscosidad y propiedades de la mezcla suelo – agua.	Se puede predecir el comportamiento, velocidades, distancia de recorrido y sedimentación de los flujos.	Se requiere calibrar los modelos para los materiales de cada región. Los resultados varían de acuerdo con el modelo utilizado.

Fuente: Suarez Díaz, Jaime. Deslizamientos: Análisis Geotécnico.

2.9.2.3. Método de Equilibrio Límite.

El análisis de los movimientos de los taludes o laderas durante muchos años se ha realizado utilizando las técnicas del equilibrio límite. Este tipo de análisis requiere información sobre la resistencia del suelo, pero no se requiere sobre la relación esfuerzo-deformación.

El sistema de equilibrio límite supone que en el caso de una falla, las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de la superficie de falla equivalentes a un factor de seguridad de 1.0.

El análisis se puede realizar estudiando directamente la totalidad de la longitud de la superficie de falla o dividiendo la masa deslizada en tajadas o dovelas. Cada día se han ido mejorando los sistemas de dovelas desarrollados por Petterson y Fellenius (1936). Algunos métodos son precisos y otros, solamente aproximados (Figura 4.6). Los métodos de Bishop (1955) y Janbú (1954) han sido muy utilizados en los últimos 50 años y se han desarrollado métodos de análisis más precisos y complejos como los de Morgenstern y Price (1965) y

Spencer (1967), ayudados por programas de software que permiten realizar análisis muy rigurosos. Generalmente, los métodos son de iteración y cada uno de éstos posee un cierto grado de precisión.

El análisis se puede realizar estudiando directamente la totalidad de la longitud de la superficie de falla o dividiendo la masa deslizada en tajadas o dovelas. Cada día se han mejorado los sistemas de Dovelas desarrollados a inicios del siglo XX y existe Software muy fácil de utilizar. Generalmente, los métodos son de iteración y cada uno de los métodos posee un cierto grado de precisión.

La mayoría de los sistemas de análisis asumen un criterio de "equilibrio límite" donde el criterio de falla de Coulomb es satisfecho a lo largo de una determinada superficie (Tabla N° 3).

Tabla 3

Métodos de análisis de estabilidad de taludes.

Método	**Superficies de Falla**	**Equilibrio**	**Características**
Ordinario o de Fellenius (Fellenius 1927)	Circulares	De fuerzas	Este método no tiene en cuenta las fuerzas entre las dovelas y no satisface equilibrio de fuerzas, tanto para la masa deslizada como para las dovelas individuales. Sin embargo, este método es muy utilizado por su procedimiento simple. Muy impreciso para taludes planos con alta presión de poros. Factores de seguridad bajos.
Bishop Simplificado (Bishop 1955)	Circulares	De momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante entre dovelas con cero. Reduciendo el número de incógnitas. La solución es sobredeterminada debido a que no establecen condiciones de equilibrio para una dovela.

Janbú Simplificado (Janbú 1968)	Cualquier forma de superficie de falla.	De Fuerzas	Al igual que Bishop asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas. La solución es sobredeterminada que no satisface completamente las condiciones de equilibrio. Sin embargo, Janbú utiliza un factor de corrección Fo para tener en cuenta este posible error. Los factores de seguridad son bajos.
Sueco Modificado U.S. Army Corps of Engineers (1970)	Cualquier forma de superficie de falla.	De Fuerzas	Supone que las fuerzas tienen la misma dirección que la superficie del terreno. Los factores de seguridad son generalmente altos.
Lowe y Karafiath (1960)	Cualquier forma de la superficie de falla	De Fuerzas	Asume que las fuerzas entre partículas están inclinados a un ángulo igual al promedio de la superficie del terreno y las bases de las dovelas. Esta simplificación deja una serie de incógnitas y no satisface el equilibrio de momentos. Se considera el más preciso de los métodos de equilibrio de fuerzas.
Spencer (1967)	Cualquier forma de la superficie de falla	Momentos y Fuerzas	Asume que la inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada. Rigurosamente satisface el equilibrio estático asumiendo que la fuerza resultante entre tajadas tiene una inclinación constante pero desconocida.
Morgenstern y Price (1965)	Cualquier forma de la superficie de falla	Momentos y Fuerzas	Asume que las fuerzas laterales siguen un sistema predeterminado. El método es muy similar al método de

			Spencer con la diferencia que la inclinación de la resultante de las fuerzas entre dovelas se asume que varía de acuerdo a una función arbitraria.
Sarma (1973)	Cualquier forma de la superficie de falla	Momentos y Fuerzas	Asume que las magnitudes de las fuerzas verticales siguen un sistema predeterminado. Utiliza el método de las dovelas para calcular la magnitud de un coeficiente sísmico requerido para producir la falla. Esto permite desarrollar una relación entre el coeficiente sísmico y el factor de seguridad. El factor de seguridad estático corresponde al caso de cero coeficientes sísmicos. Satisface todas las condiciones de equilibrio, sin embargo, la superficie de falla correspondiente es muy diferente a la determinada utilizando otros procedimientos más convencionales.
Elementos Finitos	Cualquier forma de la superficie de falla	Analiza Esfuerzos y Deformaciones	Satisface todas las condiciones de esfuerzo y deformaciones en los nodos de los elementos, pero no se obtiene un factor de seguridad.
Espiral Logarítmica	Espiral Logarítmica	Momentos y Fuerzas	Existen diferentes métodos con diversas condiciones de equilibrio.

Fuente: Suarez Díaz, Jaime. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales.

a) Parámetros utilizados en los análisis de límite de equilibrio.

Los modelos tienen en cuenta los factores primarios que afectan la estabilidad. Estos factores incluyen geometría del talud, parámetros geológicos, presencia de grietas de tensión, cargas

dinámicas por acción de los sismos, flujo de agua, propiedades de resistencia y peso unitario de los suelos, etc. Sin embargo, no todos los factores que afectan la estabilidad de un talud se pueden cuantificar para incluirlos en un modelo matemático de límite de equilibrio. Por lo tanto, hay situaciones en las cuales un enfoque de límite de equilibrio no produce resultados satisfactorios.

Pesos unitarios

El peso unitario es tal vez el parámetro más sencillo de medir para el análisis de estabilidad de los taludes, es el que influye menos en el factor de seguridad. Los pesos unitarios totales son pesos húmedos por encima del nivel freático y saturados por debajo de éste nivel. En el caso de que se utilicen pesos sumergidos, se debe ignorar la presencia de nivel freático. La densidad saturada se puede determinar asumiendo un valor de gravedad específica G, el cual se puede suponer igual a 2.68 para la mayoría de los suelos (Cornforth, 2005).

Resistencia al cortante

Braja M. Das, en su libro de Fundamentos de Ingeniería Geotécnica menciona que la resistencia cortante de una masa de suelo es la resistencia interna por área unitaria que la masa de suelo ofrece para resistir la falla y el deslizamiento a lo largo de cualquier plano dentro de él. Los ingenieros deben entender la naturaleza de la resistencia cortante para analizar los problemas de la estabilidad del suelo, tales como capacidad de carga, estabilidad de taludes y la presión lateral sobre estructuras de retención de tierras.

La resistencia al cortante que se va a utilizar en los análisis, puede ser medida por alguno de los métodos de laboratorio o de campo. Se debe tener en cuenta si se trata de condiciones drenadas o no drenadas o si el análisis es realizado en estado no-saturado. Los parámetros deben corresponder a los niveles de esfuerzos sobre las superficies de falla potenciales. En los casos en los cuales ya ha ocurrido la falla del talud, se recomienda emplear las resistencias residuales (Skempton, 1970, 1977,1985). Igualmente, debe tenerse en cuenta la disminución de resistencia, con el tiempo. Para suelos que son completamente saturados, el ángulo de fricción para condiciones no drenadas, es igual a cero. La resistencia no drenada para suelos saturados puede ser determinada a partir de los ensayos no-consolidados no-drenados.

Para los suelos parcialmente saturados, tales como arcillas compactadas o suelos arcillosos por encima del nivel freático, las resistencias no drenadas deben obtenerse a partir de ensayos no-consolidados, no-drenados en muestras con el mismo grado de saturación que el suelo en el campo. La envolvente de falla para esos suelos generalmente, es curva y por lo

tanto, es importante utilizar el mismo rango de presiones de confinamiento tanto en los ensayos de laboratorio como en los de campo.

DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DE LOS PARÁMETROS DE LA RESISTENCIA CORTANTE

Los parámetros de la resistencia cortante de un suelo son determinados en el laboratorio principalmente con dos tipos de ensayos; la prueba de corte directo y la prueba Triaxial.

Tabla 4

Valores típicos del ángulo de fricción drenado para arenas y limos.

Tipo de suelo	ϕ (grados)
Arena: granos redondeados	
Suelta	27-30
Media	30-35
Densa	35-38
Arena: granos angulares	
Suelta	30-35
Media	35-40
Densa	40-45
Grava con algo de arena	34-48
Limos	26-35

Fuente: Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.

Condiciones drenadas o no drenadas.

Las fallas de los taludes pueden ocurrir en condiciones drenadas o no drenadas. Si la inestabilidad es causada por los cambios en la carga, tal como la remoción de materiales de la parte baja del talud o aumento de las cargas en la parte superior (en suelos de baja permeabilidad) éstos pueden no tener tiempo suficiente para drenar durante el tiempo en el cual ocurre el cambio de carga. En ese caso, se dice que las condiciones son no drenadas.

Generalmente, los suelos tienen permeabilidades suficientes para disipar las presiones de poros en exceso y se comportan en condiciones drenadas. Para las ratas normales de carga que equivalen a meses o semanas, se pueden considerar drenados suelos con permeabilidades mayores de 10^{-4} cm/seg. En cambio, los suelos con permeabilidades menores de 10^{-7} cm/seg, se consideran no drenados. Mientras, las permeabilidades intermedias se consideran parcialmente drenadas.

Duncan (1996), recomienda que para los taludes en los cuales la causa de la falla es el aumento de la presión de poros (debida a las lluvias), el problema debe analizarse como condición drenada. Para determinar las condiciones de drenaje Duncan (1996) sugiere utilizar la siguiente expresión:

$$T = \frac{C_v t}{D^2}$$

Donde:

T = Factor adimensional

C_v = Coeficiente de consolidación

t = Tiempo de drenaje

D = Longitud del camino de drenaje o distancia de salida del agua al cambio de presiones.

Si T es mayor de 3, la condición es drenada.

Si T es menor de 0.01, la condición es no drenada.

Si T está entre 0.01 y 3.0, ocurre drenaje parcial durante el tiempo de cambio de cargas. En este caso, deben analizarse ambas condiciones, el caso drenado y el caso no drenado.

***Esfuerzos totales y efectivos*.**

Los problemas de estabilidad de taludes pueden analizarse suponiendo sistemas de esfuerzos totales o efectivos. En principio, siempre es posible analizar la estabilidad de un talud utilizando el método de presión efectiva, porque la resistencia del suelo es gobernada por las presiones efectivas tanto en la condición drenada, como en la condición no drenada; sin embargo, en la práctica es virtualmente imposible determinar con precisión cuáles son los excesos de presión de poros que se van a generar por los cambios en las cargas (excavaciones, colocación de rellenos o cambios en el nivel de agua). Debido a esto, no es posible desarrollar análisis precisos de estabilidad en estas condiciones, utilizando procedimientos de esfuerzos efectivos. No obstante, se puede trabajar todo el análisis usando presiones efectivas, sin que se requiera especificar los valores de los excesos de poros en las condiciones no drenadas. La mayoría de los modelos de análisis trabajan con base en las presiones efectivas.

Estabilidad a corto y a largo plazo.

En la estabilidad a corto plazo debe tenerse en cuenta que los suelos que no tienen un drenaje rápido, están sujetos a presiones de poros por acción de las cargas aplicadas. En la estabilidad a largo plazo, se supone que los suelos están drenados. Para la estabilidad (a corto plazo) de las arcillas normalmente consolidadas y de limos, se recomienda modelar con análisis de esfuerzos totales. Aunque se puede realizar el análisis empleando esfuerzos

efectivos, es muy difícil estimar o medir las presiones de poros para su utilización en el análisis.

Para las arcillas sobreconsolidadas, el análisis de estabilidad a corto plazo, prácticamente es imposible de realizar, debido a que la resistencia del suelo cambia muy rápidamente con el tiempo. En este caso, se recomienda utilizar la experiencia local en la formación arcillosa específica analizada y usar criterios empíricos (Cornforth, 2005).

La estabilidad a largo plazo, es más fácil de analizar que la estabilidad a corto plazo. Para todos los casos, se recomienda emplear análisis de esfuerzos efectivos.

b) Factor de Seguridad.

El Factor de Seguridad es empleado por los Ingenieros para conocer cuál es el factor de amenaza de que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña. Fellenius (1927) presentó el factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla:

$$F.S = \frac{Resistencia\ al\ corte}{Esfuerzo\ Cortante}$$

En superficies circulares donde existe un centro de giro y momentos resistentes y actuantes:

$$F.S = \frac{Momento\ Resistente}{Momento\ Actuante}$$

Existen, además, otros sistemas de plantear el factor de seguridad, tales como la relación de altura crítica y altura real del talud y método probabilístico.

Valiente Sanz, Ricardo. Actualmente, existen varias normativas nacionales e internacionales ampliamente aceptadas en Perú, en las que se regula el coeficiente de seguridad a emplear. La elección de dicho coeficiente debe realizarse considerando la temporalidad de la obra (provisional o definitiva) y la situación de cálculo (estática o sísmica). En la siguiente tabla puede consultarse una recopilación de los factores según las diferentes normativas.

Tabla 5

Coeficientes de seguridad a emplear en el análisis de estabilidad de taludes.

NORMATIVA	TALUD TEMPORAL		TALUD PERMANENTE	
	ESTÁTICA	SÍSMICA	ESTÁTICA	SÍSMICA
AASHTO LRFD	1.33-1.53	1.1	1.33-1.53	1.1
NAVFAC-DM7	1.3-1.25	1.2-1.15	1.5	1.2-1.15
FHWA-NHI-11-032	-	1.1	-	1.1
CE.020	-	-	1.5	1.25

Fuente: Elaboración propia. Referencia: Texto sobre Estabilidad de Taludes: Conceptos Básicos, Parámetros de Diseño y Métodos de Cálculo. Revista Civilízate. Edición N° 07.

La AASHTO, en situación estática, determina que si no existen cargas estructurales próximas al talud, o los reconocimientos geotécnicos realizados son confiables, debe emplearse un factor de seguridad de 1,33; en caso contrario, se emplea el de 1,53.

2.9.2.4. Método Análisis: Método Simplificado de Bishop (1955)

Bishop (1955) presentó un método utilizando Dovelas y teniendo en cuenta el efecto de las fuerzas entre las Dovelas. La solución rigurosa de Bishop es muy compleja y por esta razón se utiliza una versión simplificada de su método. Supone que las fuerzas en las caras laterales son horizontales o, lo que es lo mismo, que los n-1 valores de X son nulos. Sólo satisface el equilibrio de momentos y no el de fuerzas horizontales. Es un método que asumen superficies de falla circulares. Asimismo, se tiene la siguiente expresión:

$$F.S. = \sum \frac{\left[C'b + (W - ub)\tan\phi'/ma\right]}{\sum W \operatorname{sen}\alpha}$$

Donde:

$$ma = \operatorname{Cos}\alpha\left(1 + \frac{\tan\alpha\tan\phi}{F.S.}\right)$$

b=Ancho de la dovela

W=Peso de cada dovela

C´, ϕ= Parámetros de resistencia del suelo.

u=Presión en la base de cada dovela=$y_w h_w$

α=Ángulo del radio y la vertical en cada dovela.

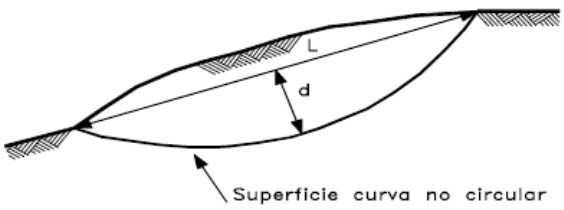


Figura 4: Superficie curva no circular.

2.9.3. Análisis de Estabilidad de Taludes bajo acción sísmica

Los efectos de un sismo en un talud pueden modelarse empleando aceleraciones horizontales y constantes. Terzaghi, en 1959, fue el primero en aplicar un modelo pseudo-estático para realizar un estudio de estabilidad de taludes durante un evento sísmico. En estos modelos, se representan los efectos del sismo mediante aceleraciones pseudoestáticas, las cuales producen fuerzas de inercia situadas en el centro de gravedad de cada dovela.

De acuerdo a la última actualización de la norma E030. Diseño sismorresistente, Perú se divide en cuatro zonas sísmicas.

Figura 5: Mapa de zonificación sísmica del Perú (Norma E030-RNE, Actualizado)

En la siguiente tabla se indica el factor asignado a cada zona (o PGA, peak ground aceleration) para un período de retorno T=500 años.

Tabla 6

Factores de Zona del Perú

Factor de zona Perú (E030)				
Zona	4	3	2	1
PGA	0.45	0.35	0.25	0.10

Fuente: Elaboración Propia. Referencia: Norma E.030 Diseño Sismoresistente, Reglamento Nacional de Edificaciones.

La aceleración máxima horizontal de diseño (Amax-d) se determina de la siguiente forma

$$A_{max-d} = PGAxS$$

En el caso de considerar métodos pseudo-estáticos para el diseño de los taludes, la AASHTO y la FHWA sugieren reducir el anterior valor a la mitad.

