

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Estabilización de taludes con el sistema Erdox en el
km 47 de la carretera CU-566: PE-28B del distrito
Cielo Punco - La Convención - Cusco**

Genry Cayo Cardenas Morales

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Cusco, 2024

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Mgt. Ing. John Charlie Oscco Orccohuarancca
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 29 de Junio de 2024

Me dirijo a su oficina para comunicarle que, en mi calidad de asesor del estudio, he podido comprobar que la siguiente información es de gran utilidad:

Título:

"ESTABILIZACIÓN DE TALUDES CON EL SISTEMA ERDOX EN EL KM 47 DE LACARRETERA CU-566: PE-28B DEL DISTRITO CIELO PUNCO – LA CONVENCION – CUSCO".

Autor:

I. Genry Cayo Cardenas Morales – EAP. Ingeniería Civil

Tras enviar el trabajo a la plataforma "Turnitin", se llevó a cabo una verificación exhaustiva de las coincidencias detectadas por el programa. El resultado fue un 13 % de semejanza, y no hubo hallazgos relacionados con el plagio. Los filtros que se utilizaron son los siguientes:

- | | | |
|--|--|-----------------------------|
| • Filtro de exclusión de bibliografía | SI <input checked="" type="checkbox"/> | NO <input type="checkbox"/> |
| • Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas: 8 | SI <input checked="" type="checkbox"/> | NO <input type="checkbox"/> |
| • Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante | SI <input checked="" type="checkbox"/> | NO <input type="checkbox"/> |

Como consecuencia de ello, se concluye que el esfuerzo de estudio representa un documento original cuando presenta similitudes con otros escritores (citas) inferiores a la proporción definida por la Universidad Continental.

De acuerdo con los principios que se esbozan en las leyes del Registro Nacional de Trabajos Conducentes a Grados y Títulos - RENATI y en las leyes de la Universidad Continental, el autor y el asesor son los únicos responsables de la sustancia del trabajo de investigación del que son responsables.

Atentamente,

Mgt. Ing. John Charlie Oscco Orccohuarancca
Asesor de trabajo de investigación

Dedicatoria

A **D i o s**, que me ha guiado, que estuvo conmigo, me ayudó en todos los momentos de mi vida y me dio fuerzas para seguir adelante.

A mis padres, Florentino y Julia; que me han brindado apoyo incondicional e inspiraron a perseguir mis sueños.

A mis hermanos Kevin, Jaime, Nicoll y Analuz, quienes siempre me apoyan y brindan comprensión para alcanzar mis objetivos personales y profesionales.

A mis profesores, quienes con sus conocimientos enseñaron con paciencia, dedicación y apoyo incondicional me permitieron desenvolverme en mi actividad profesional.

Agradecimiento

A Dios, fuente de sabiduría y fortaleza. Gracias por ser mi guía e iluminar mi camino para alcanzar esta meta.

A mi familia, por su esfuerzo y la fuerza necesaria que me brindan para lograr mis objetivos.

Al Mgt. Ing. John Charlie Oscco Orccohuaranca, por sus consejos, críticas constructivas y manejo de este importante trabajo para mi desarrollo profesional.

Finalmente, a mis amigos que fueron testigos y apoyo moral de esta tesis. Por estar siempre ahí, aconsejándome y buscando lo mejor para mí.

Genry Cardenas M.

ÍNDICE

Dedicatoria	i
Agradecimiento.....	ii
Resumen.....	xi
Abstract.....	xii
Introducción	xiii
Capitulo I: Planteamiento del Estudio.....	1
1.1 Planteamiento y Formulación del Problema.....	1
1.1.1 Planteamiento del problema	1
1.1.2 Formulación del problema.....	3
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Objetivo General.	4
1.2.2 Objetivos Específicos.....	4
1.3 Justificación e Importancia de la Investigación	4
1.3.1 Justificación de la Investigación	4
1.3.2 Importancia de la Investigación	4
1.4 Alcances y limitaciones de la investigación	5
1.5 Hipótesis de la investigación	5
1.5.1 Hipótesis General	5
1.5.2 Hipótesis específicas	5
1.5.3 Variables e Indicadores	6
Capitulo II: Marco Teórico	7
2.1 Antecedentes de la Investigación	7
2.1.1 Antecedentes Internacionales.....	7
2.1.2 Antecedentes nacionales	8
2.1.3 Antecedentes Locales.....	10
2.2 Bases Teóricas.....	13
2.2.1 Talud o ladera	13
2.2.2 Procesos geotécnicos activos de los taludes	13
2.2.3 Sistema de clasificación AASHTO	14
2.2.4 Sistema unificado de clasificación del suelo	15
2.2.5 Clasificación de taludes.....	16
2.2.6 Formas de falla de taludes	18
2.2.7 Tipos de falla de talud.....	20

2.2.8	Estabilidad de un talud.....	21
2.2.9	Análisis de estabilidad de taludes.....	22
2.3	Sistemas de Estabilización de Taludes.....	22
2.3.1	Sistema de muros de gaviones.....	22
2.3.2	Sistema Terramesh.....	22
2.3.3	Sistema de muros de concreto.....	23
2.3.4	Muros de contención por gravedad.....	24
2.3.5	Muros de contención de semigravedad.....	24
2.3.6	Muros de contención en voladizo.....	24
2.3.7	Muros de contención de contrafuerte.....	24
2.3.8	Sistema ErdoX.....	25
2.3.9	Tipos de sistema ErdoX.....	27
2.3.10	Principales características.....	30
2.3.11	Cálculos estructurales.....	31
2.4	Información requerida para el presente trabajo.....	32
2.5	Aplicaciones.....	32
2.6	Esquema del Procedimiento Constructivo.....	34
2.6.1	Trabajos de excavación.....	34
2.6.2	Armado de paneles ErdoX.....	35
2.6.3	Colocación e instalación de paneles y placas a su posición final.....	36
2.6.4	Relleno del sistema ErdoX con material propio.....	37
2.6.5	Conformación de terraplén con material propio.....	38
2.6.6	Colocación de Geomanta de protección.....	38
2.6.7	Revegetación de las estructuras.....	39
2.6.8	Modelamiento con el software GEO5.....	40
2.6.9	Métodos de equilibrio límite.....	41
2.6.10	Método de las dovelas o rebanadas.....	41
2.6.11	Método de Bishop.....	42
2.6.12	Método de Spencer.....	42
2.6.13	Método de Morgenstem Price.....	42
2.6.14	Factor de seguridad de un talud.....	43
2.6.15	Análisis Granulométrico por tamizado (ASTM D-421).....	44
2.6.16	Densidad Relativa.....	44
2.6.17	Consistencia del suelo.....	45
2.6.18	Análisis Límite Líquido (ASTM D-423) y Límite Plástico (ASTM D-424).....	45
2.6.19	Ensayo de Corte Directo.....	46

2.6.20	Fuerzas de interacción.....	47
2.6.21	Momentos de interacción	47
2.6.22	Pseudoestatico.....	48
Capitulo III: Metodología de la Investigación.....		49
3.1	Método y alcance de la investigación	49
3.1.1	Método de investigación	49
3.1.2	Tipo de investigación.....	49
3.1.3	Enfoque de la investigación.....	49
3.1.4	Diseño de investigación	49
3.1.5	Nivel de investigación.....	50
3.2	Población y Muestra	50
3.2.1	Población	50
3.2.2	Muestra.....	51
3.2.3	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.....	51
3.3	Proceso de Toma de Datos	52
Capítulo IV: Análisis y Discusión de Resultados		56
4.1	Descripción de Zona de Estudio.....	56
4.1.1	Generalidades de la zona de estudio.....	56
4.1.2	Ubicación y acceso	56
4.1.3	Vías de acceso.....	58
4.1.4	Geología Regional.....	59
4.1.5	Geología Local	67
4.1.6	Geodinámica Regional.....	70
4.1.7	Sismicidad	74
4.2	Presentación de Resultados	75
4.2.1	Levantamiento Topográfico.....	75
4.2.2	Ensayos de laboratorio.....	76
4.2.3	Configuración de cálculo y parámetros de entrada.....	80
4.2.4	Método de evaluación rápida de la estabilidad de un talud.....	80
4.2.5	Procedimiento para el análisis de la estabilidad de taludes.....	82
4.2.6	Evaluación del factor de seguridad en condiciones estáticas y pseudoestáticas	93
4.2.7	Evaluación de las fuerzas activas y pasivas en condiciones estáticas y pseudoestáticas.....	94
4.2.8	Evaluación de momento de deslizamiento y estabilizador en condiciones estáticas y pseudoestáticas.....	97
4.3	Discusión de Resultados.....	101
Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones.....		104

5.1 Conclusiones.....	104
5.2 Recomendaciones.....	106
Referencias Bibliográficas	107
Anexos.....	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Nomenclatura de taludes o laderas	13
Figura 2: Nomenclatura de un deslizamiento.....	14
Figura 3: Ilustración de los nombres de los grupos de suelos, gravas y arenas.	16
Figura 4: Talud de corte.....	17
Figura 5: Talud de relleno.....	17
Figura 6: Talla de base.....	18
Figura 7: Falla de talud.....	19
Figura 8: Falla superficial de talud.....	20
Figura 9: Tipos de falla.....	21
Figura 10: Perfiles de los muros de gavión	22
Figura 11: En una red de carreteras se utiliza el sistema Terramesh.....	23
Figura 12: a) Muro de gravedad b) Muro de semi gravedad c) Muro en Voladizo d) Muro de contrafuertes	25
Figura 13: En una Red de Carreteras, aparece el Sistema ErdoX.....	26
Figura 14: Esquema de la estructura del sistema ErdoX Tierra.....	27
Figura 15: La ilustración muestra la estructura del sistema ErdoX Junior	29
Figura 16: Esquema de la estructura del sistema ErdoX Nieve	29
Figura 17: Representación esquemática de la disposición del sistema ErdoX modelo C.....	30
Figura 18: Panel de la estructura ErdoX	31
Figura 19: Proceso constructivo del sistema ErdoX	34
Figura 20: Como parte de la Carretera Interoceánica, se está excavando en el Sector Km. 11+500..	35
Figura 21: Se puede ver a operarios armando los paneles que se van a instalar en el Sector Km. 11+500 de la Carretera Interoceánica.	35
Figura 22: Se observa las Placas de Anclaje ensambladas.....	36
Figura 23: Montaje asistido por excavadora de placas de anclaje para su uso en estructuras enterradas.	36
Figura 24: Durante este proceso, los paneles ErdoX se levantan con la ayuda de una excavadora	37
Figura 25: Fue necesaria la ayuda de una excavadora para colocar correctamente un panel ErdoX.....	37
Figura 26: Colocación del relleno estructural y su posterior compactación	38
Figura 27: Geomanta colocada sobre cada uno de los andenes de ErdoX.....	39
Figura 28: Se observa el sistema ErdoX en el Madre de Dios	40
Figura 29: Modelos para análisis de estabilidad de taludes	41
Figura 30: Utilizando el enfoque habitual de dovelas, se realiza un análisis de estabilidad: (a) n él se incluye tanto la superficie de prueba de fallos (b) como las fuerzas que actúan sobre la	

enésima dovela.....	42
Figura 31: Límites de Atterberg.....	45
Figura 32: Carretera CU-566: PE-28B Chirumpiari – San Carlos.....	51
Figura 33: Se observa la excavación de la calicata.....	52
Figura 34: Tomando medidas de área de influencia.....	53
Figura 35: Área de influencia del deslizamiento del talud.....	53
Figura 36: Área de influencia de ancho agrietamiento de la superficie.....	53
Figura 37: Área de influencia de altura de hundimiento de la superficie.....	53
Figura 38: Se observa el agrietamiento de la superficie.....	53
Figura 39: Mapa Macro localización de la zona de estudio.....	57
Figura 40: Geografía de la zona de estudio.....	57
Figura 41: Ubicación de la zona de estudio.....	58
Figura 42: Sector de Chirumpiari – San Carlos.....	59
Figura 43: Serie de esquistos fuertemente fracturada y con pirita que se distribuye por el Grupo San José.....	61
Figura 44: Arenisca de color gris claro, grano fino y capas lenticulares que se intercalan con lutitas de estratificación fina pertenecientes al grupo de Cabanillas.....	65
Figura 45: La parte oriental de la región de investigación está representada por la columna estratigráfica del cuadrángulo de San Francisco.....	67
Figura 46: Mapa de isoaceleraciones en el Perú para periodo de exposición de 50 años y un 10% de probabilidad de excedencia.....	74
Figura 47: Plano en planta del sector Chirumpiari – San Carlos.....	75
Figura 48: Sección típica de talud del sector de Chirumpiari – San Carlos.....	76
Figura 49: Cuarteo de muestra de la calicata, granulometría del tamizado.....	76
Figura 50: Ensayo de límite de plasticidad.....	78
Figura 51: Ensayo de corte directo.....	79
Figura 52: Modelo típico de talud.....	80
Figura 53: Zona de estudio.....	81
Figura 54: Diagrama de flujo del análisis de estabilidad.....	81
Figura 55: Imágenes de análisis de estabilidad de taludes.....	82
Figura 56: Parámetros considerados en el diseño del talud.....	83
Figura 57: Cálculo del factor de seguridad en condición estática y pseudoestático.....	83
Figura 58: Análisis de fuerzas y momentos en condiciones estáticas.....	84
Figura 59: Análisis de fuerzas y momentos en condiciones pseudoestáticas.....	85
Figura 60: Parámetros considerados en el diseño del talud.....	86
Figura 61: Cálculo del factor de seguridad en condición estática y dinámico.....	86
Figura 62: Análisis de fuerzas y momentos en condiciones estáticas.....	87
Figura 63: Análisis de fuerzas y momentos en condiciones pseudoestáticas.....	88

Figura 64: Parámetros considerados en el diseño del talud.....	89
Figura 65: cálculo del factor de seguridad en condición estática y dinámico.....	89
Figura 66: Análisis de fuerzas y momentos en condiciones estáticas.....	90
Figura 67: Análisis de fuerzas y momentos en condiciones pseudoestáticas.....	91
Figura 68: Gráfico comparativo de factor de seguridad en condiciones estáticas.	93
Figura 69: Gráfico comparativo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas.....	94
Figura 70: Gráfico comparativo de fuerzas activas en condiciones estáticas.....	95
Figura 71: Gráfico comparativo de fuerzas activas en condiciones pseudoestáticas.	95
Figura 72: Gráfico comparativo de fuerzas pasivas en condiciones estáticas.....	96
Figura 73: Gráfico comparativo de fuerzas pasivas en condiciones pseudoestáticas.....	97
Figura 74: Gráfico comparativo de momento de deslizamiento en condiciones estáticas.....	98
Figura 75: Gráfico comparativo de momento de deslizamiento en condiciones pseudoestáticas	98
Figura 76: Gráfico comparativo de momento estabilizador en condiciones estáticas.....	99
Figura 77: Gráfico comparativo de momento estabilizador en condiciones pseudoestáticas	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Variable dependiente e independiente.....	6
Tabla 2: Factores de seguridad aceptables.....	43
Tabla 3: Vias de acceso al distrito de Cielo Punco.....	59
Tabla 4: Resultados de análisis granulométrico por tamizado.....	77
Tabla 5: Resultados de análisis de límites de consistencia.....	78
Tabla 6: Resultados obtenidos del ensayo de Corte Directo.....	79
Tabla 7: Resultados de análisis del factor de seguridad.....	92
Tabla 8: Resultados de análisis de fuerzas y momentos en condiciones estáticas.....	92
Tabla 9: Resultados de análisis de fuerzas y momentos en condiciones pseudoestáticas.....	93
Tabla 10: Variación de los valores del factor de seguridad.....	101
Tabla 11: Resumen de resultados en condiciones estáticas.....	101
Tabla 12: Resumen de resultados en condiciones pseudoestáticas.....	101
Tabla 13: Resultado de análisis de factor de seguridad.....	103

Resumen

Este trabajo de investigación tiene por objetivo, determinar la influencia de la aplicación del sistema ErdoX en la estabilización del talud. Es decir, la idea se sustenta en probar la y demostrar la posibilidad de uso del sistema ErdoX tomando en cuenta, la cohesión, peso unitario y ángulo de fricción como parámetros, para su posterior proceso de modelamiento con el software GEO5. Los resultados dan indicadores como: análisis del factor de seguridad, las fuerzas y momentos de interacción, en ese sentido esta investigación esta enmarcada en el enfoque cuantitativo de tipo o diseño experimental descriptivo, es decir, se logra determinar la influencia de la aplicación del sistema ErdoX, concluyendo así, que el sistema ErdoX es lo más eficiente en la zona en la que se aplicó el estudio, obteniendo un resultado de F.S. de 3.07, en tanto el sistema de muro de contención tiene como resultado un F.S. es de 2.98, estando así en condiciones estables, ambos sistemas logran alcanzar los límites máximos y mínimos permisibles que indica la norma peruana CE - 20.

Palabras claves: Estabilización del talud, Sistema ErdoX, Factor de seguridad.

Abstract

The objective of this research is to determine the influence of the application of the ErdoX system in slope stabilization. That is, the idea is based on testing and demonstrating the feasibility of using the ErdoX system, taking into account cohesion, unit weight, and friction angle as parameters, for its subsequent modeling process with the GEO5 software. The results provide indicators such as safety factor analysis, interaction forces, and moments. In this sense, this research is framed within a quantitative approach of an experimental descriptive design, meaning that it determines the influence of the application of the ErdoX system. The conclusion is that the ErdoX system is the most efficient in the area where the study was applied, obtaining a safety factor (F.S.) result of 3.07, while the retaining wall system has a safety factor (F.S.) result of 2.98, both being in stable conditions. Both systems achieve the maximum and minimum permissible limits indicated by the Peruvian standard CE - 20.

Keywords: Slope stabilization, ErdoX System, Safety factor.

Introducción

Existen diferentes tipos de carreteras en el mundo, no obstante, un gran grupo de ellas están formadas por pendientes pronunciadas con terreno inestable y empinado; lo que genera su deterioro gradual. La geografía, entre los diversos flujos, formas y deslizamientos ocasiona la destrucción de carreteras que ponen en riesgo a personas y grupos humanos. Ello mismo ocurre a nivel nacional debido a las diferentes formas y relieves geográficos se han identificado carreteras cerca de pendientes inestables, ocasionándose graves problemas de transporte y accidentes que en muchos casos ha costado la vida de muchas personas. Es en razón de ello, y en pos de mejorar la creación de carreteras que mejoren la calidad de vida de la población, es que se ha pensado buscar alguna solución que permita combatir este problema, por lo que resultó eficiente la aplicación del sistema ErdoX en la estabilización del talud del km 47 de la carretera CU-566: PE-28B del Distrito Cielo Punco – La Convención – Cusco.

La idea principal de este trabajo se sustenta en la posibilidad de mejorar y estabilizar el Talud Teniendo del km 47 de la carretera CU-566: PE-28B del Distrito Cielo Punco – La Convención aplicando el sistema ErdoX, ello como propuesta de solución al Ministerio de Transportes y Comunicaciones a razón de que pueda garantizar la libre transitabilidad tanto vehicular, como peatonal, asimismo la seguridad en las carreteras.

Para ello, el trabajo tiene la siguiente organización:

El Capítulo I, muestra el problema general y problemas específicos, se justifica la importancia de la investigación con referencias de investigaciones nacionales y regionales, también se muestra los alcances y las respectivas limitaciones que suelen presentarse en una investigación, también se plantea las hipótesis tanto general como específicas, Se muestra también de forma explícita la demografía, muestra ,asimismo técnicas e instrumentos de recolección de datos señalando la manera de procesamiento de la información obtenida.6

El Capítulo II incluye el marco teórico, que presenta los antecedentes de la investigación a nivel local e internacional. También se abordan las bases teóricas, tales como la definición de talud, la clasificación y las diferentes formas y tipos de falla de taludes, la estabilidad de los mismos, el factor de seguridad, los métodos existentes para el análisis de estabilidad de taludes, y la base de datos que se utilizará para realizar los análisis.

El Capítulo III presenta la metodología de la investigación, donde se detallan el tipo de investigación, la población y muestra, y el proceso de recolección de datos.

En el Capítulo IV, se lleva a cabo el análisis y la discusión de los resultados, describiendo e interpretando principalmente las estimaciones obtenidas del factor de seguridad y el impacto de la variación de algunos parámetros. A partir de esto, se extraen conclusiones relacionadas con los problemas e hipótesis planteados al inicio de la investigación.

Capítulo I

Planteamiento del Estudio

1.1 Planteamiento y Formulación del Problema

1.1.1 Planteamiento del problema

Según Morales (2012), un talud es una superficie inclinada de un muro o terreno. Es cualquier superficie que se encuentra inclinada en relación con la horizontal y puede mantener esta inclinación de manera temporal o permanente. En el entorno del ámbito de la estabilidad de taludes, el término "estabilidad de taludes" se refiere a la investigación de si un talud es estable o tal vez inestable cuando se lleva a cabo un proyecto de ingeniería civil o una acción de construcción. Existe una clara conexión entre esta faceta y la ingeniería geológica.

Es fundamental tener en cuenta tanto las ecuaciones de campo como los enlaces constitutivos para encontrar una solución a un dilema relacionado con la estabilidad. La estabilidad del suelo se describe mediante los enlaces, mientras que los primeros se ocupan de mantener el equilibrio. Por lo tanto, estas ecuaciones son especialmente difíciles de resolver debido a que los suelos son sistemas multifásicos. Estos sistemas sólo pueden transformarse en sistemas monofásicos cuando el suelo está seco, o cuando el suelo está drenado. (1)

La mayoría de las veces nos encontramos con suelos no sólo saturados, sino también bifásicos, característica que dificulta enormemente el estudio de las ecuaciones de equilibrio. Además, es casi difícil establecer una regla constitutiva que tenga validez universal. Esto se debe al hecho de que los suelos presentan una conducta no lineal, e incluso en el caso de deformaciones minúsculas, son anisótropos. Además, el comportamiento de los suelos depende no sólo de la tensión desviatoria, sino también de la tensión normal. (2)

A nivel nacional, las vías de comunicación enfrentan numerosos problemas causados por deslizamientos de taludes. Un ejemplo notable de los desafíos que presenta la geografía peruana ocurrió en 1970, cuando una gran avalancha se desprendió del Nevado de Huascarán y enterrar el pueblo de Yungay, causando aproximadamente 50,000 muertes.

Otro ejemplo de esta problemática es la identificación de inestabilidad de taludes en el kilómetro 240 de la Carretera Interoceánica Sur, en los distritos de Puno, Carabaya, y Orakea. Los escombros deslizantes en esta área de evaluación atestiguan el problema de deslizamiento en las vías de mucha importante del territorio peruano. En la actualidad se puede apreciar que en la construcción de carreteras los problemas de deslizamientos siguen presentes, cuando hay deslizamientos se ocasionan severos problemas por la inestabilidad de taludes. Según Valeriano Nina (2015), es muy infrecuente que en el ámbito de la ingeniería civil se descubran dificultades relacionadas con la estabilidad de taludes. Estos problemas pueden darse en suelos o en macizos rocosos. Para llevar a cabo una exploración más profunda de la consistencia de un talud de roca fracturada, es necesario identificar los modos de fallo que se producen en el talud. En este entorno, los problemas de deslizamientos e inestabilidad de taludes siguen existiendo y su frecuencia está aumentando en la región investigada, lo que constituye un riesgo importante.

Es por eso por lo que analizando el lugar de investigación se han hallado cierta cantidad de deslizamientos en el km 47 de la Carretera CU – 566: PE – 28B del Distrito Cielo Punco – La Convención – Cusco, frecuentemente esta vía principal queda bloqueada e incomunicada muchas veces, esto debido a constantes deslizamientos. Estos eventos son más comunes durante la temporada de lluvias y afectan la libre circulación de los transportistas, impidiendo el tránsito.

En tal razón la inestabilidad de taludes es un problema frecuente, esto se da a causa del relieve accidentado, como también la existencia de fallas geológicas y las frecuentes precipitaciones en las épocas de diciembre a mayo, provocando deslizamientos, esto ocurre en la zona de Chirumpiari – San Carlos precisamente en el km 47+000 al km 47+020 donde se ha observado constante bloqueos de la carretera esto debido al derrumbe del cerro ubicado al lado de la carretera a consecuencia de ello esto representa una amenaza para la población y para los vehículos que usan dicha vía.

Por esta razón, es conveniente utilizar el sistema ErdoX lo cual es ideal para resolver el problema. Este sistema se ha dado a conocer recientemente en nuestro país como menciona

Ramos Huarac (2020) su función principal es estabilizar taludes o actuar como muros de contención, defensas fluviales, construcción de plataformas, estabilización de terrenos y protección contra caídas en terrenos accidentados.

Así mismo, Ramos Huarac (2020) señala que anteriormente en el país estos problemas han sido solucionados con el uso del sistema Terramesh, gaviones como también entre otros sistemas, en tal razón el sistema ErdoX mantiene las carreteras abiertas y reduce el tiempo de inactividad.

Urteaga Huaman y Suarez Risco (2015) afirman que: Para lograr resolver esta cuestión, se necesita un sistema de propósito general para controlar las principales complicaciones que se encuentran en las carreteras, como deslizamientos y hundimientos de carreteras.

En esta indagación se buscó determinar la influencia del sistema ErdoX en la estabilización del talud, asegurando que cumpla con los estándares de límites máximos y mínimos permitidos según la norma peruana CE - 20.

1.1.2 Formulación del problema

1.1.2.1 Problema general

¿Cómo influye la aplicación del sistema ErdoX en la estabilización del talud del km 47 de la carretera CU-566: PE-28B del Distrito Cielo Punco – La Convención - Cusco?

1.1.2.2 Problemas específicos.

P1. ¿Cómo influye las fuerzas de interacción en la estabilización del talud con la aplicación del sistema ErdoX?

P2. ¿Cómo influye los momentos de interacción en la estabilización del talud con la aplicación del sistema ErdoX?

P3. ¿Cómo influye el factor de seguridad con la aplicación del sistema ErdoX en la estabilización del talud?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General.

O. Determinar la influencia de la aplicación del sistema ErdoX en la estabilización del talud del km 47 de la carretera CU-566: PE-28B del Distrito Cielo Punco – La Convención – Cusco.

1.2.2 Objetivos Específicos.

O1. Analizar la influencia de las fuerzas de interacción con la aplicación del sistema ErdoX de la carretera CU-566: PE-28B del Distrito Cielo Punco – La Convención – Cusco.

O2. Analizar la influencia los momentos de interacción con la aplicación del sistema ErdoX de la carretera CU-566: PE-28B del Distrito Cielo Punco – La Convención – Cusco.

O3. Determinar el factor de seguridad con la aplicación del sistema ErdoX y muro de contención en el talud de la carretera CU-566: PE-28B del Distrito Cielo Punco – La Convención – Cusco.

1.3 Justificación e Importancia de la Investigación

1.3.1 Justificación de la Investigación

Mediante el uso del sistema ErdoX, que es un sistema único en el área de Perú, se apoya la investigación de la estabilidad de taludes. Cuando se trata de deslizamientos, derrumbes y erosiones que son generados por la naturaleza, el propósito de este sistema es encontrar soluciones a estas dificultades. Su implementación beneficiará a los pobladores al asegurar que las vías sean seguras y de libre tránsito.

Además, en el campo de la ingeniería geotécnica, este trabajo podría servir de modelo o referencia para futuras investigaciones. Dado su carácter aplicado, se integra al manual de carreteras desarrollado bajo el Reglamento de Gestión de la Infraestructura Vial Nacional, aprobado por el D.S. N° 034-2008-MTC, uno de los documentación técnica reglamentarios. La metodología utilizada en el estudio sirve también como referencia para otros estudios sobre temas similares.

1.3.2 Importancia de la Investigación

Este esfuerzo de estudio es significativo porque contribuye a mejorar la seguridad de los

transportistas y a garantizar que no se restrinja el tráfico de vehículos, lo que en última categoría se traduce en una disminución de las pérdidas económicas que generan los desprendimientos.

1.4 Alcances y limitaciones de la investigación

Las limitaciones observadas incluyen la falta de disponibilidad presupuestal, dado que se trata de un nuevo sistema para estabilizar taludes en carreteras. Aunque se emplean datos de campo y software computacional, la aplicabilidad del sistema puede verse restringida por futuras actualizaciones de estos programas de análisis geotécnico. En nuestro país el Sistema ErdoX es nuevo por lo tanto no existen muchos antecedentes que puedan servir de guía, como consecuencia de ello, su aplicabilidad puede quedar obsoleto.

El alcance previsto incluye llegar hasta la etapa de prueba utilizando datos reales obtenidos a partir de ensayos de laboratorio.

1.5 Hipótesis de la investigación

1.5.1 Hipótesis General

H. La aplicación del sistema ErdoX, permite estabilizar el talud de la carretera CU-566: PE-28B del Distrito Cielo Punco – La Convención – Cusco.

1.5.2 Hipótesis específicas

H1. Las fuerzas de interacción permiten analizar la estabilidad del talud en la carretera CU-566: PE-28B del Distrito Cielo Punco – La Convención – Cusco.

H2. Los momentos de interacción permiten analizar la estabilidad del talud en la carretera CU-566: PE-28B del Distrito Cielo Punco – La Convención – Cusco.

H3. El factor de seguridad permite cuantificar la estabilidad del talud con el sistema ErdoX y el muro de contención de la carretera CU-566: PE-28B del Distrito Cielo Punco – La Convención – Cusco.

1.5.3 Variables e Indicadores

- a. **Variable dependiente:** Estabilidad de taludes.
- b. **Variable independiente:** Aplicación del sistema ErdoX.

Tabla 1

Variable dependiente e independiente

VARIABLE DEPENDIENTE	INDICADOR	UNIDADES
Estabilidad de taludes	Factor de seguridad	(Adimensional)

VARIABLES INDEPENDIENTES	INDICADOR	
Aplicación del sistema ErdoX.	Peso unitario	kNm ³
	Cohesión	kPa
	Angulo de fricción interna	grados
	Peso unitario saturado	kN/m ³
	Fuerzas de interacción	kN
	Momentos de interacción	kNm

Capítulo II

Marco Teórico

2.1 Antecedentes de la Investigación

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Ramirez Valderrama y Visbal Puentes (2021) realizaron una tesis titulada “Examinar la estabilidad de un talud situado en el kilómetro 2 mil de la ruta que une Ibagué y San Bernardo, Universidad Cooperativa de Colombia, para optar al título profesional de Ingeniero Civil”. El objetivo general de esta investigación fue examinar las propiedades geotécnicas del suelo presente en el talud que se encuentra a una distancia de km 2 +000 en la ruta que une Ibagué y San Bernardo. La metodología consistió en localizar un talud en el km 2 +000 de la vía Ibagué – San Bernardo. También fue posible hacer un reconocimiento físico y visual del suelo, además de una evaluación topográfica de la superficie del talud. Inmediatamente después de la recopilación de las muestras, éstas fueron enviadas al laboratorio geotécnico de la Universidad Cooperativa de Colombia, ubicado en Ibagué - Espinal, con el fin de someterlas a un examen científico. Tras la realización de las pruebas para la caracterización en laboratorio de la muestra, se estableció una distribución mediante el (SUCS), que dio como resultado la obtención de un material conocido como (SC) (arena arcillosa de baja compresibilidad). Este suelo en particular se clasifica como un suelo granular o no cohesivo, según lo determinado por la clasificación y las restricciones de consistencia. Esta clasificación se define además por las características que se adquirieron para un suelo grueso.

Giraldo López y Aragón Lopez (2021) realizaron la investigación titulada " Como parte de la ruta que conduce al Nevado del Tolima, Chapetón y la Universidad Cooperativa de Colombia, se realizó una investigación de estabilidad de taludes en la ladera que se encuentra en el Km 2.5”, para optar al título de ingeniero civil. El objetivo general planteado utilizó la técnica del ábaco de Hoek y Bray, el método simplificado de Bishop y el programa SLIDE para realizar un análisis de la estabilidad del talud en el Kilómetro 2.5 de la carretera Nevado del

Tolima en Chapetón. El objetivo de este análisis fue evaluar la peligrosidad del talud para la población cercana.

Metodología: La metodología utilizada en esta investigación se centró en el análisis de la estabilidad del talud mediante el método de las dovelas, el cual es ampliamente empleado y se ha potenciado aún más con el uso de herramientas computacionales, específicamente el software GeoSlope. Tras ser evaluadas en el laboratorio, el contenido de humedad natural de las muestras recogidas en el campo resultó ser del 22,31%, 20,39% y 21,57%, respectivamente. De acuerdo con el tipo de suelo investigado, estos valores se consideran bastante bajos. Para determinar el límite líquido de los suelos, las metodologías utilizadas en estos estudios se basaron en la norma INV E 125-13. Además, se utilizó la norma INV E 126-13 para determinar el límite plástico y el índice de plasticidad de los suelos. Además, se utilizó INV E 126-13 para determinar el límite plástico y el índice de plasticidad de los suelos. Conclusiones: Cuando se trata de investigar la estabilidad de taludes, las mediciones de laboratorio de características de resistencia como la densidad, la cohesividad y el ángulo de fricción son de la máxima importancia. Es posible identificar el comportamiento y la resistencia al cizallamiento del suelo en cuestión empleando estas características, que también son cruciales para determinar el factor de seguridad utilizando diversas técnicas de estudio.

Los resultados del enfoque simplificado de Bishop se consideran bastante precisos y fiables, por lo que se sigue utilizando ampliamente para calcular el factor de seguridad en taludes, a pesar de que existen métodos más exactos.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Urteaga Huaman y Suarez Risco (2015) realizaron la investigación titulada " Tecnología ErdoX utilizada para la estabilización de taludes en laderas de carreteras", en la Pontificia Universidad Católica del Perú, como parte de su trabajo para optar al título de Ingeniero Civil. El objetivo general planteado fue dar a conocer el sistema ErdoX como una reciente tecnología para la estabilización de taludes, promoviendo su mayor utilización en el país. Además, se

propuso comparar la productividad y costos obtenidos al emplear este sistema de contención de taludes con respecto a otras técnicas disponibles. En conclusión, este sistema se muestra altamente conveniente para la mayoría de los casos de inestabilidad de taludes, destacándose por varios factores positivos.

Gutiérrez López (2019) llevó a cabo la investigación titulada " Se instalaron gaviones y dispositivos de estabilidad de taludes de ErdoX en el puente Capelo-Chanchamayo del Km.14 para mejorar su rendimiento estructural y económico", en la Universidad Cesar Vallejo, con el propósito de optar al título profesional de Ingeniero Civil. El objetivo general planteado fue conocer cuál de los sistemas de estabilidad de taludes, entre ErdoX y Gaviones, es más eficaz para mejorar el comportamiento estructural y económico del puente Capelo-Chanchamayo entre los kilómetros 14 y 150 en 2019. La metodología empleada en esta investigación es aplicada, ya que se basa en sucesos reales y en el estudio de una población específica. Se seleccionará el mejor sistema entre ErdoX y Gaviones para abordar los problemas de deslizamiento de taludes. En conclusión, tanto el Sistema de Gaviones como el Sistema Erdox contribuyen a mejorar el comportamiento estructural del Puente Capelo-Chanchamayo, situado en el margen derecho a la altura del Kilómetro-14. El Sistema Erdox, por su parte, demuestra un comportamiento estructural superior al Sistema Gavión. Esto se debe a que el Sistema Erdox aumenta el factor de seguridad internacional y nacional en vuelco y deslizamiento en un 49,75%, mientras que simultáneamente disminuye la capacidad portante en un 32,84%. Además, desde la perspectiva económica, el Sistema Erdox permite un ahorro del 8.63% en comparación con el Sistema Gavión. Se determinó que el Sistema Erdox ofrece una estabilidad global un 44.77% mayor en el margen derecho del Km. 14 Puente Capelo-Chanchamayo. Esto se debe a que el Erdox presenta un comportamiento piramidal porque redistribuye las cargas actuantes, y las superficies de fallo que se forman no influyen directamente en el sistema. Esto contrasta con el Gavión, que tiene una superficie de fallo que comienza en la cresta del talud y termina al pie del mismo, lo que tiene un efecto sobre el Gavión como sistema de deslizamiento.

Cotera Coronel (2022) llevó a cabo la investigación titulada " Las carreteras centrales Akopalca, Huancayo y Junín son los lugares donde se utiliza la tecnología ErdoX para la estabilidad de taludes. Esta aplicación se realiza entre los kilómetros 11+780 y 11+840" en la Universidad Peruana Los Andes. El objetivo general formulado fue onocer el impacto de la aplicación del sistema ErdoX sobre la estabilidad de taludes en el tramo de la ruta central Acopalca - Huancayo - Junín que comprende desde el km 11+780 al 11+840 durante el año particular 2021. En conclusión, el Sistema Muro Voladizo, el Sistema Muro Jardín y el Sistema Erdox contribuyen a mejorar el comportamiento estructural de la región evaluada en la parte de la carretera central Huancayo - Acopalca que se extiende desde el Kilómetro 11+780 hasta el Kilómetro 11+840. Sin embargo, el Sistema Erdox muestra un mejor desempeño estructural al incrementar el factor de seguridad en vuelco en un 84.87% y en deslizamiento en un 9.59%, además de reducir la capacidad portante en un 8.42% en comparación con el Sistema Muro en Voladizo. Desde el punto de vista económico, el Sistema Erdox permite un ahorro del 60.24% en comparación con el Sistema Muro en Voladizo y del 80.86% en comparación con el Sistema de Muro en Jardinería.