2.9.4. Introducción a los Geosintéticos.

Koerner, Robert en su libro de Designing with Geosynthetics de acuerdo con ASTM D4439, un geosintético se define de la siguiente manera:

Geosintético, un producto planar fabricado a partir de materiales poliméricos utilizados con tierra, roca, tierra u otros materiales relacionados con la ingeniería geotécnica como parte integral de un proyecto, estructura o sistema hecho por el hombre.

Los geosintéticos han surgido de una amplia gama de aplicaciones, aplicaciones geotécnicas, ambientales, hidráulicas y de desarrollo privado y la rapidez del cambio. En ningún momento de la experiencia del autor ha aparecido un nuevo material de ingeniería tan sólido. Las razones de esta explosión de materiales geosintéticos son numerosas e incluyen lo siguiente:

- Son control de calidad fabricado en un entorno de fábrica.
- Se pueden instalar rápidamente.
- Generalmente reemplazan recursos de materia prima.
- Generalmente reemplazan el diseño con tierra u otros materiales de construcción.
- Su tiempo es muy apropiado
- Su uso es requerido por las regulaciones en algunos casos.
- Son tan competitivos contra los suelos u otros materiales de construcción que reemplazan o aumentan.

- Hicieron imposible hasta ahora el diseño y las aplicaciones posibles.
- Están siendo comercializados activamente y están ampliamente disponibles.
- Su base de datos técnica está diseñada.
- Se están integrando en la profesión a través de especificaciones genéricas.

2.9.4.1. Descripción básica de geosintéticos.

Perdidos en la historia son los intentos iniciales de reforzar los suelos; la adición de materiales que mejorarían el comportamiento del suelo en el futuro.

Los materiales geosintéticos desempeñan cinco funciones principales: separaciones, refuerzo, filtración, drenaje y contención.

2.9.4.2. Tipos de Geosintéticos.

Koerner, Robert en su libro de Designing with Geosynthetics menciona que hay ocho tipos de geosintéticos y se detallan a continuación:

Geotextiles. Su ascenso en los últimos 25 años ha sido extraordinario. De hecho, son textiles en el sentido tradicional, pero consisten en fibras sintéticas en lugar de naturales como el algodón, la lana o la seda. Por lo tanto, la biodegradación y la corta vida posterior no son un problema. Estas fibras sintéticas están hechas de una manera flexible, por un método convencional. Algunos también están tejidos. El punto principal es que los geotextiles son porosos al flujo de líquido a través de su plano y también dentro de su espesor, pero en un grado amplio. Hay al menos 100 áreas de aplicación específicas para geotextiles que se han desarrollado; sin embargo, la tela está realizando al menos una de cuatro funciones discretas: separación, refuerzo, filtración o drenaje.

Geomallas (Geogrids). Las geomallas representan un segmento de rápido crecimiento dentro de los geosintéticos. En lugar de ser una tela tejida, no tejida o tejida, las geomallas se forman con un patrón de rejilla abierta, con aberturas anchas entre los nervios individuales en la máquina y las direcciones de la máquina cruzada. Las geomallas se forman de varias maneras, o se hacen uniendo varillas o tiras. Sin embargo, hay muchas áreas de aplicaciones y funcionan casi exclusivamente como materiales de refuerzo.

Geonets. Llamados geospacers por algunos, otro segmento especializado dentro del área de geosintéticos. Están formados por una extrusión continua de conjuntos paralelos de costillas poliméricas en ángulos agudos entre sí. Cuando se abren las costillas, las aberturas relativamente grandes se forman en una configuración similar a una red. Su función de diseño está completamente dentro del área de drenaje donde se utilizan para transportar líquidos de todo tipo.

2.9.4.3. Diseño de taludes reforzados con geosintéticos.

A. Taludes reforzados con geosintéticos.

Los muros también pueden ser de tierra armada, que consisten en un relleno de suelo granular con láminas de refuerzo, que pueden ser metálicas o de elementos plásticos. Los muros en tierra armada consisten en la colocación de tiras o capas de refuerzo en el proceso de compactación de terraplenes con taludes de alta pendiente. El concepto fue introducido por Vidal en los años 1960.

Asimismo, las estructuras de tierra reforzada o estructuras de tierra mecánicamente estabilizada (Muros MSE o taludes RSS), son terraplenes donde el suelo es su principal componente y dentro de este, en el proceso de compactación, se colocan elementos de refuerzo para aumentar su resistencia a la tensión y al cortante. En tal sentido, en taludes se puede colocar refuerzo en los terraplenes, o se pueden construir muros MSE, los cuales actúan como estructuras de gravedad. Los muros pueden comportarse como estructuras de contención o contrapesos. El refuerzo con geosintéticos puede ser usado para mejorar la estabilidad de los taludes y terraplenes, haciendo posible su construcción con ángulos más pronunciados. Los taludes reforzados son estructuras las cuales presentan dos importantes diferencias con respecto a los muros en suelo reforzado: la primera de ellas es la inclinación del relleno con respecto a la horizontal la cual es inferior a los 70 ° y la segunda diferencia es el modelo de superficie de falla que se asume para efectos de diseño del refuerzo la cual es de geometría circular, según los modelos de falla Coulomb, Bishop Circular, Janbú Circular, etc., mientras que el modelo de superficie de falla que se asume cuando se diseñan muros en suelo reforzado es el modelo de cuña de falla Rankine (45 ° + φ/2).

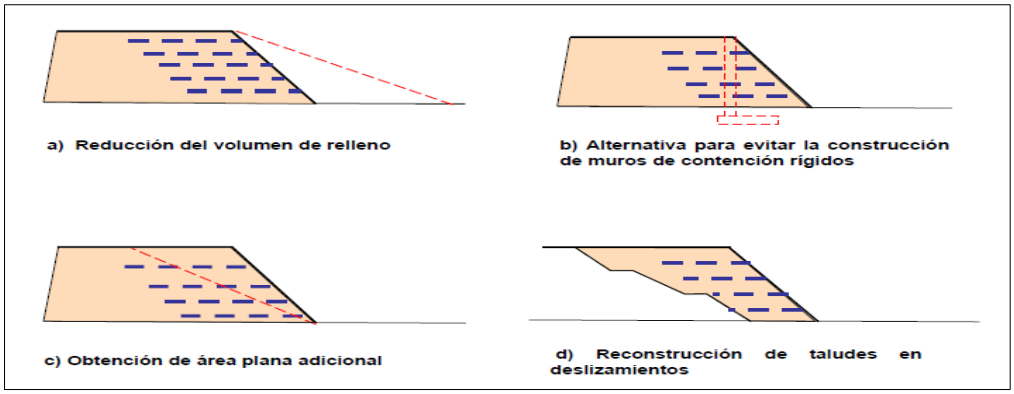


Figura 6: Reforzamiento del talud.

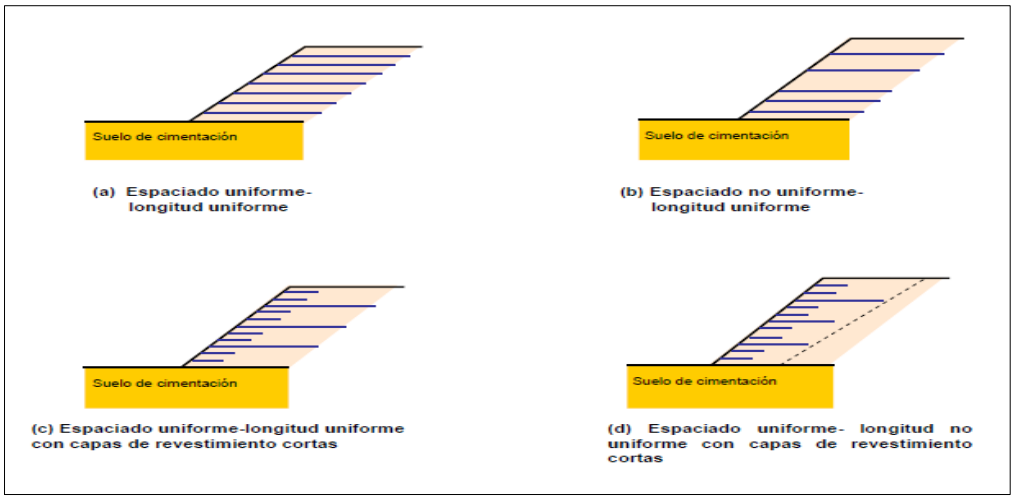


Figura 7: Beneficios de la utilización de geotextiles en la construcción de taludes de Terraplenes

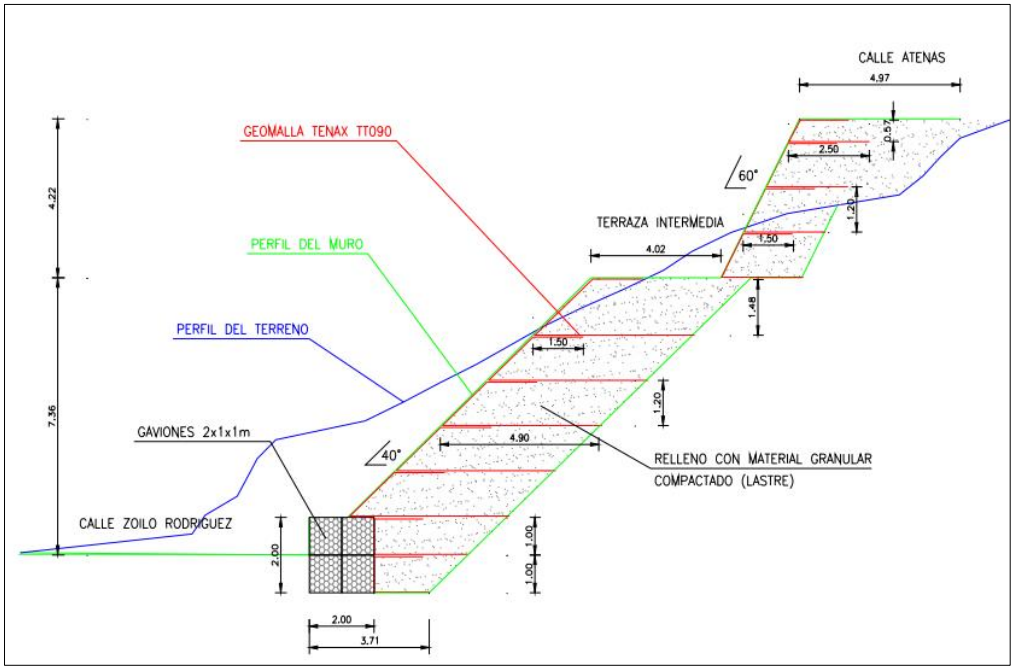


Figura 8: Vista de Perfil de un Talud Reforzado con Geosintéticos.

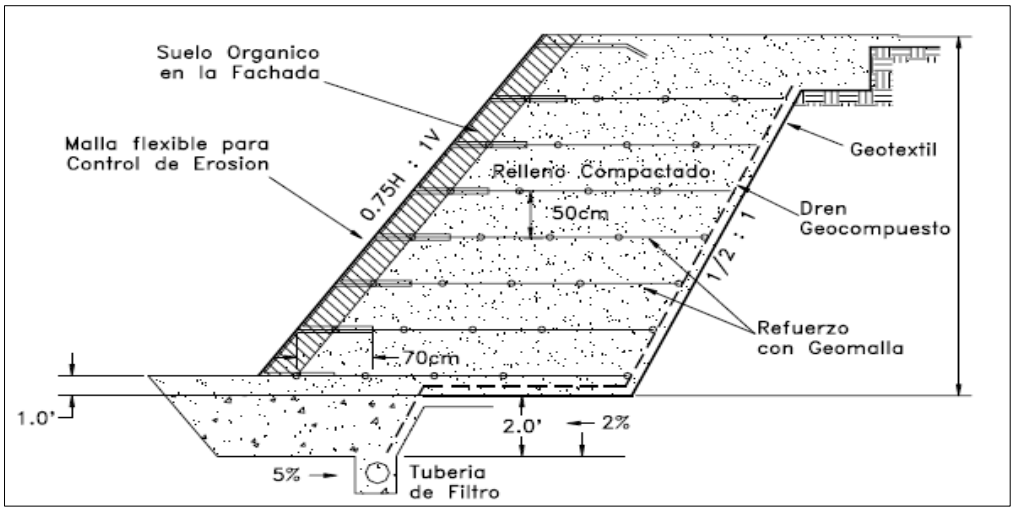


Figura 9: Elementos que conforman un muro de suelo reforzado.

B. Consideraciones de Diseño.

La metodología consiste en determinar por los métodos clásicos de equilibrio límite el factor de seguridad de la superficie potencial de falla (más crítica o más probable) que presentan los taludes del terraplén. Los geotextiles tejidos al tener la capacidad de asumir esfuerzos de tracción, desarrollan fuerzas resistentes por detrás de la superficie de falla, gracias al esfuerzo de corte que se genera entre el Geotextil y el suelo, tal efecto hace que se desarrolle una fuerza estabilizadora adicional a las determinadas normalmente y como resultado final el factor de seguridad ante la falla aumenta. Una vez determinado el factor de seguridad del talud reforzado con la superficie potencial de falla en estudio, se revisa el factor de seguridad de la superficie potencial de falla para las condiciones de refuerzo establecidas.

- Establecer los parámetros de diseño del Geotextil a usar como refuerzo. (resistencia a la tracción método tira ancha, criterios de durabilidad, interacción suelo - refuerzo)
- Determine el factor de seguridad del talud no reforzado
- Determinar el refuerzo necesario para estabilizar el talud
- Chequear la estabilidad externa
- Establecer los sistemas de drenaje y subdrenaje del terraplén.

C. Parámetros de Diseño del Geotextil de Refuerzo

Tracción disponible del Geotextil, (Tadm):

$$T_{adm} = \frac{T_{ult}}{FS}$$

$$FS = FR_{ID} * FR_{FL} * FR_{DQB}$$

Donde:

T_{ult} = resistencia última del geotextil por el método de la tira ancha

(ASTM D 4595)

T_{adm} = resistencia a la tracción disponible del geotextil

FR_{ID} = factor de reducción por daños de instalación

FR_{FL}= factor de reducción por fluencia o creep

FR_{DQB} = factor de reducción por degradación química y biológica.

Resistencia Pullout

$$FS_P = \frac{P_R}{T_{req}}$$

$$\mathrm{FS_P} = \frac{(2 * \mathrm{L_e} * \mathrm{F} * \alpha * \sigma_\mathrm{v})}{\mathrm{T_{req}}}$$

Donde:

Treq= resistencia Pullout requerida

PR = resistencia Pullout por unidad de ancho de refuerzo

Le = longitud de empotramiento, (longitud del Geotextil detrás de la superficie de falla)

F = factor de resistencia Pullout (es obtenido en ensayos Pullout con el suelo y el Geotextil que se va a usar para cada caso en particular, puede usarse como valor conservativo F= 2/3 tan φ

α = factor de transferencia de esfuerzo por efecto de escala

σv = esfuerzo vertical total.

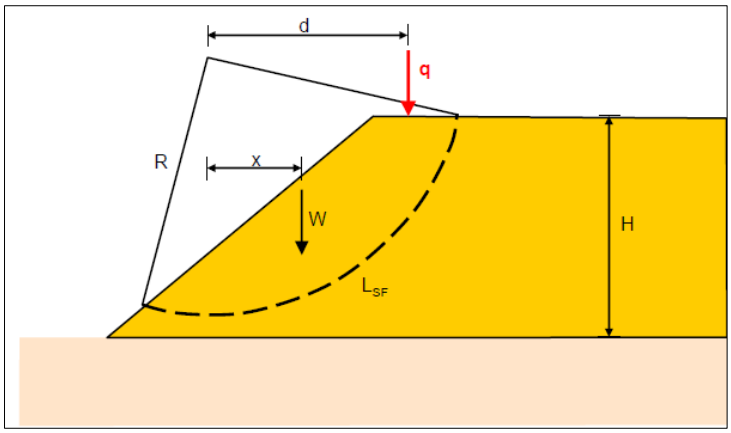


Figura 10: Esquema de superficie de falla.

D. Sistema Terramesh

Una estructura de suelo reforzado consiste en la introducción de elementos resistentes a tracción convenientemente orientados, que aumentan la resistencia del suelo y disminuyen las deformaciones del macizo. En este método, conocido como refuerzo de suelos, el comportamiento global del macizo es mejorado a cuesta de la transferencia de los esfuerzos para los elementos resistentes (refuerzos). Los suelos poseen en general elevada resistencia a esfuerzos de compresión, pero baja resistencia a esfuerzos de tracción.

Así nació el Sistema Terramesh, basándose en el principio de suelo reforzado anteriormente explicado y la tecnología desarrollada a inicios de los años 60 por el Profesor Henri Vidal conocida mundialmente como “terre armée" (tierra armada). Está idea puede ser encontrada en la misma naturaleza, tan solo observando como el suelo gana resistencia por la presencia de raíces (fibras) en su estructura que trabajan como tensores.

El sistema Terramesh System está compuesto por refuerzos en malla hexagonal a doble torsión asociados a un paramento frontal formado por la misma malla y piedras, formando cajas (puede presentar un paramento vertical o escalonado).

Asimismo la metodología de cálculo para la verificación de una estructura en suelo reforzado Terramesh System, teniendo como principal fuente de datos las características intrínsecas a esta solución.