Teniendo en cuenta el hecho de que se adquirió un valor de 3,34 toneladas por cada estructura Erdox que se colocó y 26,29 toneladas en la estructura global del sistema de muros en voladizo, se decidió que el sistema Erdox ofrece una mayor resistencia al momento actuante. Esto se debe al hecho de que el Erdox sirve como un monoanclaje ligero que no abrumba la tierra. Lo consigue dividiendo eficazmente las tensiones entre el tirante rígido y los cables de sujeción al viento.

2.1.3 Antecedentes Locales

Llaique Chane (2022) llevar a término la investigación titulada "Utilizando el Sistema Erdox, se realizó la evaluación, análisis y estabilidad de taludes en la carretera PE-28B entre los kilómetros 152+045 y 152+195, situada en la región de Kepashiato-Kiteni" en la Universidad Continental, con el fin de cumplir los requisitos previos para la obtención del título de Ingeniero

de Caminos, Canales y Puertos a nivel universitario. El objetivo principal fue estabilizar el talud de la carretera PE-28B en el tramo del Km 152+045 al Km 152+195, ubicado entre Kepashiato y Kiteni. Se utilizó el método científico para investigar, recopilar y procesar sistemáticamente la información necesaria para abordar el problema. La población de estudio correspondió a la carretera Kepashiato-Kiteni, ubicada en la provincia de Quillabamba, Cusco. En la ruta PE-28B Kepashiato - Kiteni, en el tramo Agua Dulce, la muestra se ubica entre los kilómetros 152+045 y 152+195. Para ser más específicos, la muestra tiene una longitud de 150 metros. Nótese que debido a los muchos derrumbes que ocurren en esa área, el acceso a la porción que está siendo investigada no siempre es accesible. Se llegó a la parte que se estaba evaluando y se realizó un levantamiento topográfico mediante la técnica planimétrica y una estación total. Los resultados de este levantamiento se muestran a continuación. Los resultados obtenidos fueron una planta, un perfil longitudinal, secciones transversales y una sección típica, respectivamente. En conclusión, se diseñaron cuatro sistemas de estabilidad de taludes para la zona objeto del estudio. Cada uno de estos sistemas presenta su factor de seguridad máximo en la modelización Slide v 6.0. Además, se analizaron los costes de los sistemas Terramesh, gaviones, muros de hormigón armado y Erdox, y se descubrió que el sistema Erdox es el tipo de sistema de estabilidad de taludes más rentable.

Yañez Peche (2021) realizó la investigación titulada " Una investigación sobre las similitudes y diferencias entre el proceso constructivo del sistema ErdoX y los de las soluciones existentes para la estabilización de taludes - Tramo 2 de la autovía IIRSA SUR" en la Universidad San Ignacio de Loyola, con el fin de cumplir los requisitos previos para la obtención del título de Ingeniero Civil. El objetivo general planteado fue analizar el proceso constructivo del sistema ErdoX para la estabilización de taludes en la Autopista IIRSA Sur - Tramo 2, es importante compararlo con otros métodos convencionales.

En conclusión, se descubrió que los precios de los sistemas estabilizadores y el tiempo que se tarda en desplegarlos son drásticamente diferentes. Específicamente, el costo por instalar una estructura del sistema tipo paraguas o ErdoX fue de 9,932.51 soles. En comparación, el

sistema Gavión resultó ser un 6.25% más caro, mientras que el muro de concreto armado fue un 5.06% más costoso que el ErdoX.

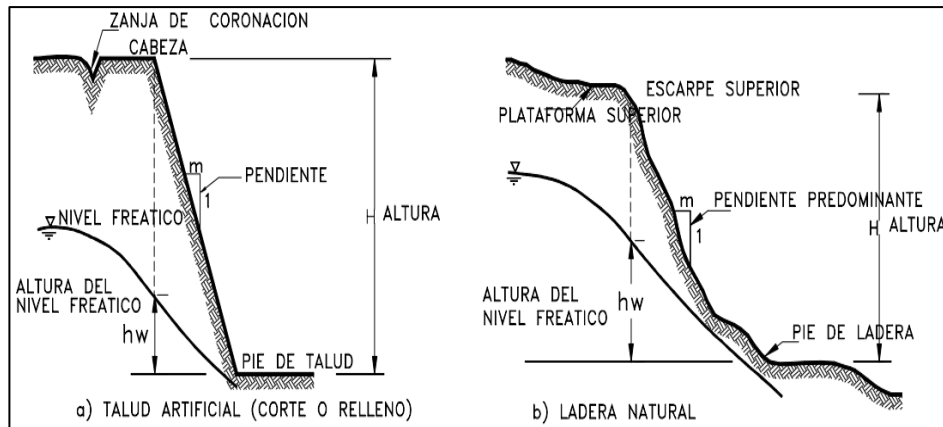
2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Talud o ladera

Un conjunto de terreno que no es plana, sino que presenta una pendiente o grandes fluctuaciones de altura, se denomina ladera o talud del terreno (3). Una ladera se define como tal cuando su estructura actual ha sido generada por un suceso natural, y se define como talud cuando ha sido esculpida intencionadamente, como se ilustra en la Figura N°1 siguiente. Todas estas definiciones pueden encontrarse en la literatura técnica.

Figura 1

Nomenclatura de taludes o laderas



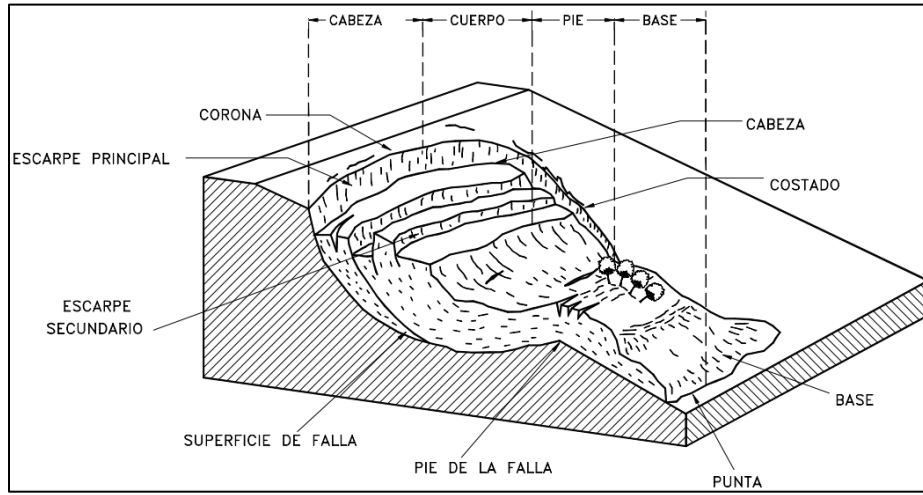
Fuente: (Suárez Díaz, 1998 pág. 12).

2.2.2 Procesos geotécnicos activos de los taludes

Los desplazamientos hacia abajo y hacia fuera de los elementos que componen una ladera, ya sean rocas, suelo natural, relleno o una mezcla de estos distintos tipos de materiales, suelen denominarse taludes. este tipo de movimientos suelen producirse a lo largo de las superficies de falla, y están causados por diversos mecanismos, como la caída libre, los movimientos de masas, la erosión y los flujos. Hay veces en que algunas secciones de la pendiente pueden moverse ocasionalmente hacia arriba, mientras que otras secciones pueden moverse hacia abajo.

Figura 2

Nomenclatura de un deslizamiento



Fuente: (Suárez Díaz, 1998 pág. 13).

2.2.3 Sistema de clasificación AASHTO

Al igual que el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (UCS), el sistema de clasificación de suelos de la AASHTO utiliza las mismas características para determinar la categorización de los suelos. Por otro lado, su aplicabilidad se limita a proyectos de construcción de carreteras y, en menor medida, a aplicaciones específicas que incluyen la clasificación de materiales de relleno respectivamente. (4)

Según la metodología de la AASHTO, los suelos se dividen en ocho categorías principales (A-1 a A-8) basadas en la distribución granulométrica, el límite líquido y el índice de plasticidad del suelo. Los suelos de grano fino se incluyen en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7, mientras que los materiales de grano grueso están representados por los grupos A-1, A-2 y A-3 del sistema de clasificación. Los suelos del grupo A-8 se caracterizan por una elevada concentración de materia orgánica y pueden reconocerse sobre todo mediante un examen visual. Estos suelos incluyen turba, compost orgánico y otras variaciones.

2.2.4 Sistema unificado de clasificación del suelo

El Sistema de Clasificación Unificado permite clasificar los suelos en dos categorías principales, que son las siguientes:

1. Suelos de grano grueso que, en su forma natural, consisten principalmente en grava y arena, con menos del cincuenta por ciento del suelo capaz de pasar a través de un tamiz con un tamaño de doscientos. Los símbolos de grupo se denotan mediante un prefijo que puede ser G o S. Para los suelos de grava, se utiliza la letra "G", mientras que la letra "S" se utiliza para los suelos arenosos.

2. Suelos de grano fino capaces de atravesar el tamiz n.º 200 en una proporción igual o superior al cincuenta por ciento. El prefijo M indica limo inorgánico, el prefijo C indica arcilla inorgánica y el prefijo O indica limos y arcillas orgánicos. Otros símbolos de grupo comienzan con la letra O. Cuando se hace referencia a turba, limo y otros suelos altamente orgánicos, el signo "Pt" se reserva exclusivamente para ellos.

Figura 3

Ilustración de los nombres de los grupos de suelos, gravas y arenas.

Símbolo de grupo	Nombre de grupo
GW	<15% de arena → Grava bien graduada
	≥15% de arena → Grava bien graduada con arena
GP	<15% de arena → Grava mal graduada
	≥15% de arena → Grava mal graduada con arena
GW-GM	<15% de arena → Grava bien graduada con limo
	≥15% de arena → Grava bien graduada con limo y arena
GW-GC	<15% de arena → Grava bien graduada con arcilla (o arcilla limosa)
	≥15% de arena → Grava bien graduada con arcilla y arena (o arcilla limosa y arena)
GP-GM	<15% de arena → Grava mal graduada con limo
	≥15% de arena → Grava mal graduada con limo y arena
GP-GC	<15% de arena → Grava mal graduada con arcilla (o arcilla limosa)
	≥15% de arena → Grava mal graduada con arcilla y arena (o arcilla limosa y arena)
GM	<15% de arena → Grava limosa
	≥15% de arena → Grava limosa con arena
GC	<15% de arena → Grava arcillosa
	≥15% de arena → Grava arcillosa con arena
GC-GM	<15% de arena → Grava limo arcillosa
	≥15% de arena → Grava limo arcillosa con arena
SW	<15% de grava → Arena bien graduada
	≥15% de grava → Arena bien graduada con grava
SP	<15% de grava → Arena mal graduada
	≥15% de grava → Arena mal graduada con grava
SW-SM	<15% de grava → Arena bien graduada con limo
	≥15% de grava → Arena bien graduada con limo y grava
SW-SC	<15% de grava → Arena bien graduada con arcilla (o arcilla limosa)
	≥15% de grava → Arena bien graduada con arcilla y grava (o arcilla limosa y grava)
SP-SM	<15% de grava → Arena mal graduada con limo
	≥15% de grava → Arena mal graduada con limo y grava
SP-SC	<15% de grava → Arena mal graduada con arcilla (o arcilla limosa)
	≥15% de grava → Arena mal graduada con arcilla y grava (o arcilla limosa y grava)
SM	<15% de grava → Arena limosa
	≥15% de grava → Arena limosa con grava
SC	<15% de grava → Arena arcillosa
	≥15% de grava → Arena arcillosa con grava
SC-SM	<15% de grava → Arena limo arcillosa
	≥15% de grava → Arena limo arcillosa con grava

Fuente: (Brajá M. Das, 2013 p. 106).

2.2.5 Clasificación de taludes

Es posible clasificar los taludes en función de una serie de variables que, tomadas en su conjunto, indican su capacidad de estabilidad. Teniendo en cuenta que un solo elemento puede tener un impacto positivo o negativo, no es posible evaluar la inestabilidad del talud basándose únicamente en una de estas variables contribuyentes”. En tal razón los taludes pueden ser de dos tipos, talud de corte y talud de relleno. (5)

A. Talud de corte

Se refiere a la pendiente o inclinación de la superficie expuesta de un terreno excavado

para permitir la construcción de la carretera. Estos taludes se diseñan para garantizar la estabilidad del terreno y evitar deslizamientos o derrumbes. La inclinación del talud obedece varios factores, incluyendo el tipo de suelo presente, la altura del corte o del talud, la vegetación circundante y las condiciones climáticas imperantes.

Figura 4

Talud de corte



Fuente: (Betonform® SRL/GMBH, 2018).

B. Talud de relleno

Un talud de relleno es una estructura geométrica inclinada formada por la acumulación de material (como tierra, rocas, grava, etc.) sobre la superficie del terreno.

Los taludes de relleno se diseñan para proporcionar una transición suave entre diferentes niveles de elevación y para asegurar que las estructuras construidas sobre ellos tengan una base sólida y estable.

Figura 5

Talud de relleno



Fuente: (Betonform® SRL/GMBH, 2018).

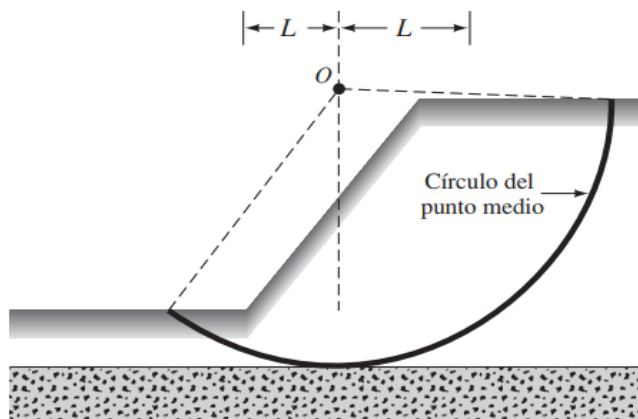
2.2.6 Formas de falla de taludes

Las fallas de taludes son fenómenos que pueden ocurrir debido a una variedad de factores, tanto naturales como inducidos por el ser humano. Estas fallas pueden tener graves consecuencias, especialmente en áreas urbanas o en infraestructuras críticas como carreteras y presas. Por lo general las fallas son cóncavas y son de las siguientes condiciones.

Falla de base. – Es una falla donde el movimiento o la inestabilidad se manifiesta principalmente en la base o en sus proximidades, comprometiendo la estabilidad global del talud. Este tipo de falla puede ser causado por diversos factores, como sobrecarga, erosión o socavación, presencia de materiales con baja resistencia y movimientos del suelo.

Figura 6

Falla de base



Fuente: (Braja M. Das, 2013 p. 344).

Falla en cara de talud. – Se refiere a la inestabilidad que ocurre directamente en la pendiente expuesta del talud, se produce cuando hay inestabilidad en la pendiente expuesta del talud, afectando principalmente su superficie frontal. Este tipo de falla puede aparecer tanto en taludes naturales como en aquellos construidos artificialmente. Las fallas en la cara del talud pueden presentarse de varias maneras y son causadas por incrementos en los esfuerzos aplicados o por una reducción en la oposición al esfuerzo cortante del suelo.

Figura 7

Falla de talud

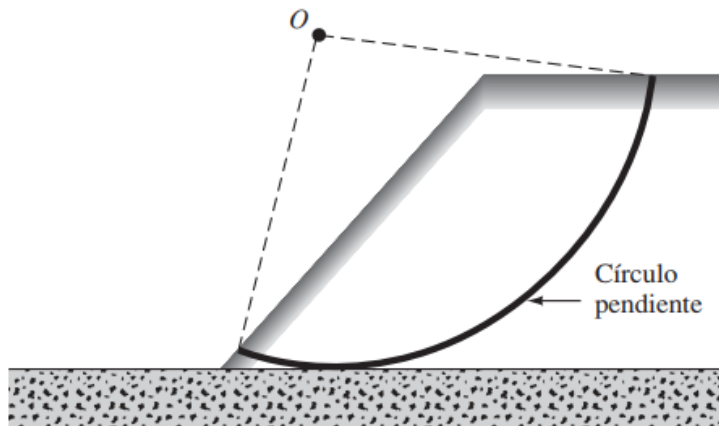


Fuente: (Braja M. Das, 2013 p. 344).

Falla superficial de talud. – Son frecuentes los deslizamientos en taludes de suelos residuales, especialmente durante períodos de precipitaciones intensas y prolongadas. Este tipo de falla es típica en pendientes donde la capa superficial se satura de agua o se ve sometida a sobrecargas.

Figura 8:

Falla superficial de talud



Fuente: (Braja M. Das, 2013 p. 344).

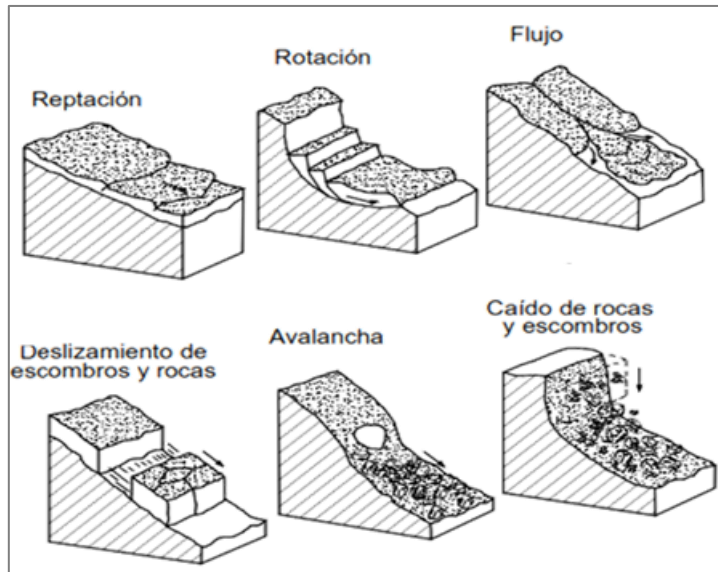
2.2.7 Tipos de falla de talud

Los tipos de falla según Suárez Díaz (1998) son:

- Fallo debido al deslizamiento sobre la superficie
- Fallo debido a superficies de falla que ya estaban presente
- Fallo en el deslizamiento del cuerpo del talud (tanto rotacional como traslacional)
- Un fallo en el flujo
- El fallo de la erosión
- Fallo en la licuefacción.

Figura 9

Tipos de falla



Fuente: Según Suárez Díaz (1998).

2.2.8 Estabilidad de un talud

La resistencia de una masa de suelo frente al colapso o el movimiento se denomina estabilidad de taludes, y se caracteriza como tal. Cuando se intenta identificar un factor de seguridad, es vital especificar primero el criterio de estabilidad” (5). En tal razón la estabilidad está relacionada a las fuerzas de estabilización y las fuerzas desestabilizantes que se encuentran en el talud.

El talud en las obras de ingeniería como son las carreteras es de mucha importancia puesto que estos son provocados ya sea por maquinarias o manualmente y es necesario estabilizar dicho talud para garantizar la seguridad vial, estética y económica.

El proceso de estabilización debe ir seguido de procedimientos de control e instrumentación durante y después de la operación. Se detalla que tiene que tenerse en cuenta el estudio del diseño ya que estos pueden ser modificables durante la etapa de ejecución en campo.

(3) El análisis para un talud se debe tener en consideración los factores de seguridad que está en relación de fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras. Valiente define que “El componente

que debe rebajarse para que la masa alcance un estado de equilibrio límite en toda la extensión es la resistencia al cizallamiento del suelo”.

2.2.9 Análisis de estabilidad de taludes

Para determinar el comportamiento del talud y sus condiciones de estabilidad, se basan en un método físico-matemático que tiene en cuenta las fuerzas que actúan sobre el talud, tanto las estabilizadoras como las desestabilizadoras. (7)

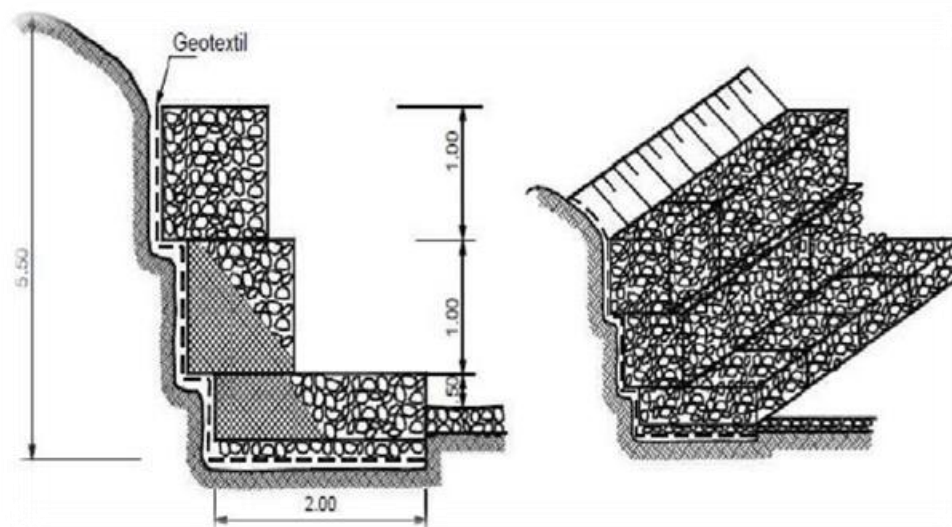
2.3 Sistemas de Estabilización de Taludes

2.3.1 Sistema de muros de gaviones

Los muros de gaviones son los más empleados en las construcciones, es una técnica de la ingeniería en la cual se unen cajas hexagonales elaboradas de mallas metálicas rellenas con piedra, los cuales, facultan la circulación del agua subterránea a través de los espacios vacíos.

Figura 10

Perfiles de los muros de gavión



Fuente: (Betonform® SRL/GMBH, 2018).

2.3.2 Sistema Terramesh

El sistema Terramesh, que consta en un muro de contención de suelo reforzado, es altamente beneficioso para proyectos viales y mineros. Es especialmente adecuado para estabilizar taludes. La instalación de las cajas del sistema Terramesh comienza con el

ensamblaje de las redes, seguido de la apertura de los métodos, el modelado de la caja, la localización y ubicación de los sistemas, y concluye con la finalización de la construcción. Este sistema Terramesh ofrece una serie de ventajas, las cuales incluyen:

- Flexibilidad.
- La permeabilidad.
- La simplicidad constructiva.
- Reducción del impacto ambiental durante la construcción.
- La versatilidad.

Figura 11

En una red de carreteras se utiliza el sistema Terramesh.



Fuente: Maccaferri.

2.3.3 Sistema de muros de concreto

Están formados por muros de una gran cantidad de masa, caracterizados por su propio peso, que les impide deslizarse o volcarse, estableciendo resistencia al empuje. Estas paredes no pueden soportar la fuerza de tracción.

Las ventajas de estos muros de gravedad son las siguientes:

- Se construyen de manera rápida y sencilla.

- Pueden ser construidos en curvas y diversas formas según el diseño arquitectónico requerido.
- Facilitan el ajuste de sus parámetros integrándose favorablemente con el entorno ambiental.

2.3.4 Muros de contención por gravedad

Los muros de contención por gravedad utilizan su propio peso y el peso del suelo que está sobre el concreto para contrarrestar las fuerzas laterales del terreno.

- Generalmente son económicos hasta 3 metros de altura para estructuras de hormigón fundido.
- Por lo general, son lo suficientemente masivos como para no estar reforzados.
- Las paredes monolíticas generalmente se forman en el sitio.

2.3.5 Muros de contención de semigravedad

Un tipo especializado de muro de gravedad es el muro de contención de semigravedad. Este tipo de muro incluye refuerzo de acero para tensión con el fin de reducir el grosor de la pared sin exigencia de un refuerzo extensivo, siendo una combinación de diseños de muros de gravedad y muros voladizo.

2.3.6 Muros de contención en voladizo

Los muros de contención en voladizo están compuestos de concreto armado y constan de un tallo relativamente delgado junto con una losa de base. La base se divide en dos partes: el talón, que se encuentra debajo del relleno, y la punta, que es la otra sección de la base.

- Utiliza mucho menos hormigón que los muros de gravedad, pero requiere más diseño y una construcción cuidadosa.
- Generalmente económico hasta aproximadamente 5 metros de altura.
- Puede prefabricarse en fábrica o formarse en obra.

2.3.7 Muros de contención de contrafuerte

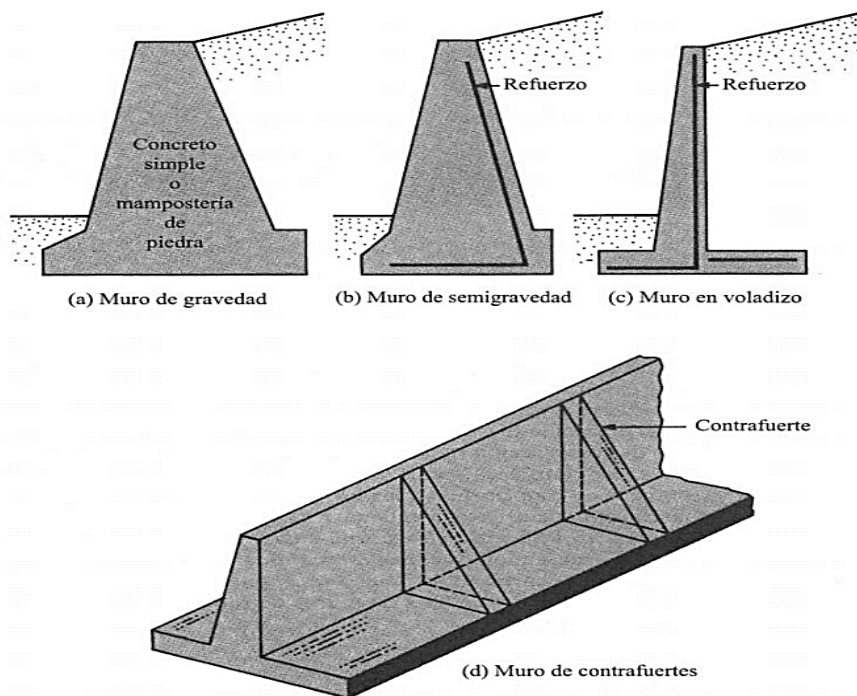
Los muros de contención de contrafuerte son similares a los muros en alero, excepto que

tienen delgadas redes verticales de concreto a intervalos regulares a lo largo de la parte posterior del muro, estas redes se conocen como contrafuertes.

- Los contrafuertes conectan la losa con la base y su objetivo es reducir los esfuerzos cortantes y los momentos flectores impuestos al muro por el suelo. Un efecto secundario es que aumentan el peso de la pared debido al concreto añadido. Estos pueden ser prefabricados o formados en obra.
- Los muros de contención de contrafuerte son más económicos para alturas superiores a 5 metros.

Figura 12

a) Muro de gravedad b) Muro de semi gravedad c) Muro en Voladizo d) Muro de contrafuertes.



Fuente: Suárez Díaz (1998).

2.3.8 Sistema ErdoX

Para resolver los problemas de inestabilidad de taludes a causa de bloqueos permanentes de carreteras, se debe emplear un nuevo sistema que sea más eficiente y más económico debido a estos problemas y así resolver los obstáculos mencionados, se pueden construir diferentes

muros a base de piedra o de hormigón armado, pero requieren tiempo y grandes inversiones económicas, y la solución no es rentable.

El sistema ErdoX representa una innovación reciente en nuestro país, diseñado principalmente para prevenir deslizamientos en taludes. Este sistema busca ofrecer una solución efectiva a estos problemas mediante una estructura moderna desarrollada y elaborada por los técnicos de Betonform®. El elemento ErdoX es el resultado de una continua investigación orientada a mejorar y consolidar tecnológicamente sus productos.

El sistema fue desarrollado para abordar de manera efectiva y competente el problema de la inestabilidad de taludes, causado por fenómenos naturales como la erosión del suelo y los deslizamientos típicos en terrenos accidentados. La estructura ErdoX fue diseñada conforme a los estándares establecidos por la normativa europea. Cada componente de esta estructura cuenta con certificados de calidad y ha sido sometido a pruebas de resistencia para respaldar su eficacia y seguridad.

Figura 13

En una Red de Carreteras, aparece el Sistema ErdoX.



Fuente: (Betonform® SRL/GMBH, 2018).

2.3.9 Tipos de sistema ErdoX

“Este sistema puede utilizarse en una gran variedad de situaciones, por lo que existen cuatro versiones distintas de ErdoX que se adaptan respectivamente a distintos entornos”.

- ErdoX Tierra

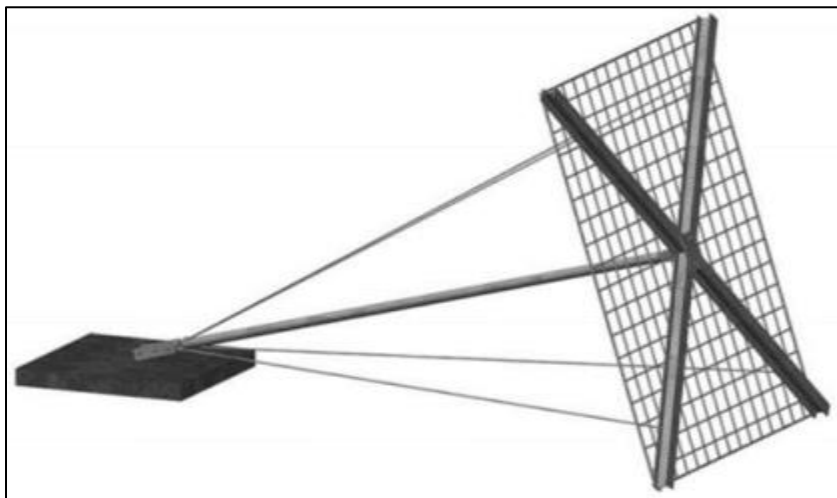
“En cuanto a sus especificaciones, entre las que se incluyen unas dimensiones de 3,10 metros por 3,60 metros y un peso estimado de 350 kilogramos para cada uno de los componentes del ErdoX”. “Este tipo particular de sistema se utiliza con el fin de estabilizar taludes que tienen el potencial de derrumbarse en el futuro, así como para deslizamientos de tierra que incluyen material suelto, rocas, barreras de escombros y muros de contención”. (8)

Según Urteaga Posadas (2017) explica lo siguiente:

“ErdoX Ground y ErdoX Reinforced Ground son las dos variedades de ErdoX Ground. El primer tipo de ErdoX Ground consta de cuatro cables contraviento y una placa de anclaje de hormigón de 1,40 x 1,40 x 0,18 metros. El segundo tipo de ErdoX Ground consta de ocho cables y dos placas de anclaje de iguales dimensiones (pueden apilarse una sobre otra o en forma de "L"). (p. 13).

Figura 14

Esquema de la estructura del sistema ErdoX Tierra.



Fuente: (Betonform® SRL/GMBH, 2018).

- ErdoX Junior

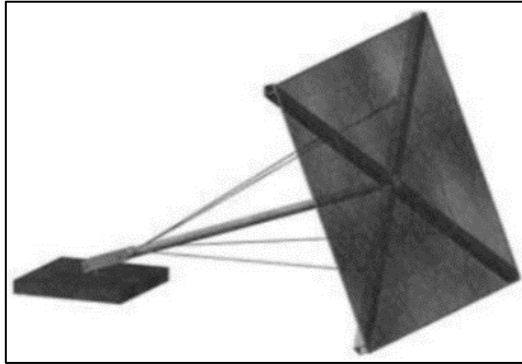
“Las dimensiones de este tipo de sistema ErdoX son menores que las de la variante antes citada; mide 2,00 metros por 2,50 metros y pesa 120 kilogramos por unidad ErdoX junior. "Por todo ello, se suele utilizar en proyectos en los que la resistencia que requiere el sistema no es muy elevada". Entre las ventajas de este tipo de sistema se incluyen un método de instalación sencillo y óptimo, así como su adaptabilidad; otras ventajas son su tamaño y su bajo peso, que lo hacen más manejable. Este ErdoX es capaz de estabilizar una superficie de cinco metros cuadrados situada en una pendiente inestable. Tiene capacidad para soportar cargas de entre 10 y 12 toneladas métricas (8)”.

“Debido a las propiedades que posee, este ErdoX se sugiere principalmente para las siguientes aplicaciones: la construcción de gaviones que son a la vez modernos y extremadamente eficaces, el terraplenado de canales y lagos, y la provisión de un control de la erosión que es muy eficaz” (8 pág. 14).

Urteaga Posadas (2017) se refiere al hecho de que, de forma análoga a lo que ocurre con ErdoX Earth, existen dos tipos distintos de ErdoX Junior: el normal y el reforzado. Ambos tipos se construyen con cuatro vientos, pero la principal diferencia radica en las dimensiones de la placa de anclaje. El primer tipo tiene una placa que mide 0,80 metros por 0,80 metros por 0,10 metros, mientras que el segundo tipo tiene una placa que mide 1,15 metros por 1,25 metros por 0,18 metros”.

Figura 15

La ilustración muestra la estructura del sistema ErdoX Junior.



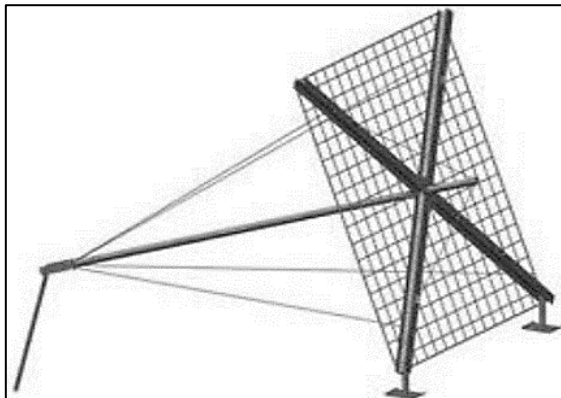
Fuente: (Betonform® SRL/GMBH, 2018).

- ErdoX Nieve

“Cabe suponer que este método se desarrolló específicamente para su uso en regiones que experimentan fuertes nevadas y riesgo de avalanchas que desembocan en los valles, así como en regiones habitadas por seres humanos o animales”. “Para ofrecer una gran resistencia a las tensiones que pueden producirse en pendientes pronunciadas, esta forma particular de ErdoX está anclada en la nieve. Esto se hace debido a las particularidades que se han comentado(8)”.

Figura 16

Esquema de la estructura del sistema ErdoX Nieve



Fuente: (Betonform® SRL/GMBH, 2018).

- ErdoX C

"Este tipo de ErdoX está específicamente diseñado para ser ampliamente utilizado en la protección de costas, contención de terraplenes, y áreas empinadas con riesgo de deslizamiento,

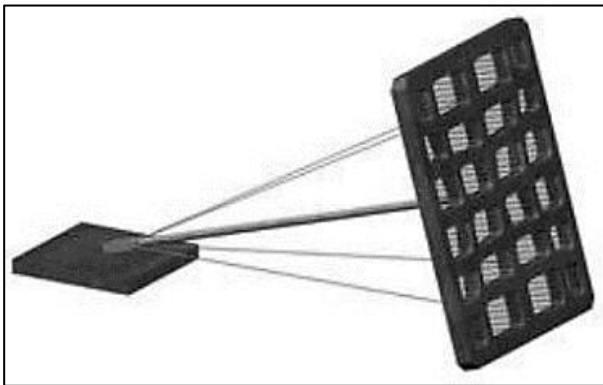
entre otros usos. El uso de este material es muy recomendable en entornos en los que la estructura está sometida a sales u otros agentes potencialmente dañinos, como las regiones costeras. Lleva incorporado un refuerzo consistente en varillas de fibra de vidrio para que pueda tener una vida útil más larga"

Acerca de este entorno, Urteaga Posadas (2017) explica lo siguiente:

“Mediante el uso de un tirante en roca o tierra suelta, se puede lograr el anclaje. El tirante está unido a un cable metálico en forma de espiral con su guardacabos específico, y el sistema se fija al suelo mediante una placa de hormigón de tamaño adecuado al proyecto. “(p. 16).

Figura 17

Representación esquemática de la disposición del sistema ErdoX modelo C.



Fuente: (Betonform® SRL/GMBH, 2018).

2.3.10 Principales características

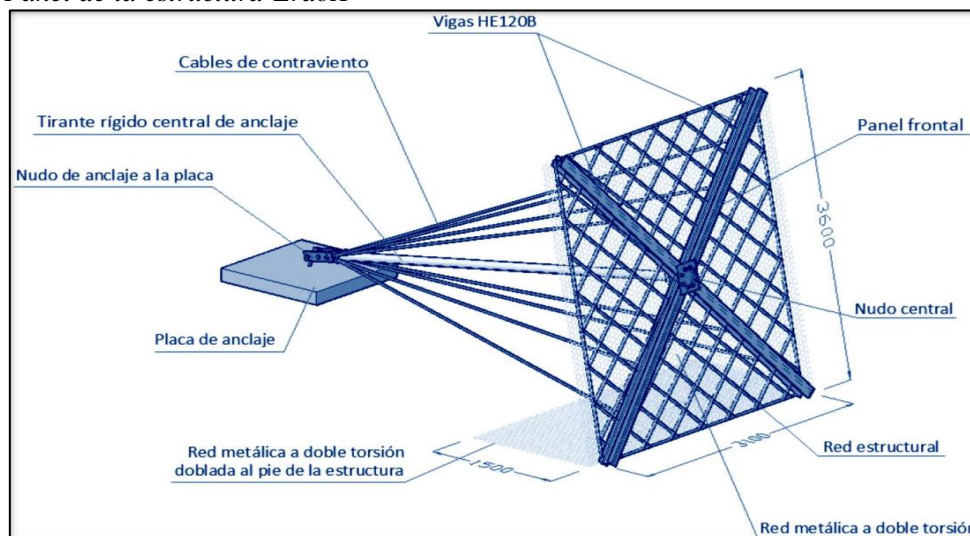
Este método tiene varias funciones:

- El impacto ambiental de este método es mínimo ya que permite la reforestación de toda el área afectada para el trabajo de este sistema.
- Este sistema está compuesto casi en su totalidad por materiales locales, y la posibilidad de que ocurra un fallo por volteo es mínima debido a su diseño piramidal. En este diseño, el empuje ejercido sobre el panel frontal se dirige hacia la placa de concreto mediante un tirante rígido y cables de contraviento, lo que asegura la estabilidad del sistema. Por esta razón, se recomienda ubicar la placa de anclaje en una superficie sólida.