En el dimensionamiento de estructuras de contención, los empujes laterales de suelo son los elementos más significativos para un análisis de estabilidad, generado por el peso del suelo o por las sobrecargas aplicadas sobre él.

Los empujes pueden ser de tres tipos bien distintos: activo, pasivo y en reposo, pero en caso del análisis de estructuras de contención los empujes relevantes desde un punto de vista de proyecto son el activo y el pasivo. A fin de entender claramente la actuación de cada uno de esos esfuerzos, se puede definir:

Empuje activo: es la presión límite entre el suelo y el muro, producida cuando hay una tendencia de disloque en el sentido de expandir el suelo horizontalmente.

Empuje pasivo: es la presión entre el suelo y el muro, producida cuando hay una tendencia de disloque en el sentido de comprimir el suelo horizontalmente.

Considerando que la estructura de contención funciona como un paramento que confina el suelo, tenemos que la situación más crítica ocurrirá cuando haya el mínimo disloque de ese paramento y la máxima movilización de la resistencia del suelo, o sea, la situación en que ocurre la aplicación del empuje activo sobre el muro. Existen varios métodos para la determinación del empuje, entre ellos:

Método de Rankine;

Método de Coulomb;

Análisis de equilibrio límite;

Métodos numéricos.

De entre los métodos citados, el análisis del equilibrio límite se destaca por el hecho de utilizar parámetros conocidos y de fácil determinación, además de abarcar las limitaciones de los métodos de Rankine y de Coulomb.

El método del equilibrio límite consiste en la consideración de varias posiciones para la posible superficie de ruptura, y para cada una de ellas se determina el valor del empuje por el equilibrio de fuerzas. Con eso es posible determinar la posición crítica de la superficie de ruptura y el empuje máximo correspondiente.

Se tienen en cuenta las superficies de falla con factores de seguridad menores a 1.5, determinados en un programa de estabilidad de taludes o trazando superficies de falla.

Ventajas del Sistema Terramesh System

- **Estructurales:** los sistemas Terramesh dispensas encofrados externos durante su construcción. Su paramento puede quedar expuesto a la intemperie sin sufrir daños.

- **Ambientales:** permite la construcción de obras fácilmente integradas a la naturaleza.
- **Económicas:** en especial cuando se trata de contenciones o estabilizaciones, el costo comparado con soluciones alternativas, es extremadamente ventajoso. La posibilidad de usar el suelo disponible in situ, evitando costosos transportes de suelo de mejor calidad, vuelve estos sistemas más económicos.
- **Permeabilidad:** del paramento externo garantiza el drenaje del terreno
- **Simplicidad:** la construcción de los sistemas Terramesh es muy simple y fácil, permite que una estructura Terramesh sea ejecutada manualmente, con instalaciones y equipamientos mínimos (aquellos necesarios para la construcción de un relleno compactado), inclusive en las regiones más inhóspitas. El elemento Terramesh permite la realización del paramento externo y armadura de refuerzo de forma continua.
- **Flexibilidad:** la flexibilidad de los elementos y la consecuente posibilidad de pequeños asentamientos, amplía el campo de aplicación de los sistemas Terramesh.
- **Versatilidad:** los sistemas Terramesh permiten la realización de estructuras con paramento plano o escalonado, vertical o inclinado, según las necesidades del proyecto.

Estabilidad Externa.

Estabilidad al Deslizamiento

$$FS_D = \frac{\sum Fuerzas\ Horizontales\ Resistentes}{\sum Fuerzas\ Horizontales\ Desestabilizantes}$$

$$FS_D = \frac{\left[(W + P_a * \sin \emptyset) \tan \delta_{sg}\right]}{P_a * \cos \emptyset}$$

$$W = \frac{1}{2} L^2 * \gamma * \tan \beta \qquad \rightarrow \qquad para\ L < H$$

$$W = \left[L * H - \frac{H^2}{(2 * \tan \beta)}\right] * \gamma \qquad \rightarrow \qquad para\ L > H$$

Dónde:

FSD = factor de seguridad al deslizamiento (> 1.5)

L = longitud del refuerzo en la capa inferior

H = altura del talud

PA = presión activa de tierra

δsg = ángulo de fricción entre el suelo de fundación y el Geotextil

β = ángulo del talud

Estabilidad Global o Estabilidad General

El efecto de la construcción de un terraplén genera una sobrecarga en el sitio en donde se está colocando, por tal motivo es necesario revisar la estabilidad general o global del sitio con el objeto de garantizar la estabilidad del lugar o de la obra. Este análisis se realiza por métodos clásicos de estabilidad considerando superficies de falla y evaluando factores de seguridad o probabilidades de falla.

Capacidad Portante

Se debe calcular la capacidad portante última y admisible del terreno con el objetivo de compararla con la presión de contacto. Estimar la magnitud del asentamiento, usando métodos tradicionales de la geotecnia.

Sistemas de Subdrenaje y Drenaje.

Drenaje y subdrenaje es crítico para mantener la estabilidad del terraplén.

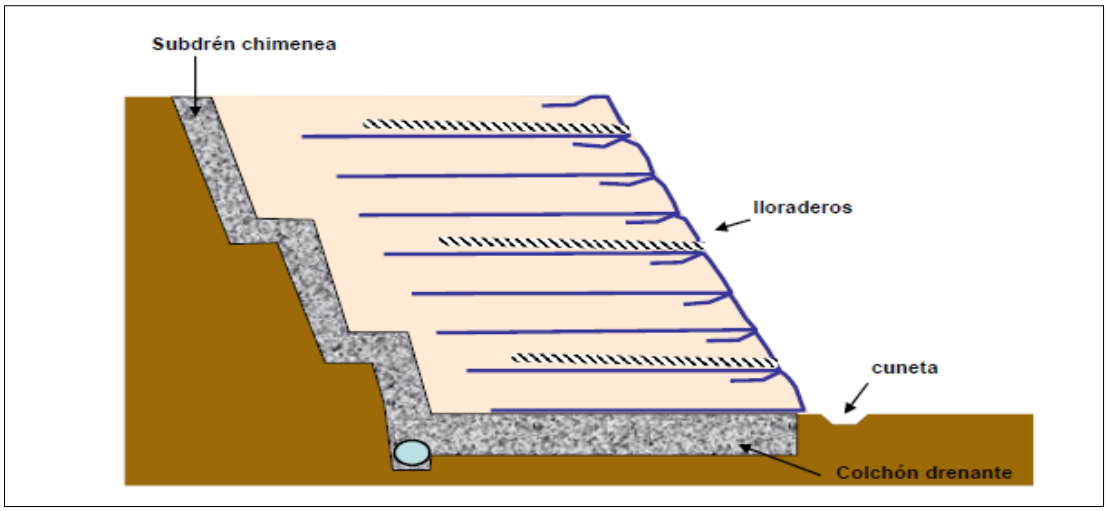


Figura 11: Esquema de obras de subdrenaje en un terraplén

Los factores de seguridad recomendados por la FHWA en su publicación FHWA-NHI-00-043 para muros de suelo reforzado con elementos extensibles, ya sea geomallas o geotextiles, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 7

Factores de Seguridad Elementos Extensibles

Criterio	Factores de Seguridad
Estabilidad Externa	
Deslizamiento en la base	≥1.5
Excentricidad en la base	L/6 en suelo, L/4 en roca
Capacidad portante	≥ 2.5
Estabilidad por asentamiento	≥1.3
Estabilidad bajo sismos	≥75% de los F.S estáticos en todos los criterios de falla mencionados anteriormente.
Estabilidad Interna	
Resistencia al Pullout	≥ 1.5
Estabilidad interna para muros	≥ 1.3

Fuente: FHWA, Publicación No. FHWA-NHI-00-043 (2001)

Tabla 8

Factores de seguridad para análisis estático

Factor de seguridad FS	Mínimo especificado por AASHTO
A deslizamiento	1.5
A Volcamiento	2.0
A capacidad de soporte	2.5
A estabilidad de taludes	1.3
A estabilidad interna	1.5
Excentricidad: Máximo L/6	

Fuente: Análisis Geotécnico, Jaime Suárez

Tabla 9

Factores de seguridad para análisis dinámico.

Factor de seguridad FS	Mínimo especificado por AASHTO
A deslizamiento	1.125
A Volcamiento	1.5

A estabilidad de taludes	1.1
A estabilidad interna	1.125

Fuente: Análisis Geotécnico, Jaime Suárez

2.10. Marco Conceptual: Terminología Básica.

Ladera: La noción de ladera suele utilizarse para nombrar al declive de una montaña, de un monte o de una altura en general. Puede decirse, en este sentido, que la ladera es uno de los lados de la montaña en cuestión. Se conocen como movimientos de ladera o fenómenos de ladera a los desplazamientos de tierra o de rocas que se hallan en una pendiente. Como una ladera implica un declive, dichos desplazamientos ocurren en el sentido de la pendiente a causa de la acción de la fuerza de gravedad.

Desprendimientos o caídas (falls): El desprendimiento se origina por el despegue de una masa de suelo o roca de una pared empinada o acantilado. El movimiento tiene lugar mediante caída libre y posterior rebote o rodadura. Es frecuente que al impactar contra la superficie del terreno, la masa caída se rompa en multitud de fragmentos. El movimiento es muy rápido

Deslizamientos (slides): Es un desplazamiento ladera abajo de una masa de suelo o roca, que tiene lugar predominantemente sobre una o más superficies de rotura, o zonas relativamente delgadas con intensa deformación de cizalla. Elementos característicos de este tipo de movimiento son la presencia de superficies de rotura definidas y la preservación a grandes rasgos de la forma de la masa desplazada.

Flujos (flows): Son movimientos espacialmente continuos en los que las superficies de cizalla tienen corta vida, se encuentran muy próximas y generalmente no se conservan. La distribución de velocidades en la masa desplazada se parece a la que se presenta en un fluido viscoso.

Flujo en roca: Los movimientos de flujo en roca comprenden las deformaciones que se distribuyen a lo largo de muchas fracturas grandes y pequeñas. La distribución de velocidades puede simular la de líquidos viscosos.

Flujo de suelo: Los flujos de suelo también pueden ser secos y más lentos de acuerdo a la humedad y pendiente de la zona de ocurrencia. En zonas de alta montaña y desérticas ocurren flujos muy secos, por lo general pequeños pero de velocidades altas.

Vuelcos (topples): Es la rotación hacia delante y hacia el exterior de la ladera, de una masa de suelo o roca alrededor de un eje situado por debajo de su centro de gravedad. La fuerza desestabilizadora es la gravedad así como el empuje ejercido por el terreno adyacente o los fluidos (agua o hielo) en las grietas.

Estabilidad e inestabilidad: Se entiende por estabilidad a la seguridad de una masa de tierra contra la falla o movimiento. Además en la estabilidad/inestabilidad de una ladera o talud intervienen simultáneamente diversos factores, por lo que es difícil plantear cuál o cuáles son la causa del deslizamiento.

Estabilización: La estabilización de un talud comprende los siguientes factores: Determinar el sistema o combinación de sistemas de estabilización más apropiados, teniendo en cuenta todas las circunstancias del talud estudiado. Diseñar en detalle el sistema a emplear, incluyendo planos y especificaciones de diseño. Instrumentación y control durante y después de la estabilización. Debe tenerse en cuenta que en taludes, nunca existen diseños detallados inmodificables y que las observaciones que se hacen durante el proceso de construcción tienden generalmente, a introducir modificaciones al diseño inicial y esto debe preverse en las cláusulas contractuales de construcción.

2.11. Marco Histórico.

Pinedo, A (2012), Comparación entre Muros de suelo reforzado con elementos extensible y no extensibles (Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil), menciona que desde tiempos inmemorables la idea de relacionar distintos elementos de refuerzo con las obras civiles acompañó a la historia de la humanidad. Caminos persas y la gran muralla china son ejemplos de un sistema de refuerzo que generalmente se realizaban con materiales vegetales fibrosos.).

Respecto a la gran muralla china, se tiene conocimiento de que para su construcción se empleó la técnica de suelo reforzado. En esta estructura se empleó como material de relleno una combinación de grava y arena que fue reforzada con ramas de un arbusto llamado “tamarisk”. (NCMA, Design Manual for Segmental Retaining Walls, 1997).

Otro de los claros ejemplos en donde se empleó la técnica de suelo reforzado es el Ziggurat, hoy conocida como Agar-Quf de la Antigua ciudad de Dur-Kurigatzu. En la actualidad dicha estructura tiene 45m de altura y está ubicado a cinco kilómetros de la ciudad de Bagdad. La construcción se realizó empleando ladrillos de arcilla, lo cual constituía la fachada de la

estructura, además se hizo empleo de esteras tejidas de caña, espaciadas verticalmente entre 0.5 y 2 metros, que eran colocadas como refuerzo horizontal dentro de un estrato de arena y grava. Se calcula que la estructura está por encima de los 3000 años de antigüedad. (BAGIR, 1944, citado por JONES, 1996).

La cultura romana también tuvo conocimiento del concepto de suelo reforzado. Es por ello que construyeron diques a lo largo de río Tiber, el tercero más grande de Italia. Un reciente descubrimiento pone al descubierto que en la ciudad de Londres la Armada Romana construyó un muelle para el puerto de "Londinium", en el cual se emplearon técnicas muy similares a los que usamos hoy en día respecto al suelo reforzado. El muelle de madera, el cual se estima que tiene una longitud de 1.5 kilómetros ha sido conservado por alrededor de 1900 años. Los 2 metros de altura de dicha construcción se realizó empleando bloques de roble que median hasta 9 metros de longitud, los cuales mantenían su cara vertical mediante refuerzos de madera incrustados en el relleno posterior. (Fig. N° 10) (BASSETT, 1981, citado por JONES, 1996).

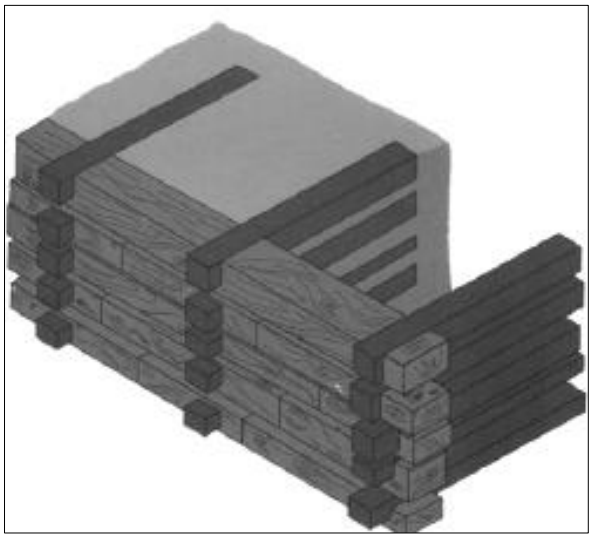


Figura 12: Estructura Romana – "wharfroman" (JONES, 1996)

Al parecer el inicio de estructuras de suelo reforzado estuvo directamente relacionado con el control del río por medio de obras de contención y diques. Estas estructuras eran formadas teniendo como refuerzo cañas y relleno de arcilla, tal es el caso que se puede apreciar a lo largo del río Tigres y Eufrates, todo esto mucho antes de que los romanos adoptaron mencionada técnica (FHWA-NHI-00-043, 2001).

En 1925 en los Estados Unidos, Munster desarrollo un muro de suelo reforzado, para lo cual se empleó elementos de madera como refuerzo y un pequeño paramento. Los problemas que

este sistema podría generar durante su construcción fueron minimizados por medio del uso de conectores deslizantes que interactuaban entre los elementos de refuerzo y la cara del muro. Las técnicas usadas para la construcción de dicho muro son en esencia las que se utilizan en la actualidad (JONES, 1996) (Fig. 11).

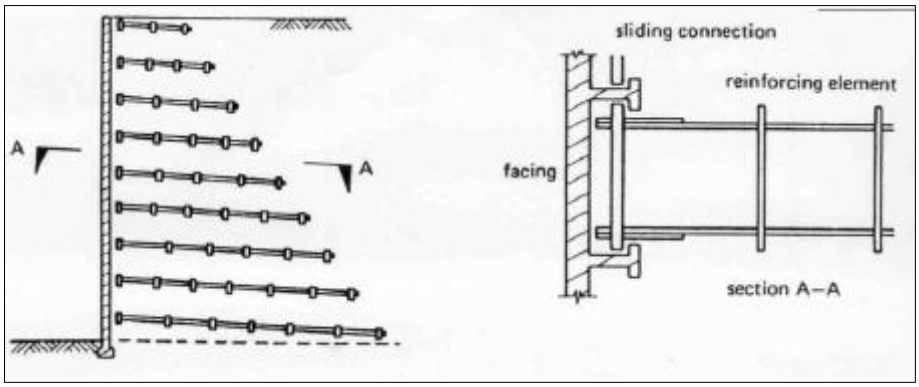


Figura 13: Estructura de suelo reforzado Munster (JONES, 1996)

La idea de una estructura de muro de suelo reforzado comenzó a gestarse durante la década de 1960. El concepto denominado "Tierra Armada" fue patentado por el arquitecto francés Henri Vidal en 1966. La idea inicial que tuvo Vidal fue la de un material de relleno reforzado por tiras planas colocadas de manera horizontal sobre un determinado suelo friccionante. El término de "tierra Armada actualmente se emplea para describir las distintas formas de suelo reforzado (Jones, 1996).

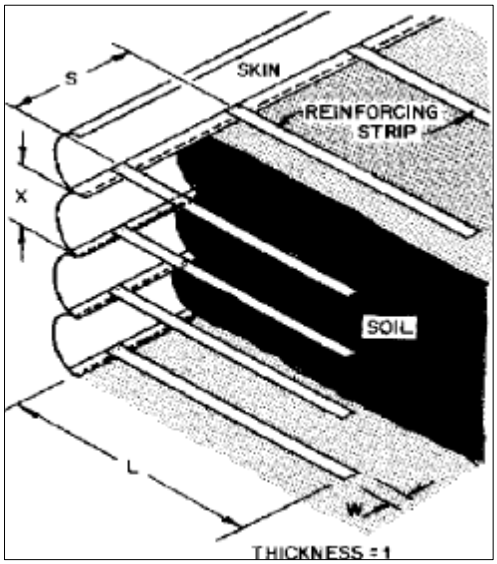


Figura 14: Muro Vidal. (NAVFAC, 1986).

Jewell (1992) manifestaba que la construcción de "Tierra Armada" involucraba distintos elementos y materiales tales como tiras metálicas, suelo granular y paramento de paneles.

Se pudo constatar que la técnica resultaba económica, razón por la cual se generó interés no solo comercial sino también académico. Según lo manifestado por Elias (2001) el uso de materiales sintéticos en suelos reforzados fue iniciado a partir del año de 1971 en Francia y en 1974 se hizo en los Estados Unidos. Para el año 1981 se logró construir el primer muro de suelo reforzado con geomallas.

El sistema de "Tierra Armada" propuesto por Vidal se desarrolló de manera muy rápida. Fue así que se comenzó a realizar importantes estudios por importantes compañías entre las cuales destaca el "Laboratoire des Pont Et Chaussées" (LCPC) en Francia, el "United Kingdom Department of Transport", asi como también el "United States Department of Transportation" de los Estados Unidos. Este trabajo de investigación permitió la introducción de distintos elementos perfeccionados que servirían como refuerzo, así mismo permitió mejorar y ahondar mucho más en el concepto que se tenía sobre el diseño del denominado sistema de suelo reforzado.

Fue a partir de la investigación realizada por estas compañías que se comenzó a introducir al mercado distintos elementos de refuerzo, entre los cuales destacan los textiles, aunque finalmente estos elementos terminaron siendo utilizado en aplicaciones geotécnicas fuera del suelo reforzado. El mayor uso de las telas geotextiles ha sido desarrollado en las áreas de separación, filtración y drenaje. En el año 1974, el "California Department of Transportation" introdujo el uso de mallas o grillas como elementos de refuerzo en los denominados muros de contención, lo cual significo un nuevo avance en el desarrollo de este tipo de estructuras. (JONES y HASSAN, 1992).

La evolución que se viene dando en los materiales tiene consecuencia directa en el desarrollo del suelo reforzado. Los avances tecnológicos que se vienen dando en la actualidad permiten la utilización de materiales artificiales o de ingeniería no sólo para este tipo de estructuras sino para cualquiera que pueda existir.

Dentro del campo de las geomallas existen las geomallas uniaxiales de polietileno de alta densidad, las cuales se vienen usando dentro del campo de la ingeniería civil desde las década de 1960. Una de sus primeras aplicaciones fue en la construcción de terraplenes para una estación ferroviaria, estas geomallas uniaxiales sirvieron como refuerzo del relleno formado por ceniza volcánica y con el propósito de poder conseguir niveles más altos de compactación. Por esa misma década, las geomallas biaxiales de polipropileno fueron empleadas para recuperar suelos blandos en el Aeropuerto de Nyeta en Tokio y a su vez mejorar la capacidad portante de la sub-base, todo de esto de acuerdo a la línea de acción de

la “California HighwayAuthority” y la West Yorkshire Metropolitan Country. (JONES y HASSAN, 1992).

Hoy en la actualidad el empleo de materiales Geosintéticos en suelos reforzados y taludes ha crecido con gran notoriedad. Este gran crecimiento se debe fundamentalmente a que el sistema en general constituye una alternativa económica y de fácil construcción.

2.12. Hipótesis a Demostrar.

El problema formulado genera la siguiente hipótesis:

Mediante el diseño de refuerzo y protección del talud Superior de la Vía Alameda Shilcayo – Cercado Tarapoto, con Geosintéticos, se contribuirá a la gestión para la solución del problema de inestabilidad existente del talud.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. Materiales.

3.1.1. Recursos Humanos.

Para este presente trabajo de investigación se contó con la colaboración del siguiente personal:

- 01 Tesista.
- 01 Asesor de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura (UNSM-T).
- 01 Topógrafo.
- 01 Técnico de Suelos.

3.1.2. Recursos Materiales.

- Útiles de oficina.
- Libros, artículos, papers y todo texto de consulta.
- Materiales de almacenamiento de datos (CD y USB).
- Calculadora Gráfica HP 50g.

3.1.3. Recursos de Equipos.

- Equipo para Ensayo Triaxial.
- Equipo Topográfico (Estación Total).
- Computadora portátil laptop.
- Impresora.
- Cámara fotográfica.
- Medios de comunicación (celulares).

3.1.4. Otros Recursos.

- Software's (Microsoft word, Microsoft excel, AutoCAD, MacStars W 4.0).
- Navegador de internet (Google Chrome).
- Movilidad hacia la zona de estudio.

3.2. Metodología.

3.2.1. Universo y Muestra.

3.2.1.1. Universo.

El universo lo conforma el Talud de la margen derecha, aguas abajo del Río Shilcayo, ubicado entre la Escalinata de la Alameda de la Paz y el Hotel Cumbaza (Progresiva Km 00+000 hasta el 00+291.81)

3.2.1.2. Muestra.

Se considera inestable a todo el tramo del talud. La muestra que se tomó para realizar el análisis correspondiente, es una de las secciones transversales, que se escogió arbitrariamente para realizar el análisis de la inestabilidad existente de talud, así como donde se planteó el diseño de refuerzo y protección con geosintéticos.

3.3. Sistemas de Variables.

Se empleó un sistema de variables definidos de la siguiente manera, para la variable independiente se idealizará con la letra “X” y para las variables dependientes se idealizará con la letra “Y”.

3.3.1. Variable Independiente.

La variable independiente está dada por:

X: El análisis de la inestabilidad existente del talud.

3.3.2. Variable Dependiente.

La variable dependiente está dada por:

Y: El diseño de refuerzo y protección del talud Superior de la Vía Alameda Shilcayo – Cercado Tarapoto, con Geosintéticos.

3.4. Operacionalización de variables

Cuadro 1

Operacionalización de variables.

Variable	Definición conceptual	Definición Operacional	Indicador	Escala de medición	Instrumento
Variable independiente: El análisis de la	El análisis de la inestabilidad existente del talud, se define como el método por el cual	El resultado del análisis de la inestabilidad existente del talud, mediante la	Factor de seguridad determinado mediante el modelamient	Cuantitativa	Con el apoyo del programa MacStars W 4.0

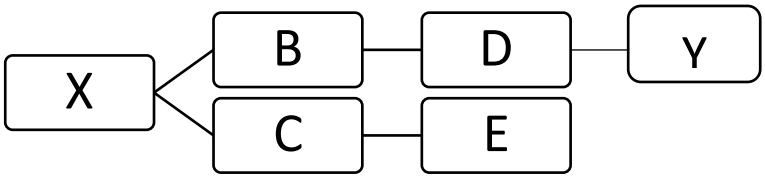
inestabilidad existente del talud	se determina el factor de seguridad, para conocer cuál es el factor de amenaza de que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento.	determinación del factor de seguridad, permitirá proponer el diseño de refuerzo y protección para el talud.	o del análisis de inestabilidad del talud en las condiciones estáticas y pseudoestáticas.		
Variable dependiente: El diseño de refuerzo y protección del talud Superior de la Vía Alameda Shilcayo – Cercado Tarapoto, con Geosintéticos.	El diseño de refuerzo y protección del talud, se define como una propuesta para contribuir con la gestión para solucionar el problema de inestabilidad existente del talud.		Factor de seguridad determinado mediante el modelamiento del análisis de estabilidad del talud reforzado en las condiciones estáticas y pseudoestáticas.	Cuantitativa	Con el apoyo del programa MacStars W 4.0

Fuente: Elaboración propia. Referencia: Tesis para optar título profesional de Ingeniería Civil por la UNSM, Claudia I. Cutipa Pizarro.

3.5. Diseño Experimental de la investigación.

Se trata de una **Investigación no Experimental**, puesto que el análisis de la inestabilidad del talud se realizó sin manipular las condiciones existentes en el área de estudio. Asimismo el factor de seguridad inicial que se determinó con el modelamiento del análisis de la inestabilidad del talud, es un indicador para la propuesta de diseño de refuerzo y protección del talud, con geosintéticos. Ya que al resultar un factor de seguridad menor a lo normado bajo las condiciones estáticas y pseudoestáticas, se realizará el modelamiento del análisis con la solución planteada para incrementar este factor de seguridad.

El esquema del diseño de investigación es el siguiente:



X: Investigación Preliminar (Recolección y revisión de información existente, topografía, estudio de mecánica de suelos y geotecnia).

B: Modelamiento de la inestabilidad del talud: Factor de seguridad resulte inestable bajo las condiciones estáticas y pseudoestáticas.

C: Modelamiento de la inestabilidad del talud: Factor de seguridad resulte estable bajo las condiciones estáticas y pseudoestáticas.

D: Se propone un diseño de Refuerzo y Protección para el Talud, con Geosintéticos.

E: La Investigación concluye, ya que la hipótesis no se puede validar.

Y: Se realiza el modelamiento de la Estabilidad del Talud, con la solución planteada, verificándose que el factor de seguridad resulte estable.

3.6. Diseño de Instrumentos.

3.6.1. Fuentes Técnicas.

Se utilizó Bibliografía diversa y especializada para llevar a cabo la investigación, las cuales se mencionó en el marco teórico y en las referencias bibliográficas.

3.6.2. Instrumentos de Selección de Datos.

La información se adquirió a través de datos técnicos, observaciones y reconocimiento de la zona de estudio, levantamiento topográfico, muestras de suelos tomadas directamente en el área de estudio y ensayos realizados en el Laboratorio de Suelos.

a) Instrumentos Bibliográficos. Para la interpretación de los resultados de la investigación.

b) Instrumentos usados en Campo. Para la obtención de los datos topográficos, muestras de suelo, reconocimiento del lugar, etc.

c) Instrumentos de Gabinete. Para el procesamiento de la información obtenida en campo y en el laboratorio de suelos. Asimismo para el análisis de la estabilidad del talud sin refuerzo y con refuerzo, con el material Geosintético.

3.7. Procesamiento de la Información.

3.7.1. Reconocimiento del lugar.

Para empezar con el desarrollo de la investigación se procedió a realizar como primer paso, el recorrido por toda la zona del Talud.

3.7.2. Características Geológicas.

En el recorrido que se realizó se identificó que el talud está compuesto por suelo y roca, asimismo se observó que hubo un desprendimiento de rocas, como se aprecia en la siguiente fotografía:

Fotografía 1: Vista de la roca que se desprendió del talud

3.7.3. Vegetación existente.

Suarez Díaz, Jaime en su libro de Deslizamiento menciona que el efecto de la vegetación sobre la estabilidad de los taludes ha sido muy debatido en los últimos años. Los árboles y arbustos de raíz profunda le aportan una resistencia cohesiva significativa a los mantos de suelo más superficiales y al mismo tiempo, facilitan el drenaje subterráneo, reduciendo en esta forma la probabilidad de deslizamientos poco profundos (Figura 9.1); pero su efecto no es el mismo en deslizamientos profundos. Asimismo se ha identificado algunas especies de flora tales como el bambú (Bambusoideae), palmeras (Arecaceae), yerbas, arbustos, etc.

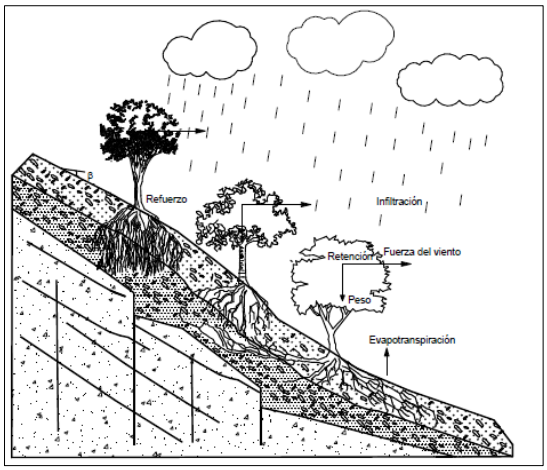


Figura 15: Vegetación en los taludes

Fotografía 2: Vista 1 del desprendimiento de un árbol en el área del talud

Fotografía 3: Vista 2 del desprendimiento de un árbol en el área del talud

3.7.4. Estudio Topográfico.

3.7.4.1. Introducción.

El presente estudio topográfico detalla el proceso de campo y trabajos de gabinete realizados para obtener los planos topográficos del terreno, principalmente las secciones transversales

que corte en toda la longitud del talud. Asimismo, los datos obtenidos del estudio topográfico son parámetros de la geometría del talud que será analizado.

3.7.4.2. Objetivo del Estudio topográfico.

El estudio topográfico tiene como objetivo principal determinar las características geométricas actuales del terreno, para de esta manera seleccionar la sección donde realizará el análisis de la estabilidad o inestabilidad del Talud, tomando como información referencial el tramo 00+000 al 00+291.81.

Para la obtención de los puntos de inicio se realizó con el instrumento GPS.

Para el levantamiento topográfico, se contó con el apoyo de un topógrafo, quien hizo uso de la estación total Topcon.

3.7.4.3. Ubicación Geográfica.

La ubicación geográfica se encuentra entre las coordenadas UTM, el punto de inicio 00+000 (9282308.700 N; 349766.457 E) y el punto final 00+291.81 (9282455.114 N; 349999.788 E).

3.7.4.4. Personal y Equipo Utilizado.

Para llevar a cabo el levantamiento topográfico, el día 30 de junio del 2017 y el día 01 de julio del 2017, se contó con el apoyo del siguiente personal y el respectivo equipamiento:

Personal

01 Jefe de estudio (Tesista)

01 Topógrafo

02 Ayudantes en el prisma.

Equipos

01 Estación Total Topcon ES-105 N° BS-3071

01 GPS Navegador

01 Trípode metálico para Estación

02 Bastones

02 Porta prisma

02 Prisma

03 Radios Walkie Talkie,

Cámara Fotográfica Digital

01 Laptop

Equipo de Software (AutoCad Civil 3D, Microsoft Office, etc.)

Pilas Recargables, extensiones eléctricas

3.7.4.5. Metodología.

Descripción del Terreno

El área en estudio comprende: perímetro de la zona en estudio, relieve de alrededores, rocas que se han desprendido hasta la berma extrema de la calzada.

Trabajo de Campo

Se obtuvo 1906 puntos levantados en campo para la proyección del plano en planta del área de estudio, donde se ubica el talud.

Asimismo se realizó el seccionamiento transversal, resultando 60 secciones transversales que van desde 0+000.00 hasta 0+291.81, los cuales se anexan en los planos topográficos.

Trabajo de Gabinete

Con los datos del levantamiento topográfico, procesó en el programa de AutoCAD y se obtuvo los planos de planta, perfil y secciones transversales del área de estudio.

3.7.5. Estudio de mecánica de suelos y geotecnia.

3.7.5.1. Objetivo del estudio

Con el estudio de mecánica de suelos y geotecnia se determina las propiedades físicas y mecánicas del suelo que serán necesarias para realizar el análisis de la inestabilidad o estabilidad del área del talud en investigación.

3.7.5.2. Personal y equipo utilizado

Para el trabajo de campo: se contó con el siguiente personal

Personal

01 Jefe de estudio (Tesista)

01 Técnico de suelos

02 Ayudantes para realizar la excavación

Equipo e Instrumentos

01 GPS

01 posteadora

01 wincha

01 excavadora manual

01 palana

01 machete

01 cámara fotográfica

Bolsas negras, costales, pizarra y plumones acrílicos

Para el trabajo de gabinete: Se contó con el siguiente personal

Personal

01 Jefe de estudio (Tesista)

01 Técnico de laboratorio de suelos

Equipo e Instrumentos

01 balanza electrónica

01 horno eléctrico del laboratorio

01 juego de tamices

01 equipo de triaxial

01 copa de Casagrande

Recipientes de lata para las muestras.

3.7.5.3. Metodología

Trabajo de campo: La excavación se realizó mediante la técnica de calicatas, con el uso de un instrumento llamado posteadora manual para la extracción de las muestras. Se excavaron un total 06 calicatas las cuales se detallan en los anexos del estudio de mecánica de suelos.

Fotografía 4: Vista de la extracción de muestras con el instrumento Posteadora

Trabajo de gabinete: El trabajo de gabinete consiste en realizar los ensayos en el laboratorio de mecánica de suelos y pavimentos de la facultad de ingeniería civil y arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín. Asimismo, se realizaron los siguientes ensayos:

Tabla 10

Ensayos de Laboratorio realizados.