- A comparación del muro de concreto armado, el sistema ErdoX se puede encontrar mayores ventajas en mano de obra, maquinaria, precio y plazo de ejecución. El sistema ErdoX alcanza mayores rendimientos y costos.
- Uno de los fines de este sistema es tener un mejor drenaje, con la finalidad de que se eviten fallas causadas por el peso del agua, esto nos lleva a evitar las sobrecargas hidráulicas para este diseño.
- Es muy adaptable con relación al ambiente, en que se construye, por su estructura, la cual permite el crecimiento de vegetación.

Figura 18

Panel de la estructura ErdoX



Fuente: (Betonform® SRL/GMBH, 2018).

2.3.11 Cálculos estructurales

En este proceso de la investigación se dará a conocer algunos cálculos.

La fuerza en condición estática se determina mediante la siguiente fórmula:

$$Ed = \gamma G2 (1 * \gamma * h^2 * K) + \gamma Q1 (Qh * K) - \gamma G2 (2C * h * K^{\frac{1}{2}})$$

Donde:

γ : peso específico del suelo.

C: cohesión.

H: altura de la valla.

Q: fuerza transferida al terreno.

K: coeficiente de fuerzas activas.

Para determinar la presión dentro del sistema, se utiliza la siguiente ecuación:

$$P = \gamma G2 (\gamma * H * k) + \gamma Q1 (Q * K) - \gamma G2 (2C * h * K^{\frac{1}{2}})$$

La magnitud del empuje ejercido sobre el panel frontal:

$$P = \gamma * h * \frac{K_a}{2} + Q * K_a$$

Donde:

P: empuje usado en el muro, usando Rankine h: altura del sistema.

γ : peso específico del elemento de relleno K_a : coeficiente del empuje activo.

Q: sobrecarga considerada de acuerdo a la utilización del muro.

2.4 Información requerida para el presente trabajo

- Fotografías del área.
- Topografía del terreno.
- Ensayos de laboratorio.
 - Cohesión: kN/m²
 - Ángulo de fricción interna: grados.
 - Peso específico: kN/m³.
- Análisis computacional
 - Fuerzas de interacción
 - Momentos de interacción

2.5 Aplicaciones

Debido a las características del Sistema ErdoX, se puede aplicar en una amplia gama de situaciones para estabilizar taludes. Esto incluye tanto escenarios simples, donde una sola fila

de ErdoX (o incluso ErdoX Junior) puede ser suficiente, como casos más complejos que requieren múltiples filas de ErdoX debido a las condiciones del terreno y los riesgos potenciales. Su diseño de mono-anclaje le confiere una notable versatilidad y utilidad, especialmente en entornos adversos.

Para Urteaga Posadas (2017) las aplicaciones principales del sistema son:

La finalidad de un muro de contención es proteger la calzada de la pendiente que se encuentra por debajo o por encima.

- Los depósitos de material sobrante (DME) y los vertederos (de construcción o ampliación) en terreno montañoso son ambos ejemplos de vertederos.

- Lugares que están experimentando erosiones importantes, lo que puede dar lugar a problemas de inestabilidad.

- Defensas ribereñas
- Los ríos y barrancos pueden limpiarse mediante lavaderos forzados.
- Rompeolas ya montados (en ríos u océanos)
- Protección contra rocas y otras cosas que puedan caer del cielo
- Estabilización de terrenos expuestos al riesgo de desprendimientos o desplazamientos
- Plataformas situadas en pendientes pronunciadas.

En pocas palabras, a continuación se enumeran las principales características que posee este sistema:

- El monocasco permite un cierto grado de flexibilidad.
- El material se vierte en cada elemento, lo que da lugar a la adquisición instantánea de resistencia estructural.
- En comparación con las técnicas más utilizadas en el país, el proceso de instalación es rápido y sencillo.
- Este sistema de drenaje es realmente eficaz
- Es posible recuperarlos en su totalidad (siempre que los requisitos locales del proyecto lo

permitan).

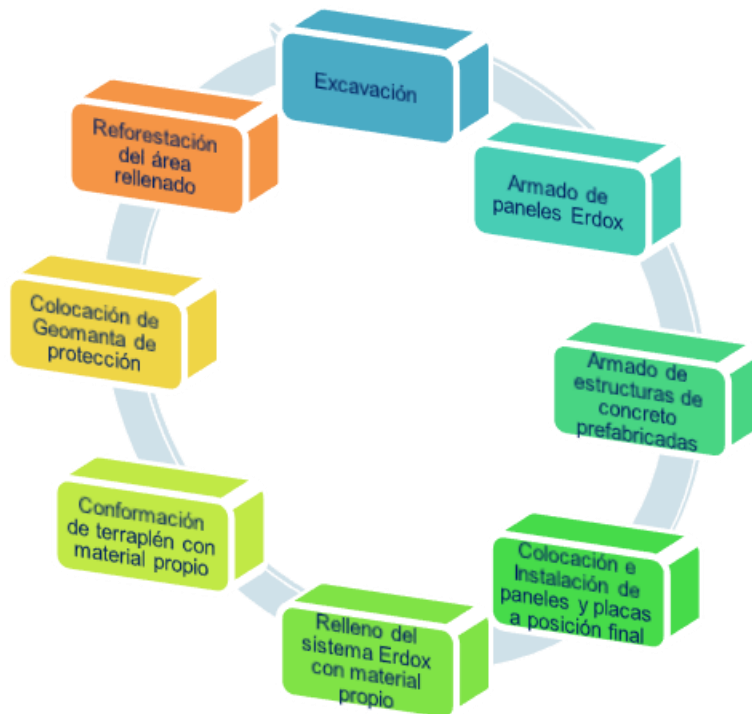
- El modelo Tierra de ErdoX, que mide 3,10 metros por 3,60 metros, pesa 350 kilogramos, mientras que el modelo Junior, que mide 2,00 metros por 2,50 metros, pesa 120 kilogramos.
- El espacio de retención del modelo Tierra es de 11 metros cuadrados, mientras que el modelo Junior tiene un área de retención de 5 metros cuadrados. modelos de la categoría Junior, respectivamente.

2.6 Esquema del Procedimiento Constructivo

A continuación, se detalla el procedimiento constructivo del Sistema ErdoX:

Figura 19

Proceso constructivo del sistema ErdoX.



2.6.1 Trabajos de excavación

Se llevan a cabo las labores de excavación en el área destinada para la instalación del sistema ErdoX. Este proceso se efectúa utilizando excavadoras.

Figura 20

Como parte de la Carretera Interoceánica, se está excavando en el Sector Km. 11+500.



Fuente: (Betonform® SRL/GMBH, 2018).

2.6.2 Armado de paneles ErdoX

Después, se procede a ensamblar manualmente los paneles ErdoX de manera previa a su instalación.

Figura 21

Se puede ver a operarios armando los paneles que se van a instalar en el Sector Km. 11+500 de la Carretera Interoceánica.



Fuente: (Betonform® SRL/GMBH, 2018).

Se lleva a cabo el montaje de las placas de concreto prefabricadas, las cuales actuarán como anclajes para los paneles ErdoX.

Figura 22

Se observa las Placas de Anclaje ensambladas



Fuente: (Betonform® SRL/GMBH, 2018).

2.6.3 Colocación e instalación de paneles y placas a su posición final

Este trabajo implica el uso de maquinaria como excavadoras o grúas para colocar los paneles y tableros desde la posición de preinstalación hasta su posición final. La instalación de este sistema se lleva a cabo de manera manual, además de requerir la excavadora para la colocación. Esta tarea implica fijar los cables del panel a los elementos de hormigón.

Figura 23

Montaje asistido por excavadora de placas de anclaje para su uso en estructuras enterradas.



Fuente: (Betonform® SRL/GMBH, 2018).

Figura 24

Durante este proceso, los paneles ErdoX se levantan con la ayuda de una excavadora.



Fuente: (Betonform® SRL/GMBH, 2018).

Figura 25

Fue necesaria la ayuda de una excavadora para colocar correctamente un panel ErdoX.



Fuente: (Betonform® SRL/GMBH, 2018).

2.6.4 Relleno del sistema ErdoX con material propio

Una vez que las losas y paneles de concreto prefabricado están correctamente ubicados, se procede a llenar con material propio de la zona utilizando maquinaria pesada. Verter el material en la parte trasera, donde se colocan las losas de hormigón (los anclajes), es el primer paso de este procedimiento. Así se garantiza la estabilidad del sistema desde el principio de la operación.

Cuando se completa el llenado, se repite el ciclo para colocar cada módulo en la siguiente plataforma.

Figura 26

Colocación del relleno estructural y su posterior compactación



Fuente: (Betonform® SRL/GMBH, 2018).

2.6.5 Conformación de terraplén con material propio

Una vez completado el nivel superior de los rellenos del sistema de contención ErdoX se construye un terraplén. Esto se hace para facilitar la transmisión de fuerzas entre la plataforma y el relleno ErdoX.

2.6.6 Colocación de Geomanta de protección

Una vez todos los sustratos ErdoX y la estructura del terraplén están listos, se debe poner una geomembrana en el relleno de cada sustrato, ya que este será de protección para el sistema de sustancias agresivas y permitirá el crecimiento de vegetación.

Figura 27
Geomanta colocada sobre cada uno de los andenes de ErdoX



Fuente: (Betonform® SRL/GMBH, 2018).

2.6.7 Revegetación de las estructuras

El sistema ErdoX aprovecha enormemente de la reforestación para estabilizar taludes de manera natural. Además de su capacidad filtrante y alta resistencia, este sistema permite utilizar diversos tipos de materiales de relleno. Por lo tanto, se recomienda la plantación de vegetación como una estrategia complementaria para maximizar sus beneficios.

Figura 28

Se observa el sistema ErdoX en el Madre de Dios



Fuente: (Betonform® SRL/GMBH, 2018).

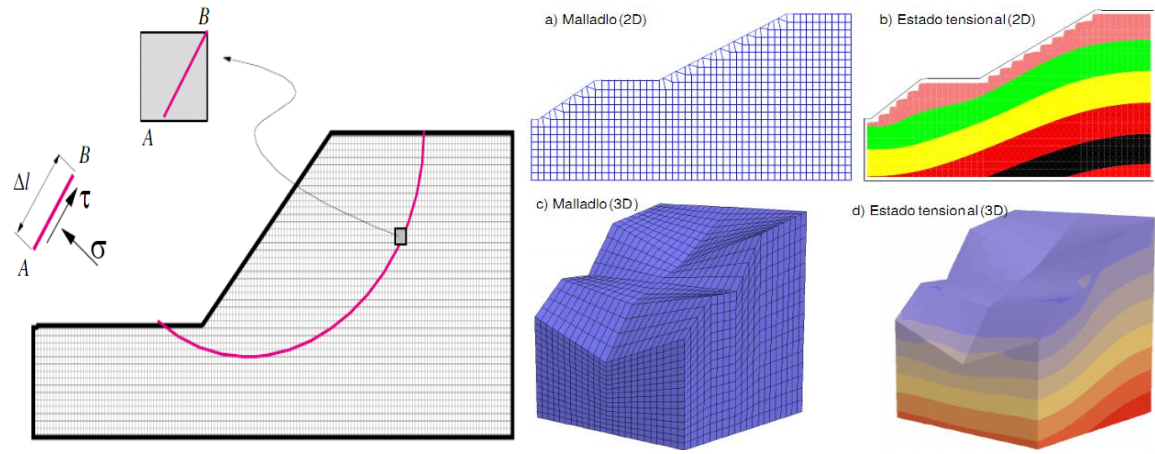
2.6.8 Modelamiento con el software GEO5

El modelado de este estudio se lleva a cabo utilizando el software GEO5, el cual está diseñado específicamente para realizar modelizaciones de estabilidad de taludes. Una de las ventajas principales de este software es su capacidad para emplear técnicas de equilibrio límite en la evaluación de la estabilidad. Actualmente, GEO5 se utiliza ampliamente en el sector minero y en el diseño de carreteras debido a su capacidad para analizar una variedad de problemas geotécnicos, destacándose especialmente en el análisis de la estabilidad de taludes. Los caudales, presiones y gradientes se evalúan mediante índices definidos por el usuario que también tienen en cuenta las características del circuito hidráulico.

Los diagnósticos de infiltración están completamente integrados con la estabilidad de taludes o se pueden usar como un componente separado. También ofrece amplias oportunidades para el análisis probabilístico.

La evaluación de sensibilidad permite calcular cómo afectan las variables individuales al factor de seguridad de los taludes.

Figura 29
Modelos para análisis de estabilidad de taludes



Fuente: (Oliva González, 1999).

2.6.9 Métodos de equilibrio límite

Las técnicas de equilibrio límite, que se utilizan con frecuencia, permiten examinar la estabilidad de una masa potencialmente inestable. Esto se consigue comparando las fuerzas que inducen el movimiento con las fuerzas que resisten el movimiento a lo largo de una determinada superficie de ruptura. Cada uno de estos enfoques se basa en:

- La elección de una superficie teórica de rotura dentro del talud.
- La aplicación del criterio de rotura de Mohr-Coulomb para evaluar la resistencia del material.
- La determinación del coeficiente de seguridad para asegurar la estabilidad del talud.

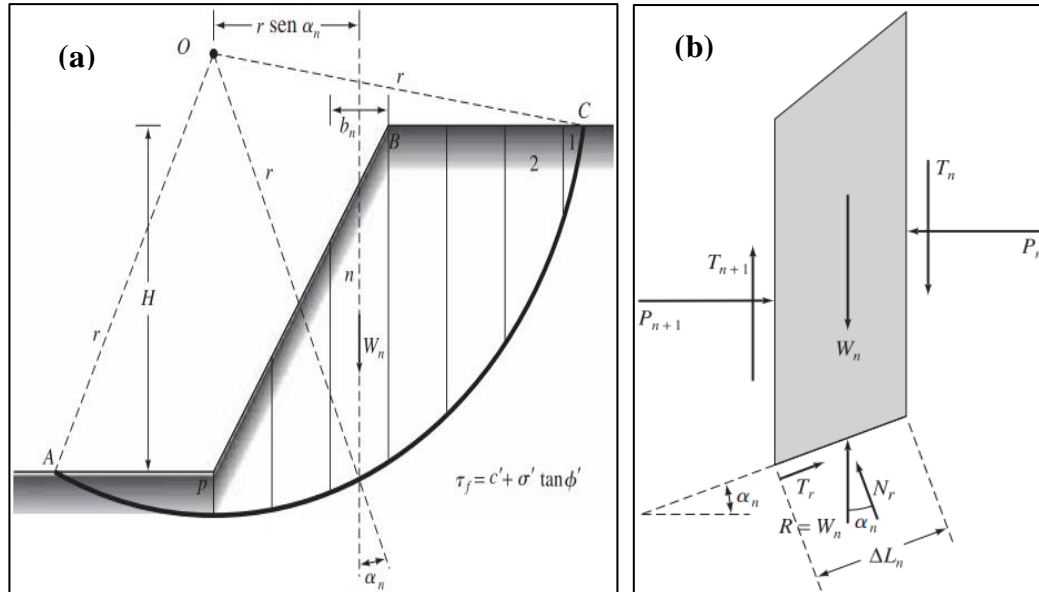
2.6.10 Método de las dovelas o rebanadas

La figura 30a ofrece una explicación del estudio de estabilidad que se realiza mediante la técnica de los cortes. En este enfoque, AC es un arco de círculo que representa la superficie de la prueba de fallo. Hay varias dovelas verticales que se dividen en el suelo que se encuentra por encima de la superficie de prueba de fallo. No es necesario que la anchura de cada una de ellas sea idéntica. Las fuerzas que actúan sobre una pieza típica (enésima dovela) se muestran en la figura 30b. Este análisis tiene en cuenta la unidad de longitud perpendicular a la sección

transversal que se muestra.

Figura 30

Utilizando el enfoque habitual de dovelas, se realiza un análisis de estabilidad: (a) en él se incluye tanto la superficie de prueba de fallos (b) como las fuerzas que actúan sobre la enésima dovela.



Fuente: (Braja M. Das, 2013 p. 363).

2.6.11 Método de Bishop

Está basado en una consideración del equilibrio de momentos de la masa de suelo sobre una supuesta superficie de deslizamiento circular, así las fuerzas de interacción entre dos dovelas se asumen horizontales, es decir no hay esfuerzos de corte entre dovelas.

2.6.12 Método de Spencer

Es parte del método de rebanadas que consiste en establecer las fuerzas horizontales y verticales para obtener dos coeficientes de seguridad uno relacionado con el equilibrio de momentos y otro con el equilibrio de fuerzas al final se determinara que un talud es seguro, si las dos fuerzas antes mencionadas son iguales.

2.6.13 Método de Morgenstern Price

El método, es aplicable a superficies de deslizamiento de cualquier forma. Esta es una de Las

razones con las que Morgenstern y Price, justificó su método anotando que las superficies de falla no circulares son más numerosas que las circulares observadas.

- El grado de alteración de la masa deslizante provee un método visual muy usado para distinguir entre un movimiento circular o no circular.
- Cuando la masa del suelo se desplaza rotando como un cuerpo rígido, la alteración es relativamente pequeña, pero una alteración más severa se observa usualmente, cuando la falla ocurre con una trayectoria no circular.

2.6.14 Factor de seguridad de un talud

En la mayoría de los métodos orientados a determinar la seguridad de un talud se hace uso del cálculo del factor o coeficiente de seguridad (F.S). En otras palabras, es la relación entre la resistencia al cizallamiento real del material del talud que se ha estimado y las cargas críticas de cizallamiento que intentan provocar el fallo a lo largo de una superficie de fallo probable que se ha anticipado anteriormente.

$$FS = \frac{\sum \text{Resistencia al corte}}{\sum \text{Esfuerzo cortante}}$$

Como resultado de la limitada cantidad de investigación que se ha llevado a cabo sobre el tema de los niveles de aceptabilidad para los Factores de Seguridad más aceptables en los diseños de taludes, los valores más generalmente aceptados se han derivado de las observaciones y de la experiencia real sobre el terreno. En el cuadro N° 2 se ilustran los valores admisibles de los factores de seguridad determinados con estos métodos.

Tabla 2

Factores de seguridad aceptables

NORMATIVA	TALUD TEMPORAL		TALUD PERMANENTE	
	ESTATICA	SISMICA	ESTATICA	SISMICA
AASHTO LRFD	1.33 - 1.53	1.1	1.33 - 1.53	1.1
NAVAFAC - 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: (Valiente Sanz; Sobrecases Martí; Díaz Orrego, p. 23).

2.6.15 Análisis Granulométrico por tamizado (ASTM D-421)

Cuando las partículas del suelo se distribuyen en función de su tamaño, se habla de distribución granulométrica. Esta distribución se establece tamizando o haciendo pasar el agregado por mallas de diámetros variables hasta el tamiz n.º 200 (diámetro de 0,075 milímetros), teniendo en cuenta el material que atraviesa esta malla como una pieza completa de material. Es necesario realizar la prueba de sedimentación para conocer la distribución granulométrica por debajo de esa matriz. Como consecuencia del estudio granulométrico se elabora una curva granulométrica. Esta curva se determina trazando el diámetro del tamiz frente al porcentaje acumulado del árido que se mantiene o pasa por el tamiz, dependiendo del uso previsto del árido.

2.6.16 Densidad Relativa

La proporción entre la masa y el volumen de una sustancia es el parámetro que se utiliza para caracterizar su densidad. Es posible diferenciar dos formas primarias de densidad: la densidad real y la densidad aparente.

La mayoría de las veces, al referirse a la densidad o soltura de un suelo granular en su entorno natural, se utiliza la expresión "densidad relativa". A continuación se ofrece una definición de la misma:

$$D_r = \frac{e_{m\acute{a}x} - e}{e_{m\acute{a}x} - e_{m\acute{i}n}}$$

Donde:

D_r = La densidad relativa, que suele calcularse en porcentaje.

e = proporción de vacantes presentes en el suelo.

$e_{m\acute{a}x}$ = Proporción del espacio vacío del suelo en su estado más suelto.

$e_{m\acute{i}n}$ = La proporción de vacíos en el suelo cuando está en su punto más denso.

Los valores D_r pueden oscilar entre un mínimo de 0 para un suelo extremadamente suelto y un máximo de 1 para un suelo muy grueso. Esto implica que los valores D_r pueden ser algo variables.

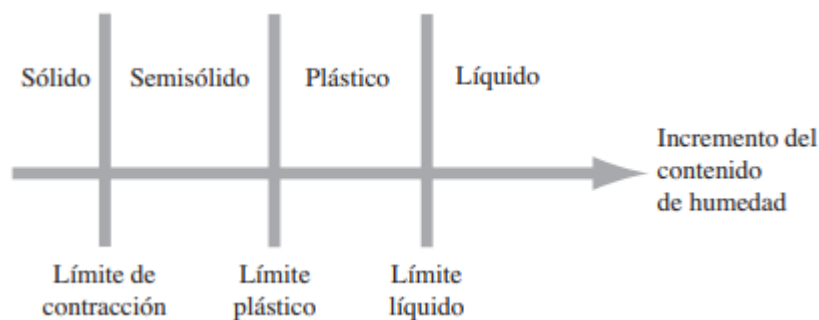
2.6.17 Consistencia del suelo

Según Braja M. Das (2013) afirma que:

Es posible que un suelo de grano fino mantenga su integridad estructural aunque esté alterado y haya algo de humedad. Esto se debe a la presencia de minerales arcillosos en el suelo. Esto impide que el suelo se hunda. Las partículas de arcilla están rodeadas de agua que se ha adsorbido a ellas, lo que da lugar a esta cohesividad natural. Es habitual que el suelo muestre características más parecidas a las de un sólido quebradizo cuando se realiza un experimento con un contenido de humedad muy bajo. Esto contrasta con la situación en la que el suelo y el agua pueden fluir juntos como un líquido cuando el nivel de humedad es muy alto. Así pues, pueden reconocerse cuatro estados fundamentales del comportamiento del suelo, que son sólido, semisólido, plástico y líquido, en función de la cantidad de humedad presente.

Figura 31

Límites de Atterberg



Fuente: (Braja M. Das, 2013 p. 64).

2.6.18 Análisis Límite Líquido (ASTM D-423) y Límite Plástico (ASTM D-424)

Cuando nos referimos a un suelo, la capacidad de ser moldeado se denomina su plasticidad. Para determinarla, es esencial la cantidad de arcilla presente en el material capaz de

atravesar la malla N° 200, ya que es esta sustancia la que funciona como aglutinante.

Un material atraviesa tres estados claramente definidos dependiendo de su contenido de humedad: líquido, plástico y seco. Cuando el material tiene un contenido de humedad que lo hace demasiado húmedo para ser moldeable, se encuentra en estado semilíquido. A medida que se reduce el contenido de agua, el suelo, aunque sigue estando húmedo, adquiere una consistencia que permite darle forma o trabajar con él, momento en el cual se encuentra en estado plástico.

Cuando el material llega a un punto en el que ya no es trabajable y se parte al intentar darle forma, se considera que está en estado semiseco. Esto ocurre cuando el agua se elimina de la sustancia de forma continuada. El Límite Líquido (ASTM D-423) para el árido es el contenido de humedad al que pasa del estado semilíquido al estado plástico, y el Límite Plástico (ASTM D-424) para el árido es el nivel de humedad que pasa del estado plástico al estado semiseco.

2.6.19 Ensayo de Corte Directo

El ensayo de cizallamiento directo es un ensayo de laboratorio que se utiliza en el ámbito de la ingeniería geotécnica con el fin de determinar las características mecánicas del suelo, en particular su resistencia al cizallamiento. Cuando se trata del diseño y estudio de cimentaciones, taludes, muros de contención y otras estructuras de ingeniería civil que interactúan con el suelo, este tipo de ensayo es muy necesario.

Los principales parámetros que se definen con el ensayo de corte directo son:

Cohesión (c): Es la resistencia al corte del suelo a cero tensiones normales, indicativa de la capacidad del suelo para resistir el corte sin la ayuda de la fricción.

Ángulo de fricción interna (ϕ): Indica la capacidad del suelo para resistir el corte a través de la fricción interna. Es un indicador de cómo la resistencia al corte del suelo aumenta con la tensión normal aplicada.

El método se lleva a cabo de una manera más expeditiva, lo que permite realizar un mayor número de exámenes en menos tiempo. Además, es factible obtener una estimación de la

resistencia al cizallamiento en un plano que se ha especificado partiendo de una orientación determinada.

2.6.20 Fuerzas de interacción

Las fuerzas de interacción están formadas por fuerzas activas y pasivas que juegan un papel crítico en su estabilidad y comportamiento. Estas fuerzas determinan cómo el talud responderá a diversas condiciones físicas y ambientales.

- **Fuerzas activas**

Son aquellas que promueven el movimiento o el deslizamiento del terreno. Estas fuerzas actúan en oposición a las fuerzas pasivas que buscan mantener la estabilidad del talud. Es esencial comprender y evaluar estas fuerzas para prevenir fallas en los taludes.

- **Fuerzas pasivas**

Son las fuerzas que actúan para resistir el movimiento o deslizamiento del suelo. En el contexto de la estabilidad de taludes, estas fuerzas son cruciales para mantener la integridad estructural de un talud y prevenir deslizamientos o fallas. Aquí te describo los principales tipos de fuerzas pasivas que intervienen en la estabilidad de taludes.

2.6.21 Momentos de interacción

Se refiere al análisis de los momentos o torques resultantes que afectan la estabilidad de la estructura de tierra. Este análisis es esencial para comprender cómo diferentes fuerzas actúan en conjunto para influir en la estabilidad del talud.

- **Momento de deslizamiento**

Para calcular el momento de deslizamiento, generalmente se considera el momento de las fuerzas que intentan mover la masa del suelo hacia abajo y fuera del talud, alrededor de un punto que se toma como el centro de rotación. Este centro de rotación suele estar en la base de la superficie de deslizamiento potencial.

- **Momento estabilizador**

Implica evaluar todas las fuerzas que contribuyen a mantener la estabilidad del talud y resistir el potencial de deslizamiento.

2.6.22 Pseudoestático

Se utiliza comúnmente en ingeniería geotécnica y sismología para referirse a un método de análisis en el que se consideran las fuerzas sísmicas como cargas estáticas adicionales en el diseño estructural o en el análisis de estabilidad de taludes y otras estructuras geotécnicas. En este enfoque, se introduce una aceleración horizontal ficticia para simular el efecto de las fuerzas pseudoestáticas del terremoto, tratándolas de manera simplificada como si fueran constantes o estáticas durante el evento sísmico.

Capítulo III

Metodología de la Investigación

3.1 Método y alcance de la investigación

3.1.1 Método de investigación

El Método Científico se empleó en esta tesis debido a que la investigación se basa en el conocimiento inductivo-deductivo, que extrae conclusiones a partir de hipótesis, y en el uso del razonamiento que deriva conclusiones lógicas a partir de un conjunto de premisas o principios. Más concretamente, el método empírico y el método teórico fueron los dos enfoques metodológicos utilizados. Desde esta perspectiva, puede verse como una línea de razonamiento que progresa de lo general a lo específico. (9)

3.1.2 Tipo de investigación

Hernández (2014) afirma que: “La investigación práctica o aplicada, a diferencia de la investigación teórica, busca o tiene como objetivo la aplicación inmediata de la información producida. Esto no indica que sea menos valiosa que el estudio teórico. Aunque ambas son esenciales, es imposible que una sobreviva sin la otra, ya que se autocorrigen y se retroalimentan mutuamente” (p.75). Por lo tanto, esta investigación es de tipo aplicada, ya que se implementa un nuevo sistema de estabilización de talud conocido como el sistema ErdoX.

3.1.3 Enfoque de la investigación

“Con el fin de recopilar información y dar respuesta a las preguntas de la investigación, una estrategia de investigación cuantitativa es aquella que se basa en el análisis de mediciones numéricas y recurre a la observación”. Debido a que los indicadores del estudio son valores numéricos, esta investigación adopta una técnica cuantitativa que se basa en este razonamiento. (10 p. 37)

3.1.4 Diseño de investigación

Debido a la naturaleza del estudio, el diseño metodológico será cuasiexperimental. Se

refiere a situaciones en las que el investigador no puede permitirse crear una relación entre los valores de la variable independiente y la intención, ni puede formar los grupos experimentales mediante un procedimiento aleatorio, sin embargo, es factible incluir cualquier cosa que sea análoga al diseño experimental en la programación de los procedimientos que utiliza para recopilar datos (recogida de datos) (11).

3.1.5 Nivel de investigación

El nivel de investigación que se aplicará es explicativo. Según Caballero Romero (2000), Debido a que estas indagaciones se sitúan en el tercer nivel, se espera que ya tengamos una comprensión de los aspectos "Cómo" y "Por qué" de la realidad del objeto de atención. Una vez descubiertas las características del fenómeno o hecho que se investiga (variables) y los factores que han provocado estas cualidades, éste será el tipo de estudio que se lleve a cabo.

3.2 Población y Muestra

3.2.1 Población

La población está caracterizada por el número total de registros producto de la aplicación de los ensayos en campo lo cual conduce a la adquisición de los valores de los parámetros con los cuales que se realiza la investigación. Los registros a través de ensayos para luego ser analizados en laboratorio los parámetros que caracterizan a la estabilidad de taludes, tales como la cohesión, ángulo de fricción interna y el peso específico.

Como población se tiene la carretera CU-566: PE-28B del Distrito Cielo Punco – La Convención - Cusco, lo cual es la vía que une los distritos Unión Progreso, Villa Virgen, Inkawasi y Villa Kintiarina, teniendo un total de 20 metros contados de la progresiva 47+000 – 47+020.

Figura 32: Carretera CU-566: PE-28B Chirumpiari – San Carlos.



3.2.2 Muestra

La muestra para esta investigación es no probabilística por diseño, ya que el tramo de la carretera que se está investigando y que es el más importante en términos de estabilidad de taludes se elegirá específicamente para esta investigación. En este ámbito concreto, la definición sirve como primer propósito preciso que pretende cumplir nuestra investigación.

Hernández et al. (2014) Se dice que el muestreo no probabilístico, que también se conoce como muestreo intencional, se basa en un procedimiento de selección impulsado por las características particulares de la investigación y no por criterios estadísticos genéricos. El método de muestreo no probabilístico es adecuado para nuestra situación debido a las características de la investigación y a los objetivos que nos hemos fijado.

3.2.3 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

Las principales técnicas e instrumentos que utilizaremos en la investigación son:

- Accesibilidad del terreno.
- La observación.
- Levantamiento topográfico.

- Registro Fotográfico.
- Datos de campo.
- Ensayos de laboratorio (mecánica de suelos).

Entre los Instrumentos utilizadas se encuentran:

El diseño de los taludes y la determinación del factor de seguridad se realizó con el software GEO5 versión 2024, mientras que el gráfico de algunos resultados se realizó utilizando la gráfica de librería matplotlib de Python.

3.3 Proceso de Toma de Datos

Para la realización de un proyecto de investigación se requiere adoptar un desarrollo metodológico que permita el adecuado cumplimiento de los objetivos especificados. Además, es necesario formular el problema de manera específica y exacta, y también es necesario utilizar una metodología de investigación adecuada y apropiada para el tipo de trabajo que se está llevando a cabo. (12).

Para determinar el tipo de suelo presente en la región investigada, se procedió a la excavación de pozos de tierra. La imagen siguiente ilustra este proceso.

Figura 33

Se observa la excavación de la calicata



Se toma medidas de la plataforma de la carretera para poder recolectar información de las características de la zona.

Figura 34

Tomando medidas de área de influencia



Figura 35

Área de influencia del deslizamiento del talud



Figura 36

Área de influencia de ancho agrietamiento de la superficie



Figura 37

Área de influencia de altura de hundimiento de la superficie.



Figura 38

Se observa el agrietamiento de la superficie.



Bajo el levantamiento de todas las observaciones, toma de datos, las muestras y estudios correspondientes de la zona de estudio se realiza una comparación del sistema ErdoX con el sistema de muro de contención en voladizo.

Capítulo IV

Análisis y Discusión de Resultados

4.1 Descripción de Zona de Estudio

4.1.1 Generalidades de la zona de estudio

El proyecto se localiza en el tramo Chirumpiari – San Carlos en el Km 47+010 al 47+030 de la carretera nacional de CU-566: PE – 28B, perteneciente al distrito de Cielo Punco, de la provincia de la Convención, Región Cusco.

Departamento/Región: Cusco.

Provincia : La Convención.

Distrito : Cielo Punco.

Localidad : Chirumpiari – San Carlos

Región Geográfica: Selva

Altitud : 992 m.s.n.m.

Latitud Sur : 12°46'40"S

Longitud Oeste: 73° 33'23"O

4.1.2 Ubicación y acceso

El área del proyecto a intervenir está ubicada en el distrito de Cielo Punco, específicamente del Km 47+000 al 47+020. Esta área, con clima tropical, se encuentra en la margen derecha del valle de los ríos Apurímac, Ene y Mantaro, en la provincia de La Convención, departamento de Cusco. El territorio se sitúa entre las coordenadas Este: 653164.33, Norte: 8582118.79 y a una altitud de 992 m.s.n.m. en la zona de Selva Alta (Ceja de Selva), abarcando varios pisos ecológicos.

Figura 39

Mapa Macro localización de la zona de estudio

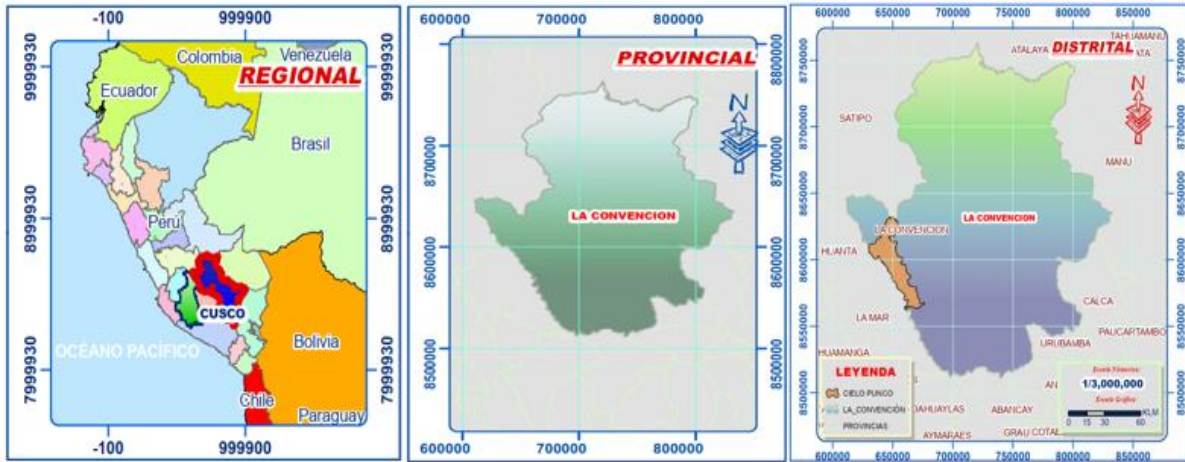


Figura 40

Geografía de la zona de estudio



Figura 41

Ubicación de la zona de estudio



4.1.3 Vías de acceso

El acceso al distrito de Cielo Punco es vía terrestre desde Ayacucho se emplea 4 horas con 50 minutos 00 segundos aproximadamente en camioneta y/o auto.

Las ciudades de Ayacucho, Quinua, Tambo, Machente y San Francisco están incluidas en la carretera que conduce a la localidad de Cielo Punco. Cielo Punco es el destino final. El único tramo que cuenta con carretera asfaltada es el que va de Ayacucho a Quinua hasta Tambo (Challhuamayo). El tramo que va de Tambo (Challhuamayo) a Machente a San Francisco es un camino de tierra que se mantiene en estado satisfactorio. El tramo que va de San Francisco a Cielo Punco es una carretera asfaltada muy económica. Un total de 236,00 kilómetros es el resultado de sumar la ruta de Ayacucho a Cielo Punco a la que ya teníamos.

Desde la localidad de Chirumpiari a San Carlos es carretera asfalto económico, es por trocha carrozable. Esta distancia ha recorrido 2.0 km en un tiempo de 0.02 horas. Ver tabla N° 3.

Tabla 3

Vías de acceso al distrito de Cielo Punco

N°	Descripción	Tip. de Via	Longitud (km)	Tiempo (horas)
1	Ayacucho-Kimbiri	Carretera Asfaltada	192	4h 50min 00sg
2	Kimbiri-Cielo Punco	Carretera Asfaltada	45	1h 00min 00sg
3	Capital: Chirumpiari a la zona de estudio	Carretera parcialmente asfaltada y afirmada	2	0h 2min 00sg

Fuente: Google Maps.

Figura 42

Sector de Chirumpiari – San Carlos.



4.1.4 Geología Regional

4.1.4.1 Paleozoico

Toda la secuencia sedimentaria paleozoica queda al descubierto en la región investigada, y el nivel superior, compuesto por rocas sedimentarias volcánicas, queda expuesto de forma limitada cerca del extremo suroccidental de la zona.

Estas unidades son una porción de la cadena hercínica que forma parte de la rama peruano-boliviana. Las propiedades de esta cadena son bastante similares desde la Cordillera

Vilcabamba hasta Apolobamba, que es el límite entre Perú y Bolivia. Sus afloramientos crean enormes secuencias alargadas que se orientan en dirección andina. Estas secuencias constituyen macizos que de alguna manera regularon la sedimentación que se produjo a lo largo del Mesozoico.

A lo largo de la secuencia del Paleozoico inferior pueden distinguirse tres eras sedimentarias primarias:

- La serie del Ordovícico inferior al medio, que se caracteriza por una sedimentación compuesta principalmente por rocas geológicas que contienen graptolitos.
- Se trata de la serie del Ordovícico superior, compuesta en su mayor parte por depósitos detríticos marinos y que corresponde a facies de regresión.
- Las rocas del Siluro-Devónico consisten en capas alternas de areniscas y pizarras, con escasa presencia de fauna. En el Paleozoico Superior, hubo dos periodos distintos interrumpidos por una discordancia resultante de la actividad tectónica del Hercínico Tardío.

4.1.4.2 Grupo San José

El Grupo San José, en la zona de estudio, está principalmente expuesto en la margen derecha del río Apurímac y en afluentes como los ríos Pichari, Kimbiri, Chirumpiari y Maquete. De manera similar, aflora en las nacientes de los ríos Pichari, Mantaro y Kimbiri.

Debido a su accesibilidad y a la riqueza de fósiles, los desfiladeros de Chirumpiari y Kimbiri ofrecen las mejores oportunidades para la exploración geológica. Entre el Grupo San José hay dos unidades distintas que pueden separarse litológicamente. La unidad inferior se compone de una serie uniforme de esquistos ampelíticos que se disponen en capas delgadas y tabulares. Estas pizarras presentan una laminación interna paralela y están muy fracturadas. Además, hay algunos niveles de filitas y su foliación es ligeramente perceptible. Debido a la presencia de pirita dispersa, esta serie tiene un distintivo tinte negro que va acompañado de una

pátina de oxidación.

Esta unidad presenta una morfología suave como consecuencia de su litología, a excepción de algunos casos en los que los estratos alcanzan un buzamiento considerable. Como consecuencia de la escasa competencia de la roca, se producen regiones de inestabilidad por la formación de quebradas y escarpes prácticamente verticales en los cortes de quebradas y valles profundos. Este fenómeno se da en las regiones de Limatambo y Naranjal, situadas aguas arriba del río Apurímac.

Como resultado de su discordancia angular, el Grupo San José se distingue por la presencia de fallas inversas de gran ángulo en el basamento metamórfico neoproterozoico. Además, parece ser la estructura subyacente de la Formación Sandia, lo que concuerda con sus características.

Se cree que el Grupo San José tiene un espesor de 2.000 metros; sin embargo, a medida que se avanza hacia el borde occidental del grupo, los afloramientos se hacen más delgados. Esto se observa en las quebradas Kimbiri, Maquete y Chirumpiari, donde los afloramientos alcanzan espesores de 1.000 metros.

Figura 43

Serie de esquistos fuertemente fracturada y con pirita que se distribuye por el Grupo San José.



4.1.4.3 Formación Sandia

Los afloramientos más fáciles de alcanzar y de mayor calidad se encuentran a lo largo de la margen derecha del río Apurímac, que corre en dirección noroeste. Esta ubicación corresponde a una porción del lado occidental del anticlinal. Además, se pueden encontrar en el valle de Kimbiri, en Maquete y al noroeste del mismo San Martín. Además, en la cabecera del río Picha, hay dos miembros que pueden distinguirse entre sí:

A) Miembro Inferior

En las proximidades de la localidad de Roca, se observa que la base está constituida por un notable y duradero paquete de cuarcitas de color gris claro a blanquecino. Estas cuarcitas se disponen en capas tabulares gruesas y medianas, con espesores que oscilan entre uno y dos metros, y exhiben tamaños de grano fino a grueso. A mediana y pequeña escala, estas cuarcitas presentan una estratificación sesgada de bajo ángulo, que es una estructura sedimentaria. Delgadas capas de arenisca micácea se intercalan con ellas de forma muy subordinada. Esta intercalación se produce con laminación interna paralela. Hacia la mitad superior, predominan los niveles ondulados de contacto y lenticulares de arenisca, que son el resultado de estructuras de sobrecarga. Estas intercalaciones son de grano fino y consisten en finas capas de cuarcita gris oscura, gris verdosa y gris clara.

B) Miembro Superior

A lo largo de la secuencia superior de la Formación Sandia se intercala una capa de areniscas de grano fino y cuarcitas, cuyo espesor oscila entre dos y veinte centímetros. El color de estas areniscas y cuarcitas varía de gris claro a gris oscuro y blanco, y están dispuestas en capas tabulares de espesor fino a medio. Hay una fina capa de calizas espáticas con cristales de calcita espáticos recristalizados contenidos en el interior de calizas que presentan estratificación interna paralela. Cuarcitas, limolitas y areniscas de grano fino se intercalan en capas finas en la mitad superior de la estructura, y hay un espectacular haz de areniscas en

capas gruesas en la sección más alta de la estructura. Se cree que el río Pichari tiene un espesor de 800 metros.

No hay indicios de actividad paleontológica documentada en la Formación Sandia, que se encuentra dentro del área de investigación. Sin embargo, con base en su ubicación estratigráfica, se le asigna una edad que cae entre el Ordovícico Superior y el Caradociano. Esto se debe a que descansa bajo el Grupo San José, así como bajo la Formación Ananea en la sección oriental de la región.

4.1.4.4 Grupo Cabanillas

Hay una cantidad significativa de exposición al Grupo Cabanillas en el cuadrángulo de San Francisco, particularmente a lo largo de las riberas del río Apurímac, que es la región bajo investigación. Esta unidad se convierte en un componente del sinclinorio a medida que se extiende en dirección sur.

Para diferenciar entre dos miembros del Grupo Cabanillas, una intercalación de capas delgadas de areniscas y limolitas que varían entre cinco y veinte centímetros de espesor proporciona el rasgo distintivo.

A) Miembro Inferior

A lo largo de esta serie se alternan areniscas cuarzosas y limolitas pizarrosas. Por otra parte, se observaron varias capas lenticulares de areniscas de color gris claro. Estas areniscas tienen un grano fino y se disponen en finas capas tabulares que oscilan entre los 5 y los 20 centímetros de espesor. Las limolitas pizarrosas alternas están presentes en menor proporción y se estratifican en capas finas que a menudo son capas laminares negras y beige con presencia de micas. Una estimación sitúa el espesor de esta unidad en doscientos metros. Está compuesta por una secuencia de areniscas cuarzosas con micas que son preferentemente de grano fino y de color gris oscuro a gris claro en capas finas. Estas areniscas alternan esporádicamente con areniscas gruesas a medias y con limolitas pizarrosas de capas finas que presentan una

laminación interna paralela. La sección inferior del terreno se encuentra en la parte occidental de la región. Existen formaciones sedimentarias adicionales que pueden observarse en las capas pelíticas de ondulitas simétricas de pequeña escala.

B) Miembro Superior

Con estructuras sedimentarias de apilamiento sesgado a pequeña escala, el componente más alto de la unidad, que se localiza hacia la sección oriental, está compuesto por una intercalación de limolitas pizarrosas negras típicamente laminadas y micáceas. Además, hay finas capas de arenisca cuarzosa presentes en proporciones menores. Esta serie se compone principalmente de limolitas pizarrosas negras que están finamente estratificadas y muy fracturadas, lo que da lugar a una disyunción en lápiz. Además, esta secuencia tiene una superficie modificada que se caracteriza por una coloración amarillenta en general.

El estudio petrográfico de las areniscas y limolitas pizarrosas revela lo siguiente:

- En la limolita pizarrosa, la presencia de un número importante de micas y cuarzo es lo que la distingue de otros tipos de minerales, un número limitado de minerales opacos, pequeñas capas que se han convertido en arcillas, un poco de bandeo y una orientación particular de los minerales.
- Las areniscas cuarcíticas micáceas se caracterizan por su aspecto gris y la presencia de una variedad de minerales importantes, como cuarzo y micas. Además de que las micas, cloritas y limonitas estaban orientadas, el ochenta por ciento de las piezas tenían forma esférica.

Figura 44

Arenisca de color gris claro, grano fino y capas lenticulares que se intercalan con lutitas de estratificación fina pertenecientes al grupo de Cabanillas.



4.1.4.5 Grupo Ambo

Sobreyaciendo a la serie de lutitas de la Formación Cabanillas de una manera que parece ser continua se encuentra el Grupo Ambo, que está compuesto por una secuencia clástica samito-pelítica que tiene un ambiente continental. El Grupo Ambo, que es una porción de los flancos del anticlinorio masivo de Vilcabamba, tiene un espesor previsto de 1.500 metros, al igual que las secuencias que le precedieron.

La secuencia inferior y la secuencia superior son dos categorías de unidades que pueden diferenciarse entre sí. La serie inferior está formada principalmente por una intercalación de areniscas micáceas, cuarzosas, de grano fino y color gris oscuro. Estas rocas arenosas están estratificadas en capas finas. Estas areniscas están intercaladas con limolitas micáceas pizarrosas en capas finas, y son característicamente laminares. La secuencia superior se caracteriza por estructuras sedimentarias consistentes en ondulitas simétricas de escala pequeña y media, con niveles de lutitas carbonosas en capas finas.

En el estudio de sección delgada tiene las siguientes características:

Las areniscas cuarzosas clasificadas como subfeldespáticas se distinguen por la presencia de una

cantidad significativa de granos de cuarzo, mientras que los feldespatos, la biotita, la sericita y los minerales opacos están presentes en una proporción subordinada. Estas areniscas tienen siempre una forma subangular. Además de abundantes limolitas que incluyen micas y cordierita, hay cristales que se han fragmentado como resultado de la presión. La matriz representa el 10%, los feldespatos el 5%, los ferromagnesianos el 5% y el cuarzo el 80% del total. El origen es la roca metamórfica.

4.1.4.6 Grupo Tarma

En el noreste, una secuencia algo comparable a ésta se caracteriza como una banda gruesa de entre 10 y 15 kilómetros de anchura, y hacia el sur, hacia la sábana de San Miguel, (13). Se pueden encontrar afloramientos adicionales en la mitad oriental de la región, y estos afloramientos tienen propiedades litológicas que son consistentes con un ambiente de sedimentación diferente

La ubicación y el buzamiento de los estratos pueden tener un impacto significativo en la morfología, que puede ser suave o abrupta. En general, la morfología es relativa para los estratos. Hay un modesto desarrollo que se produce en la cubierta que se crea, que da lugar a coloraciones grises oscuras, beige y, en algunos casos, brunáceas. En la serie inferior, hay una intercalación de areniscas rojizas de grano medio que se disponen en capas gruesas, y subordinadamente, hay capas finas de areniscas verdes que exhiben patrones sedimentarios sesgados a gran escala. Se cree que el espesor de toda esta serie es de 20 m.

Figura 45

La parte oriental de la región de investigación está representada por la columna estratigráfica del cuadrángulo de San Francisco.

Eratema	Sistema	Serie	Unidades Litoestratigráficas			
			1997	2002	2019	
			Cárdenas, J., Carlotto, V., Romero, D., Valdivia, W., Jaimes, F., & Huacallo, E.	Sánchez, A., Zapata, A., & Sánchez, J.	Latorre, O., Sipión, C., & Cueva, R.	
Cenozoico	Cuaternario	Holocena	Depósito fluvio aluvial	Depósito aluvial 2 Depósito aluvial 1	Depósito coluvial Depósito aluvial Depósito glaciar, fluvial	
			Depósito de deslizamiento	Depósito de deslizamiento	Grupo Oriente	
Mesozoico	Cretácico	inferior	Formación Sarayaquillo			
	Jurásico	superior				
Paleozoico	Permiano		Intrusivos Permianos	Intrusivo Alto Kiteni Intrusivo Concevidayoc Intrusivo Ciriálo	Plutón Ciriálo	
	Carbonífero	Pennsylvaniano		Grupo Ambo	Grupo Ambo	Grupo Ambo
		Mississippiano				
	Devoniano	superior	Formación Manogai	Grupo Cabanillas	Grupo Cabanillas	
		medio				
	Siluriano	inferior	Formación Quillabamba	Formación Ananea	Formación Ananea	
	Ordoviciano	superior	Formación Zapla	Formación San Gabán	Formación San Gabán	
		medio	Formación Sandía	Formación Sandía	Formación Sandía	
Cambriano	inferior	Grupo San José	Grupo San José	Grupo San José		
				Plutón Chucuito		
Proterozoico			Complejo Metamórfico Pichari-Cielo Punku	Complejo metamórfico Pichari cielo Punku		

Fuente: (Geocatmin).

4.1.5 Geología Local

En la región investigada pueden encontrarse afloramientos de rocas que se remontan al Neoproterozoico y al Holoceno. El basamento se compone principalmente de rocas metamórficas, sobre las que se asientan los estratos paleozoicos inferiores y superiores en discordancia angular. Estas rocas son las características principales del basamento. Estas secuencias están formadas por el Grupo San José, la Formación Sandía, la Formación Ananea, el Grupo Cabanillas, el Grupo Ambo, el Grupo Tarma, el Grupo Copacabana y el Grupo Mitu.

El Grupo Oriente, la Formación Chonta y la Formación Vivian -que están expuestas al norte y al noreste de la zona de investigación- forman la secuencia mesozoica, que está en ligera discordancia con el Cretácico Inferior y Superior que cubre las rocas paleozoicas.

Dentro de una cuenca intra Andina conocida como Formación Tambo, una serie de

estratos rojos que abarcan desde el Cretácico Superior hasta el Paleógeno aflora cerca del extremo suroeste de la sábana de San Francisco.

4.1.5.1 Depósitos Aluviales

Estos depósitos se sitúan concentrados en una pequeña zona del área estudiada, ocupando el lecho de los valles o quebradas principales.

Principalmente se encuentran a lo largo de los ríos o arroyos, y están compuestos por una mezcla variada de bloques, gravas, arenas, limos y arcillas.

Se determinan 2 tipos de unidades:

La primera unidad se encuentra en los fondos fluviales y se distingue por una mayor tasa de movimiento de materiales, lo que conlleva una categorización de regular a excelente y una buena redondez.

Los depósitos de la segunda categoría están mal clasificados y se encuentran sobre todo en pequeños valles y en las cabeceras de algunos arroyos. Los bloques pueden alcanzar diámetros de 1 a 2 m y tienen formas subangulares a subredondeadas, lo que sugiere poco movimiento.

4.1.5.2 Formación Ananea

Esta unidad aflora en la región de investigación como una gruesa secuencia de areniscas cuarzosas, limolitas y lutitas muy ordenadas en capas finas.

La Formación Ananea se distingue morfológicamente por sus relieves suaves y buena cobertura, aunque en muchas áreas resulta inestable debido a las pendientes pronunciadas y la deforestación constante, lo que provoca deslizamientos.

Debido a las alteraciones de los sulfuros de hierro dispersos, presenta pátinas de óxido. Además, son visibles las intercalaciones entre delgados estratos de 5-10 cm de areniscas y lutitas de grano fino.

4.1.5.3 Formación Sandía

Las pizarras y cuarcitas forman una secuencia que aflora en las regiones baja y media del lugar de investigación.

Se trata de formaciones sedimentarias estratificadas de grano medio y pequeño.

La parte inferior de esta serie, cuyo espesor se estima en unos 700 m, parece corresponder al Grupo San José.

No existen evidencias paleontológicas documentadas en la Formación Sandía, que se encuentra en la región investigada. Sin embargo, de acuerdo con su ubicación estratigráfica, se considera que es más antigua que el Ordovícico a Caradociano en edad. Esto se debe a que se localiza por encima del Grupo San José y por debajo de la Formación Ananea en la porción oriental del país.

4.1.5.4 Grupo San José

La formación fue denominada por primera vez Formación San José por Laubacher (1973). Sin embargo, Carpio R. y De la Cruz B. (1996) la elevaron al Grupo San José, caracterizando las formaciones Iparo y Purumpata, basándose en rasgos litológicos y paleontológicos. Después de algún tiempo, Díaz Martínez y Carlotto (2000) proporcionan una descripción de las formaciones Iparo y Yanahuaya que forman parte del Grupo San José.

Esta unidad tiene una amplia distribución en el cuadrángulo de Chuanquiri 26p, aflora en todas las hojas (26p1, 26p2, 26p3, 26p4). En la actualización del mapa base se cartografiaron nuevos afloramientos de esta unidad, como se ve en las zonas de Espíritu Pampa (hoja 26p2), Kintariana y cabeceras del río Kumpirushiato (hoja 26p3), y al norte del río Mantalo (hoja 26p4).

Está compuesto principalmente de pizarras, metapelitas, metalimolitas y filitas foliadas de color gris oscuras a negras; también, presenta niveles de areniscas de grano fino a medio, en estratos delgados.

Las pizarras se encuentran cortadas por sills y diques con textura afanítica, presentándose con

espesores variables.

4.1.6 Geodinámica Regional

El territorio nacional, especialmente en la región selvática, exhibe una fisiografía accidentada y una variedad de condiciones climáticas. Está influenciado por diversos factores naturales que provocan los procesos geopseudoestáticos contemporáneos en el área de estudio, los cuales son los siguientes:

- ✓ Una cantidad significativa de precipitaciones.
- ✓ Los procesos de meteorización.
- ✓ Proceso de erosión.
- ✓ Acumulación de volúmenes importantes de suciedad.
- ✓ Terreno con una ligera pendiente.

Los siguientes son ejemplos de agentes y elementos artificiales producidos por el ser humano que, sin embargo, no se consideran naturales.

- ✓ En el proceso de destrucción de la cubierta vegetal.
- ✓ Como consecuencia de la construcción de calzadas, se producen agresiones contra la pendiente natural del terreno, bloqueo de zonas de escurrimiento e infiltración etc.
- ✓ Falta de drenes de escurrimiento.
- ✓ Saturación del suelo por mala instalación alcantarillas y drenes laterales etc.
- ✓ Entre los agentes naturales que se enumeraron anteriormente, la alta precipitación pluvial y la saturación de suelo por la mala instalación de alcantarillas, drenes longitudinales y transversales es el más importante en cuanto a la estabilidad de del terreno de subrasante.

El área de estudio se encuentra en regiones geográficas con características topográficas y climáticas variables y heterogéneas, donde los fenómenos de geopseudoestática externa se

manifiestan ampliamente.

4.1.6.1 Deslizamientos

Se pueden distinguir dos tipos de deslizamientos: los de rocas, que ocurren en laderas abruptas con pendientes entre 25° y 45°, donde las capas están inclinadas y fracturadas. El movimiento de la roca en estos casos es lento y se produce a lo largo de planos de debilidad; estos deslizamientos son frecuentes en la zona de pizarra del Grupo Cabanillas, y tienen un impacto en numerosas partes diferentes del proyecto. Además, pueden producirse deslizamientos en laderas de montaña formadas por materiales sueltos o no consolidados (como suelos arcillosos y arenosos). Estos materiales se humedecen cuando llueve y, como consecuencia, pierden su cohesividad y se deslizan por las laderas.

4.1.6.2 Desbordes e Inundaciones

Tanto los desbordamientos como las inundaciones pueden tener diversos efectos. Algunos de los ejemplos más notables son la inundación de tierras ribereñas, que en algunos casos incluyen tierras de cultivo. Esto es algo que ocurre con bastante frecuencia en los ríos de la Amazonia. Los desbordamientos son comunes en la región investigada, y tienen lugar de forma temporal y periódica en el transcurso de la estación de lluvias (que va de octubre a marzo, con los niveles más altos entre marzo y abril y octubre y noviembre). El nivel del agua alcanza su punto más alto en estos momentos, superando la capacidad de los cauces y las cajas del río, e invadiendo gran parte de las tierras cercanas que forman parte de la llanura de inundación. En su mayor parte, afectan a la agricultura situada cerca de las riberas e inundan un número importante de las comunidades situadas en los bordes de las riberas.

La existencia de canales secos de grava y arena que han sido abandonados temporalmente es una de las características notables de esta ocurrencia geodinámica. Otras características son la presencia de terrenos cubiertos de lodo y arena.

Las inundaciones pueden tener repercusiones indirectas, como la propagación de

infecciones epidémicas, que en ocasiones pueden provocar una elevada tasa de mortalidad neonatal en la región.

4.1.6.3 Erosión Fluvial

La Cordillera Oriental y la Cordillera de Vilcabamba, situada más al este, son los lugares donde tienen lugar estos procesos. Esta cordillera está ubicada entre las cuencas de los ríos Apurímac y Urubamba, y en ella se encuentran sus cumbres. Estas son las regiones donde se originan los ríos escarpados, lo que provoca que los valles sean cortos y estrechos durante el proceso de formación. Además, en estas regiones se observa erosión fluvial vertical. Es necesario realizar una investigación en profundidad, ya que el potencial hidroeléctrico accesible en esta región es considerable.

Los sistemas de fallas frontales han provocado importantes fracturas en las rocas, lo que a su vez controla el drenaje de la zona. Estos sistemas de fallas son responsables del control del río Apurímac. Los valles tienen fuertes pendientes en forma de V, y la socavación en los ríos que aún son jóvenes es bastante severa. Los ríos también erosionan lateralmente durante las crecidas, lo que contribuye a la ocurrencia de deslizamientos en las regiones vecinas, que perjudican sobre todo a las tierras agrícolas.

4.1.6.4 Derrumbes

Cuando los suelos se sitúan en terrazas de inundación bajas, propensas a la erosión de las orillas, y/o en sedimentos no consolidados, que son materiales con escasa cohesión, este fenómeno geodinámico suele estar relacionado con los suelos. Este fenómeno se ha registrado en varias localidades a lo largo del recorrido del río Apurímac y sus principales afluentes.

Estas apariciones se han observado en afloramientos rocosos (en las laderas de las colinas) provocados por problemas relacionados con la deforestación, las pendientes pronunciadas y los cortes de carreteras.

4.1.6.5 Erosión de suelos

Hay ciertas consecuencias negativas a corto plazo (impactos negativos) que se producen en la zona de investigación como resultado de la erradicación de la vegetación, que pueden llegar a ser permanentes. Estos efectos están causados por la tala de bosques, la quema de vegetación, el desbroce de tierras y la erosión inducida.

Existe una importante erosión del suelo en las colinas y montañas bajas, como los barrancos, que son las principales regiones de preocupación. La actividad maderera irracional, las fuertes lluvias, la escorrentía superficial significativa y las pendientes pronunciadas son factores que han contribuido a esta situación.

Las plantas y los microorganismos sufren el impacto de la erosión del suelo, provocada por las explotaciones mineras en los depósitos de grava y arena aurífera cuando disminuye el nivel de los ríos. Estos lugares podrían iniciar el proceso de regeneración más rápidamente si se redujera la erosión. No sólo es necesario eliminar la vegetación, sino también la capa de suelo que la sustenta. Esta capa tarda mucho tiempo en crearse, y su ausencia reduce el número de formas vivas que hay allí.

4.1.6.6 Geodinámica Local

Los factores naturales del proceso endógeno y proceso exógeno de la superficie terrestre del área del Proyecto, las de mayores incidencias son las precipitaciones intensas en los meses de diciembre a marzo y suelos desprotegidos, son lavados los finos con facilidad, produciendo erosiones, socavamientos, asentamientos en zonas puntuales, también las quebradas, riachuelos y ríos aumentan considerablemente su volumen desbordando su cauce.

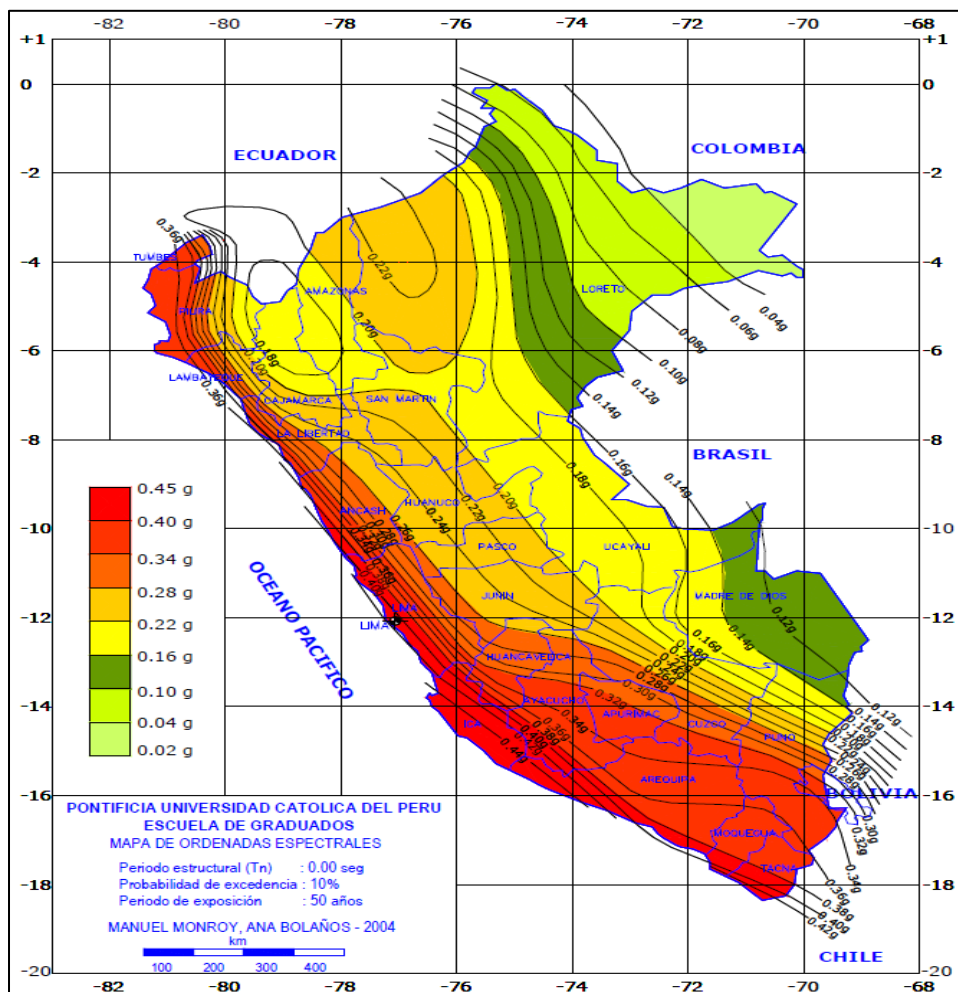
Se considera que el terreno es estable y apto para el proyecto, ya que, en el transcurso de los trabajos de campo realizados, no se constataron acontecimientos geopseudoestáticos externos recientes, como levantamientos y/o hundimientos, ni desplazamientos de la formación existente en la región.

4.1.7 Sismicidad

En perspectiva sísmica, la tierra peruana está incluida en el cinturón circunpacífico del océano Pacífico, una región conocida por su intensa actividad sísmica a nivel mundial, lo que hace que Perú experimente movimientos telúricos con frecuencia. Pero, dentro del país, existen diferentes zonas con variada frecuencia de estos eventos. La Norma Técnica de Diseño Sismo Resistente del Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma E.030 del 2019, establece estas diferencias.

Figura 46

Mapa de isoaceleraciones en el Perú para periodo de exposición de 50 años y un 10% de probabilidad de excedencia



Fuente: Bolaños Luna y Monroy Concha (2004).

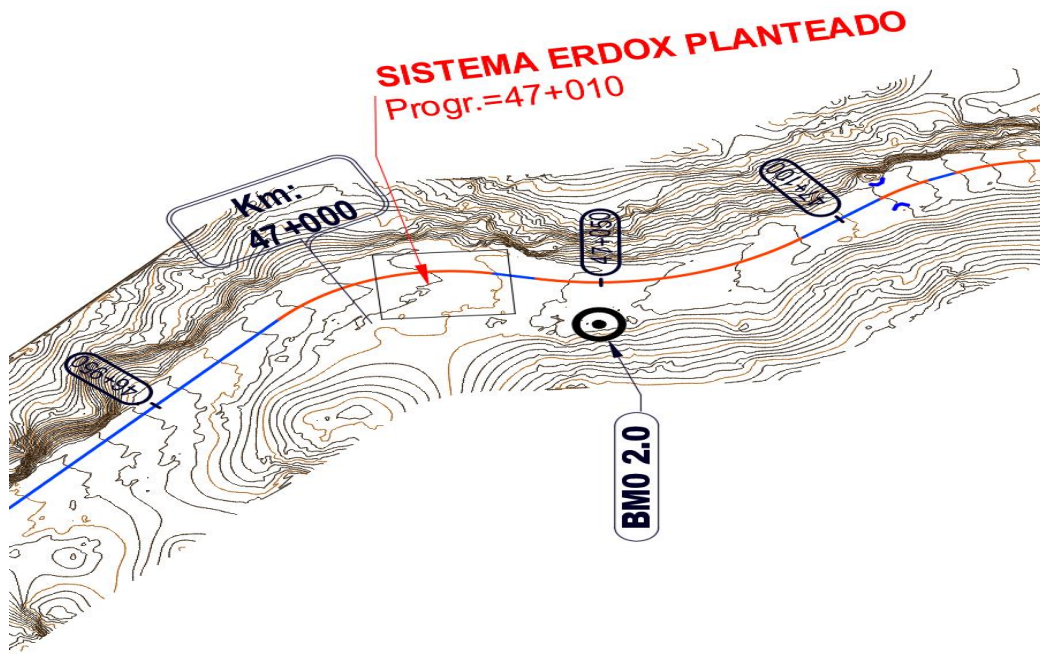
4.2 Presentación de Resultados

4.2.1 Levantamiento Topográfico

Se llevó a cabo una evaluación in situ del lugar, utilizando un dron y un receptor GNSS SOUTH. Para seguir procesando los datos recogidos se utilizó la aplicación AutoCAD Civil. Entre los datos recogidos figuran varias secciones transversales, un perfil longitudinal y un plano de planta. Aquí se muestra el trazado de la planta, junto con otros detalles pertinentes, como la vía, el eje, los progresivos y las curvas de nivel.

Figura 47

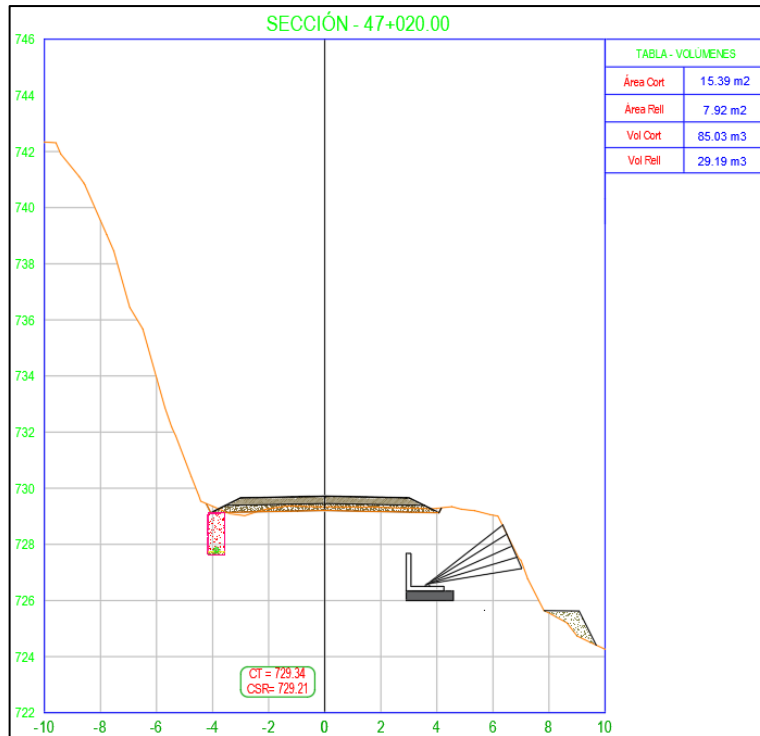
Plano en planta del sector Chirumpiari – San Carlos



Además, como componente del proceso de levantamiento topográfico se suministra la sección típica del tramo que se está investigando. Esta sección tiene una serie de aspectos que son relevantes, como las pendientes de las carreteras, las cunetas de las bermas, los tamaños de las carreteras y otras características relevantes.

Figura 48

Sección típica de talud del sector de Chirumpiari – San Carlos



4.2.2 Ensayos de laboratorio

- **Análisis Granulométrico**

En la siguiente imagen se aprecia el cuarteo de la muestra a analizar.

Figura 49

Cuarteo de muestra de la calicata, granulometría del tamizado



Una vez realizado los procedimientos en laboratorio se llegó a los siguientes resultados en la

Tabla 4.

Tabla 4

Resultados de análisis granulométrico por tamizado

Datos de la Muestra							
Calicata: C-01							
Material: Muestra de Suelo							
Tamaño Máximo:		1 1/2"		Peso Inicial Seco: 3,064 gr			
TAMIZ	MTC E204 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
3"	76.200				100.0	Contenido de Humedad (%) : 11.0	
2 1/2"	63.500				100.0	Límite Líquido (LL) : 26	
2"	50.800	134.5			95.6	Límite Plástico (LP) : 18	
1 1/2"	38.100	42.6	1.39	5.78	94.22	Índice Plástico (IP) : 8	
1"	25.400	88.6	2.89	8.67	91.33	Clasificación (SUCS) : GP - GM	
3/4"	19.050	158.4	5.17	13.84	86.16	Clasificación (AASHTO) : A-2-a 6(o)	
1/2"	12.700	341.1	11.13	24.97	75.03	Descripción (SUCS) : GRAVA MAL GRADUADA CON LIMO Y ARENA	
3/8"	9.525	231.8	7.57	32.54	67.46	D ₁₀ =D _e (mm) = 0.0325	
1/4"	6.350	318.6	10.40	42.94	57.06	D ₃₀ (mm) = 0.6344	
Nº 4	4.750	158.6	5.18	48.11	51.89	D ₆₀ (mm) = 7.24418	
Nº 8	2.360	318.5	10.39	58.51	41.49	Observaciones:	
Nº 10	2.000	71.4	2.33	60.84	39.16		
Nº 16	1.190	154.1	5.03	65.87	34.13		Boconería > 3" : 0.0
Nº 30	0.600	138.3	4.51	70.38	29.62		Grava 3" - Nº 4 : 48.1 %
Nº 40	0.425	64.7	2.11	72.49	27.51		Arena Nº4 - Nº 200 : 28.8 %
Nº 50	0.300	51.2	1.67	74.16	25.84		Finos < Nº 200 : 23.1 %
Nº 100	0.150	54.6	1.78	75.95	24.05		Cu = 222.6
Nº 200	0.075	30.2	0.99	76.93	23.07		Cc = 1.7
FONDO		0.0	0.00	76.93			
Lavado		706.3	23.05	99.98			Lavado: 706.3

- De la misma manera se obtiene el valor de la densidad que es: **1,937.461 kg/m³** y **2,039.432 kg/m³**.
- A si mismo se hace el ensayo de limite plasticidad a continuación, se observa el proceso del ensayo.

Figura 50

Ensayo de límite de plasticidad



Tabla 5

Resultados de análisis de límites de consistencia

Datos de la Muestra					
Calicata: C-01					
Material: MUESTRA DE SUELO					
Límite Líquido (MTC E110)					
Descripción	Und	Ensayos			Observaciones
Nº TARRO		62	63	64	
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	24.36	25.63	24.78	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	21.58	22.64	21.78	
PESO DE AGUA	(g)	2.78	2.99	3.00	Multipunto
PESO DEL TARRO	(g)	10.68	11.05	10.34	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	10.90	11.59	11.44	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	25.5	25.8	26.2	
NUMERO DE GOLPES		32	23	16	
Límite Plástico (MTC E111)					
Descripción	Und	Ensayos			Observaciones
Nº TARRO		66	67		
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	21.42	20.79		
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	19.77	19.18		
PESO DE AGUA	(g)	1.65	1.61		
PESO DEL TARRO	(g)	10.78	10.20		
PESO DEL SUELO SECO	(g)	8.99	8.98		
CONTENIDO DE DE HUMEDAD	(%)	18.4	17.9		

- A continuación, se observa el proceso del ensayo de corte directo.

Figura 51

Ensayo de corte directo



Del ensayo realizado se obtiene resultado de corte directo, lo cual con esos datos pasamos a realizar el proceso de modelamiento con el software GEO5 versión 2024.