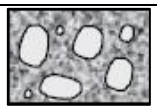
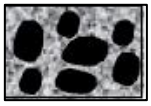
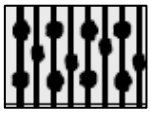
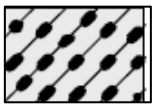
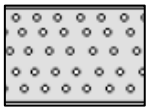
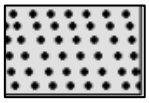
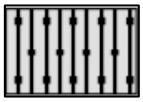
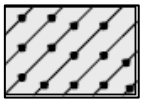
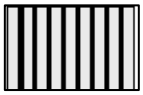
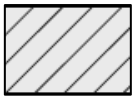
Nombre del Ensayo	Norma
Contenido de Humedad	NTP 339.127 (ASTM D2216)
Análisis Granulométrico	NTP 339.128 (ASTM D422)
Límite líquido y límite plástico	NTP 339.129 (ASTM D4318)
Peso específico relativo de sólidos	NTP 339.131 (ASTM D854)
Clasificación Unificada de Suelos (SUCS)	NTP 339.134 (ASTM 2487)
Compresión Triaxial no consolidado no drenado	NTP 339.164 (ASTM D2850)

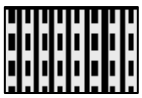
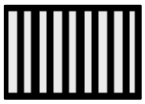
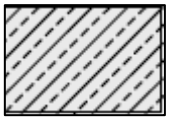
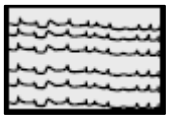
Compresión Triaxial consolidado no drenado	NTP 339.166 (ASTM D4767)
Densidad de campo	NTP 339.143 (ASTM D1556)

Fuente: Norma E050 Suelos y Cimentaciones, del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Tabla 11

Simbología de Suelos (Referencial)

DIVISIONES MAYORES		SÍMBOLO SUCS	SÍMBOLO GRÁFICO	DESCRIPCIÓN
SUELOS GRANULARES	**GRAVA Y SUELOS GRAVOSOS**	**GW**		**GRAVA BIEN GRADUADA.**
		GP		**GRAVA MAL GRADUADA**
		GM		**GRAVA LIMOSA**
		GC		**GRAVA ARCILLOSA**
	ARENA Y SUELOS ARENOSOS	**SW**		**ARENA BIEN GRADUADA**
		SP		**ARENA MAL GRADUADA**
		SM		**ARENA LIMOSA**
		SC		**ARENA ARCILLOSA**
SUELOS FINOS	**LIMOS Y ARCILLAS (LL<50)**	**ML**		**LIMO INORGÁNICO DE BAJA PLASTICIDAD**
		CL		**ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD**

		OL		**LIMO ORGÁNICA O ARCILLA ORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD**
	LIMOS Y ARCILLAS (LL>50)	**MH**		**LIMO INORGÁNICO DE ALTA PLASTICIDAD**
		CH		**ARCILLA INORGÁNICA DE ALTA PLASTICIDAD**
		OH		**LIMO ORGÁNICO O ARCILLA ORGÁNICA DE ALTA PLASTICIDAD.**
SUELOS ORGÁNICOS	**ALTAMENTE**	**Pt**		**TURBA Y OTROS SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS**

Fuente: Elaboración Propia. Referencia: Norma E050 Suelos y Cimentaciones, del Reglamento Nacional de Edificaciones.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Realizar los estudios básicos de mecánica de suelos y geotecnia, y de topografía.

4.1.1.1. Resultados del Estudio Topográfico.

Con el estudio topográfico realizado se obtuvo la proyección de los planos de planta, perfil y secciones transversales del área de estudio. Asimismo, la sección transversal (0+220.00) que se muestra a continuación fue escogida arbitrariamente para realizar los análisis de inestabilidad existente del talud (Figura N° 16):

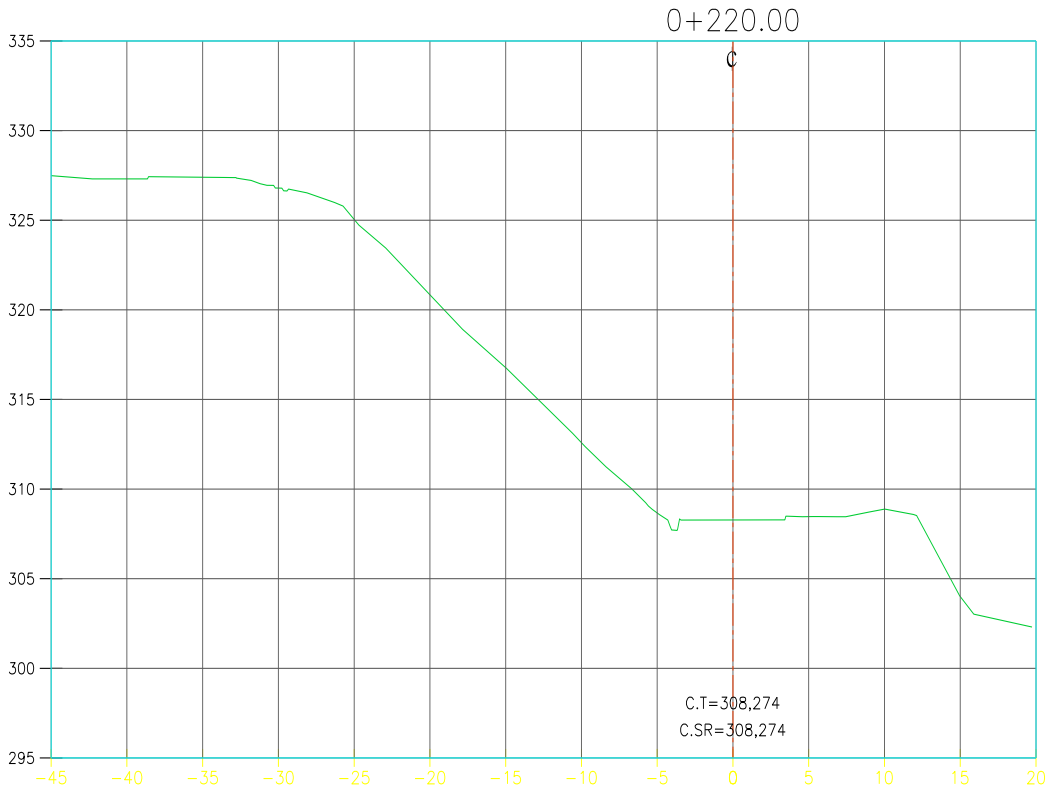


Figura 16: Sección Transversal 0+220, escogida para el análisis de Estabilidad

4.1.1.2. Resultados del Estudio de Mecánica de Suelos.

Los resultados del Estudio de mecánica de suelos, se resumen en el siguiente cuadro:

Cuadro 2

Resumen de los resultados del estudio de mecánica de suelos.

RESULTADOS																		
PUNTO	N° de	PROFUND.	**GRANULOMETRIA**				**PROPIEDADES INDICES**			HUMEDAD	**TRIAXIAL**				**Densidad de Campo**		**CLASIF.**	**CLASIF.**
DE	Muestra	MUESTRA	MALLA	MALLA	MALLA	MALLA	L.L	L.P.	IP	NATURAL	γ nat	γ nat 2	ANG .FRICCION	COHESION	γh	γs	**SUCS**	**AASHTO**
EXPLORACIÓN		m.	# 4	#10	# 40	#200	%	%	%	%	1(gr/cm³)	(gr/cm³)	∅	Kg/cm²	gr/cm³	gr/cm³		
P-01	**M II**	0.50-1.50	75.95%	70.93%	50.13%	19.51%	NP	NP	NP	1.46	2.03	2.03	**33**	**0.00**	2.03	2.00	**GM**	**A-2-4(0)**
P-02	**M II**	0.50-1.50	90.77%	83.34%	63.03%	29.95%	NP	NP	NP	3.94	1.96	1.96	**31**	**0.00**	1.96	1.89	**SMg**	**A-2-4(0)**
P-03	**M II**	0.90-1.40	99.46%	99.12%	93.84%	26.40%	NP	NP	NP	4.29	-	-	**-**	**-**	**-**	**-**	**SM**	**A-2-4(0)**
	M III	1.40-1.80	100.00%	98.83%	91.18%	70.43%	32.98	19.25	13.73	14.02	1.85	1.85	**21**	**0.22**	1.85	1.62	**CL**	**A-6(8)**
P-04	**M II**	0.50-1.50	99.90%	99.10%	48.83%	13.49%	NP	NP	NP	3.98	-	-	**-**	**-**	-	-	**SMg**	**A-1-b(0)**
P-05	**M II**	0.50-1.50	50.81%	43.95%	34.85%	21.53%	NP	NP	NP	4.10	-	-	**-**	**-**	-	-	**GM**	**A-1-b(0)**
P-06	**M II**	0.50-1.50	50.55%	43.69%	34.59%	21.27%	NP	NP	NP	10.90	-	-	**-**	**-**	-	-	**GM**	**A-1-b(0)**

Fuente: Resultados del estudio de mecánica de suelos, realizados en el laboratorio de mecánica de suelos y pavimentos de la FICA

Asimismo se obtuvieron los siguientes gráficos:

Del ensayo de Análisis Granulométrico (NTP 339.128 /ASTM D422)

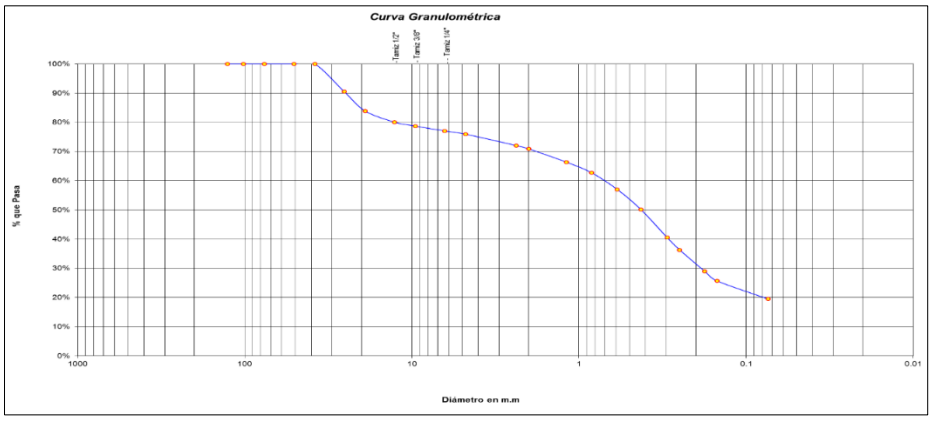


Figura 17: Curva Granulométrica de la P-01 (0.50-1.50).

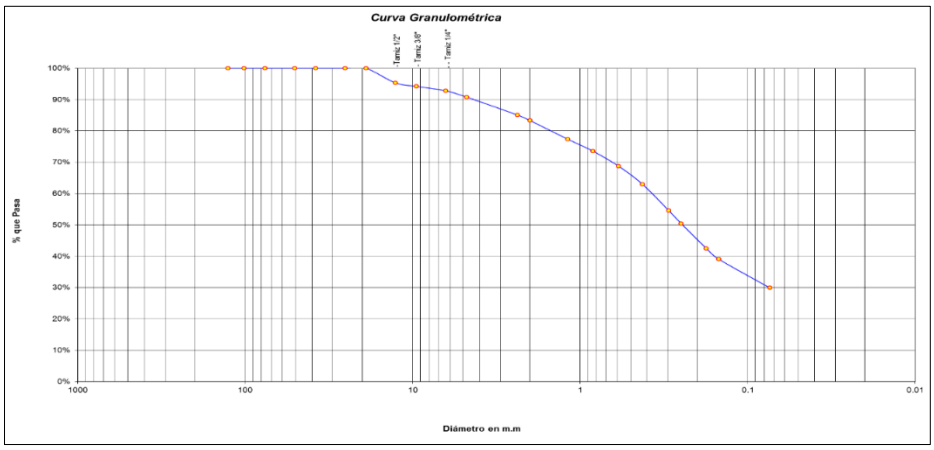


Figura 18: *Curva Granulométrica de la P-02 (0.50-1.50)*

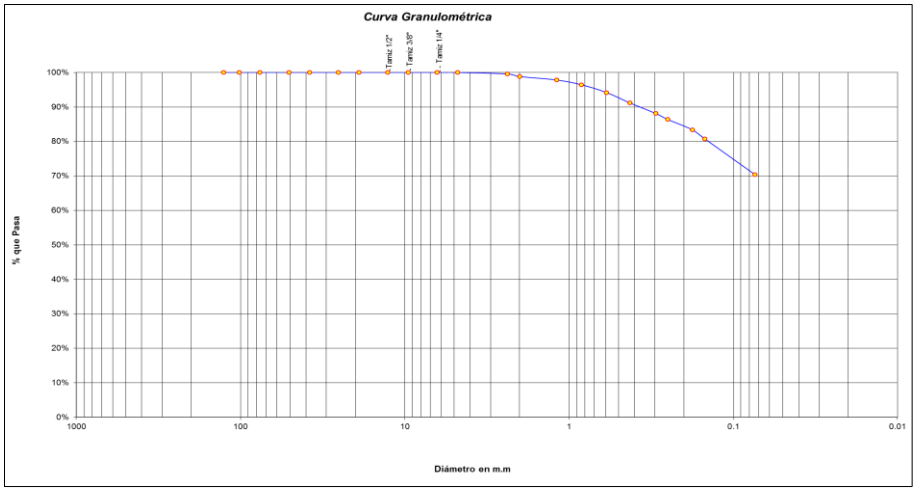


Figura 19: Curva Granulométrica de la P-03 (0.90-1.40)

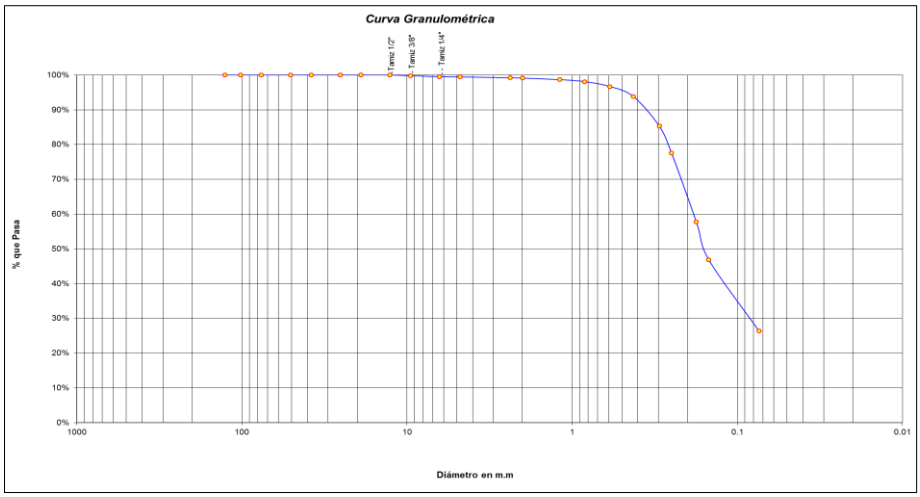


Figura 20: Curva Granulométrica de la P-03 (1.40-1.80)

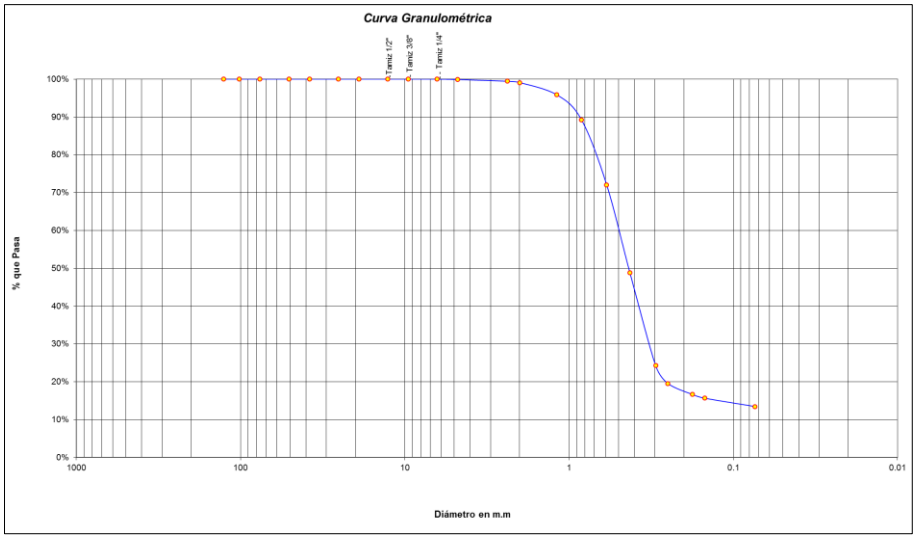


Figura 21: Curva Granulométrica de la P-04 (0.50-1.50)

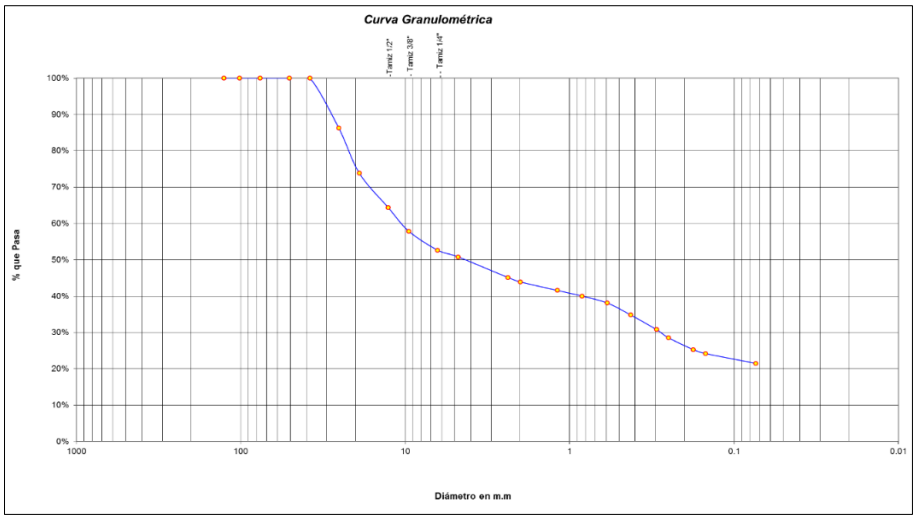


Figura 22: Curva Granulométrica de la P-05 (0.50-1.50)