Tabla 6

Resultados obtenidos del ensayo de Corte Directo

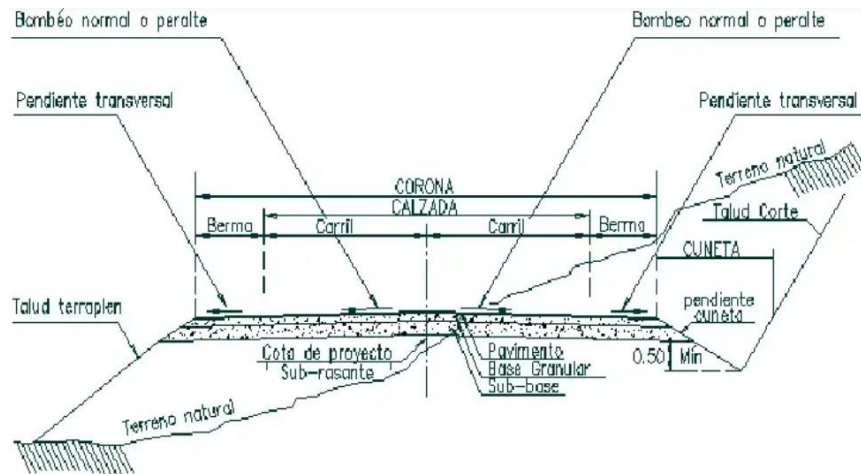
Descripción	grava limosa con arena	grava mal graduada con limo y arena
Peso unitario (kNm ³)	19.00	20.00
Cohesión (kPa)	4.00	0.00
Angulo de fricción interna (°)	32.50	35.50
Peso unitario saturado (kN/m ³)	19.00	20.00

4.2.3 Configuración de cálculo y parámetros de entrada

Es una herramienta valiosa en la evaluación de la estabilidad de taludes viene a ser los métodos de Bishop y Fellenius ya que permite un análisis detallado de taludes de diferentes geometrías, de la conducta del suelo y de las condiciones de contorno. Al proporcionar información sobre los patrones de esfuerzos y deformaciones, los métodos Bishop y Fellenius nos ayudan a identificar posibles mecanismos de falla y diseñar medidas de mitigación adecuada, lo que en última instancia mejora la seguridad de taludes Krabbenhoft y Lyamin (2015). Además, en este estudio se utilizó el software de GEO5.

Figura 52

Modelo típico de talud



Fuente: (Ulate Alvarez, 2015).

4.2.4 Método de evaluación rápida de la estabilidad de un talud

En la Figura 54, se muestra un diagrama de flujo que dispone el procedimiento para desarrollar la comparación del análisis de la estabilidad del talud usando métodos como Fellenius y Bishop. Este es un modelo constitutivo que analiza el daño isotrópico para determinar los modos de falla del suelo o la roca, considerando la interacción de la herramienta de corte del suelo.

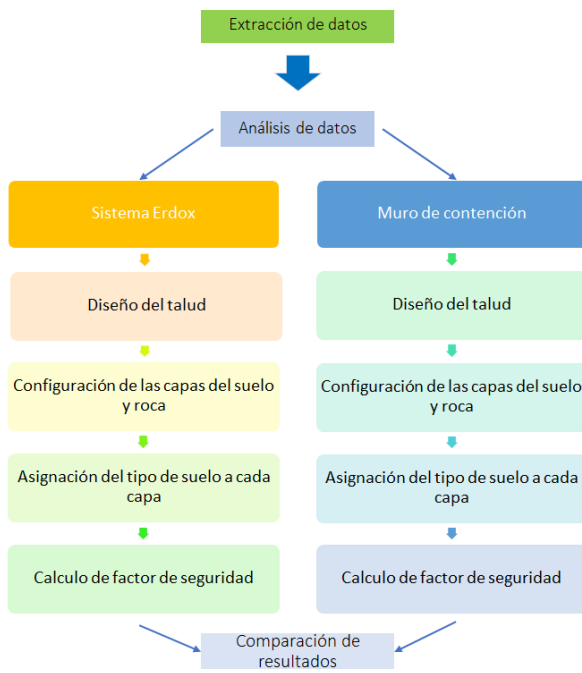
Figura 53

Zona de estudio



Figura 54

Diagrama de flujo del análisis de estabilidad



Por otro lado, las características del método sugieren un procedimiento en el que es necesario llevar a cabo la obtención del factor de seguridad bajo los lineamientos y requerimiento y tomando en cuenta los parámetros requeridos para el desarrollo de métodos

Bishop y Fellenius por otro lado con propósitos comparativos de factor de seguridad se debe llevar a cabo el cálculo para los dos sistemas de taludes. El procedimiento indicado para la presente investigación se presenta en la Figura 54.

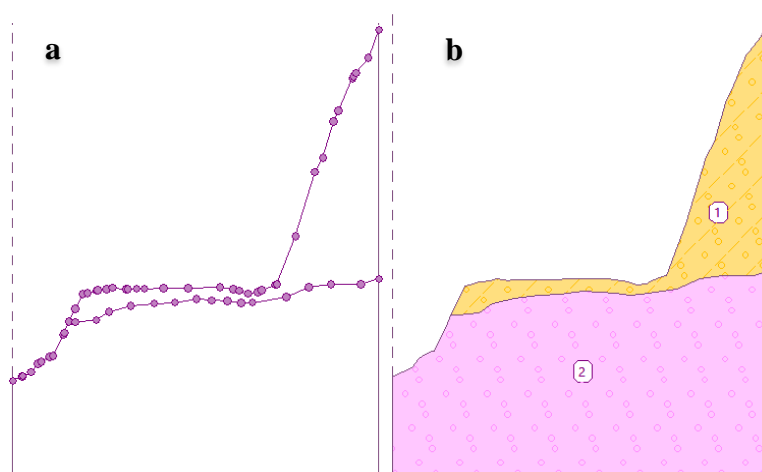
El uso del método de análisis es de acuerdo a la experiencia del analista. Los métodos más populares son los métodos de Fellenius rodajas y/o rebanadas, pero el más utilizado es el método Bishop, ya que proporciona resultados conservadores.

4.2.5 Procedimiento para el análisis de la estabilidad de taludes.

En este apartado, se analizará la estabilidad de los taludes mediante la determinación del factor de seguridad utilizando los métodos de Bishop y Fellenius. Inicialmente, el análisis se realizará sin considerar la acción de ningún sistema. En todas las etapas de construcción, incluidos los puntos de interfaz individuales, se examinará el esquema de la geometría de la pendiente, como se observa en la figura.

Figura 55

Imágenes de análisis de estabilidad de taludes



- 1) Etapa de construcción 1: En el programa GEO5 Versión 2024, se modela la sección del talud para ello asignaremos sus propiedades geotécnicas como: densidad, cohesión y ángulo fricción interna. Ya establecida la sección y sus propiedades geotécnicos, procedemos a calcular el factor de seguridad en condiciones estáticas y pseudoestáticas sin el efecto de

ningún sistema, Manteniendo la configuración del análisis en estándar, que consta en este caso de los parámetros mostrados en la figura 56.

Figura 56

Parámetros considerados en el diseño del talud

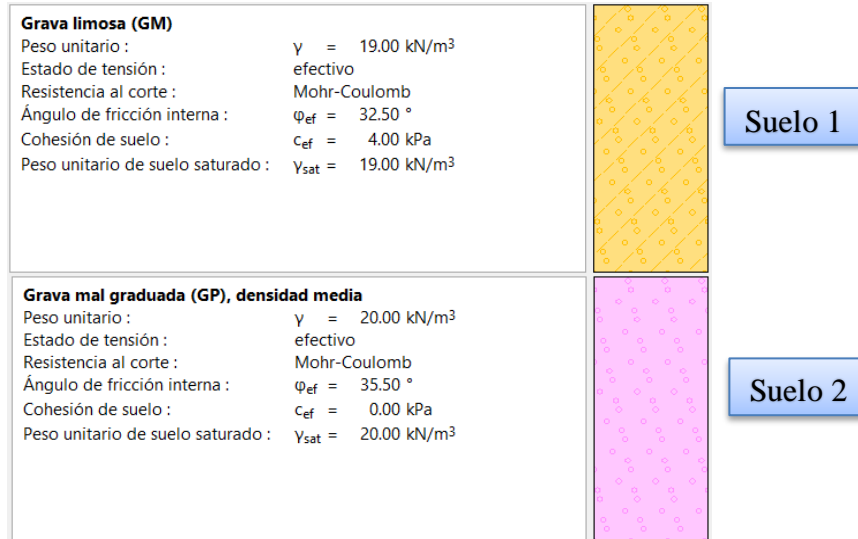
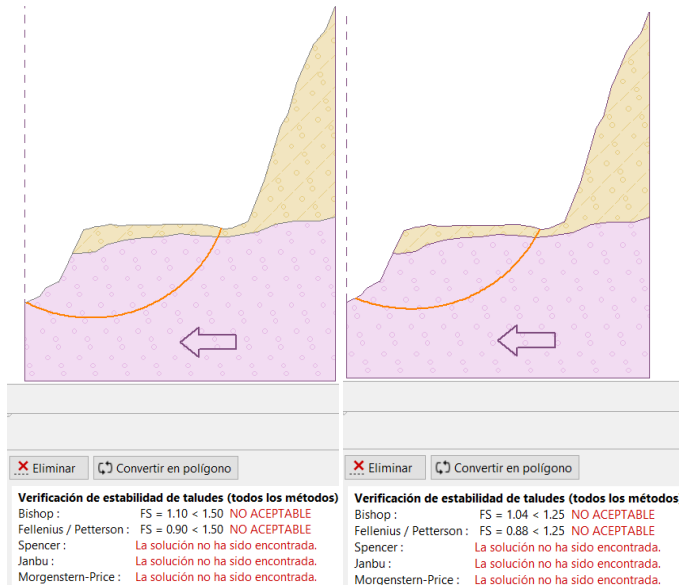


Figura 57

Cálculo del factor de seguridad en condición estática y pseudoestático

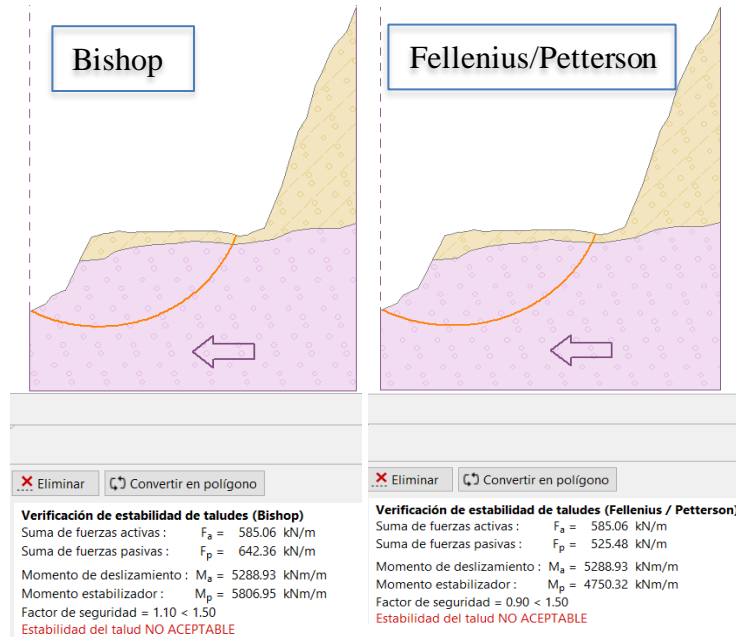


Para el talud de la figura 57, el F.S en condiciones estáticas y pseudoestáticas se determinó por dos métodos (Bishop y Fellenius/Petterson) consiguiendo los siguientes valores de 1.10 y 0.90. Así mismo en condiciones pseudoestáticas valores de 1.04 y 0.88 respectivamente. Debido

a que estos valores no superan el factor de seguridad mínimo, que es de 1,5 y 1,25, se puede concluir que el talud evaluado es vulnerable a la inestabilidad.

Figura 58

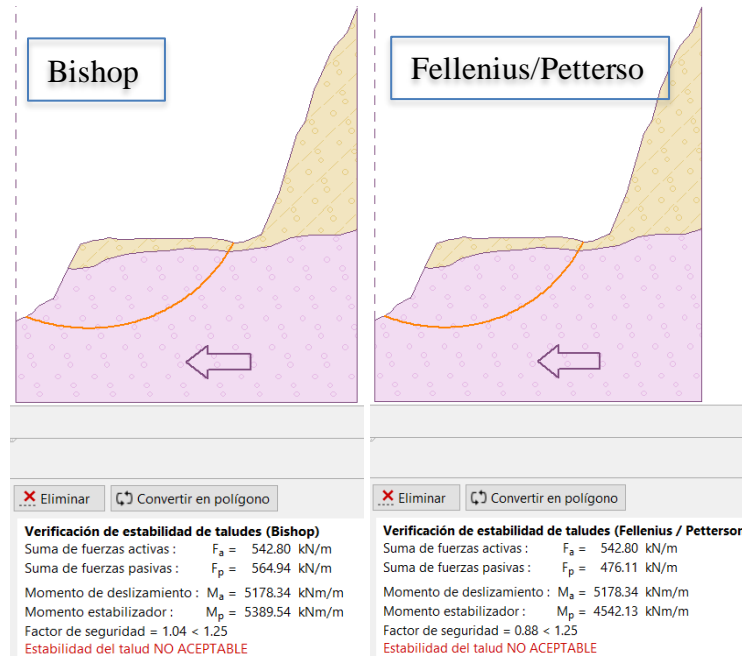
Análisis de fuerzas y momentos en condiciones estáticas.



Para el talud sin aplicar ningún esfuerzo, las fuerzas y momentos interactivos se determinaron por dos métodos (Bishop y Fellenius/Petterson), en condiciones estáticas se obtiene los siguientes valores de $F_a = 585.06$, $F_p = 642.36 \frac{kN}{m}$ y $F_a = 585.06$, $F_p = 525.48 \text{ kN/m}$. De la misma manera el análisis de los momentos obteniendo los siguientes valores de $M_a = 5288.93$, $M_p = 5806.95 \frac{kN}{m}$ y $M_a = 5288.93$, $M_p = 4750.32 \text{ kNm/m}$ respectivamente.

Figura 59

Análisis de fuerzas y momentos en condiciones pseudoestáticas



Para el talud sin aplicar ningún esfuerzo, las fuerzas y momentos interactivos se determinaron por dos métodos (Bishop y Fellenius/Petterson), en condiciones pseudoestáticas se obtiene los siguientes valores de $F_a = 542.80$, $F_p = 564.94 \frac{kN}{m}$ y $F_a = 542.80$, $F_p = 476.11 \text{ kN/m}$. De la misma manera el análisis de los momentos obteniendo los siguientes valores de $M_a = 5178.34$, $M_p = 5389.54 \frac{kN}{m}$ y $M_a = 5178.34$, $M_p = 4542.13 \text{ kNm/m}$ respectivamente.

- 2) Etapa de construcción 2: En el programa GEO5 se procede a modelar la sección del talud asignando muro de contención en voladizo para ello asignaremos sus propiedades geotécnicas como: densidad, cohesión y ángulo fricción interna. Ya establecida la sección y sus propiedades geotécnicas, procedemos a calcular el factor de seguridad en condiciones estáticas y pseudoestáticas, que consta en este caso de los parámetros mostrados en la figura 56.

Figura 60

Parámetros considerados en el diseño del talud.




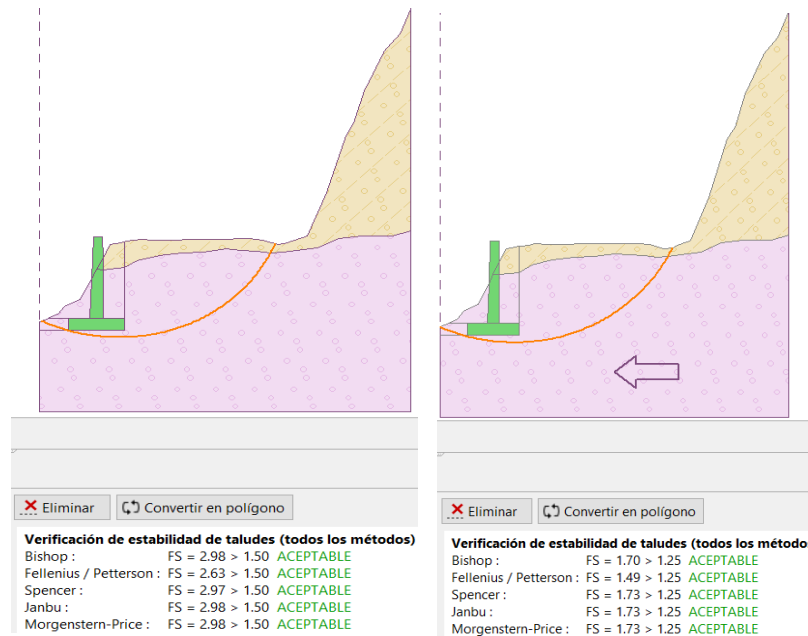
<p>Grava limosa (GM)</p> <p>Peso unitario : $\gamma = 19.00 \text{ kN/m}^3$</p> <p>Estado de tensión : efectivo</p> <p>Resistencia al corte : Mohr-Coulomb</p> <p>Ángulo de fricción interna : $\phi_{ef} = 32.50^\circ$</p> <p>Cohesión de suelo : $c_{ef} = 4.00 \text{ kPa}$</p> <p>Peso unitario de suelo saturado : $\gamma_{sat} = 19.00 \text{ kN/m}^3$</p>		<p>Suelo 1</p>
<p>Grava mal graduada (GP), densidad media</p> <p>Peso unitario : $\gamma = 20.00 \text{ kN/m}^3$</p> <p>Estado de tensión : efectivo</p> <p>Resistencia al corte : Mohr-Coulomb</p> <p>Ángulo de fricción interna : $\phi_{ef} = 35.50^\circ$</p> <p>Cohesión de suelo : $c_{ef} = 0.00 \text{ kPa}$</p> <p>Peso unitario de suelo saturado : $\gamma_{sat} = 20.00 \text{ kN/m}^3$</p>		<p>Suelo 2</p>
<p>CONCRETO</p> <p>Peso unitario : $\gamma = 20.00 \text{ kN/m}^3$</p>		

Figura 61

Cálculo del factor de seguridad en condición estática y dinámico

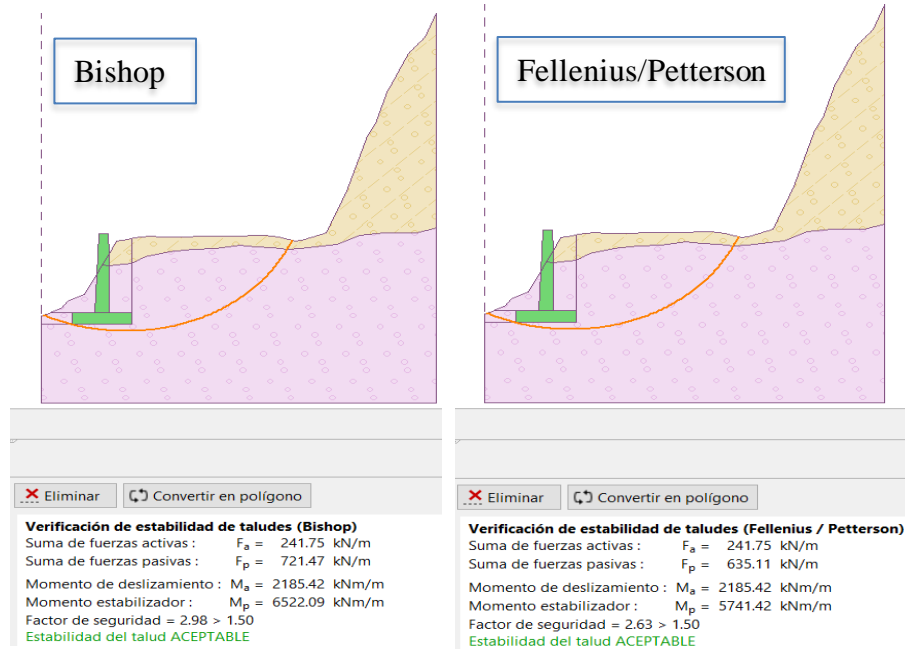


Para el talud de la figura 61, el F.S en condiciones estáticas y pseudoestáticas asignado muro de contención en voladizo, se determinó por dos métodos (Bishop y Fellenius/Petterson) consiguiendo los siguientes valores de 2.98 y 2.63. En situaciones consideradas pseudoestáticas,

los valores son 1,70 y 1,49 respectivamente. Dado que estas cifras son superiores al factor de seguridad mínimo, que es de 1,5 y 1,25, puede concluirse que el talud estudiado es estable.

Figura 62

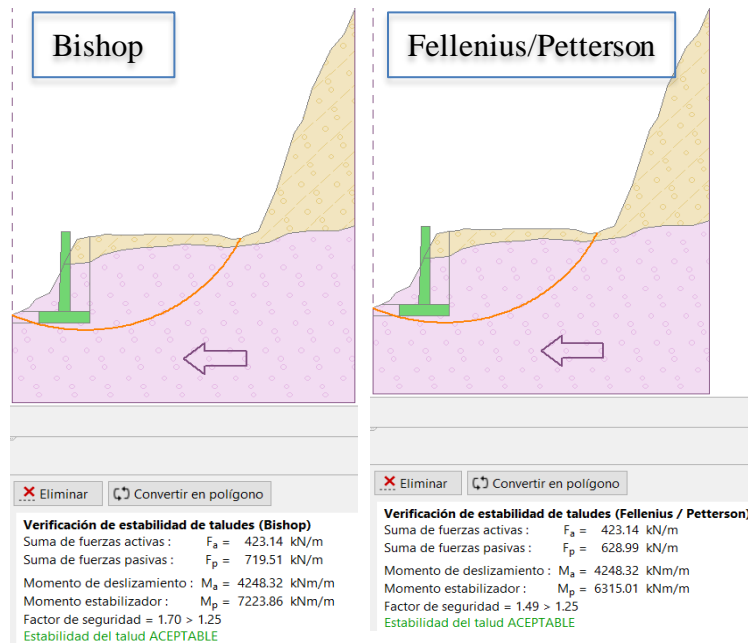
Análisis de fuerzas y momentos en condiciones estáticas



Para el talud aplicando muro de contención en voladizo, las fuerzas y momentos interactivos se determinaron por dos métodos (Bishop y Fellenius/Petterson), en condiciones estáticas se obtiene los siguientes valores de $F_a = 241.75$, $F_p = 721.47 \frac{kN}{m}$ y $F_a = 241.75$, $F_p = 635.11 \text{ kN/m}$. De la misma manera el análisis de los momentos obteniendo los siguientes valores de $M_a = 2185.42$, $M_p = 6222.09 \frac{kN}{m}$ y $M_a = 2185.42$, $M_p = 5741.42 \text{ kNm/m}$ respectivamente.

Figura 63

Análisis de fuerzas y momentos en condiciones pseudoestáticas.



Para el talud aplicando muro de contención en voladizo, las fuerzas y momentos interactivos se determinaron por dos métodos (Bishop y Fellenius/Petterson), en condiciones pseudoestáticas se obtiene los siguientes valores de $F_a = 423.14$, $F_p = 719.51 \frac{kN}{m}$ y $M_a = 423.14$, $F_p = 628.99 \text{ kN/m}$. De la misma manera el análisis de los momentos obteniendo los siguientes valores de $M_a = 4248.32$, $M_p = 7223.86 \frac{kN}{m}$ y $M_a = 4248.32$, $M_p = 6315.01 \text{ kNm/m}$ respectivamente.

- 3) Etapa de construcción 3: Consiste en el análisis del factor de seguridad del talud bajo el efecto del sistema ErdoX, que consiste en la asignación del sistema ErdoX al talud a analizar.

Se tiene dos tipos de suelo en el perfil mostrado en la Tabla 10, que consta en este caso de los parámetros geotécnicos.

Figura 64

Parámetros considerados en el diseño del talud

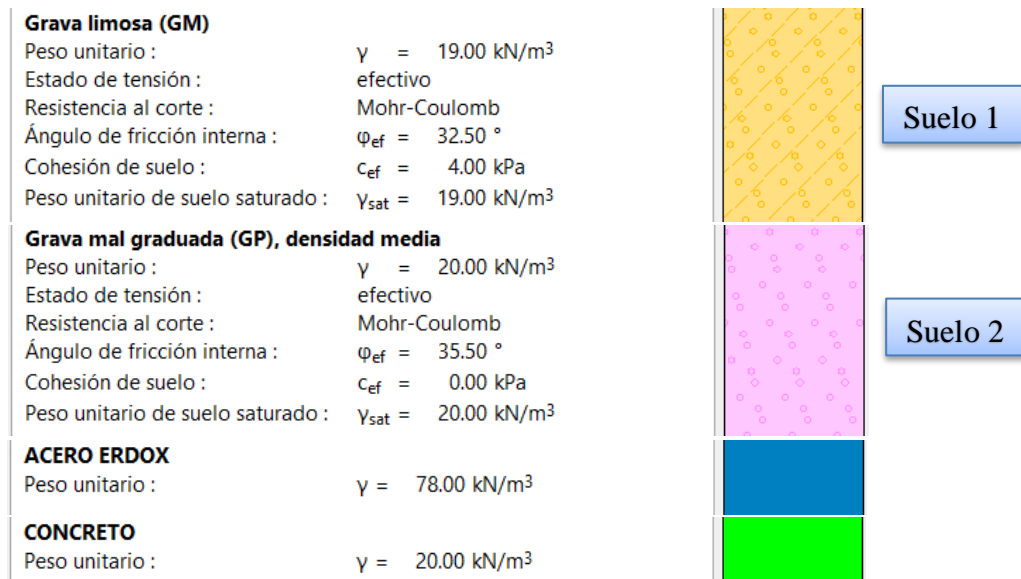
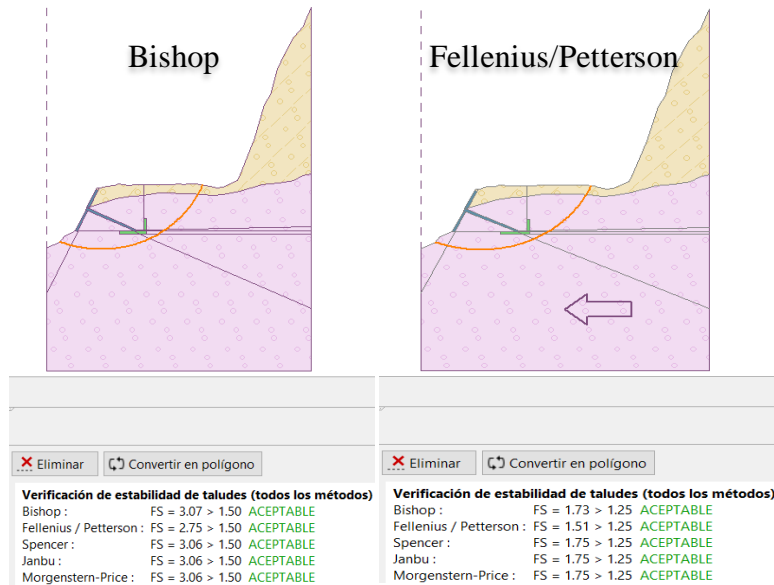


Figura 65

Cálculo del factor de seguridad en condición estática y dinámica.

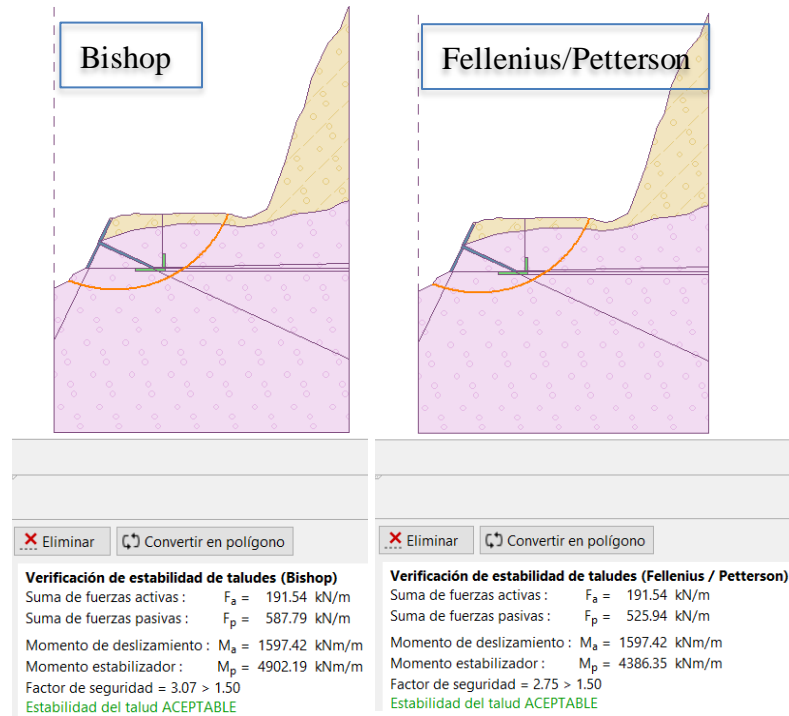


Para el talud de la figura 65, el F.S en condiciones estáticas y pseudoestáticas asignado el sistema ErdoX, se dispuso por dos métodos (Bishop y Fellenius/Petterson) obteniendo los siguientes valores de 3.07 y 2.75. A sí mismo en condiciones pseudoestáticas valores de 1.73 y 1.51 respectivamente. El hecho de que estos valores sean superiores al factor de seguridad

mínimo, que se sitúa en torno a 1,5 y 1,25, demuestra que el talud evaluado es estable.

Figura 66

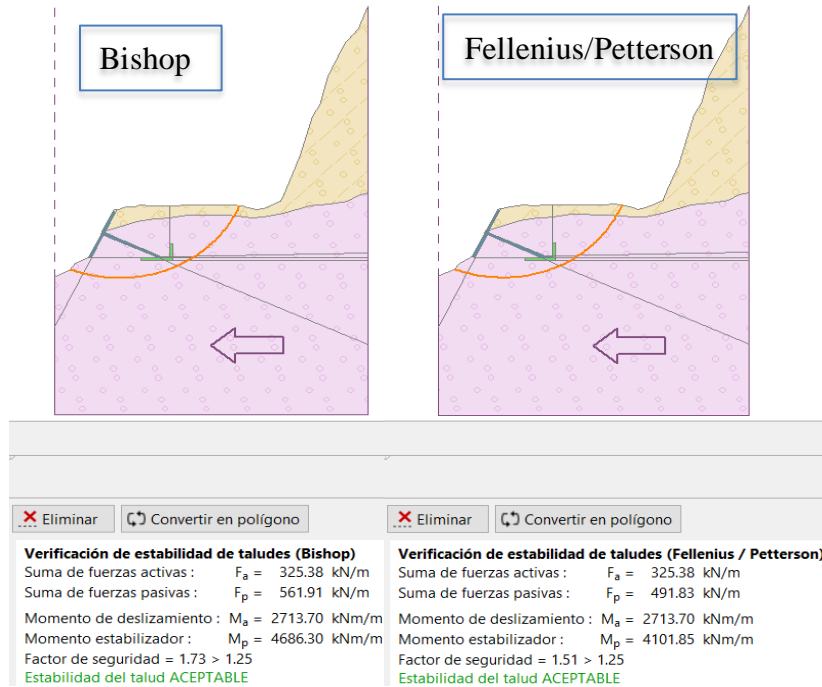
Análisis de fuerzas y momentos en condiciones estáticas.



Para el talud aplicando muro de contención en voladizo, las fuerzas y momentos interactivos se determinaron por dos métodos (Bishop y Fellenius/Petterson), en condiciones estáticas se obtiene los siguientes valores de $F_a = 191.54$, $F_p = 587.79 \frac{kN}{m}$ y $F_a = 191.54$, $F_p = 525.94 \frac{kN}{m}$. De la misma manera el análisis de los momentos obteniendo los siguientes valores de $M_a = 1597.42$, $M_p = 4902.19 \frac{kN}{m}$ y $M_a = 1597.42$, $M_p = 4386.35 \frac{kN}{m}$ respectivamente.

Figura 67

Análisis de fuerzas y momentos en condiciones pseudoestáticas.



Para el talud aplicando el sistema ErdoX, las fuerzas y momentos interactivos se determinaron por dos métodos (Bishop y Fellenius/Petterson), en condiciones pseudoestáticas se obtiene los siguientes valores de $F_a = 325.3$, $F_p = 561.91 \frac{kN}{m}$ y $F_a = 325.38$, $F_p = 491.83 \text{ kN/m}$. De la misma manera el análisis de los momentos obteniendo los siguientes valores de $M_a = 2713.70$, $M_p = 4686.30 \frac{kN}{m}$ y $M_a = 2713.70$, $M_p = 4101.85 \text{ kNm/m}$ respectivamente.

- En la proxima tabla se demuestra los resultados obtenidos del análisis computacional con el software GEO 5 Versión 2024.

Tabla 7

Resultados de análisis del factor de seguridad

Determinación del factor de seguridad en condición estática					Factor de Seguridad (FS)					
Tipo de Suelo/Roca	Peso Unitario	Ángulo de fricción interna	Cohesión del Suelo	Peso Unitario Saturado	Sin refuerzo		Muro de contención		ErdoX	
					Bishop	Fellenius/Pterson	Bishop	Fellenius/Pterson	Bishop	Fellenius/Pterson
grava limosa -	19.00	32.50	4.00	19.00						
grava mal graduada	20.00	35.50	0.00	20.00	1.10	0.90	2.98	2.63	3.07	2.75
Determinación del factor de seguridad en condición pseudoestático										
grava limosa -	19.00	32.50	4.00	19.00						
grava mal graduada	20.00	35.50	0.00	20.00	1.04	0.88	1.70	1.49	1.73	1.51

Tabla 8

Resultados de análisis de fuerzas y momentos en condiciones estáticas

suma de fuerzas/momentos	verificación de estabilidad de taludes en condiciones estáticas					
	Sin refuerzo		Muro de contención		ErdoX	
	Bishop	Fellenius/Pterson	Bishop	Fellenius/Pterson	Bishop	Fellenius/Pterson
fuerzas activas	585.06	585.06	241.75	241.75	191.54	191.54
fuerzas pasivas	642.36	525.48	721.47	635.11	587.79	525.94
momento deslizamiento	5288.93	5288.93	2185.42	2185.42	1597.42	1597.42
momento estabilizador	5806.95	4750.32	6522.09	5741.42	4902.19	4386.35

Tabla 9

Resultados de análisis de fuerzas y momentos en condiciones pseudoestáticas

suma de fuerzas/momentos	verificación de estabilidad de taludes en condiciones pseudoestáticas					
	Sin refuerzo		Muro de contención		Erdox	
	Bishop	Fellenius/Pterson	Bishop	Fellenius/Pterson	Bishop	Fellenius/Pterson
fuerzas activas	542.80	542.80	423.14	423.14	325.38	325.38
fuerzas pasivas	564.94	476.11	719.51	628.99	561.91	491.83
momento deslizamiento	5178.34	5178.34	4248.32	4248.32	2713.70	2713.70
momento estabilizador	5389.54	4542.13	7223.86	6315.01	4686.30	4101.85

4.2.6 Evaluación del factor de seguridad en condiciones estáticas y pseudoestáticas

En el siguiente gráfico de barras utilizando matplotlib de python en condiciones estáticas, se aprecia el comportamiento del factor de seguridad para las condiciones tales como: sin esfuerzo, es decir sin aplicar ningún sistema, empleando muro de concreto en voladizo y finalmente el sistema ErdoX, obteniendo así F.S. de 1.10, 2.98 y 3.07 respectivamente, esto quiere decir que incrementa su factor de seguridad en un 2.93% en comparación al muro de concreto en voladizo.

Figura 68

Gráfico comparativo de factor de seguridad en condiciones estáticas.

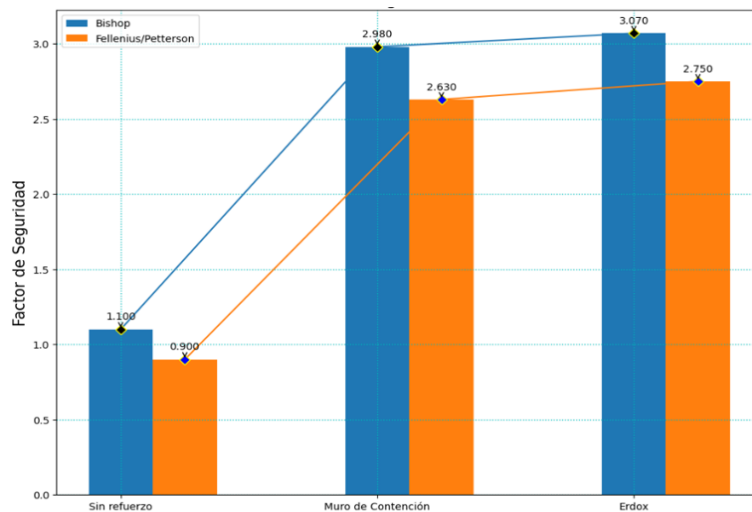
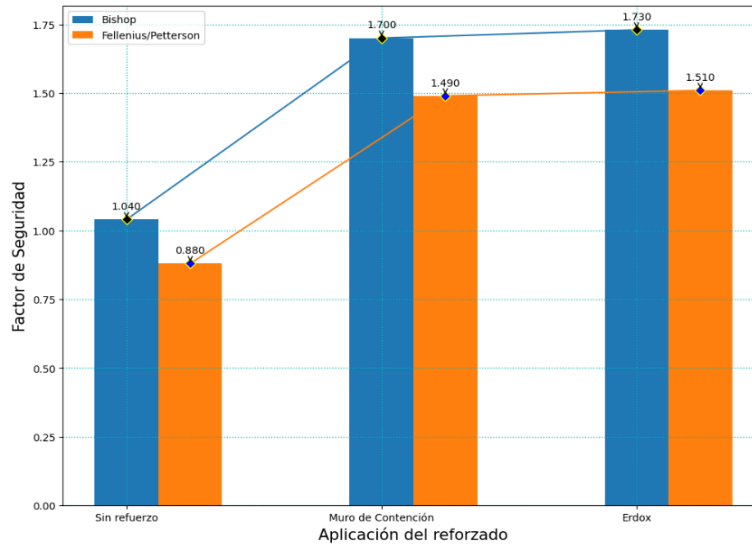


Figura 69

Gráfico comparativo de factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas.



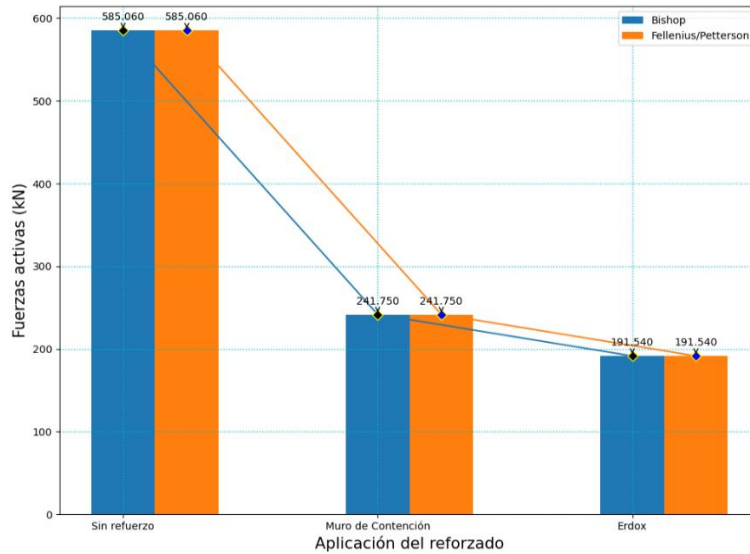
Del anterior Figura 69 del gráfico de barras en condiciones pseudoestáticos = 0.25 m/s², se aprecia el comportamiento del factor de seguridad para las condiciones tales como: sin esfuerzo, es decir sin aplicar ningún sistema, empleando muro de concreto en voladizo y finalmente el sistema ErdoX, obteniendo así F.S. de 1.04, 1.70 y 1.73 respectivamente, esto quiere decir que incrementa su factor de seguridad en un 1.73% en comparación al muro de concreto en voladizo.

4.2.7 Evaluación de las fuerzas activas y pasivas en condiciones estáticas y pseudoestáticas

En el siguiente gráfico de barras utilizando matplotlib de python en condiciones estáticas, se aprecia el comportamiento de las fuerzas activas para las condiciones tales como: sin esfuerzo, empleando muro de concreto en voladizo y finalmente el sistema ErdoX, obteniendo así $F_a = 585.06, 241.75$ y 191.54 kNm respectivamente, esto quiere decir que reduce la fuerza activa en 20.77% en comparación al muro de concreto en voladizo. Esto se debe al hecho de que el sistema ErdoX ejerce como un mono anclaje ligero que asegura que la tierra no se sobrecargue y asigna las tensiones en el tirante rígido, así como en los cables de retención del viento.

Figura 70

Gráfico comparativo de fuerzas activas en condiciones estáticas.



En la siguiente Figura 71 del gráfico de barras en condiciones pseudoestáticas, se aprecia el comportamiento de las fuerzas activas para las condiciones tales como: sin esfuerzo, empleando muro de concreto en voladizo y finalmente el sistema ErdoX, obteniendo así $F_a = 542.80, 423.14$ y 325.38 kNm respectivamente, esto quiere decir que reduce en 23.10% las fuerzas activas en comparación al muro de concreto en voladizo.

Figura 71

Gráfico comparativo de fuerzas activas en condiciones pseudoestáticas.

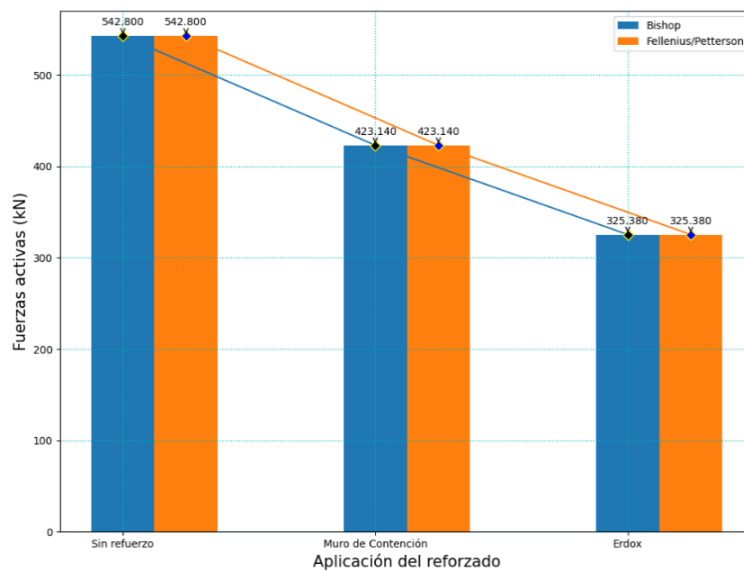
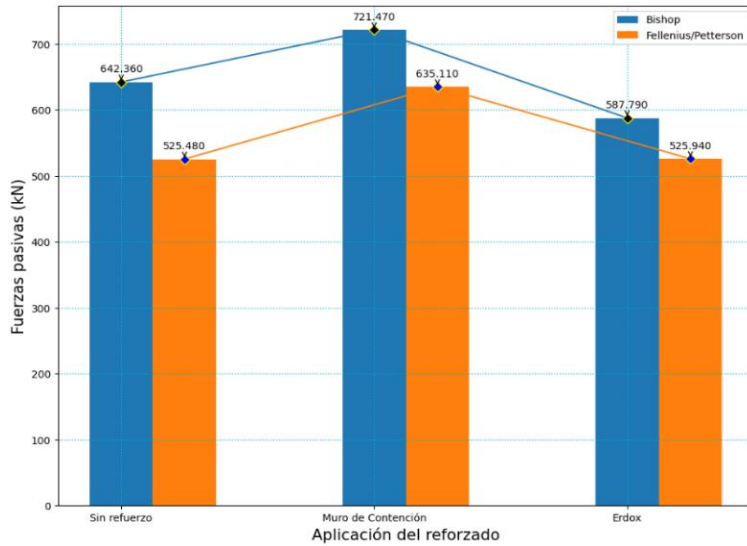


Figura 72

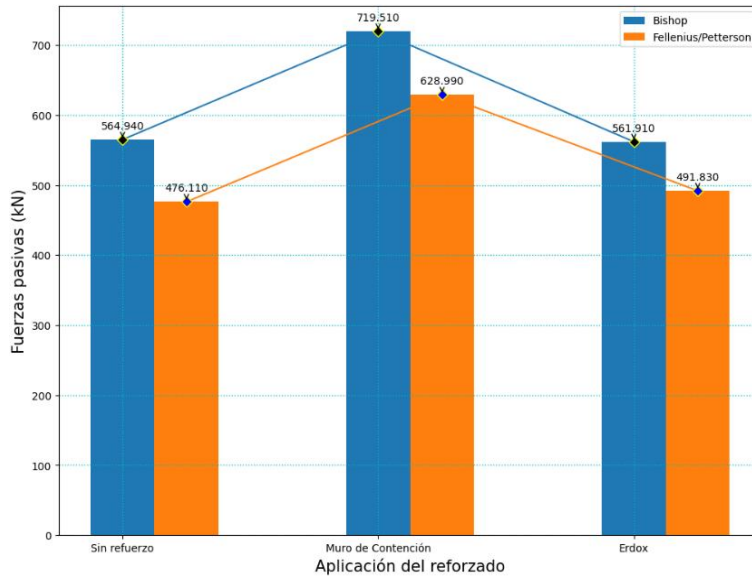
Gráfico comparativo de fuerzas pasivas en condiciones estáticas.



De la Figura 72 del gráfico de barras en condiciones estáticas, se observa el comportamiento de las fuerzas pasivas para las condiciones tales como: sin esfuerzo, empleando muro de concreto en voladizo y finalmente el sistema ErdoX, obteniendo así $F_p = 564.94, 690.29$ y 561.91 kNm respectivamente, esto quiere decir que la fuerza pasiva va ser mayor a la fuerza activa para que la estructura tenga estabilidad, por lo tanto las fuerzas activas para el sistema ErdoX reduce en 18.53% de en comparación al muro de concreto en voladizo.

Figura 73

Gráfico comparativo de fuerzas pasivas en condiciones pseudoestáticas.



4.2.8 Evaluación de momento de deslizamiento y estabilizador en condiciones estáticas y pseudoestáticas

En el siguiente gráfico de barras utilizando matplotlib de python en condiciones estáticas, se observa el comportamiento de los momentos de deslizamiento para las condiciones tales como: sin esfuerzo, empleando muro de concreto en voladizo y finalmente el sistema ErdoX, obteniendo así $M_d = 5288.93, 2285.42$ y 1597.42 , kNm respectivamente, esto quiere decir que el momento de deslizamiento reduce en 26.91% en comparación al muro de concreto.

Figura 74

Gráfico comparativo de momento de deslizamiento en condiciones estáticas.

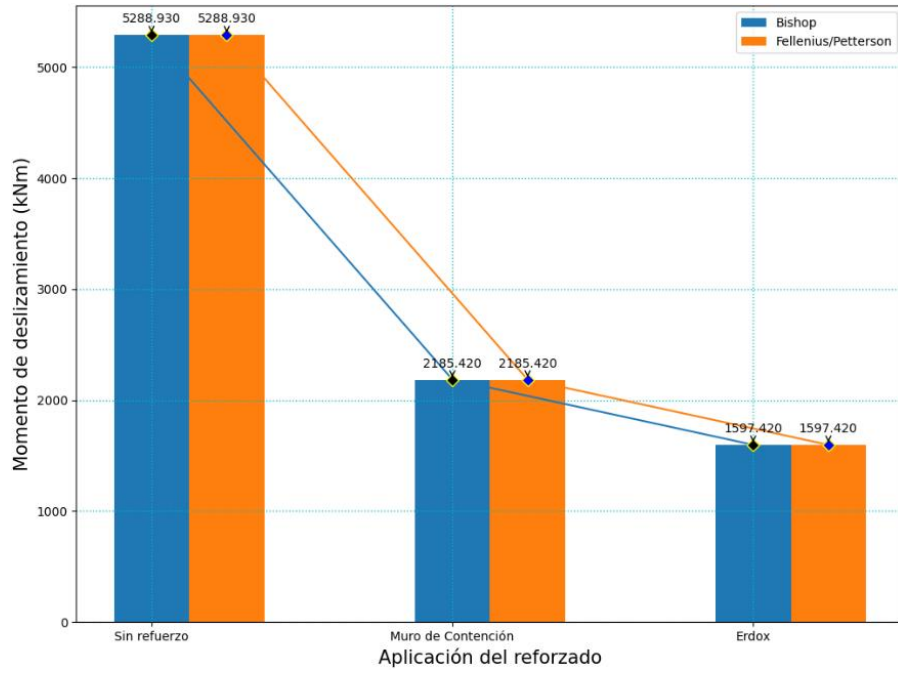
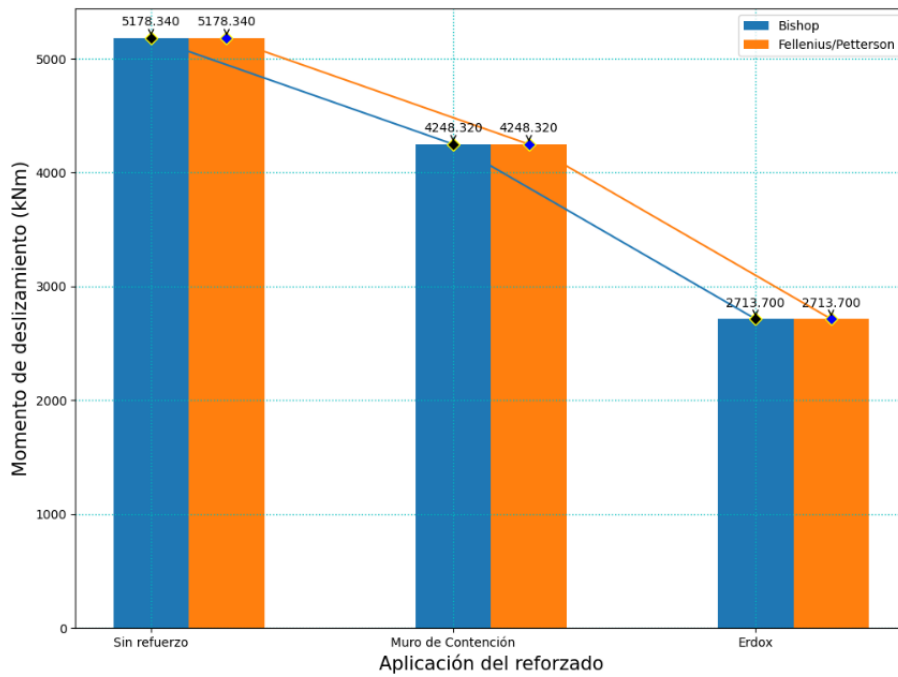


Figura 75

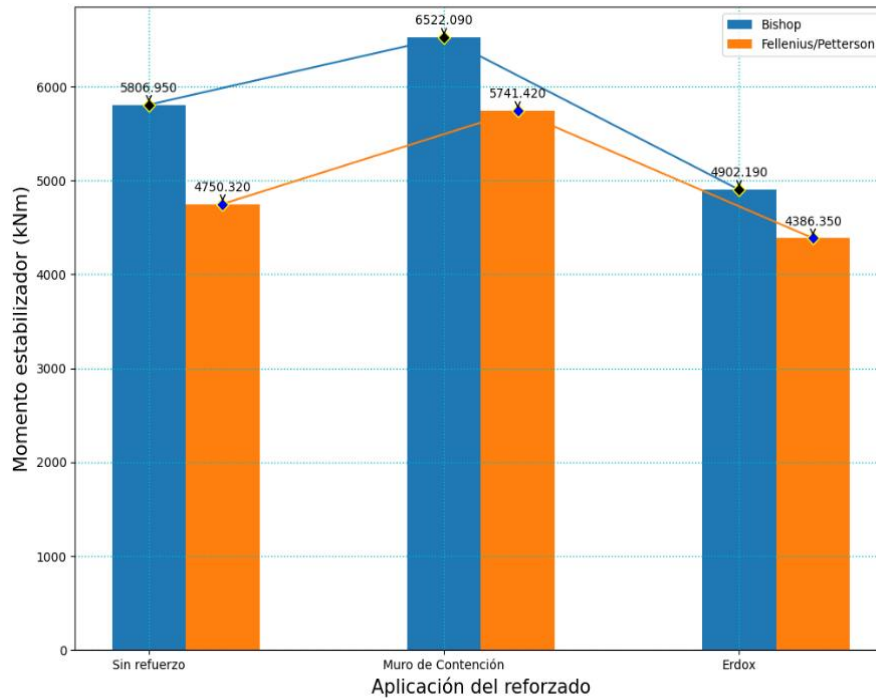
Gráfico comparativo de momento de deslizamiento en condiciones pseudoestáticas.



En la figura anterior, se estima el comportamiento de los momentos de deslizamiento para las condiciones tales como: sin esfuerzo, empleando muro de concreto en voladizo y finalmente el sistema ErdoX, obteniendo así $M_a = 5288.93, 2285.42$ y 1597.42 kNm respectivamente, esto quiere decir que reduce en 26.91% en comparación al muro de concreto en voladizo.

Figura 76

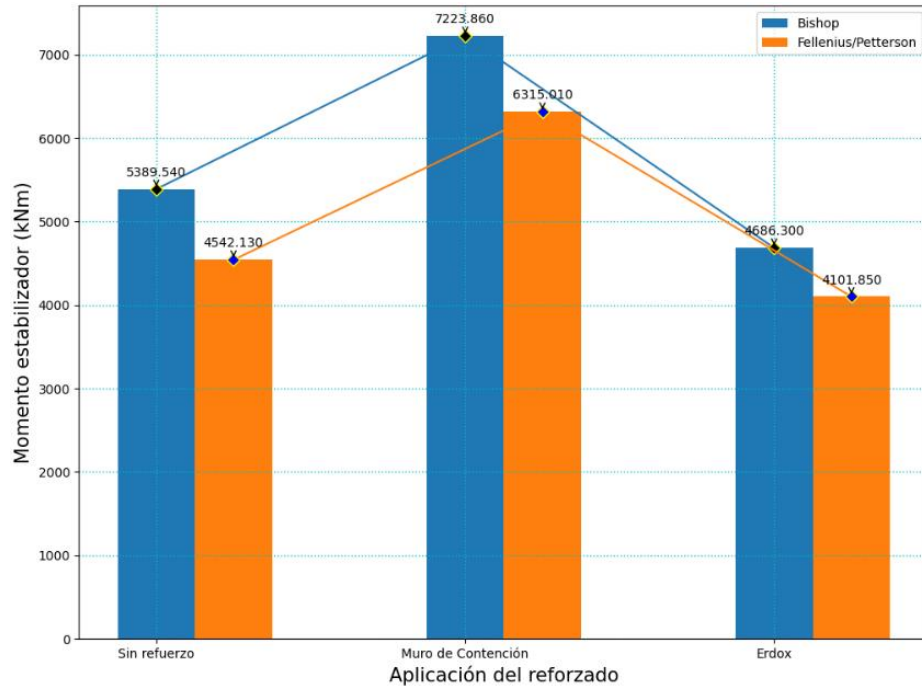
Gráfico comparativo de momento estabilizador en condiciones estáticas.



De la Figura 76 del gráfico de barras en condiciones estáticas, se observa el comportamiento de los momento estabilizadores para las condiciones tales como: sin esfuerzo, empleando muro de concreto en voladizo y finalmente el sistema ErdoX, obteniendo así $M_p = 5806.95, 6522.09$ y 4902.19 kNm respectivamente, esto quiere decir que el momento estabilizador va ser mayor para que la estructura este en equilibrio y que tenga estabilidad, por lo tanto el momento estabilizador para el sistema ErdoX reduce en 24.84% de en comparación al muro de concreto en voladizo.

Figura 77

Gráfico comparativo de momento estabilizador en condiciones pseudoestáticas.



De la Figura 76 del gráfico de barras en condiciones pseudoestáticas, se observa el comportamiento de los momentos estabilizadores para las condiciones tales como: sin esfuerzo, empleando muro de concreto en voladizo y finalmente el sistema ErdoX, obteniendo así $M_p = 5389.54, 7223.86$ y 4686.30 kNm respectivamente, esto quiere decir que el momento estabilizador va ser mayor para que la estructura este en equilibrio y que tenga estabilidad, por lo tanto el momento estabilizador para el sistema ErdoX reduce en 35.13% de en comparación al muro de concreto en voladizo.

Por consiguiente, de acuerdo al análisis realizado se muestra la siguiente tabla del rango de valores de factor de seguridad según la norma peruana CE – 020. Manual de carreteras (Pavimentos, Geotecnia, Geología y suelos). Aprobado con Resolución N° 16 – 2012 – MTC/14, Lima, 28 de agosto del 2012.

Tabla 10

Variación de los valores del factor de seguridad

NORMATIVA	TALUD TEMPORAL		TALUD PERMANENTE	
	ESTATICA	SISMICA	ESTATICA	SISMICA
AASHTO LRFD	1.33 - 1.53	1.1	1.33 - 1.53	1.1
NAVAFAC - 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: (Valiente Sanz; Sobrecases Martí; Díaz Orrego, p. 23).

Tabla 11

Resumen de resultados en condiciones estáticas

sistema de muro en voladizo	sistema ErdoX	comportamiento estructural	incremento y reducción en % del muro de voladizo VS ErdoX	
2.98	3.07	Factor de seguridad	2.93%	Incrementa
241.75 kN	191.54 kNm	Fuerzas activas	20.77%	Reduce
721.47 kN	587.79 kNm	Fuerzas pasivas	18.53%	Reduce
2185.42 kNm	1597.42 kNm/m	Momento de deslizamiento	26.91%	Reduce
6522.09 kNm	4902.19 kNm/m	Momento estabilizador	24.84%	Reduce

Tabla 12

Resumen de resultados en condiciones pseudoestáticas

sistema de muro en voladizo	sistema ErdoX	comportamiento estructural	incremento y reducción en % del muro de voladizo VS ErdoX	
1.70	1.73	Factor de seguridad	1.73%	Incrementa
423.14 KN	325.38 kNm	Fuerzas activas	23.10%	Reduce
719.51 KN	561.91 kNm	Fuerzas pasivas	21.90%	Reduce
4248.32 KN/m	2713.70 kNm/m	Momento de deslizamiento	36.12%	Reduce
7223.86 KN/m	4686.30 kNm/m	Momento estabilizador	35.13%	Reduce

4.3 Discusión de Resultados

Discusión 1: De acuerdo a los resultados del cálculo del factor de seguridad. Según la literatura el valor de factor de seguridad en condiciones estáticas es mayor a 1.5 lo cual corresponde a un talud estable, mientras que valor de factor de seguridad menores a 1.5 representa un talud con

deslizamiento. Del mismo modo el valor de factor de seguridad para propiedades pseudoestáticas es mayor a 1.25 esto representa un talud estable, mientras que si el valor de factor de seguridad es menor a 1.25 representa un talud con deslizamiento. los parámetros más influyentes son las fuerzas de interacción y momentos de interacción. La influencia de dichos parámetros para las dos condiciones se puede visualizar en la Figura 63 y la Figura 64, donde se aprecia los resultados de un análisis exhaustivo evaluando el comportamiento del factor de seguridad sin refuerzo, muro de contención y el sistema ErdoX.

Por lo tanto, después de evaluar los resultados obtenidos, el sistema ErdoX es apropiado para su aplicación en dicha zona de estudio.

Discusión 2: Según Betonform® SRL/GMBH (2018), Para resaltar el sistema de anclaje de la estructura, las fuerzas activas que se ejercen sobre el suelo y el panel se transfieren a la placa de hormigón de forma piramidal. Esto se consigue mediante el tirante rígido y los cables de arriostamiento contra el viento. El apoyo que la placa de anclaje proporciona sobre el suelo es un punto esencial a tener en cuenta. En el presente estudio, se determina que el sistema de muro de concreto en voladizo presenta 241.75 kNm en condiciones estáticas y de 423.14 kNm en condiciones pseudoestáticas. Por otro lado, el sistema ErdoX registra una fuerza activa de 191.54 kNm en condiciones estáticas y de 325.38 kNm en condiciones pseudoestáticas, actuando entre el suelo y la estructura. Observamos que las fuerzas de interacción son favorables para el sistema ErdoX por tener menor fuerza activa, al ser analizados en condiciones pseudoestáticas hay un incremento de fuerza, esto indica que el talud llegara a deslizarse.

Discusión 3: Según Valiente Sanz; Sobrecases Martí; Díaz Orrego (2015) detalla que el momento de interacción más notable es el momento de deslizamiento, aplicando el Sistema de muro de concreto en voladizo fue 2185.42 kNm en condiciones estáticas y en pseudoestáticas es de 4248.32 kNm y aplicando el Sistema Erdox el resultado fue de 1597.42 kNm en condiciones estáticas y en pseudoestáticas fue 2713.7 kNm. Se observa que hay un incremento

de momentos cuando se analiza en condiciones pseudoestáticas.

Discusión 4: según Morales Granadillo (2021) con el modelamiento del software GEO5 se cuantifica el factor de seguridad en donde se realiza una comparación del muro de concreto en voladizo y el sistema ErdoX, en donde se tiene los siguientes resultados según la Tabla N° 16, el indicador del sistema ErdoX cumple lo que indica la norma peruana vigente de CE - 020.

Tabla 13

Resultado de análisis de factor de seguridad

FACTOR DE SEGURIDAD				
Descripción	sin refuerzo	muro de contención	Sistema ErdoX	Norma peruana vigente CE- 020
condiciones estáticas	F.S. = 1.10	F.S. = 2.98	F.S. = 3.07	F. S. > 1.50
condiciones pseudoestáticas	F.S. = 1.04	F.S. = 1.70	F.S. = 1.73	F. S. > 1.25

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

1. En la carretera Chirumpiari – San Carlos el uso del sistema ErdoX en el Sistema muro de concreto en voladizo mejora el comportamiento estructural en la zona de estudio. Ya que, presenta mejor comportamiento en condiciones estáticas y pseudoestáticas a nivel estructural ya que se incrementa en 2.93% y 1.73% de factor de seguridad, también de una reducción de 18.53% y 21.90% respectivamente en las fuerzas pasivas con respecto al Sistema de muro de concreto en voladizo tal como se detalla en la Tabla 11 y 12.
2. Las fuerzas de interacción (activas y pasivas) presentan mayor resistencia por cada estructura instalada reduciendo un 20.77% y 23.10% respectivamente, así mismo las fuerzas pasivas estáticas se reduce en 18.53% y 21.90% en condiciones pseudoestáticas, esto indica que las fuerzas activas serán menor a las fuerzas pasivas, teniendo en cuenta que se realizó el estudio en condiciones estáticas y pseudoestáticas, lo cual, el sistema ErdoX funciona como un mono anclaje de peso reducido que no sobrecarga al terreno y distribuye las cargas en el tirante rígido y los cables contravientos.
3. Los momentos de interacción (deslizamiento y estabilizador) por cada estructura instalada se han reducido un 26.91% y 36.12% respectivamente, así mismo los momentos de estabilizador estático se reducen en 24.84% y 35.13% en condiciones pseudoestáticas, esto indica que los momentos de deslizamiento serán menor a los momentos de estabilizador. Determinando que el equilibrio de momentos actúa mejor para el sistema ErdoX.
4. El factor de seguridad utilizando el software Geo5 Versión 2024, mediante los métodos Bishop y Fellenius/Pterson, varía de acuerdo a las condiciones (estáticas y pseudoestáticas), aplicadas sin refuerzo F.S. = 1.10 y 1.04 y aplicando muro de contención en voladizo se obtiene F.S. = 2.98 y 1.70, finalmente aplicando el sistema Erdox se obtuvo F.S. = 3.07 y 1.73 respectivamente, es así que

el sistema ErdoX tiene mayor factor de seguridad incrementando 2.93% para categorías estáticas y 1.73% para categorías pseudoestáticas.

5.2 Recomendaciones

1. Cuando se emplea el sistema Erdox, es necesario tener en cuenta la placa anclada en L. Este es el caso cuando las fuerzas de interacción en el talud son considerables, teniendo en cuenta la capacidad portante del Erdox, y cuando el factor de deslizamiento se encuentra en su nivel crítico. Para ello, es necesario incrementar el número de ocasiones de enganche.

2. Para ampliar la estabilidad de un sistema ErdoX, se recomienda colocar un lecho de grava debajo de la losa pre fabricada. Esto aumentaría la fricción entre el suelo y la losa.

3. Para evitar la filtración causada por el cribado fino y disminuir la resistencia contra la presión activa que se está aplicando, se recomienda colocar una geomembrana entre el sistema y el tejido de relleno.

4. Se recomienda realizar un buen análisis del ensayo de corte directo ya que estos parámetros determinan el resultado del factor de seguridad es decir si no se realiza de manera adecuada dichos estudios se puede obtener valores sesgados a la realidad, teniendo así el diseño y el modelamiento errado en el software GEO5.

Referencias Bibliográficas

1. **BOLAÑOS LUNA, Ana Malena y MONROY CONCHA, Omar Manuel.** *Espectros de peligro sísmico uniforme.* Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima : 2004.
2. **MERCADO BAUTISTA, Marina.** *Mecánica de suelos aplicada.* s.l. : Instituto Tecnológico de Cerro Azul., 2021.
3. **SUÁREZ DÍAZ, Jaime.** *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales.* [ed.] Ingeniería de Suelos Ltda. Bucaramanga : Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos., 1998. 1.000.
4. *Annual Book of ASTM Standards: Soils and Rocks.* **USA., American Society for Testing and Materials.** 2019.
5. **MORALES MUÑOZ, Byron.** *Metodología de estabilización de taludes de carreteras.* Pontificia Universidad Católica del Ecuador, s.l. : 2012.
6. *Betonform® SRL/GMBH. ERDOX®, Desing.* Medesano-Italia : s.n., 2018, Vol. 2.1.
7. **GONZÁLEZ DE VALLEJO, Luis I.** *Ingeniería Geológica.* Madrid : PEARSON EDUCACIÓN, 2002. 34-205-3104-9.
8. **URTEAGA POSADAS, César Augusto.** *Estabilización de talud con sistema Erdox en taludes de carreteras.* Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima : 2017.
9. **CÓRDOVA, Carlos A.** *Metodología de La Investigación.* Cuba : s.n., 2016.
10. **HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto.** *Metodología de la investigación.* México : MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2014. 978-1-4562-2396-0.
11. **CAMPBELL, Donald T y STANLEY, Julian C.** *Diseños experimentales y cuasiexperimentales en la investigación social.* Buenos Aires : Rand McNelly Company, 1973. 950-518-042.

12. **RABAZAS ROMERO, Teresa y LÓPEZ HERRERÍAS, José Angel.** *Paradigmas y metodologías para la educación social.* Madrid : Revista Complutense de Educación, 2000.
13. **MAROCCO, R, LIPA, V y QUISPE, L.** Geología del cuadrángulo de San Miguel. Lima : INGEMMET, 1996.
14. **CABALLERO ROMERO, Alejandro.** *Metodología de la investigación científica: diseños con hipótesis explicativas.* Lima : Instituto de Cooperativismo , Facultad de Derecho Ciencias Políticas, 2000.
15. **CARPIO R, Mario y DE LA CRUZ B, Natalio.** *Geología de los cuadrangulos de Sandia y San Ignacio.* Lima : INGEMMET, 1996.
16. **COTERA CORONEL, Edgar.** *Aplicación del sistema ErdoX en la estabilidad de talud, km 11+780 al 11+840, carretera central Acopalca – Huancayo - Junin.* Universidad Peruana Los Andes, Huancayo : 2022.
17. **DAS, Braja M.** *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.* [ed.] Sergio R. Cervantes González. Mexico : Ediciones OVA, 2013. Vol. Cuarta Edición.
18. **DÍAZ MARTÍNEZ, E, y otros.** Litoestratigrafía del Paleozoico del Altiplano, Cordillera Oriental y Subandino del sur de Perú. 2000, 2-19.
19. **GEOCATMIN.** Geocatmin. [En línea]
<https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>.
20. **GIRALDO LÓPEZ, Mayerly Alejandra y ARAGÓN LOPEZ, Daniel Felipe.** *Análisis de estabilidad del talud ubicado en el Km 2.5 via al nevado del Tolima, Chapetón.* Universidad Cooperativa de Colombia, Ibagué : 2021.
21. **GUTIÉRREZ LÓPEZ, Jhesber Keedy.** *Sistema de estabilidad de taludes ErdoX y Gaviones para mejorar el comportamiento estructural y económico del Km 14 Puente Capelo-Chanchamayo,2019.* Universidad Cesar Vallejo, Lima : 2019.

22. **KRABBENHOFT, K y LYAMIN, A.V.** *Strength reduction finite-element limit analysis.* 2015.
23. **LAUBACHER, G.** Estudio del Paleozoico en la Cordillera Oriental entre los paralelos 13°30' y 15°S y en el Altiplano al NO del Lago Titicaca. 1973.
24. **LLAIQUE CHANE, Nilda Rotsana.** *Evaluación, análisis y estabilidad de taludes con el Sistema Erdox en la carretera PE-28B del km 152+195-Kepashiato-Kiteni.* Universidad Continental, Huancayo : 2022.
25. **MACCAFERRI.** Terramesh®. [En línea]
<https://www.maccaferri.com/pe/productos/terramesh/>.
26. **MORALES GRANADILLO, Juan Pablo.** Analisis y modelado de estabilidad de taludes con el software GEO 5. 2021.
27. **OLIVA GONZÁLEZ, Aldo Onel.** *Análisis de la estabilidad y seguridad de taludes.* Universidad de Oviedo, España, s.l. : Grupo ITEICO Euroamericano, 1999.
28. **RAMIREZ VALDERRAMA, Santiago y VISBAL PUENTES, Andrea Carolina.** *Análisis de la estabilidad del talud ubicado al Km 2+000 vía Ibagué - San Bernardo.* Universidad Cooperativa de Colombia, Ibagué : 2021.
29. **RAMOS HUARAC, Katherine Yessenia.** *Propuesta de estabilización de talud con el Sistema Erdox en el Km 182+250 de la carretera central Huanuco-Lima.* Universidad Nacional Ermilio Valdizan, Huanuco : 2020.
30. **ULATE ALVAREZ, Jorge.** *Elementos componentes de una calzada.* 2015.
31. **URTEAGA HUAMAN, Carlos y SUAREZ RISCO, Jean Paul.** *Versatilidad del sistema Erdox Aplicando Conceptos de Ingeniería Preventiva en Concesiones Viales, Carretera Interoceánica Sur Tramos 2 y 3.* Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima : Premio Destaque 2015, 2015.
32. **VALERIANO NINA, Fredy Alonso.** *Caracterización Geotécnica y modos de falla*

estructural en el talud en roca del cerro espinal Juliaca. Universidad Nacional Del Altiplano, Puno : 2015.

33. **VALIENTE SANZ, Ricardo, SOBRECASES MARTÍ, Salvador y DÍAZ ORREGO, Aníbal.** *Estabilidad de Taludes: Conceptos Básicos, Parámetros de Diseño y Métodos de Cálculo.* Lima : Pontificia Universidad Católica del Perú, 2015.

34. **WESTLEY SKEMPTON, Alec y NEVILLE HUTCHINSON, John.** *Stability Of Natural Slopes And Embankment Foundations.* 1969, 291-340.

35. **YAÑEZ PECHE, Giancarlo.** *Análisis comparativo del proceso constructivo del sistema erdox y sistemas tradicionales para estabilización de taludes - carretera Iirsa Sur Tramo 2.* Universidad San Ignacio de Loyola, Lima : 2021.

Anexos

Anexo N° 01: Operacionalización de variables.

OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

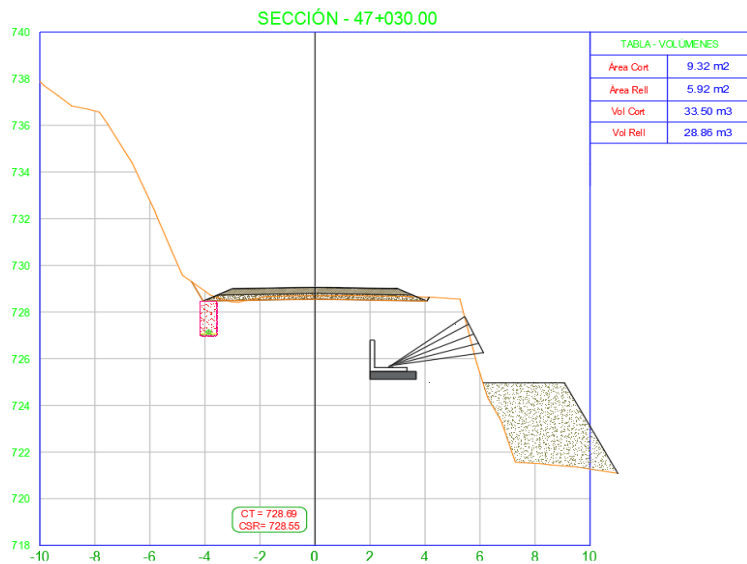
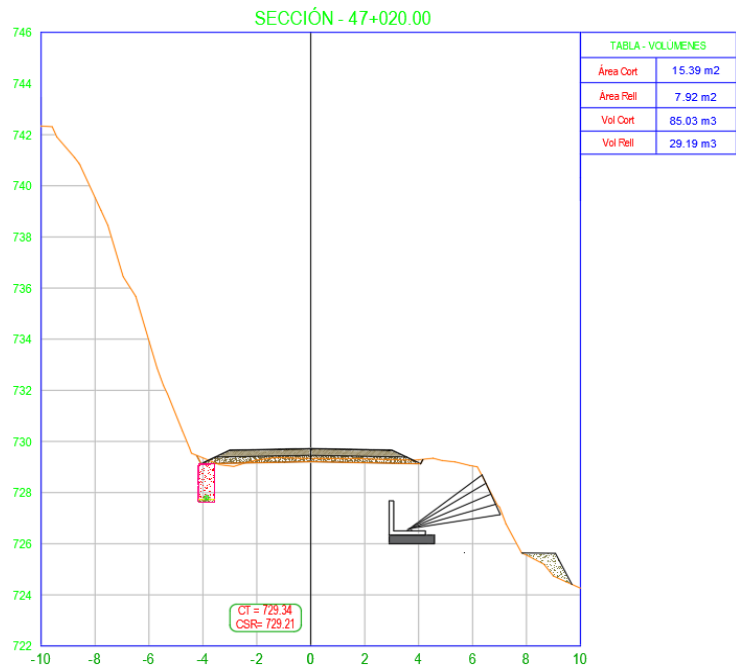
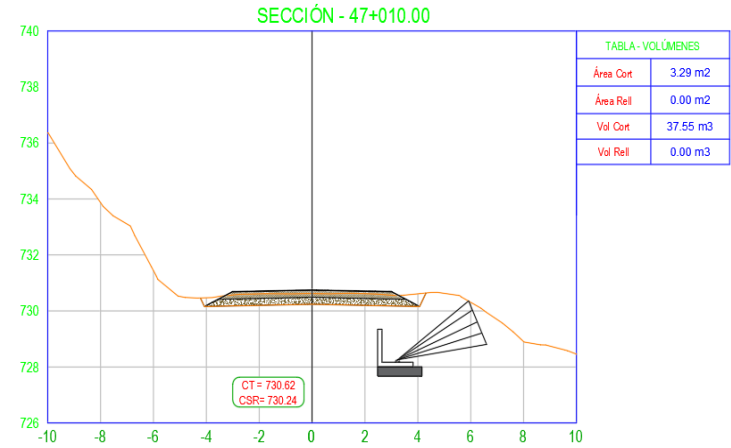
VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	TIPO	NATURALEZA	MEDICIÓN	DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTO
Aplicación del sistema ErdoX	El sistema ErdoX es una construcción tipo muro de construcción de acero flexible en forma piramidal con peso reducido; el anclaje al final tiene la forma de una sombrilla, este sistema es flexible y adaptable.	independiente	Cuantitativa	nominal	sin esfuerzo <hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/> con esfuerzo	Peso unitario Cohesión Angulo de fricción interna Peso unitario saturado Fuerzas de interacción Momentos de interacción	kNm ³ kPa grados kN/m ³ kN kNm	Ensayo granulométrico, Ensayo de corte directo y Aplicación del software GEO5
Aplicación del sistema ErdoX	Un talud es estable cualquiera sea su altura, siempre que el ángulo entre el talud y la horizontal sea igual o menor que el ángulo de fricción interna de la arena en estado suelto	dependiente	Cuantitativa	nominal	factores de seguridad	Factor de seguridad al deslizamiento (F.S.D > 1.5) <hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/> Factor de seguridad al deslizamiento dinámico (F.S.D > 1.25)	Adimensional <hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/> Adimensional	Aplicación del software GEO5

Anexo N° 02: Matriz de consistencia.