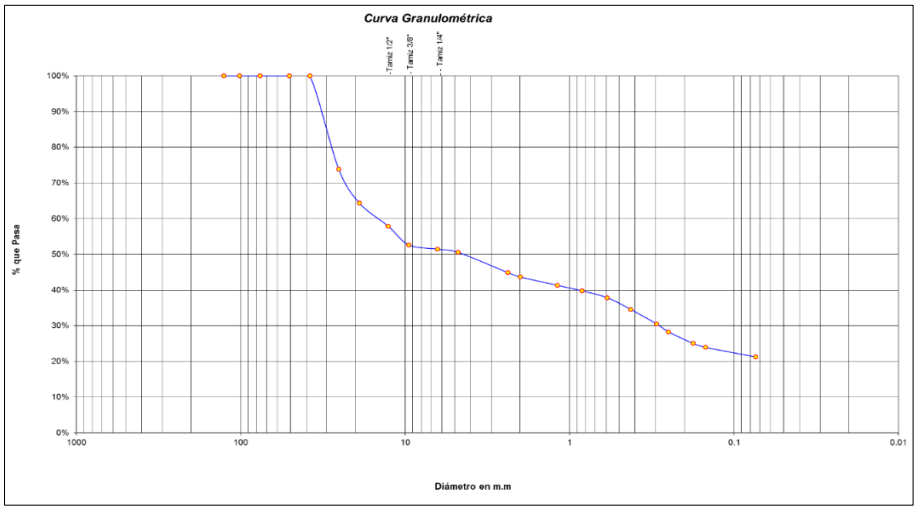


Figura 23: Curva Granulométrica de la P-06 (0.50-1.50)

Del ensayo de Compresión Triaxial no consolidado no drenado (NTP 339.164/ASTM D2850)

TRIAXIAL P-01

- ✓ Ángulo de Fricción Interna (°) =33°
- ✓ Cohesión (kg/cm2) = 0.00

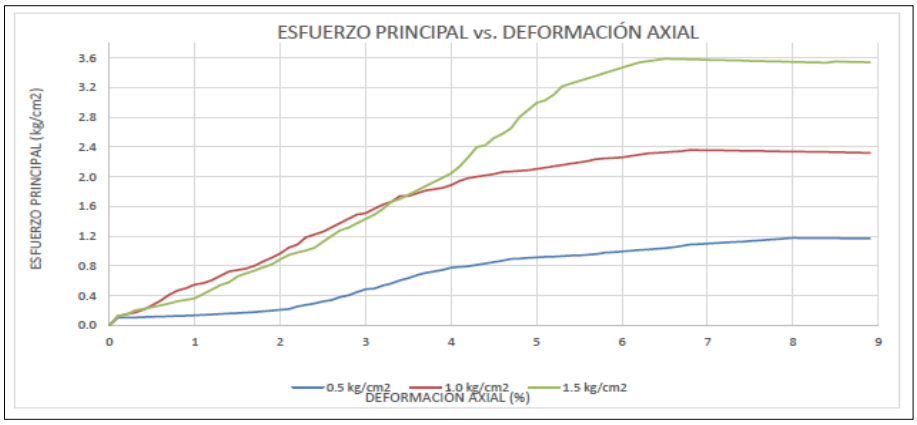


Figura 24: Gráfica de esfuerzo principal vs. Deformación axial.

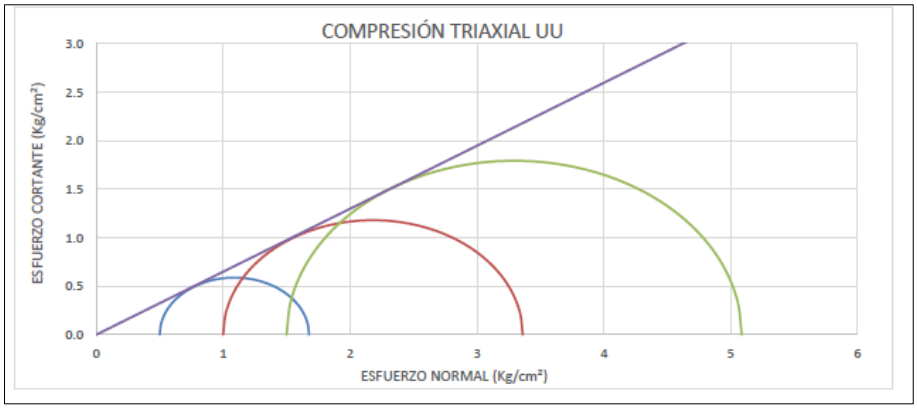


Figura 25: Gráfica de esfuerzo cortante vs. Esfuerzo normal.

TRIAXIAL P-02

- ✓ Ángulo de Fricción Interna (°)= 31°
- ✓ Cohesión (kg/cm2) = 0.00

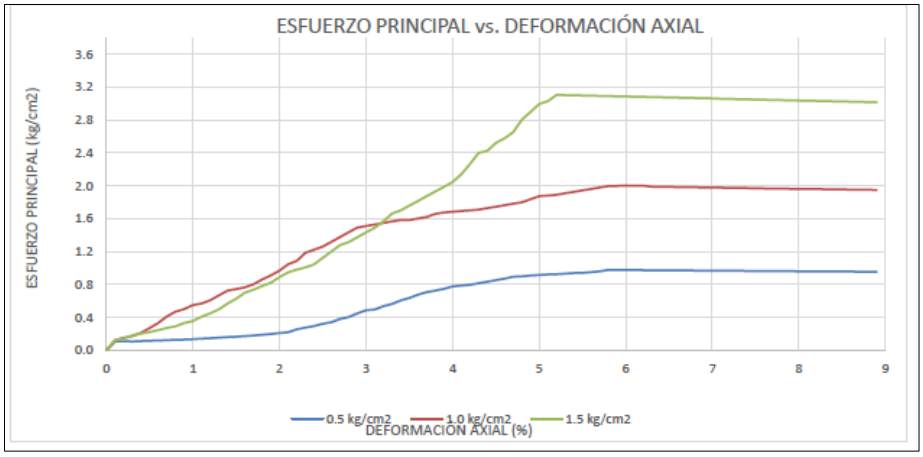


Figura 26: Gráfica de esfuerzo principal vs. Deformación axial

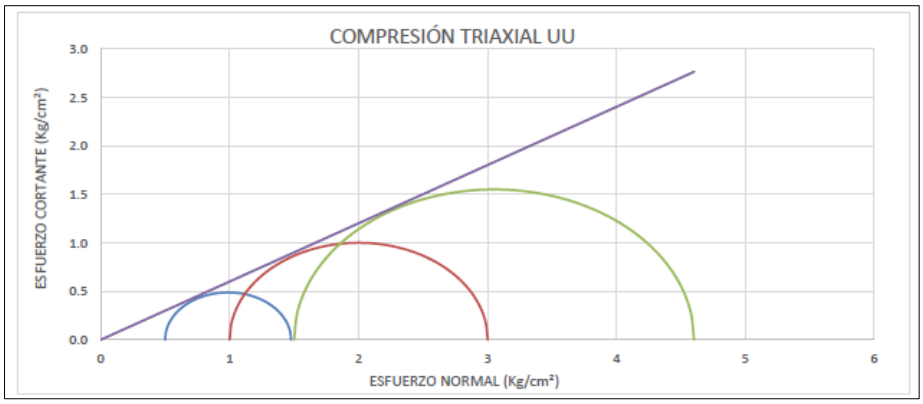


Figura 27: Gráfica de esfuerzo cortante vs. Esfuerzo normal

Del ensayo de Compresión Triaxial consolidado no drenado (NTP 339.166/ASTM D4767)

TRIAXIAL P-03

- ✓ Ángulo de Fricción Interna (°) Ø´=21°
- ✓ Cohesión (kg/cm2) C´=0.22 kg/cm2

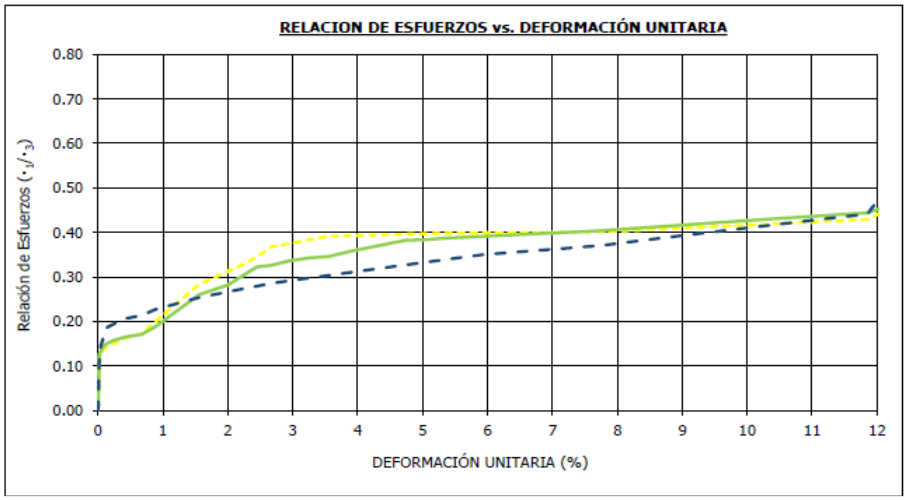


Figura 28: Gráfica relación de esfuerzos vs. Deformación unitaria

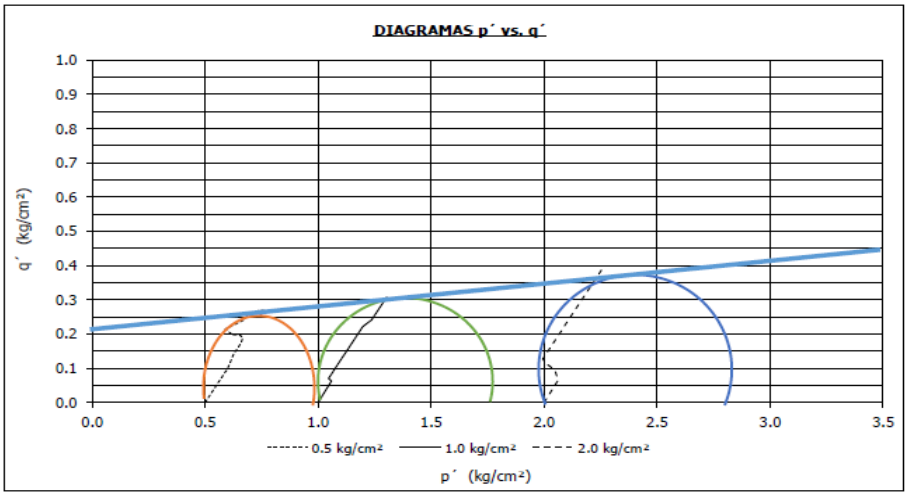


Figura 29: Diagrama p´vs. q´

4.1.2. Interpretar los resultados de los estudios básicos para el análisis de la inestabilidad existente del talud, con el uso del programa MacStars W.

4.1.2.1. Resultados del análisis de inestabilidad existente del talud (Sin Refuerzo)

- **Datos para el análisis de la inestabilidad existente del talud**

Propiedades del suelo que conforma al talud.

Estrato Inferior

Cohesión.....[t/m²].....: 0.00

Ángulo de Fricción.....[°].....: 31.00

Peso unitario – Natural.....[t/m³].....: 1.96

Peso unitario – Saturado.....[t/m³].....: 1.96

Estrato Superior

Cohesión.....[t/m²].....: 2.20

Ángulo de Fricción.....[°].....: 21.00

Peso unitario – Natural.....[t/m³].....: 1.85

Peso unitario – Saturado.....[t/m³].....: 1.85

Coordenadas en los ejes X-X y Y-Y, como parte de la geometría del talud

Cuadro 3

Perfil del terreno del estrado inferior de la sección transversal 00+220

Coordenadas que el estrato inferior de la sección transversal 00+220							
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
-15.00	-3.84	-11.08	-3.76	-7.11	-3.55	1.14	-4.12
6.98	-5.85	15.06	-10.07	21.63	-15.56	24.23	-17.55
25.70	-18.52	33.58	-18.31	41.91	-18.21	45.00	-22.81
45.89	-23.77	49.74	-24.49				

Fuente: Reporte del programa MacStARS W – Rel. 4.0.

Cuadro 4

Perfil del terreno del estrado superior de la sección transversal 00+220

Coordenadas que el estrato superior de la sección transversal 00+220							
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
-15.00	0.69	-8.64	0.51	-5.00	0.60	-2.77	0.55
0.11	-0.00	4.28	-1.02	12.15	-7.88	15.06	-10.07

Fuente: Reporte del programa MacStARS W – Rel. 4.0.

Cargas Distribuidas: S/C

Intensidad (t/m2): 0.20

Abscisa (m)

De -12.00 hasta 3.00

Efectos Sísmicos:

Aceleración (m/s2)

Horizontal: 1.75

- **Determinación del factor de seguridad en condiciones estáticas.**

FS=1.094

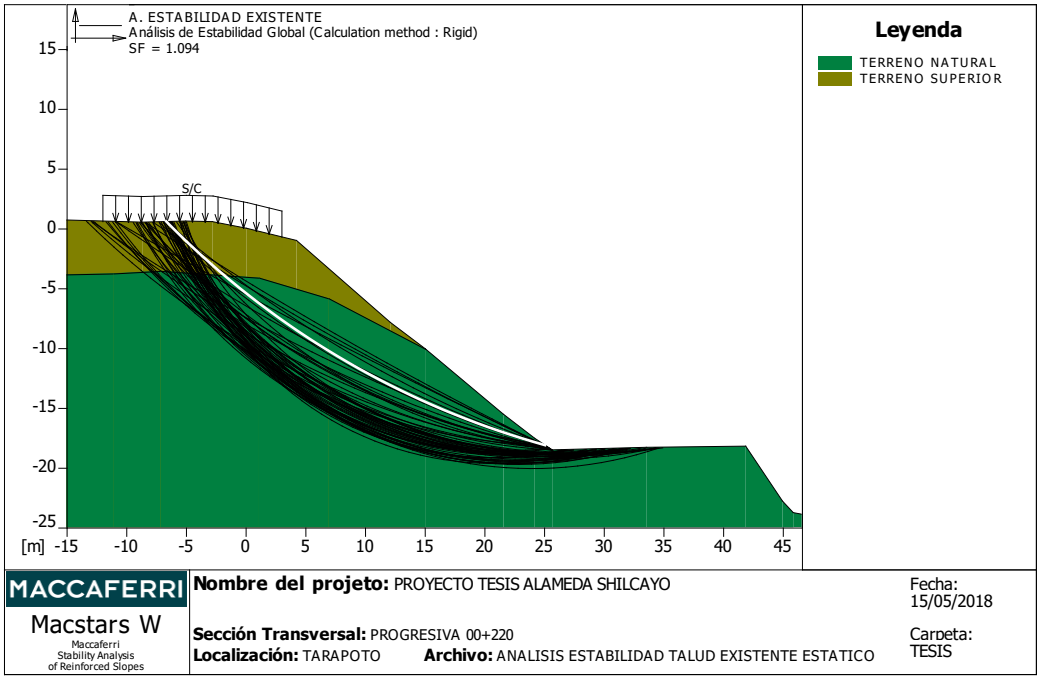


Figura 30: Análisis de la estabilidad existente del talud -condiciones estáticas.

- **Determinación del factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas. FS=0.889**

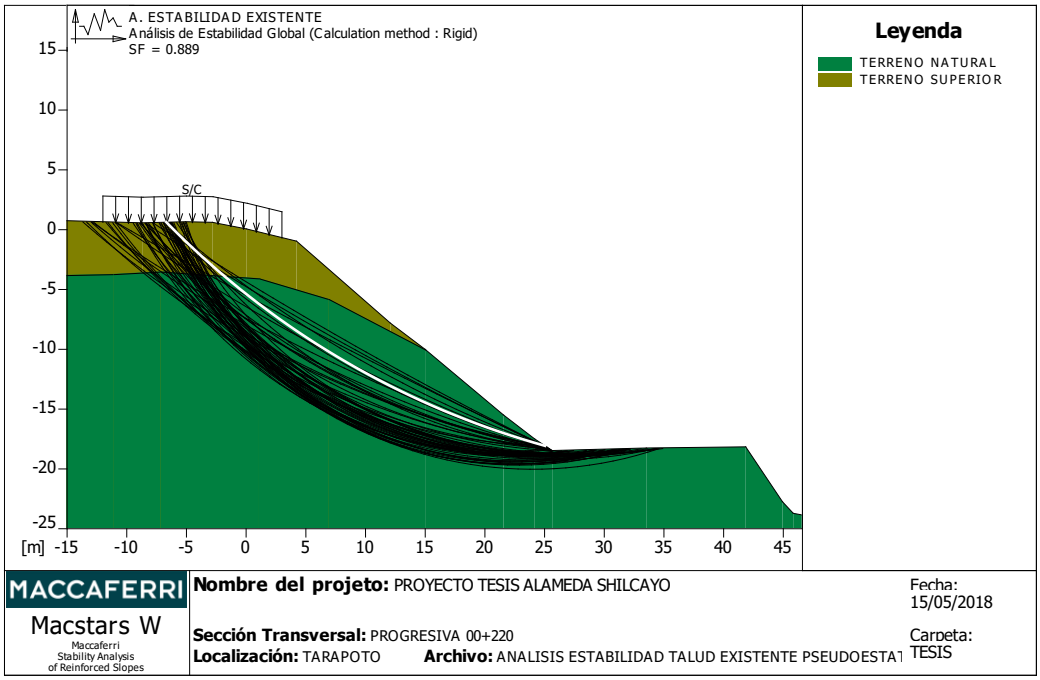


Figura 31: Análisis de la estabilidad existente del talud -condiciones pseudoestáticas.