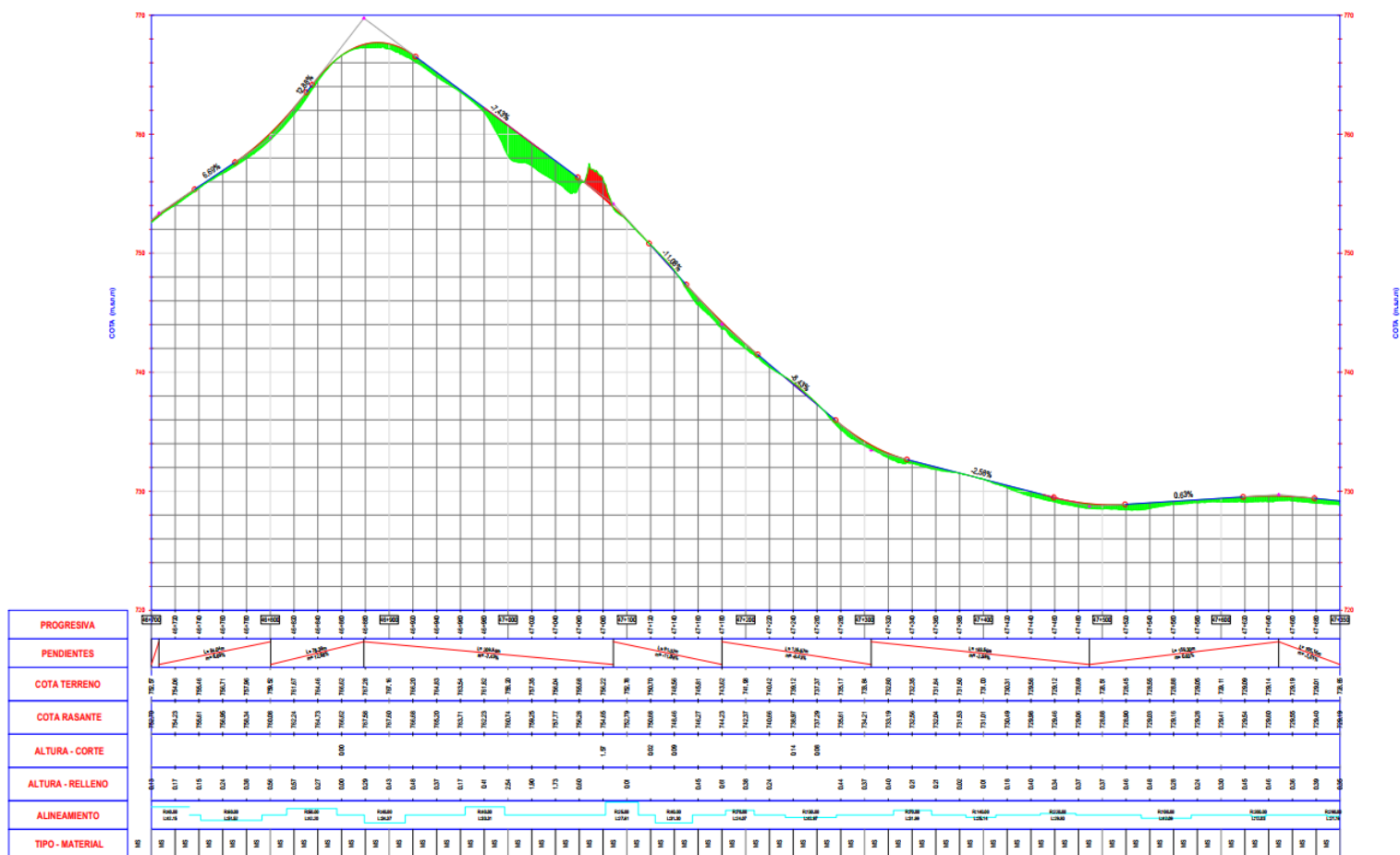
“ESTABILIZACIÓN DE TALUDES CON EL SISTEMA ERDOX EN EL KM 47 DE LACARRETERA CU-566: PE-28B DEL DISTRITO CIELO PUNCO – LA CONVENCIÓN - CUSCO”.

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES
¿Cómo influye la aplicación del sistema ErdoX en la estabilización del talud del km 47 de lacarretera CU-566: PE-28B del Distrito Cielo Punco – La Convención - Cusco?	Determinar la influencia de la aplicación del sistema ErdoX en la estabilización del talud del km 47 de lacarretera CU-566: PE-28B del Distrito Cielo Punco – La Convención – Cusco.	La aplicación del sistema ErdoX, permite estabilizar el talud de lacarretera CU-566: PE-28B del Distrito Cielo Punco – La Convención – Cusco.	VD: Estabilización de taludes	Factor de seguridad
ESPECÍFICOS				
¿Cómo influye las fuerzas de interacción en la estabilización del talud con la aplicación del sistema ErdoX?	Analizar la influencia de las fuerzas de interacción con la aplicación del sistema ErdoX de lacarretera CU-566: PE-28B del Distrito Cielo Punco – La Convención – Cusco.	Las fuerzas de interacción permiten analizar la estabilidad del talud en lacarretera CU-566: PE-28B del Distrito Cielo Punco – La Convención – Cusco.	VI: Aplicación del sistema ErdoX	Peso unitario Cohesión Angulo de fricción interna Peso unitario saturado Fuerzas de interacción Momentos de interacción
¿Cómo influye los momentos de interacción en la estabilización del talud con la aplicación del sistema ErdoX?	Analizar la influencia los momentos de interacción con la aplicación del sistema ErdoX de lacarretera CU-566: PE-28B del Distrito Cielo Punco – La Convención – Cusco.	Los momentos de interacción permiten analizar la estabilidad del talud en lacarretera CU-566: PE-28B del Distrito Cielo Punco – La Convención – Cusco.		
¿Cómo influye el factor de seguridad con la aplicación del sistema ErdoX en la estabilización del talud?	Determinar el factor de seguridad con la aplicación del sistema ErdoX y muro de contención en el talud de lacarretera CU-566: PE-28B del Distrito Cielo Punco – La Convención – Cusco.	El factor de seguridad permite cuantificar la estabilidad del talud con el sistema ErdoX y el muro de contención de la carretera CU-566: PE-28B del Distrito Cielo Punco – La Convención – Cusco.		



Anexo N° 03: Secciones típicas del proyecto de estudio.




Anexo N° 04: Perfil longitudinal del estudio.



Anexo N° 05: Resultado del ensayo de laboratorio.
Resultados de análisis granulométrico por tamizado.

	PROYECTO DE TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE TALUDES CON EL SISTEMA ERDOX EN EL KM 47 DE LACARRETERA CU-566: PE-28B DEL DISTRITO CIELO PUNCO - LA CONVENCION - CUSCO".	 ENERO - 2024

	REGISTRO DE CONTROL	
	CONTROL DE CALIDAD	Revisión: G.C.M.
	ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (MTC E204)	Fecha: Ene-24 Página: 1 de 1

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

NOMBRE DEL PROYECTO: "Estabilización de Taludes con el Sistema Erdox en el km 47 de la Carretera CU-566: PE-28B del Distrito Cielo Punco - La Convención -Cusco"

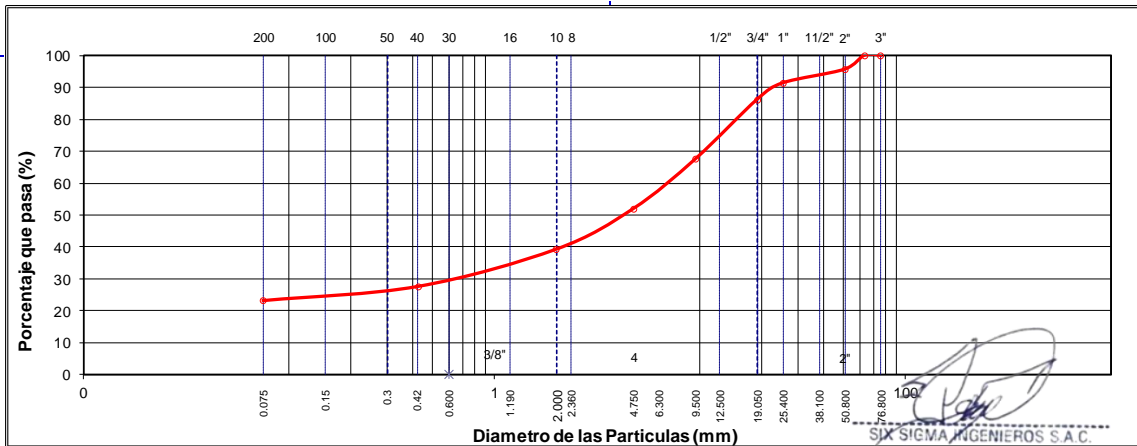
CLIENTE: UNIVERSIDAD CONTINENTAL	N° CERTIF.:
TRAMO: EMP PE-28B - CHIRUMPIARI - SAN CARLOS	FECHA: ENERO 2024
	UBICACION: CHIRUMPIARI

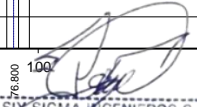
DATOS DE LA MUESTRA

Calicata: C-01
Material: Muestra de Suelo
Tamaño Máximo: 1 1/2" **Peso Inicial Seco:** 3,064 gr



TAMIZ	MTC E204 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200				100.0	Contenido de Humedad (%) : 11.0
2 1/2"	63.500				100.0	Límite Líquido (LL) : 26
2"	50.800	134.5			95.6	Límite Plástico (LP) : 18
1 1/2"	38.100	42.6	1.39	5.78	94.22	Índice Plástico (IP) : 8
1"	25.400	88.6	2.89	8.67	91.33	Clasificación (SUCS) : GP - GM
3/4"	19.050	158.4	5.17	13.84	86.16	Clasificación (AASHTO) : A-2-a 6(o)
1/2"	12.700	341.1	11.13	24.97	75.03	Descripción (SUCS) : GRAVA MAL GRADUADA CON LIMO Y ARENA
3/8"	9.525	231.8	7.57	32.54	67.46	D ₁₀ =De(mm) = 0.0325
1/4"	6.350	318.6	10.40	42.94	57.06	D ₃₀ (mm) = 0.6344
N° 4	4.750	158.6	5.18	48.11	51.89	D ₆₀ (mm) = 7.24418
N° 8	2.360	318.5	10.39	58.51	41.49	
N° 10	2.000	71.4	2.33	60.84	39.16	OBSERVACIONES :
N° 16	1.190	154.1	5.03	65.87	34.13	Bolonería > 3" : 0.0
N° 30	0.600	138.3	4.51	70.38	29.62	Grava 3" - N° 4 : 48.1 %
N° 40	0.425	64.7	2.11	72.49	27.51	Arena N°4 - N° 200 : 28.8 %
N° 50	0.300	51.2	1.67	74.16	25.84	Finos < N° 200 : 23.1 %
N° 100	0.150	54.6	1.78	75.95	24.05	Cu = 222.6
N° 200	0.075	30.2	0.99	76.93	23.07	Cc = 1.7
FONDO		0.0	0.00	76.93		
Lavado		706.3	23.05	99.98		Lavado: 706.3


CURVA GRANULOMETRICA




 SIX SIGMA INGENIEROS S.A.C.
 Ing. Jean Edison Palma Vanez
 CIP 169359
 JEFE DE LABORATORIO

Resultados de análisis de límites de consistencia.

	<p>PROYECTO DE TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE TALUDES CON EL SISTEMA ERDOX EN EL KM 47 DE LACARRETERA CU-566: PE-28B DEL DISTRITO CIELO PUNCO - LA CONVENCION - CUSCO".</p>	 ENERO - 2024
---	--	---

	REGISTRO DE CONTROL	Revisión: G.C.M
	CONTROL DE CALIDAD	Fecha: Ene-24
	LIMITES DE CONSISTENCIA (MTC E110, MTC E111)	Página: 1 de 1

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

NOMBRE DEL PROYECTO: "Estabilización de Taludes con el Sistema Erdox en el km 47 de la Carretera CU-566: PE-28B del Distrito Cielo Punco - La Convención -Cusco"

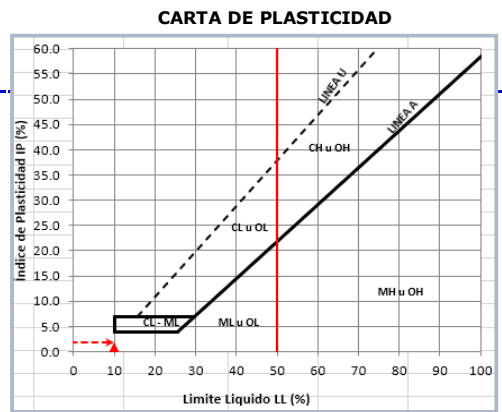
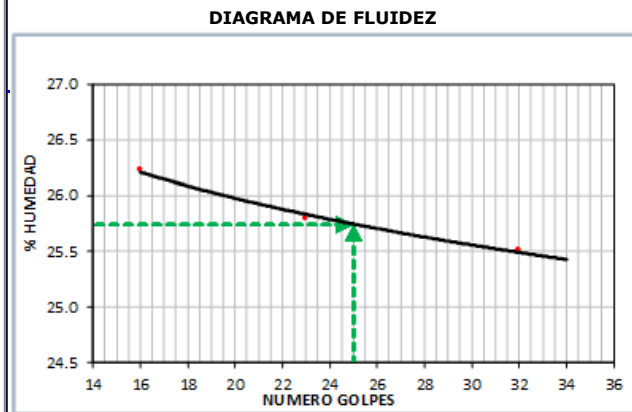
CLIENTE: UNIVERSIDAD CONTINENTAL	N° CERTIF.:
TRAMO: EMP PE-28B - CHIRUMPIARI - SAN CARLOS	FECHA: ENERO 2024
	UBICACION: CHIRUMPIARI

DATOS DE LA MUESTRA

Calicata: C-01
Material: Muestra de Suelo



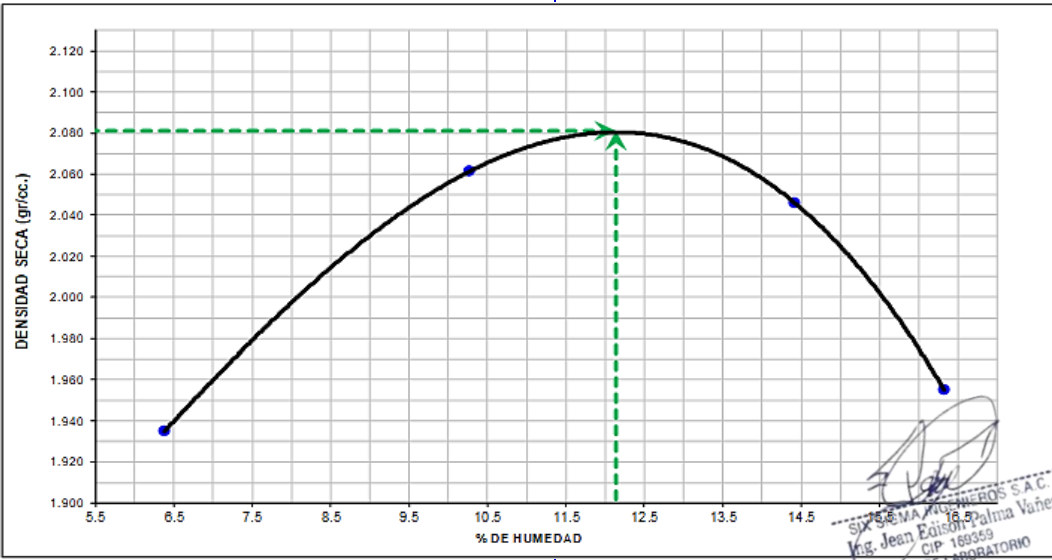
LIMITE LIQUIDO (MTC E110)					
Descripción	Und	Ensayos			Observaciones
Nº TARRO		62	63	64	MULTIPUNTO
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	24.36	25.63	24.78	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	21.58	22.64	21.78	
PESO DE AGUA	(g)	2.78	2.99	3.00	
PESO DEL TARRO	(g)	10.68	11.05	10.34	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	10.90	11.59	11.44	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	25.5	25.8	26.2	
NUMERO DE GOLPES		32	43	16	

LIMITE PLASTICO (MTC E111)					
Descripción	Und	Ensayos			Observaciones
Nº TARRO		66	67		
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	21.42	20.79		
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	19.77	19.18		
PESO DE AGUA	(g)	1.65	1.61		
PESO DEL TARRO	(g)	10.78	10.20		
PESO DEL SUELO SECO	(g)	8.99	8.08		
CONTENIDO DE DE HUMEDAD	(%)	18.4	17.9		




 SIX SIGMA INGENIEROS S.A.C
 Ing. Jean Edison Palma Vañez
 CIP 169359
 JEFE DE LABORATORIO

Resultados de análisis de ensayo Proctor modificado.

	<p>PROYECTO DE TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE TALUDES CON EL SISTEMA ERDOX EN EL KM 47 DE LACARRETERA CU-566: PE-28B DEL DISTRITO CIELO PUNCO - LA CONVENCION - CUSCO".</p>			ENERO - 2024		
	<p>REGISTRO DE CONTROL</p> <p>CONTROL DE CALIDAD</p> <p>ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO</p> <p>MTC E115</p>			Revisión: G.C.M. Fecha: ENERO 2024 Página: 1 de 1		
<p>LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS</p>						
<p>NOMBRE DEL PROYECTO: "Estabilización de Taludes con el Sistema Erdox en el km 47 de la Carretera CU-566: PE-28B del Distrito Cielo Punco - La Convención -Cusco"</p>						
<p>CLIENTE: UNIVERSIDAD CONTINENTAL</p>			<p>N° CERTIF.:</p>			
<p>TRAMO: EMP PE-28B - CHIRUMPIARI - SAN CARLOS</p>			<p>FECHA: ENERO 2024</p>			
<p>UBIC.: CHIRUMPIARI</p>						
<p>DATOS DE LA MUESTRA</p>						
<p>Calicata: C -1</p>						
<p>Material: Muestra de Suelo</p>						
Molde Numero.	1	Volumen Molde 2050.89 m3.	Numero de capas 5			
		Peso Molde 5928 g.	Numero de golpes 56			
<p>NUMERO DE ENSAYOS</p>						
		1	2	3	4	5
Peso Suelo + Molde	g.	10,149	10,589	10,729	10,592	
Peso Suelo Humedo Compactado	g.	4,221	4,661	4,801	4,664	
Peso Volumetrico Humedo	g.	2.058	2.273	2.341	2.274	
Recipiente Numero		42	38	32	33	
Peso Suelo Humedo + Tara	g.	575.4	527.8	549.3	554.6	
Peso Suelo Seco + Tara	g.	545.3	485.6	489.1	487.4	
Peso de la Tara	g.	73.4	74.4	71.6	75.7	
Peso del agua	g.	30.1	42.2	60.2	67.2	
Peso del suelo seco	g.	471.9	411.20	417.5	411.7	
Contenido de agua	%	6.38	10.26	14.4	16.3	
Densidad Seca	g/cc	1.935	2.061	2.046	1.955	
<p>RESULTADOS</p>						
Densidad Maxima Seca		2.081	g/cc.	Humedad óptima	12.14	%
<p>RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA</p>						
						
<p>SIX SIGMA INGENIEROS S.A.C. Ing. Jean Edisson Palma Vañez CIP 169359 JEFE DE LABORATORIO</p>						

Resultados de análisis de relación de capacidad de soporte - CBR.

Six Sigma INGENIEROS SAC	<p>PROYECTO DE TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE TALUDES CON EL SISTEMA ERDOX EN EL KM 47 DE LACARRETERA CU-566: PE-28B DEL DISTRITO CIELO PUNCO - LA CONVENCION - CUSCO".</p>	<p>ENERO - 2024</p>
---	--	---------------------

Universidad Continental	REGISTRO DE CONTROL	
	CONTROL DE CALIDAD	Revisión: G.C.M.
	RELACION DE CAPACIDAD DE SOPORTE - CBR	Fecha: ENERO 2024
	MTC E 132	Página: 1 de 1

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

NOMBRE DEL PROYECTO: "Estabilización de Taludes con el Sistema Erdox en el km 47 de la Carretera CU-566: PE-28B del Distrito Cielo Punco - La Convención -Cusco"

CLIENTE: UNIVERSIDAD CONTINENTAL **Nº CERTIFICADO:**

TRAMO: EMP PE-28B - CHIRUMPIARI - SAN CARLOS **FECHA:** ENERO 2024

UBICACIÓN: CHIRUMPIARI

DATOS DE LA MUESTRA

Calicata: C-1
Material: Muestra de Suelo

CALCULO DEL CBR

	10	11	12
Molde Nº	005	005	005
Capas Nº	055	026	012
Golpes por capa Nº	NO SATURADO	NO SATURADO	NO SATURADO
Condición de la muestra			
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12,989	12,728	12,545
Peso de molde (g)	8,160	8,215	8,230
Peso del suelo húmedo (g)	4,829	4,513	4,315
Volumen del molde (cm³)	2,086	2,080	2,100
Densidad húmeda (g/cm³)	2.315	2.170	2.055
Tara (Nº)	1	7	7
Peso suelo húmedo + tara (g)	507.2	478.4	468.4
Peso suelo seco + tara (g)	463.7	450.0	451.6
Peso de tara (g)	100.80	105.20	112.20
Peso de agua (g)	43.5	28.4	16.8
Peso de suelo seco (g)	362.9	344.8	339.4
Contenido de humedad (%)	11.99	8.24	4.95
Densidad seca (g/cm³)	2.067	2.005	1.958

EXPANSION



FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
08/01/24	0	16:10	0	0.000	0.000	0	0.000	0.000	0	0.000	0.000
08/01/24	24	16:10	5	5.000	2.864	10	10.000	5.725	11	11.000	9.394
08/01/24	48	16:10	9	9.000	5.155	13	13.000	7.443	12	12.000	10.248
08/01/24	72	16:10	10	10.000	5.728	15	15.000	8.588	14	14.000	11.956
08/01/24	96	16:10	10	10.000	5.728	15	15.000	8.588	14	14.000	11.956


PENETRACION

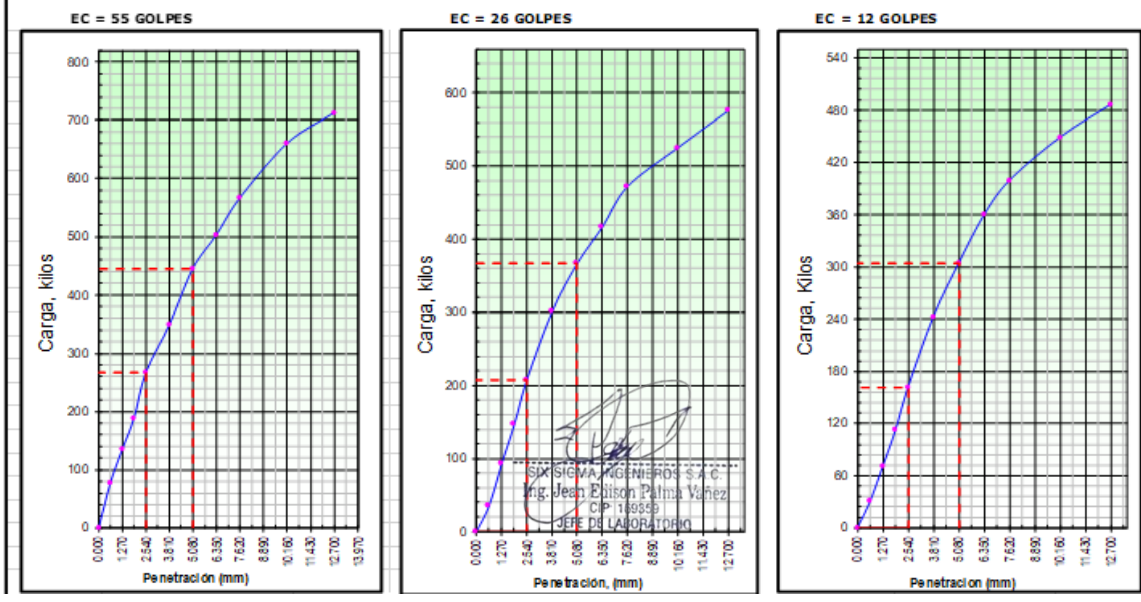
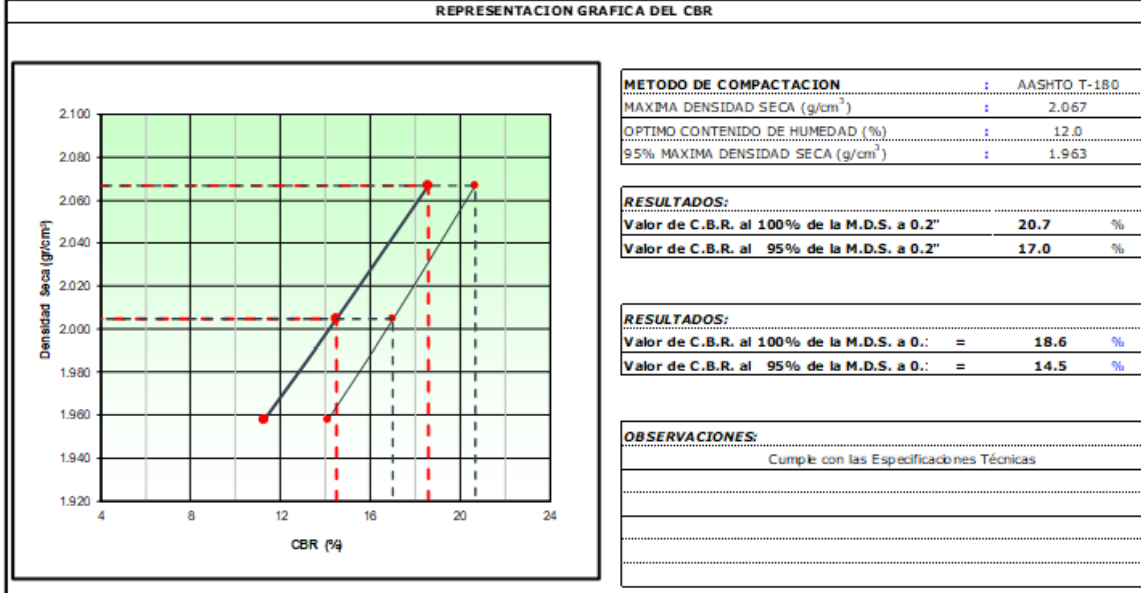
PENETRACION		CARGA		MOLDE Nº		M-10		MOLDE Nº		M-11		MOLDE Nº		M-12	
		STAND.	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION					
mm	pulg.	kg/cm2	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	kg	%
0.000	0.000		0.0	0			0.0	0			0.0	0			
0.635	0.025		77.7	78			35.6	36			30.6	31			
1.270	0.050		134.7	135			93.0	93			70.8	71			
1.905	0.075		188.6	189			146.8	147			112.5	113			
2.540	0.100	70.31	266.7	267	0	18.6	208.0	208	0	14.5	162.0	162	0	11.3	
3.810	0.150		348.9	349			300.8	301			242.8	243			
5.080	0.200	105.46	445.2	445	445	20.7	366.6	367	367	17.0	304.0	304	304	14.1	
6.350	0.250		502.8	503			416.7	417			359.5	360			
7.620	0.300		566.7	567			472.3	472			439.1	440			
10.160	0.400		660.1	660			525.3	525			448.6	449			
12.700	0.500		712.2	712			575.6	576			486.0	486			

Ing. Jean E. B. ...
 JEFE DE LABORATORIO

Resultados de análisis de relación de capacidad de soporte – CBR.

	<p>PROYECTO DE TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE TALUDES CON EL SISTEMA ERDOX EN EL KM 47 DE LACARRETERA CU-566: PE-28B DEL DISTRITO CIELO PUNCO - LA CONVENCIÓN - CUSCO".</p>	 ENERO - 2024
---	--	---

	REGISTRO DE CONTROL CONTROL DE CALIDAD RELACION DE CAPACIDAD DE SOPORTE - CBR MTC E 132 - ASTM D 1883 - AASHTO T 190	Revisión: G.C.M. Fecha: ENERO 2024 Página: 1 de 1
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS		
NOMBRE DEL PROYECTO: "Estabilización de Taludes con el Sistema Erdox en el km 47 de la Carretera CU-566: PE-28B del Distrito Cielo Punco - La Convención - Cusco"		
CLIENTE: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE CIELO PUNCO		Nº CERTIFICADO:
TRAMO: EMP PE-28B - CHIRUMPIARI - SAN CARLOS		FECHA: ENERO 2024
DATOS DE LA MUESTRA		UBICACIÓN: CHIRUMPIARI
Calicata: C-01		
Materia: Muestra de Suelo		



Anexo N° 06: Resultados de cálculo de factor de seguridad

Descripción	grava limosa con arena
Peso unitario (kNm ³)	19.00
Cohesión (kPa)	4.00
Angulo de fricción interna (°)	32.50

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

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{32.50}{2} \right), \quad K_a = 0.30$$

Estimación del empuje producido al panel Erdox.

$$P = \gamma_s * h * \frac{K_a}{2} + Q * K_a$$

$$P = 19 * 2 * \frac{0.30}{2} + 1 * 0.30$$

$$P = 6.00 \text{ KN}$$

$$P \cong 0.61 \text{ Toneladas}$$

$$0.61 \text{ ton} < 12 \text{ ton} \quad \text{OK.}$$

Estimación del peso del primer relleno (material extraído)

$$W_{\text{primer relleno}} = (A_1 * L) * \gamma_{\text{suelo extraído}}$$

$$W_{\text{primer relleno}} = (1.50 \text{ m}^2 * 2 \text{ m}) * 1937.461 \text{ Kg/m}^3$$

$$W_{\text{primer relleno}} = 5812.38 \text{ Kg.}$$

Estimación del peso del segundo relleno (material extraído)

$$W_{\text{segundo relleno}} = (A_2 * L) * \gamma_{\text{suelo extraído}}$$

$$W_{\text{segundo}} = (1.20 \text{ m}^2 * 2 \text{ m}) * 1937.461 \text{ Kg/m}^3$$

$$W_{\text{segundo relleno}} = 4649.906 \text{ Kg.}$$

Estimación del peso del tercer relleno (material extraído)

$$W_{\text{Tercer relleno}} = (A_3 * L) * \gamma_{\text{suelo extraído}}$$

$$W_{\text{Tercer}} = (0.80 \text{ m}^2 * 2 \text{ m}) * 1937.461 \text{ Kg/m}^3$$

$$W_{\text{Tercer relleno}} = 3099.938 \text{ Kg.}$$

Estimación del peso de la placa de anclaje (1)

$$W_{\text{Pl1}} = (A_1 * L) * \gamma_{\text{concreto}}$$

$$W_{\text{Pl1}} = (0.80 \text{ m}^2 * 0.80 \text{ m}) * 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{\text{Pl1}} = 1,536.00 \text{ kg.}$$

Estimación del peso de la placa de anclaje (2)

$$W_{\text{Pl2}} = (A_1 * L) * \gamma_{\text{concreto}}$$

$$W_{\text{Pl2}} = (0.80 \text{ m}^2 * 0.80 \text{ m}) * 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{\text{Pl2}} = 1,536.00 \text{ kg}$$

El peso del sistema Erdox junior es: 120.00 Kg.

El momento por volcamiento

$$M_{t0} = E_a * B_t$$

$$M_{t0} = 1.00 \text{ m} * 3,339.45 \text{ kg}$$

$$M_{t0} = 3,339.45 \text{ kg.}$$

Momento estabilizante (No se considera la cama de arena)

$$M_{te} = 5812.38 * 2.54 + 4649.906 * 1.82 + 3099.938 * 1 + 1536 * 2.54 + 1536 * 2.89 + 120 * 0.75$$

$$M_{te} = 34,756.69 \text{ kg}$$

Factor de seguridad por volcamiento.

$$FSV = \frac{M_{te}}{M_{t0}} = \frac{34756.69}{3,339.45} = 10.40$$

$$FSV = 10.40 > 2.00 \text{ OK}$$

Factor de seguridad al deslizamiento considerando la cama de arena.

$$W \text{ cama arena} = (A * L) * \gamma \text{ canto arena}$$

$$W \text{ cama arena} = (0.36 * 2) * 2000$$

$$W \text{ cama arena} = 1440.00 \text{ kg.}$$

$$FSD = \frac{\sum \gamma * \tan \phi}{M_{t0}}$$

$$FSD = \frac{(1440 + 1536 + 1536 + 5812.38 + 4649.906 + 3099.938 + 120) * \tan(32.50^\circ)}{3,339.45}$$
$$= 3.524$$

$$FSD = 3.47 > 1.5 \text{ OK}$$

Cálculo de la Capacidad Portante.

$$q_u = c * N_c + q * N_q + \frac{1}{2} * \gamma_s * B * N_y$$

$$\text{Cohesión} = 4.0 \frac{Kn}{m^2} \cong 407.89 \text{ kg/m}^2$$

Para ángulo de fricción (ϕ) = 32.50°, los valores de N_c , N_q y N_y son:

$$N_c = 22.45$$

$$N_q = 9.36$$

$$N_y = 4.68$$

$$q = \gamma_s * D_f = 1937.461 \text{ Kg/m}^3 * 0.30\text{m} = 581.24 \text{ Kgm}^2$$

$$q_u = 407.89 * 22.45 + 581.24 * 9.36 + \frac{1}{2} * 1937.461 * 2.95 * 4.68$$

$$q_u = 27971.83 \text{ kg/m}^2$$

$$q_{adm} = \frac{q_u}{FS}$$

$$q_{adm} = \frac{27971.83}{3} = 9323.94 \text{ kg/m}^2$$

$$q_{adm} = \mathbf{0.93 \text{ kg/cm}^2}$$

Punto de aplicación de la normal

$$X = (M_{te} - M_{t0}) / (W_{Erdox} + W_{Relleno} + W_{Placas} + W_{cantorodado})$$

$$X = \frac{34,756.69 - 3,339.45}{18194.224}$$

$$X = \mathbf{1.73 \text{ m}}$$

Cálculo de la Excentricidad.

$$e = \frac{B}{2} - x < \frac{B}{6}$$

$$e = \frac{2.95}{2} - 1.73 < \frac{2.95}{6}$$

$$e = -0.26 < 0.49 \dots \dots \dots \mathbf{cumple}$$

Cálculo de Asentamiento.