Cuadro 5

Factores de seguridad del talud existente

Condiciones	Factor de seguridad
Estáticas	**1.094**
Pseudoestáticas	**0.889**

Fuente: Elaboración Propia (2018)

4.1.3. Interpretar los resultados del análisis de inestabilidad existente del talud, para la propuesta del diseño de refuerzo y protección del talud con geosintéticos, con el uso del programa MacStars W.

Como se aprecia en el cuadro n° 5, los factores de seguridad del talud resultaron menores a lo normado, por lo cual se procedió a realizar pre dimensionamiento del Muro Terramesh System, como propuesta de solución para el refuerzo del talud, el cual fue modelado para determinar la estabilidad interna y proceder con el modelamiento del Talud con el Muro Terramesh System, para determinar la Estabilidad Global del Talud Reforzado.

4.1.4. Resultado del análisis de la estabilidad interna del Muro Terramesh System.

Propiedades del suelo reforzado con el Muro Terramesh System

Relleno Seleccionado para el Muro Terramesh System

Cohesión ..... [t/m²] ..... : 0.80

Ángulo de Fricción ..... [°] ..... : 32.00

Peso unitario – Natural ..... [t/m³] ..... : 1.85

Peso unitario – Saturado ..... [t/m³] ..... : 1.85

Estrato Inferior

Cohesión ..... [t/m²] ..... : 0.00

Ángulo de Fricción ..... [°] ..... : 31.00

Peso unitario – Natural ..... [t/m³] ..... : 1.96

Peso unitario – Saturado ..... [t/m³] ..... : 1.96

Estrato Superior

Cohesión [t/m²] : 2.20

Ángulo de Fricción [°] : 21.00

Peso unitario – Natural [t/m³] : 1.85

Peso unitario – Saturado [t/m³] : 1.85

Material para el TM

Cohesión [t/m²] : 1.75

Ángulo de Fricción [°] : 40.00

Peso unitario – Natural [t/m³] : 1.80

Peso unitario – Saturado [t/m³] : 1.80

Coordenadas en los ejes X-X y Y-Y, como parte de la geometría del Muro Terramesh System.

Cuadro 6

Perfil del terreno del relleno seleccionado del Muro Terramesh System

Coordenadas del relleno seleccionado del Muro Terramesh System							
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
9.45	-10.02	22.36	-10.02	24.06	-18.52		
45.89	-23.77	49.74	-24.49				

Fuente: Reporte del programa MacStARS W – Rel. 4.0.

Cuadro 7

Perfil del terreno del estrato inferior

Coordenadas del estrato inferior							
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
-15.00	-5.57	-2.77	-6.12	5.00	-7.28	9.45	-10.02
17.66	-18.52	17.74	-21.02	23.16	-21.02	24.06	-18.52
42.28	-18.52	45.89	-23.77				

Fuente: Reporte del programa MacStARS W – Rel. 4.0.

Cuadro 8

Perfil del terreno del estrato superior

Coordenadas del estrato superior							
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
-15.00	0.69	-10.00	0.51	-2.77	0.55	-0.75	0.16
0.04	-0.27	9.45	-10.02				

Fuente: Reporte del programa MacStARS W – Rel. 4.0.

Bloques reforzados

Bloque: TM-01

Ancho de la Base: 6.50

Altura: 2.50

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Terramesh System - 10/2.7P - 0.5x1.0

Largo (m): 4.00

Gavión

Altura (m): 0.50

Ancho (m): 1.00

Maccaferri - MacGrid BRA - WG 200

Largo (m): 6.50

Espaciamiento Vertical (m): 0.50

Bloque: TM-02

Ancho de la Base: 6.50

Altura: 1.50

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Terramesh System - 10/2.7P - 0.5x1.0

Largo (m): 4.00

Gavión

Altura (m): 0.50

Ancho (m): 1.00

Maccaferri - MacGrid BRA - WG 200

Largo (m): 6.50

Espaciamiento Vertical (m): 0.00

Offset (m): 0.50

Bloque: TM-03

Ancho de la Base: 6.50

Altura: 1.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Terramesh System - 10/2.7P - 0.5x1.0

Largo (m): 4.00

Gavión

Altura (m): 1.00

Ancho (m): 1.00

Maccaferri - MacGrid BRA - WG 200

Largo (m): 6.50

Bloque: TM-04

Ancho de la Base: 6.50

Altura: 1.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Terramesh System - 10/2.7P - 1.0x1.0

Largo (m): 4.00

Gavión

Altura (m): 1.00

Ancho (m): 1.00

Bloque: TM-05

Ancho de la Base: 7.00

Altura: 1.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Terramesh System - 10/2.7P – 1.0x1.0

Largo (m): 4.00

Gavión

Altura (m): 1.00

Ancho (m): 1.00

Maccaferri - MacGrid BRA - WG 200

Largo (m): 7.00

Bloque: TM-06

Ancho de la Base: 7.00

Altura: 1.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Terramesh System - 10/2.7P - 1.0x1.0

Largo (m): 4.00

Gavión

Altura (m): 1.00

Ancho (m): 1.00

Bloque: TM-07

Ancho de la Base: 7.00

Altura: 1.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Terramesh System - 10/2.7P – 1.0x1.0

Largo (m): 4.00

Gavión

Altura (m): 1.00

Ancho (m): 1.00

Maccaferri - MacGrid BRA - WG 200

Largo (m): 7.00

Bloque: TM-08

Ancho de la Base: 7.00

Altura: 1.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Terramesh System - 10/2.7P - 1.0x1.0

Largo (m): 4.00

Gavión

Altura (m): 1.00

Ancho (m): 1.00

Bloque: TM-09

Ancho de la Base: 7.00

Altura: 1.00

Patrón de los refuerzos:

Maccaferri - Terramesh System - 10/2.7P – 1.0x1.0

Largo (m): 4.00

Gavión

Altura (m): 1.00

Ancho (m): 1.00

Maccaferri - MacGrid BRA - WG 200

Largo (m): 7.00

Efecto de las cargas

Cargas Concentradas: CL

Intensidad (t/m): 0.10

Abscisa: 22.30

Cargas Concentradas: CR

Intensidad (t): 0.05

Espaciamiento (m): 10.00

Cargas Distribuidas: S/C

Intensidad (t/m²): 2.00

Abscisa (m)

De 12.50 hasta 22.00

Cargas Distribuidas: S/C 01

Intensidad (t/m2): 0.20

Abscisa (m)

De -14.00 hasta -4.00

- **Determinación de los factores de seguridad en condiciones estáticas.**

Factor de Seguridad contra el Deslizamiento: 2.400

Factor de Seguridad contra el Vuelco : 4.192

Factor de seguridad de la capacidad portante del suelo de apoyo: 5.974

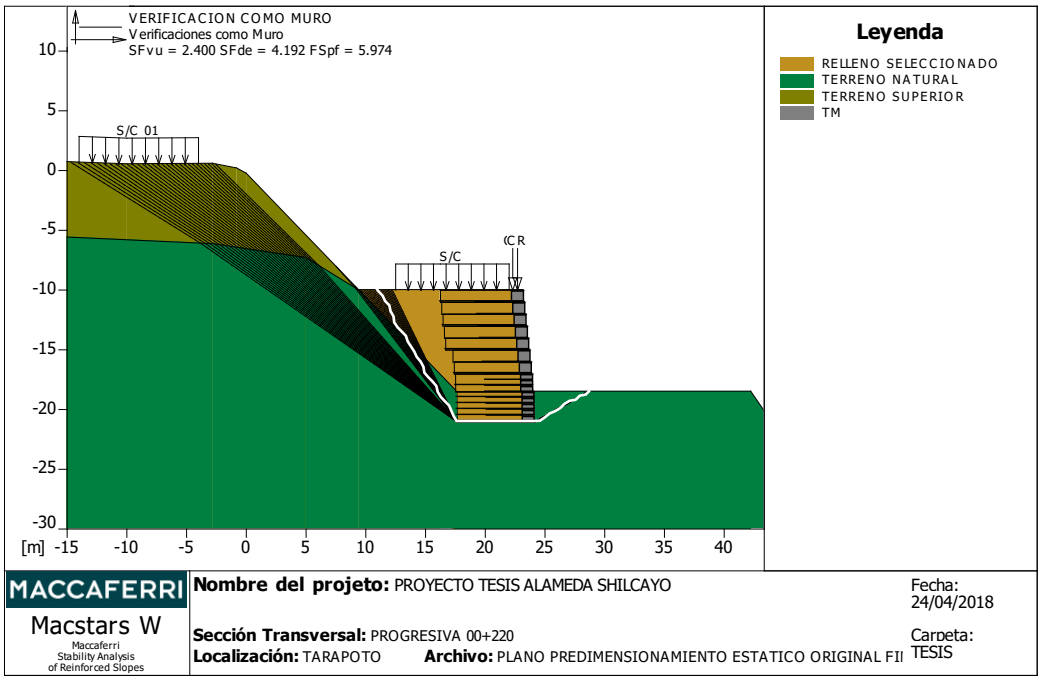


Figura 32: Verificación de la Estabilidad del Muro Terramesh System - estática

- **Determinación de los factores de seguridad en condiciones pseudoestáticas.**

Factor de Seguridad contra el Deslizamiento : 1.314

Factor de Seguridad contra el Vuelco : 1.246

Factor de seguridad de la capacidad portante del suelo de apoyo: 1.548

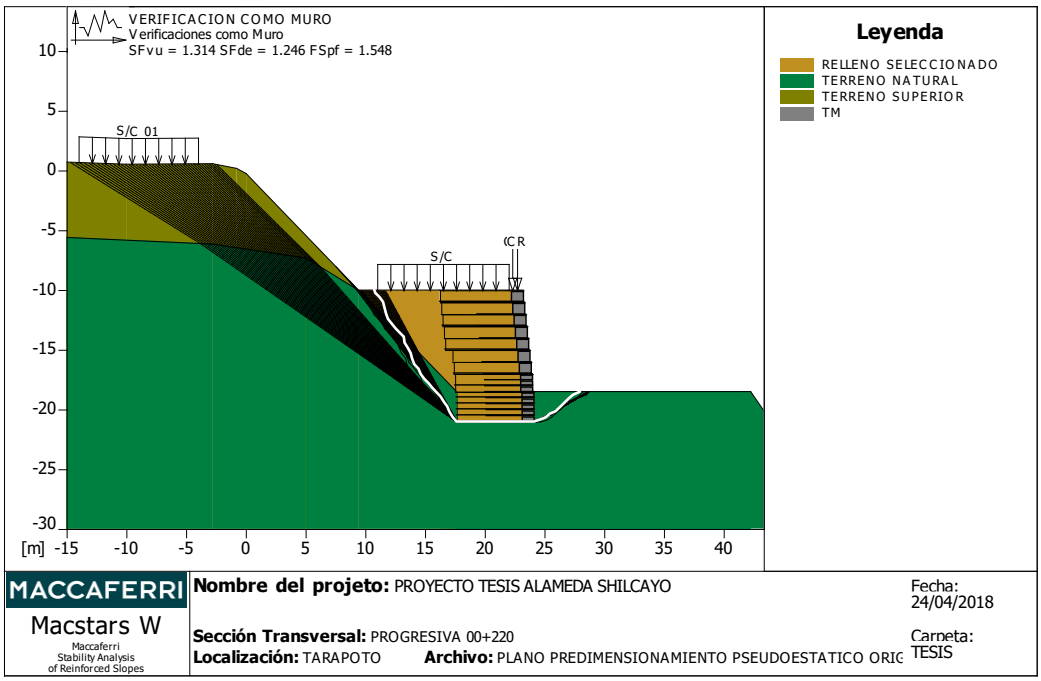


Figura 33: Verificación de la estabilidad del Muro Terramesh System – pseudo estática.

4.1.5. Resultados del análisis de la estabilidad del talud reforzado con el muro Terramesh System (Con refuerzo)

- **Determinación del factor de seguridad en condiciones estáticas.**

FS=1.565

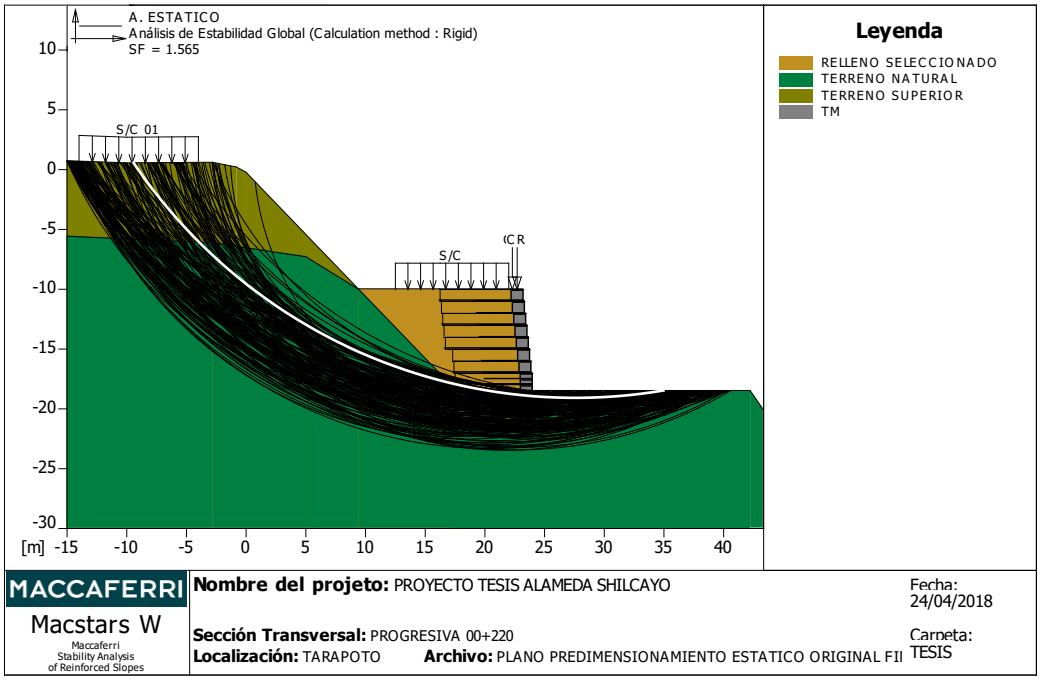


Figura 34: Análisis de Estabilidad del Talud Reforzado con el muro Terramesh System - condición estática.

- **Determinación del factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas. FS=1.259**

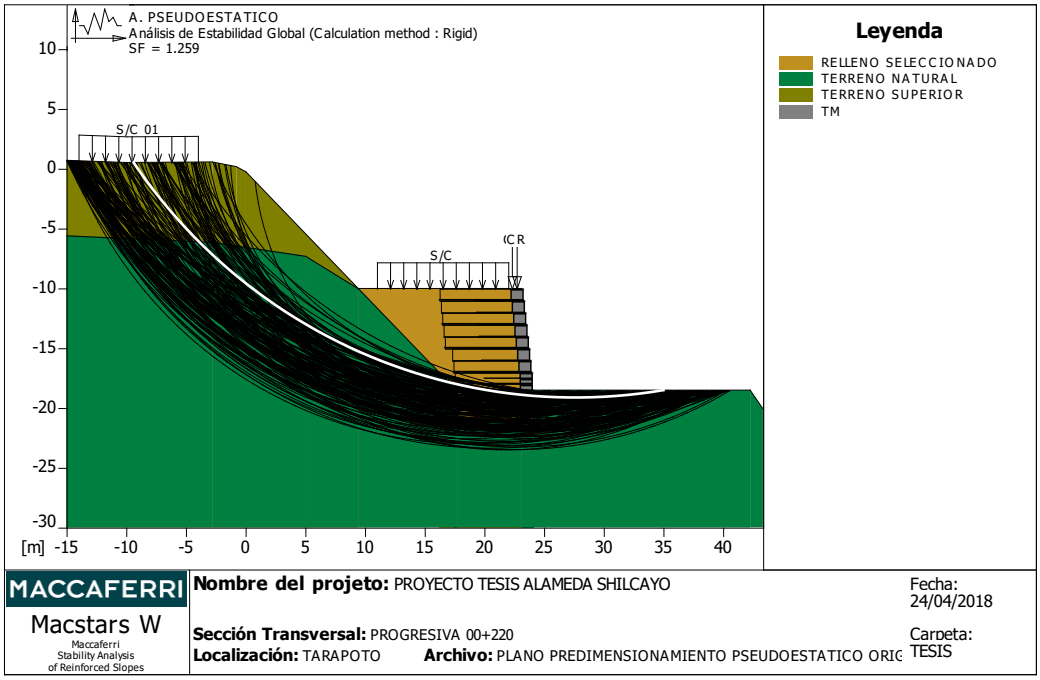


Figura 35: Análisis de estabilidad del talud reforzado con el muro Terramesh System- condición pseudoestática.

Asimismo el muro Terramesh System tiene que tener por evacuar las aguas superficiales, y se consideró un geocompuesto, así como tubería perforada flexible de ϕ 4” en sentido longitudinal en todo los **70 mts del muro**, y una tubería flexible sin perforar de ϕ 4”, en sentido transversal. Y con esto se evacuarán las aguas de lluvia, así como se observa en la imagen.

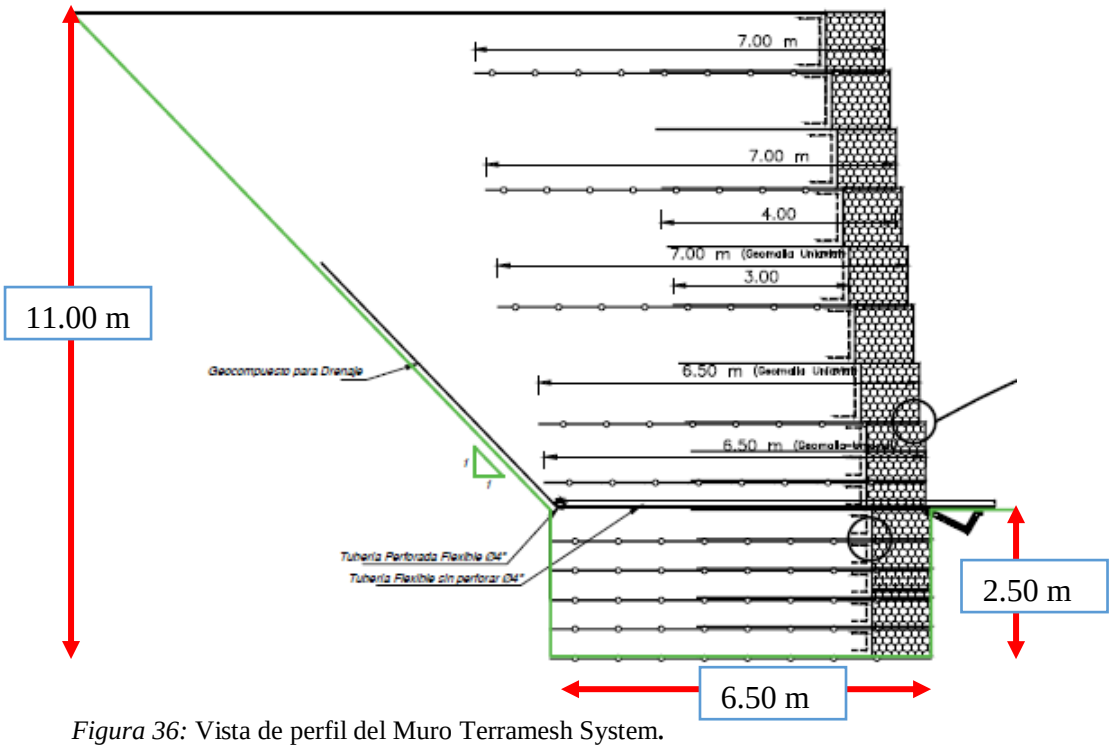


Figura 36: Vista de perfil del Muro Terramesh System.

4.2. Discusión

4.2.1. Realizar los estudios básicos de mecánica de suelos y geotecnia, y de topografía.

Los parámetros requeridos para el análisis de estabilidad se obtuvieron mediante los ensayos de compresión triaxial consolidado no drenado para el estrato superior del talud y el ensayo de compresión triaxial no consolidado no drenado para el estrato inferior. Estos parámetros mencionados, son los que nos permitieron realizar el análisis de la inestabilidad existente del talud.

4.2.2. Interpretar los resultados de los estudios básicos para el análisis de la inestabilidad existente del talud, con el uso del programa MacStars W.

Los análisis de estabilidad del talud con el método de equilibrio límite-método Bishop, con el uso del programa MacStars W 4.0, se hicieron tanto en las condiciones estáticas como pseudoestáticas, los cuales se resumen en el siguiente cuadro:

Cuadro 9

Comparación de factores de seguridad según norma CE.020

Condiciones	Factor de seguridad	Factores de seguridad según norma CE.020	Resultado del Análisis de Estabilidad del Talud

Estáticas	1.094	1.5	Inestable
Pseudoestáticas	0.889	1.25	Inestable

Fuente: Elaboración Propia (2018)

Los resultados del cuadro indican que el talud existente analizado en las condiciones estáticas y pseudoestáticas, se encuentra en la actualidad **inestable.**

4.2.3. Interpretar los resultados del análisis de inestabilidad existente del talud, para la propuesta del diseño de refuerzo y protección del talud con geosintéticos, con el uso del programa MacStars W.

El diseño se realizó teniendo en cuenta las condiciones del terreno, las propiedades mecánicas del suelo y los resultados del análisis de estabilidad del talud existente, y de esta manera se procedió con el pre dimensionamiento del muro de suelo reforzado, con el sistema Terramesh, el cual fue analizado bajo todas las condiciones de seguridad que debe cumplir para garantizar estabilidad interna y global.

Cuadro 10

Comparación de factores de seguridad del Muro Terramesh System, con la norma FHWA-NHI-00-043 y AASHTO.

Condiciones	**Factor de seguridad**	**Factores de seguridad según norma FHWA-NHI-00-043 y AASHTO**	**Resultado del Análisis de Estabilidad del Muro.**
	2.400	≥1.50	**Estable**
Estáticas	4.192	≥2.00	**Estable**
	5.974	≥2.50	**Estable**
	1.314	≥1.125	**Estable**
Pseudoestáticas	1.246	≥1.50	**Estable**
	1.548	≥1.50	**Estable**

Fuente: Elaboración Propia (2018)

Cuadro 11

Comparación de factores de seguridad del talud con el muro de suelo reforzado, con la norma CE.020

Condiciones	**Factor de seguridad**	**Factores de seguridad según norma CE.020**	**Resultado del Análisis de Estabilidad del Talud**
Estáticas	1.565	≥1.5	Estable
Pseudoestáticas	1.259	≥1.25	Estable

Fuente: Elaboración Propia (2018)

Para permitir el drenaje y subdrenaje del talud reforzado, se empleó geosintéticos para el diseño, los cuales son adecuados para evacuar el agua superficial que se infiltra en el Muro Terramesh.

4.2.4. Contrastación de Hipótesis.

Mediante el desarrollo del objetivo principal de la investigación, desde la recolección de datos y el procesamiento de las mismas, se pudo comparar los factores de seguridad del talud existente, los cuales resultaron inestables en las condiciones estáticas y pseudoestáticas, y se compararon con los factores de seguridad del talud con la propuesta del diseño del muro de suelo reforzado, garantizado el refuerzo y protección, que lo da el muro Terramesh System, los cuales resultaron estables. De esta manera, se contribuye a la gestión de la solución del problema de inestabilidad existente del talud superior de la vía alameda Shilcayo-Cercado Tarapoto.

CONCLUSIONES.

Se logró determinar los parámetros que nos permitieron realizar el análisis de la inestabilidad existente del talud, estos son el ángulo de fricción (31°) en el estrato inferior, y el ángulo de fricción (21°) y la cohesión (2.2 tn/m2) en el estrato superior, los cuales constituyen la resistencia al corte que experimenta el suelo, a un posible deslizamiento. La determinación de estos parámetros es indispensables para poder continuar con los análisis y diseños.

El análisis de la inestabilidad existente del talud con el método de equilibrio límite, mediante el método de Bishop, con el uso del programa MacStars W 4.0, nos dio como resultado un factor de seguridad tanto en las condiciones estáticas como pseudoestáticas, menores a lo que nos determina la norma CE.020, el cual indica que el talud existente es inestable. Para lo cual se planteó una solución práctica que refuerce el suelo.

La aplicación del programa MACSTARS W4.0 nos facilitó los cálculos de estabilidad para todas las condiciones de diseño (Estabilidad Global, Deslizamiento, Volteo, Asentamiento y estabilidad interna). Para el análisis de estabilidad del talud se utilizó el método de Equilibrio Límite y el método de Bishop, obteniendo como resultados factores de seguridad mayores a lo que nos determina la norma CE.020 en el caso de las condiciones estáticas y en el caso de las condiciones pseudoestáticas se tomó como referencia los factores de seguridad establecidos en la norma americana por la FHWA (Federal Highway Administration– Administración Federal de Carreteras) y AASHTO.

Se realizó exitosamente el diseño del muro de suelo reforzado, y se cumplió con todos los factores de seguridad mayores a lo indicado en la norma Federal Highway Administration– Administración Federal de Carreteras) y AASHTO. La solución que se escogió para mejorar la estabilidad del talud existente, se escogió teniendo en cuenta el área donde se encuentra ubicado el talud, así como las ventajas que tiene el muro se suelo reforzado, como es el bajo impacto ambiental, es práctico y económico, así como es flexible ante los asentamientos diferenciales que puedan surgir más adelante. Asimismo, se consideró en el diseño el drenaje del muro de suelo reforzado, ya que es de vital importancia garantizar que el material de relleno y suelo de fundación no se saturen y conduzcan a un colapso inminente. Por lo cual, el material geocompuesto, así como las tuberías flexibles perforadas y sin perforar de ϕ 4”, en sentido longitudinal y transversal respectivamente, cumplen una función imprescindible para la estructura del muro Terramesh.

RECOMENDACIONES.

Se recomienda que los estudios de mecánica de suelos reflejen íntegramente las condiciones del terreno en los cuales se cimentará la estructura. Estos estudios deben reflejar la realidad existente del suelo de fundación. En tal sentido se recomienda aplicar la técnica de investigación y ensayo de campo llamado: ensayo de refracción sísmica acorde con la norma ASTM D 5777, donde la aplicación más común en la ingeniería civil es para la determinación de la profundidad a basamento en los proyectos de construcción de represas y grandes hidroeléctricas, y para la determinación de las condiciones (meteorización, fracturación) y competencia de la roca en donde se asentarán las estructuras, así como por donde se realizarán los túneles. También es muy útil para detección de fallas geológicas.

El análisis de estabilidad del talud existente se modeló en el software MacStars W 4.0, donde se asumió una superficie de falla circular a través del método de equilibrio límite y de Bishop, el cual mediante iteraciones del programa determina la superficie de falla más crítica del talud, y calcula factores de seguridad en las condiciones estáticas y pseudoestáticas. Asimismo se recomienda el uso del programa ya que es didáctico y nos permite obtener resultados en menor tiempo.

La solución que se diseñó viene siendo usada en diferentes aplicaciones por las ventajas que tiene, tales como fáciles de instalar, de bajo impacto ambiental y de bajo costo. Asimismo se recomienda el uso de material de relleno seleccionado según la siguiente clasificación AASHTO A-2-4.

Asimismo tener en cuenta que la importancia del drenaje del muro de suelo reforzado, puesto que el agua genera inestabilidad al talud.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Bibliografía.

Suarez, Díaz. (1998). Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Colombia.

Suarez, Díaz. (2009). Deslizamientos. Análisis Geotécnico. Colombia.

Instituto Tecnológico Geominero de España (1991). Manual de ingeniería de Taludes.

Braja, D. (2014). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. California.

Ojea, D &Oliveira, P & Dos Santos, P & Chiari, V (2010). Manual técnico. Criterios generales para proyecto, especificación y aplicación de geosintéticos. Maccaferri (Brasil)

Koerner, M. (1933). Designing with Geosynthetics. 5th ed.

Pinedo, A (2012), Comparación entre Muros de suelo reforzado con elementos extensible y no extensibles (Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

U.S. Department Of Transportation Federal Highway Administration (2001). Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design & Construction Guidelines. Publication No FHWA–NHI–00- 043. National Highway Institute - Office of Bridge Technology. Course NHI No. 132042.

VIII Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas inestables (2013) Vol. 3

Reglamento Nacional de Edificaciones (2013)

Linkografía.

http://www.geosoftpavco.com/manual_geosinteticos_files/OEBPS/ibook_split_014.xhtml

http://www.geosoftpavco.com/manual_geosinteticos_files/OEBPS/ibook_split_015.xhtml

http://diariosupersm.com/grandes-rocas-se-desprenden-y-cierran-la-via-cerca-de-la-alameda-shilcayo/.

http://inacces.com/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=13&Itemid=436.

http://congress.cimne.com/simposiotaludes2013/frontal/doc/Vol_03.pdf.

http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0101/doc0101.pdf.

http://www.erosion.com.co/deslizamientos-y-estabilidad-de-taludes-en-zonas-tropicales.html-

ANEXOS.

ANEXOS A: Panel Fotográfico

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Fotografía 5: Se hizo el levantamiento topográfico con estación total.

Fotografía 6: Con el apoyo del técnico se agilizó el seccionamiento del área de estudio.

Fotografía 7: Se tuvo el apoyo de dos personas a cargo del prisma.

Fotografía 8: En cada punto de estación se anotó la altura del instrumento.

EXTRACCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Fotografía 9: La extracción de muestras se realizó con el instrumento llamado Posteadora.

Fotografía 10: Las muestras extraídas fueron colocadas en bolsas negras de plástico, y asimismo puestos en sacos.

Fotografía 11: Con el apoyo de un técnico de suelos, nos permitió llegar a partes del talud, donde se realizó la extracción de muestras.

Fotografía 12: En cada calicata se tomó las alturas de cada estrato.

Fotografía 13: En cada calicata se tomó nota de coordenadas, para una mejor ubicación.

Fotografía 14: En la calicata 4, se encontró suelo de relleno.

ENSAYOS DE LABORATORIO DEL ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS.

Fotografía 15: Utensilios usados para los ensayos del laboratorio.

Fotografía 16: Se procedió a pesar cada utensilio y registrar en la hoja de ensayos.

Fotografía 17: Las muestras extraídas, fueron trasladadas al laboratorio de mecánica de suelos y pavimentos de la FICA-UNSM- T

Fotografía 18: Las muestras extraídas fueron colocadas en los utensilios para ser pesados.

Fotografía 19: Las muestras después de ser pesadas se llevaron al horno para determinar el contenido de humedad.

Fotografía 20: Las muestras que se observan, fueron llevadas a lima para el ensayo de Compresión triaxial.

Fotografía 21: De cada estrato de muestra se selección una porción para realizar el secado al sol, para el ensayo de Compresión Triaxial.

Fotografía 22: Para el ensayo de clasificación del suelo, se procedió con el lavado de las muestras.

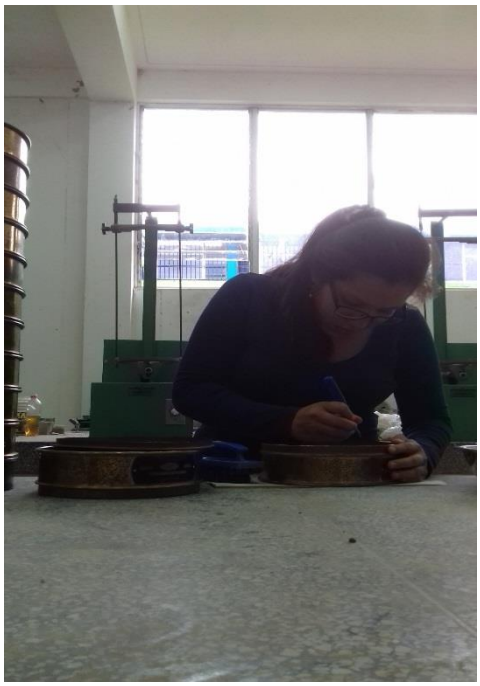
Fotografía 23: Se hizo el lavado de muestras repetidas veces, hasta obtener una muestra limpia de impurezas.

Fotografía 24: Como se observa en la imagen se realizó el lavado de muestras.

Fotografía 25: Se obtuvo muestras limpias de impurezas.

Fotografía 26: Después se procedió a poner las muestras limpias al horno. En la imagen se observa la muestra limpia sacada del horno.

Fotografía 27: Después se procedió a pesar cada muestra limpia seca y anotarlo en el formato de registro de ensayos.



Fotografía 28: Después realizar el ensayo de clasificación de suelos, haciendo uso de los tamices.

Fotografía 29: Se realizó el removido de muestras manualmente.

Fotografía 30: Se realizó el pesado de cada porción de suelo retenido en cada tamiz.

Fotografía 31: Asimismo se verificó que no quedara ningún segmento de suelo en cada tamiz.

Fotografía 32: Se realizó el vaciado de cada tamiz en el papel, para luego ser pesado.

Fotografía 33: Se realizó ensayo de Límite de Atterberg.

Fotografía 34: Con el apoyo del Técnico del Laboratorio de Suelos se realizó el ensayo para la determinación de los índices de los Límites de Atterberg.

Fotografía 35: Cada porción humedecida y amasada con la paleta, se puso en la copa de casa grande.

Fotografía 36: Al final del ensayo de límites de Atterberg se obtuvo filamentos de suelo que se pusieron al horno a secar.

ANEXOS B: Resultados del Estudio de Mecánica de Suelos.

ANEXOS C: Constancia de ejecución de ensayos de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos UNSM-FICA.

ANEXOS D: Planos Topográficos.

ANEXOS E: Plano de la Sección 00+220

ANEXOS F: Muro de Suelo Reforzado

ANEXOS G: Mapa de Riesgo a deslizamiento.

ANEXOS H: Reporte del análisis realizado en el programa MacStARS W – Rel. 4.0.