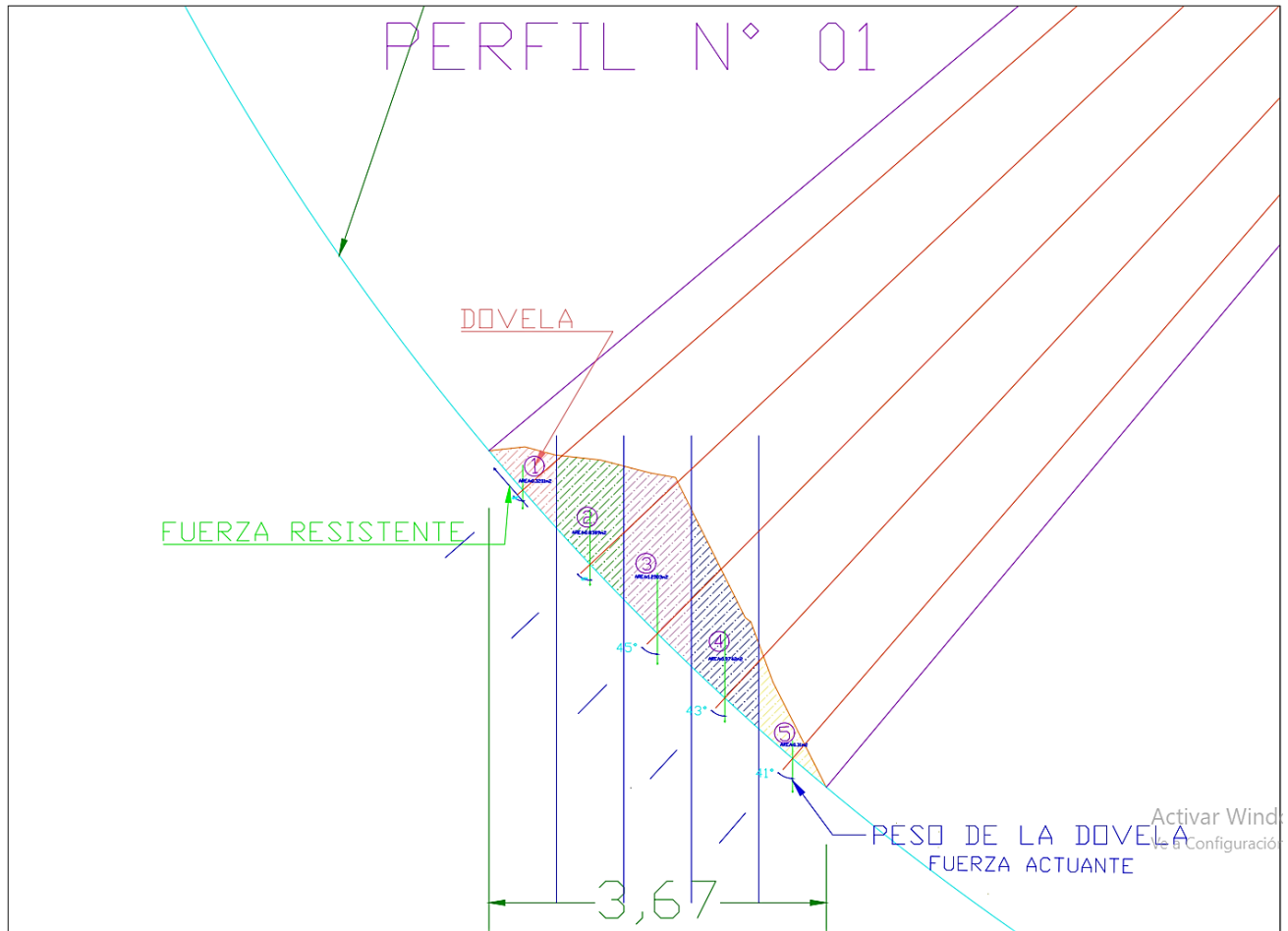
$$\sigma_t = \frac{W_{Erdox} + W_{Relleno} + W_{Placas} + W_{Cantorodado}}{A} * \left(1 - \frac{6e}{B}\right)$$

$$\sigma_t = \frac{18194.224}{(2.95 * 2)} * \left(1 - \frac{6(-0.26)}{2.95}\right)$$

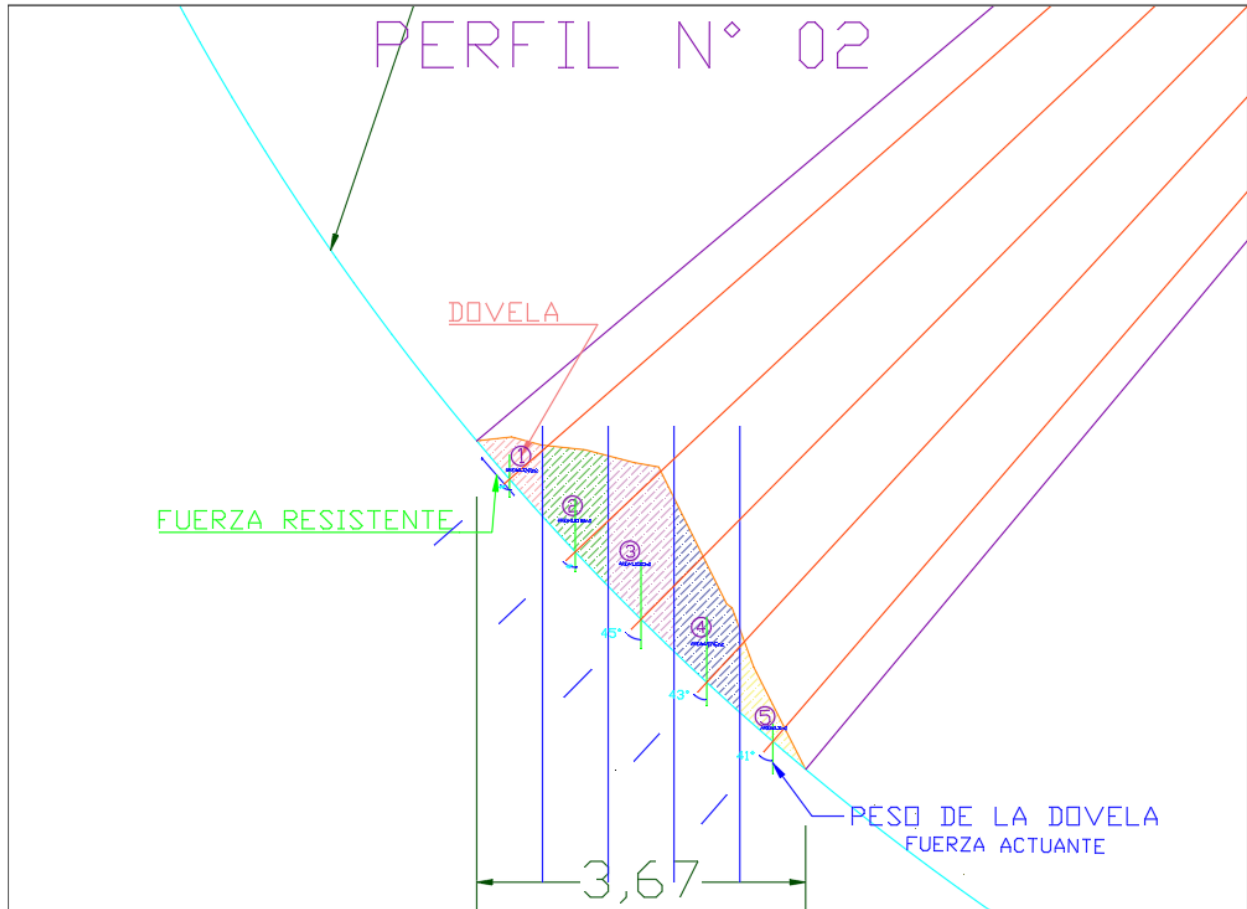
$$\sigma_t = 4714.50 \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma_t = \mathbf{0.47 \frac{kg}{cm^2}} < \mathbf{1.39 \frac{kg}{cm^2}} \dots \dots \dots \mathbf{cumple}$$

Anexo N° 07: Para utilizar el Excel de método de Bishop realizamos el siguiente trabajo utilizando el programa de AutoCAD, para diseño de las dovelas.



CALCULO DE FACTOR DE SEGURIDAD - METODO DE LAS DOVELAS											
Datos:											
C(cohesión)=	0.41	tn/m2									
γ=	1.94	tn/m3									
φ=	32.5	°	Tangente(φ)=	0.637							
Dovela	Area(m2)	γ(Tn/m3)	W(Tn)	Angulo	Seno(angulo)	Coseno(angulo)	Bn	Dn	W*Sen(angulo)	W*coseno(angulo)	
1	0.3201	1.94	0.621	49.000	0.75470958	0.65605903	4.68	7.1335	0.468670121	0.407408721	
2	0.8389	1.94	1.627	47.000	0.73135370	0.68199836	4.68	6.8622	1.190253283	1.109929143	
3	1.2503	1.94	2.426	45.000	0.70710678	0.70710678	4.68	6.6185	1.715145481	1.715145481	
4	0.9742	1.94	1.890	43.000	0.68199836	0.73135370	4.68	6.3991	1.288941437	1.382220466	
5	0.3100	1.94	0.601	41.000	0.65605903	0.75470958	4.68	6.2011	0.3945539	0.453882342	
							Σ=	33.214	5.058	5.069	
Fs		Estable									
3.32		1.5		*Deterministico							



CALCULO DE FACTOR DE SEGURIDAD - METODO DE LAS DOVELAS

Datos:

C(cohesión)= 0.00 tn/m²
γ= 2.04 tn/m³
φ= 35.5 ° **Tangente(φ)=** 0.713

Dovela	Area(m ²)	γ(Tn/m ³)	W(Tn)	Angulo	Seno(angulo)	Coseno(angulo)	Bn	Dn	W*Sen(angulo)	W*coseno(angulo)
1	0.3201	2.04	0.653	49.000	0.75470958	0.65605903	4.68	7.1335	0.492828375	0.42840917
2	0.8389	2.04	1.711	47.000	0.73135370	0.68199836	4.68	6.8622	1.251606545	1.167141985
3	1.2503	2.04	2.551	45.000	0.70710678	0.70710678	4.68	6.6185	1.803555041	1.803555041
4	0.9742	2.04	1.987	43.000	0.68199836	0.73135370	4.68	6.3991	1.355381717	1.453468943
5	0.3100	2.04	0.632	41.000	0.65605903	0.75470958	4.68	6.2011	0.41489173	0.477278339
Σ=								33.214	5.318	5.330

Fs **Estable**
 0.71 < 1.5

*Deterministico

Anexo N° 08: Memoria del cálculo de muro de contención (**H=4m**)

1.00 DISEÑO DE MURO DE CONTENCIÓN

$\gamma_s =$	1.94	ton/m ³	peso específico del suelo.
$sc =$	1.50	ton/m ²	sobrecarga HS20
$\phi_i =$	32.5	°	angulo de fricción interna
$f'_c =$	210	kg/cm ²	resistencia del concreto
$f'_y =$	4200	kg/cm ²	resistencia del acero
$G_t =$	3.28	kg/cm ²	resistencia del terreno
FSD =	1.5		factor de seguridad por deslizamiento
FSV =	2		factor de seguridad por volteo

RESULTADOS

Coefficiente de fricción
 $f =$

Coefficiente de empuje activo (0,27 - 0,34)
 $ka =$

Presión p/metro de profund, debida al empuje
 $kay =$ Ton/m²

Altura equivalente por sobrecarga
 $Hsc =$ mts.

Presion equivalente por sobrecarga en la base
 $Psc =$ Ton/m²

Presion debido al empuje activo del suelo
 $Ps =$ Ton/m²

2.00 DIMENSIONAMIENTO DE LA PANTALLA

$t_1 =$	60.00	cm.	Espesor superior de pantalla
$M_u =$	1,7M		
$M_u =$	16.71	Ton*m.	Momento ultimo en base de pantalla
$d =$	34.06	cm.	distancia entre acero en base de pantalla
$r =$	5.00	cm.	recubrimiento
$\phi =$	1.267	cm.	diametro del acero de refuerzo.
$t_2 =$	39.69	cm.	Espesor inferior de pantalla (redondear a mult. 5)
$t_2 =$	80.00	cm.	Espesor a usar. (Min. 30cm.)
$d =$	74.37	cm.	distancia entre acero a usar.

3.00 VERIFICACION POR CORTE

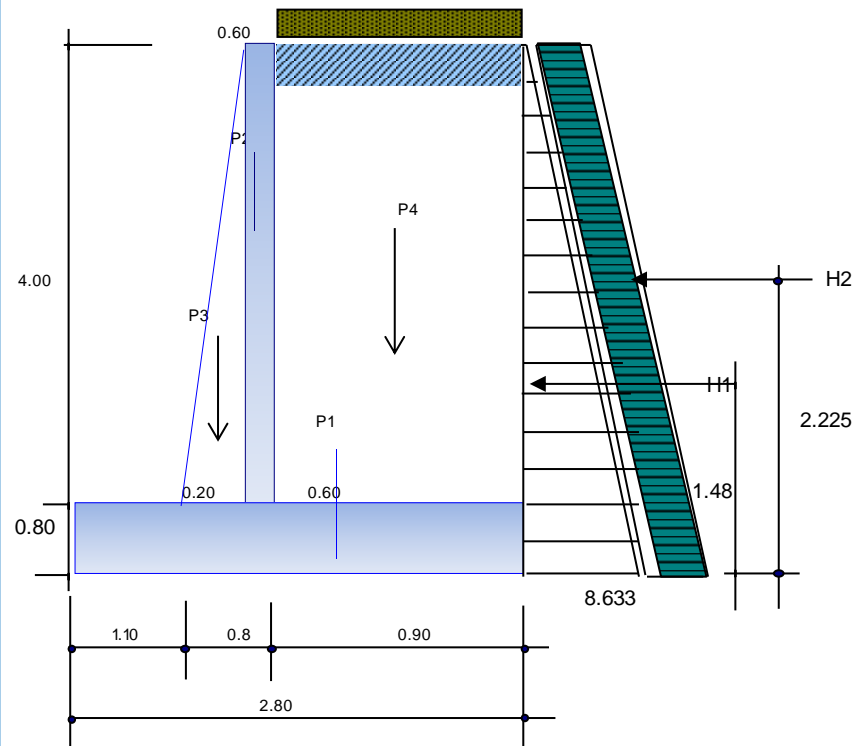
Vdu=	1,7Vd Ton.	Cortante en la base
Vdu=	9.70 Ton.	Cortante en la base
Vu=	11.00 Ton.	Cortante ultimo
Vc=	26.16 Ton.	Cortante maximo de concreto
Vce=	17.44 Ton.	Cortante maximo con traslape de acero en la base

∴ **Vc > Vce > Vu conforme**

4.00 DIMENSIONAMIENTO DE LA ZAPATA

hz=	80.00 cm.	altura de zapata
∴ h=	4.80 mts.	altura total de muro de contencion
B1=	1.85 mts	Talon mayor del muro diseñado por FSD
B1=	1.70 mts	Talon mayor del muro a usar. (multiplo 5)
B2=	0.43 mts.	Talon menor del muro diseñado por FSD y FSV
B2=	1.10 mts	Talon menor del muro a usar (multiplo 5)

5.00 VERIFICACION DE LA ESTABILIDAD



FUERZAS RESISTENTES

P	Pesos (P) Ton.	Brazo de giro (x) mt.	P*X (Ton-m)
P1	5.38 Ton	1.400 mt	7.53 Ton-m
P2	5.76 Ton	1.600 mt	9.22 Ton-m
P3	0.96 Ton	1.233 mt	1.18 Ton-m
P4	6.37 Ton	2.350 mt	14.98 Ton-m
Total	18.47 Ton		32.90 Ton-m

FUERZAS DESLIZANTES

H	FUERZAS (H) Ton.	Brazo de giro (x) mt.	H*X (Ton-m)
H1	5.77 Ton	1.48333333 mt	8.57 Ton-m
H2	2.01 Ton	2.225 mt	4.46 Ton-m
Total	7.78 Ton		13.03 Ton-m

CHEQUEO POR DESLIZAMIENTO

FSD= Hr/Ha= **verificar**

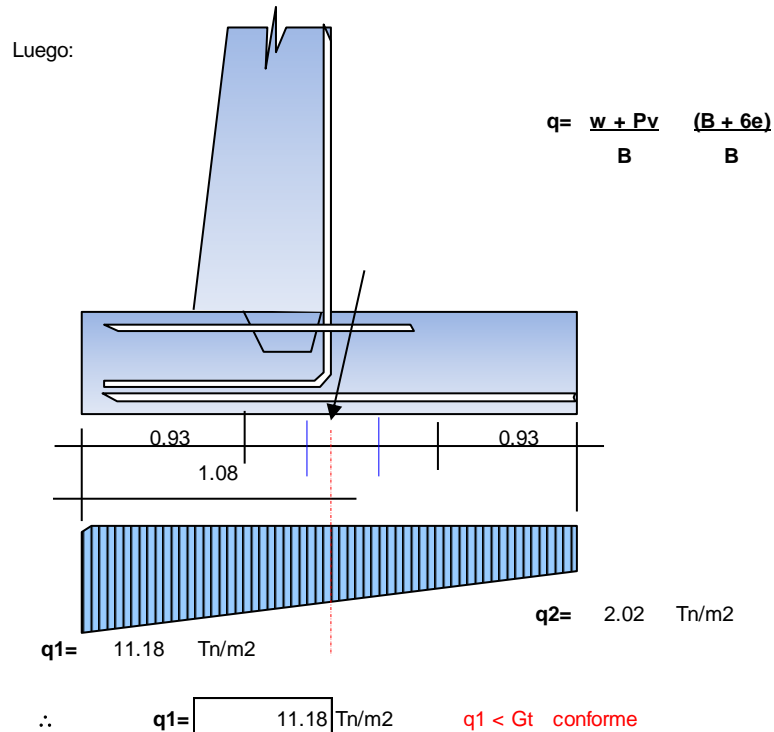
CHEQUEO POR VOLTEO

FSV= Mr/Ma= **>2,0 conforme**

6,00 PRESIONES SOBRE EL TERRENO

X= (Mr-Ma)/P= mts Posicion de la resultante
 e= mts Excentricidad con respecto al eje.
 B/6= mts tercio medio de la base.
e < B/6 ...conforme cae dentro del tercio medio

REACCION DEL TERRENO



7.00 DISEÑO DE PANTALLA

En la base:

Mu= 16.708 Tn-m. 8.7285714
 t2= 0.8 mts. 6.3
 d= 0.74 mts.

AREA DE APROXIMACION 0.0017138
 As= 6.60 cm2 0.0033571
 a= 1.6 cm 8.7285714

AREA REAL DE ACERO DE REFUERZO **DATO DE ITERACION**
 As= 6.00 cm2 **iterar**
 a= 1.41 cm a= 1.35 cm.

DISEÑO DE ACERO DE REFUERZO VERTICAL PRINCIPAL

Barra N#= 4

ϕ 1/2 a cada 0.21

TABLA NUMERO DE VARILLAS

NOTA: ESPACIAMIENTO MAXIMO 0,45 MTS.

Cuanti $\rho = \frac{As}{bd} = 0.00081$
 Cuanti $\rho = \frac{14}{fy} = 0.00333$

(usar area de acero mínima=0,00333*b*d)

Corrección ac no (si/no)

As=

Barra N#= 4

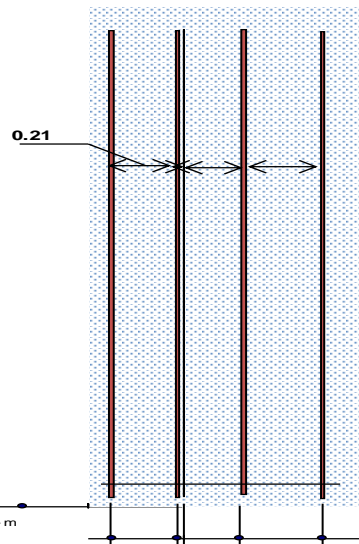
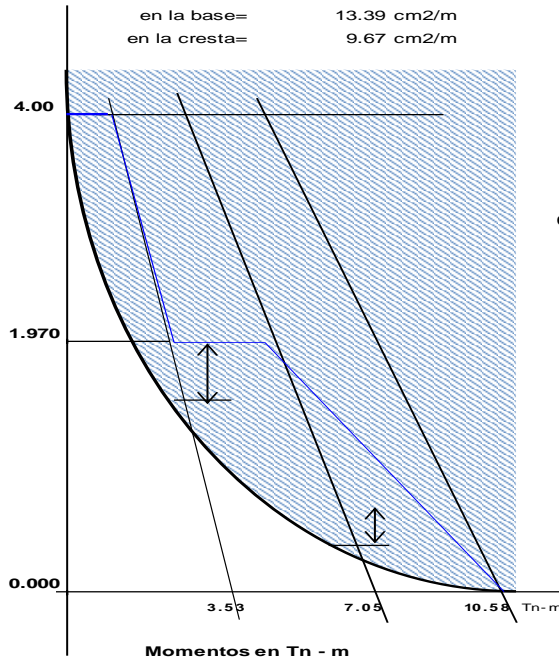
ϕ

N#	DIAMETRO	area
BARRRA	ϕ	cm2
2	1/4"	0.316
3	3/8"	0.713
4	1/2"	1.267
5	5/8"	1.978
6	3/4"	2.850
8	1"	5.067
11	1.3/8"	10.060

8.00 DISPOSICION DEL REFUERZO EN LA PANTALLA

Refuerzo mínimo:
 en la base= 13.39 cm2/m
 en la cresta= 9.67 cm2/m

DETALLE SEPARACION ACERO



ϕ 1/2 a cada 0.21
DISEÑO DEL ARMADO

9.00 DISPOSICION DEL ACERO DE REFUERZO HORIZONTAL

A) REFUERZO HORIZONTAL ARRIBA:

$\frac{1}{3} As = 8 \text{ cm}^2$  **12.00 cm²/m**

ϕ 3/8 a cada 0.09 m

TABLA NUMERO DE VARILLAS

$As/3 = 4 \text{ cm}^2$ 


ϕ 3/8 a cada 0.25 m

NOTA: ESPACIAMIENTO MAXIMO SERA DE 0,45 CM

C) REFUERZO HORIZONTAL ABAJO:

$\frac{1}{3} As = 10.67 \text{ cm}^2$  **16.00 cm²/m**


ϕ 3/8 a cada 0.15 m

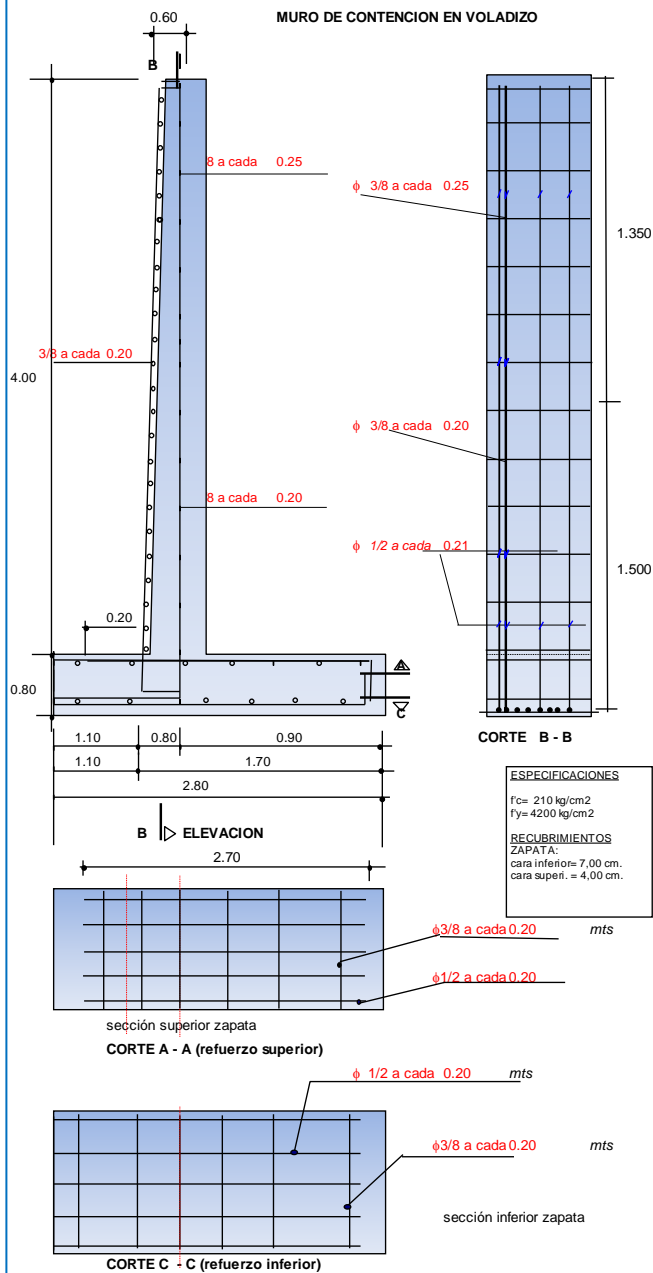
$As/3 = 5.333 \text{ cm}^2$ 

ϕ 3/8 a cada 0.22 m



NOTA: ESPACIAMIENTO MAXIMO SERA DE 0,45 CM


N#	DIAMETRO	area
BARRA	f	cm ²
2	1/4"	0.316
3	3/8"	0.713
4	1/2"	1.267
5	5/8"	1.978
6	3/4"	2.85
8	1"	5.067
11	1.3/8"	10.06

Area de Acero de Montaje
2.8  **cm²/m**
 ϕ 3/8 a cada 0.25 m



Anexo N° 09: Resultados del ensayo de corte directo.

		PROYECTO DE TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE TALUDES CON EL SISTEMA ERDOX EN EL KM 47 DE LACARRETERA CU-566: PE-28B DEL DISTRITO CIELO PUNCO – LA CONVENCION – CUSCO".			
		ENERO - 2024			
ENSAYO	:	CORTE DIRECTO			
NORMA	:	ASTM D3080			
INFORME	:	PROYECTO DE TESIS			
SOLICITANTE	:	BACH. GENRY CAYO CARDENAS MORALES			
PROYECTO	:	"ESTABILIZACIÓN DE TALUDES CON EL SISTEMA ERDOX EN EL KM 47 DE LACARRETERA CU-566: PE-28B DEL DISTRITO CIELO PUNCO – LA CONVENCION – CUSCO"			
UBICACION	:	EMP PE-28B - CHIRUMPIARI - SAN CARLOS			
FECHA	:	ENERO 2024			
TIPO DE EXPLORACION	:	CALICATA			
No DE EXPLORACION	:	C - 01			
No DE MUESTRA	:	M - 01			
PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO	(m) :	-			
PROFUNDIDAD DEL ESTRATO	(m) :	1.50 - 2.00 m.			
VELOCIDAD DE ENSAYO	(mm/min) :	0.70			
ALTURA DE LA MUESTRA	(cm) :	2.00			
LADO DE LA MUESTRA	(cm) :	6.00			
ESTADO DE LA MUESTRA	:	REMOLDEADA			
CONDICION DE ENSAYO	:	HUMEDECIDO			
ESFUERZO NORMAL	(kg/cm²)	0.50	1.00	2.00	0.00
CONDICIONES INICIALES					
Contenido de Humedad (w)	(%)	11.00	4.35	4.35	-
Peso Específico (g)	(gr/cc)	1.94	1.65	1.65	-
Peso Específico Seco (gd)	(gr/cc)	1.74	1.58	1.58	-
Grado de Saturación (Gw)	(%)	90.85	90.85	90.85	-
ASENTAMIENTO DESPUES DE LA S/C	(%)	-0.432	-0.336	-0.719	0.000
CONDICIONES FINALES					
Contenido de Humedad (w)	(%)	23.32	21.12	19.75	-
PARAMETROS DE RESISTENCIA					
ESFUERZO CORTANTE	(kg/cm²)	0.53	0.61	1.14	0.00
COHESION (c)	(kg/cm²)				0.041
ANGULO DE FRICCION (F)	(°)				32.50


 SIX SIGMA INGENIEROS S.A.C.
 Ing. Jean Edison Palma Vañez
 CIP: 169359
 JEFE DE LABORATORIO



ENSAYO : CORTE DIRECTO
NORMA : ASTM D3080
INFORME : PROYECTO DE TESIS
SOLICITANTE : BACH. GENRY CAYO CARDENAS MORALES
PROYECTO : "ESTABILIZACIÓN DE TALUDES CON EL SISTEMA ERDOX EN EL KM 47 DE LACARRETERA CU-566: PE-28B DEL DISTRITO CIELO PUNCO - LA CONVENCION -CUSCO"
UBICACION : EMP PE-28B - CHIRUMPIARI - SAN CARLOS
FECHA : ENERO 2024
TIPO DE EXPLORACION : CALICATA
No DE EXPLORACION : C - 01
No DE MUESTRA : M - 01

ESFUERZO NORMAL (kg/cm²)	0.50	1.00	2.00	0.00
---------------------------------	------	------	------	------

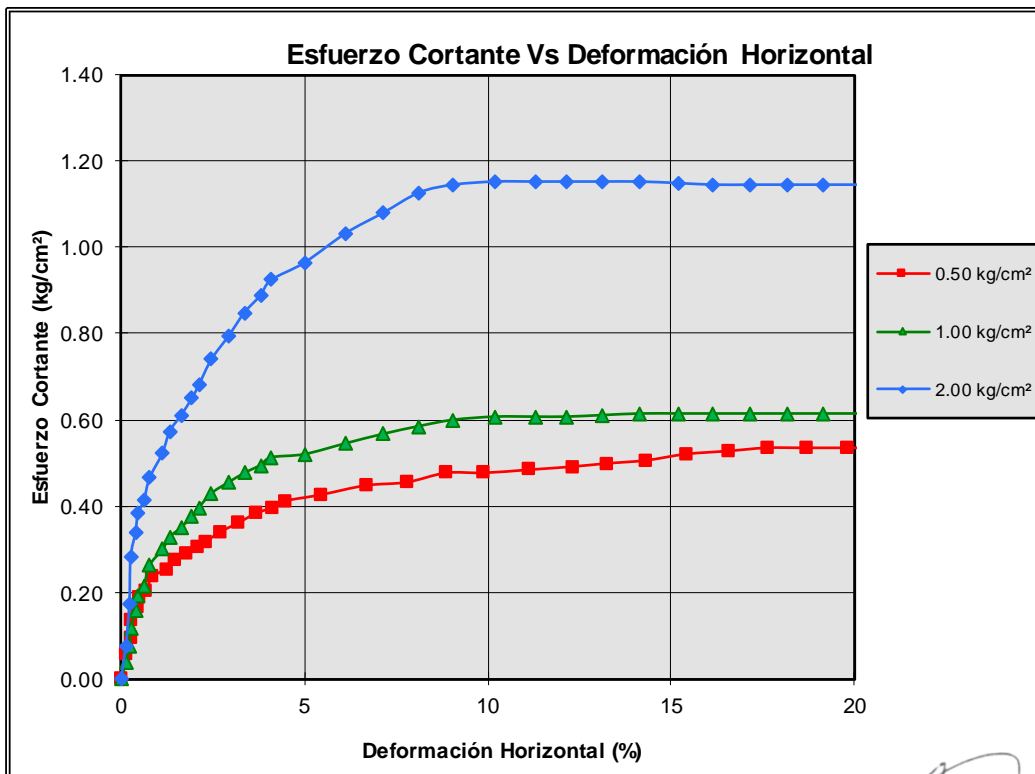
Esfuerzo Cortante Vs Deformación Horizontal	Deformación	Esfuerzo	Deformación	Esfuerzo	Deformación	Esfuerzo	Deformación	Esfuerzo
	Horizontal (%)	Cortante (kg/cm²)	Horizontal (%)	Cortante (kg/cm²)	Horizontal (%)	Cortante (kg/cm²)	Horizontal (%)	Cortante (kg/cm²)
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		-
	0.15	0.06	0.13	0.04	0.13	0.08		-
	0.25	0.09	0.23	0.08	0.23	0.17		-
	0.29	0.14	0.27	0.12	0.27	0.28		-
	0.44	0.17	0.40	0.16	0.40	0.34		-
	0.51	0.19	0.47	0.19	0.47	0.38		-
	0.69	0.20	0.63	0.22	0.63	0.42		-
	0.85	0.24	0.78	0.26	0.78	0.47		-
	1.24	0.25	1.13	0.30	1.13	0.52		-
	1.45	0.27	1.33	0.33	1.33	0.57		-
	1.78	0.29	1.63	0.35	1.63	0.61		-
	2.11	0.30	1.93	0.38	1.93	0.65		-
	2.33	0.32	2.13	0.40	2.13	0.68		-
	2.69	0.34	2.47	0.43	2.47	0.74		-
	3.20	0.36	2.93	0.46	2.93	0.79		-
	3.67	0.38	3.37	0.48	3.37	0.85		-
	4.15	0.40	3.80	0.49	3.80	0.89		-
	4.47	0.41	4.10	0.51	4.10	0.92		-
	5.45	0.43	5.00	0.52	5.00	0.96		-
	6.69	0.45	6.13	0.55	6.13	1.03		-
	7.80	0.46	7.15	0.57	7.15	1.08		-
	8.87	0.48	8.13	0.59	8.13	1.13		-
	9.89	0.48	9.07	0.60	9.07	1.14		-
	11.13	0.48	10.20	0.61	10.20	1.15		-
	12.33	0.49	11.30	0.61	11.30	1.15		-
	13.24	0.50	12.13	0.61	12.13	1.15		-
	14.33	0.51	13.13	0.61	13.13	1.15		-
	15.42	0.52	14.13	0.61	14.13	1.15		-
	16.58	0.53	15.20	0.61	15.20	1.15		-
	17.62	0.53	16.15	0.61	16.15	1.14		-
	18.69	0.53	17.13	0.61	17.13	1.14		-
	19.80	0.53	18.15	0.61	18.15	1.14		-
	20.89	0.53	19.15	0.61	19.15	1.14		-
	22.73	0.53	-	0.61	20.83	1.14		-

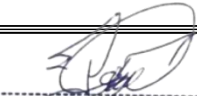


SIX SIGMA INGENIEROS S.A.C.
 Ing. Jean Edison Palma Vañez
 CIP 169359
 JEFE DE LABORATORIO



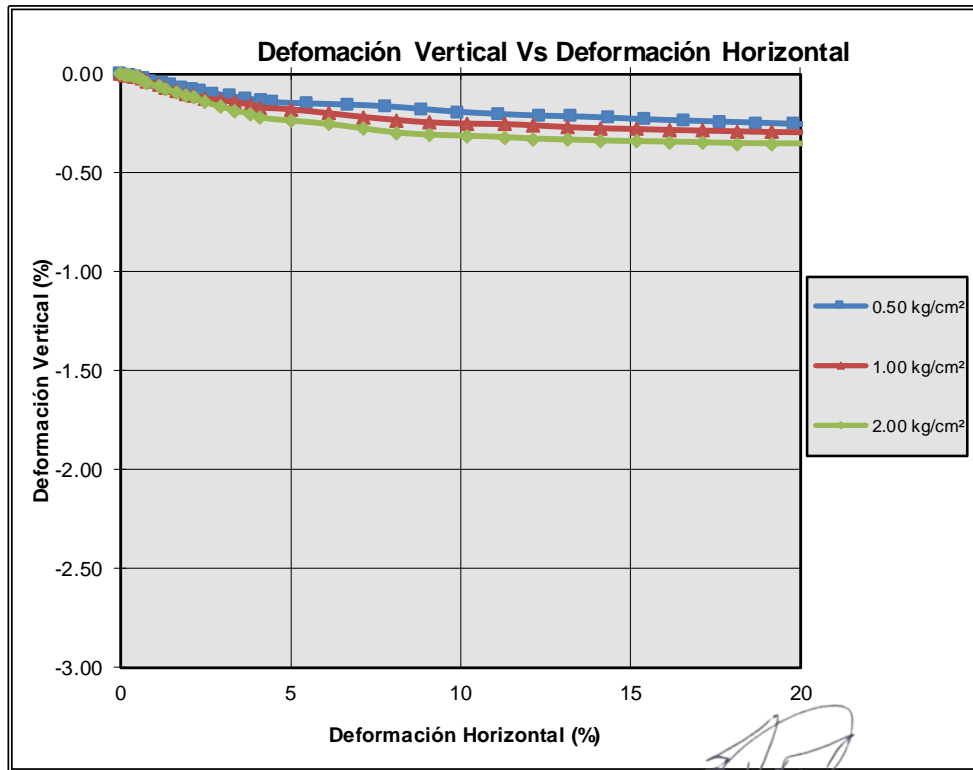
ENSAYO : CORTE DIRECTO
NORMA : ASTM D3080
INFORME : PROYECTO DE TESIS
SOLICITANTE : BACH. GENRY CAYO CARDENAS MORALES
PROYECTO : "ESTABILIZACIÓN DE TALUDES CON EL SISTEMA ERDOX EN EL KM 47 DE LACARRETERA CU-566: PE-28B DEL DISTRITO CIELO PUNCO - LA CONVENCIÓN - CUSCO"
UBICACION : EMP PE-28B - CHIRUMPIARI - SAN CARLOS
FECHA : ENERO 2024
TIPO DE EXPLORACION : CALICATA
No DE EXPLORACION : C - 01
No DE MUESTRA : M - 01





 SIX SIGMA INGENIEROS S.A.C.
 Ing. Jean Edison Palma Vañez
 CIP 169359
 JEFE DE LABORATORIO



ENSAYO : CORTE DIRECTO
NORMA : ASTM D3080
INFORME : PROYECTO DE TESIS
SOLICITANTE : BACH. GENRY CAYO CARDENAS MORALES
PROYECTO : LACARRETERA CU-566: PE-28B DEL DISTRITO CIELO PUNCO - LA CONVENCIÓN - CUSCO"
UBICACION : EMP PE-28B - CHIRUMPIARI - SAN CARLOS
FECHA : ENERO 2024
TIPO DE EXPLORACION : CALICATA
No DE EXPLORACION : C - 01
No DE MUESTRA : M - 01

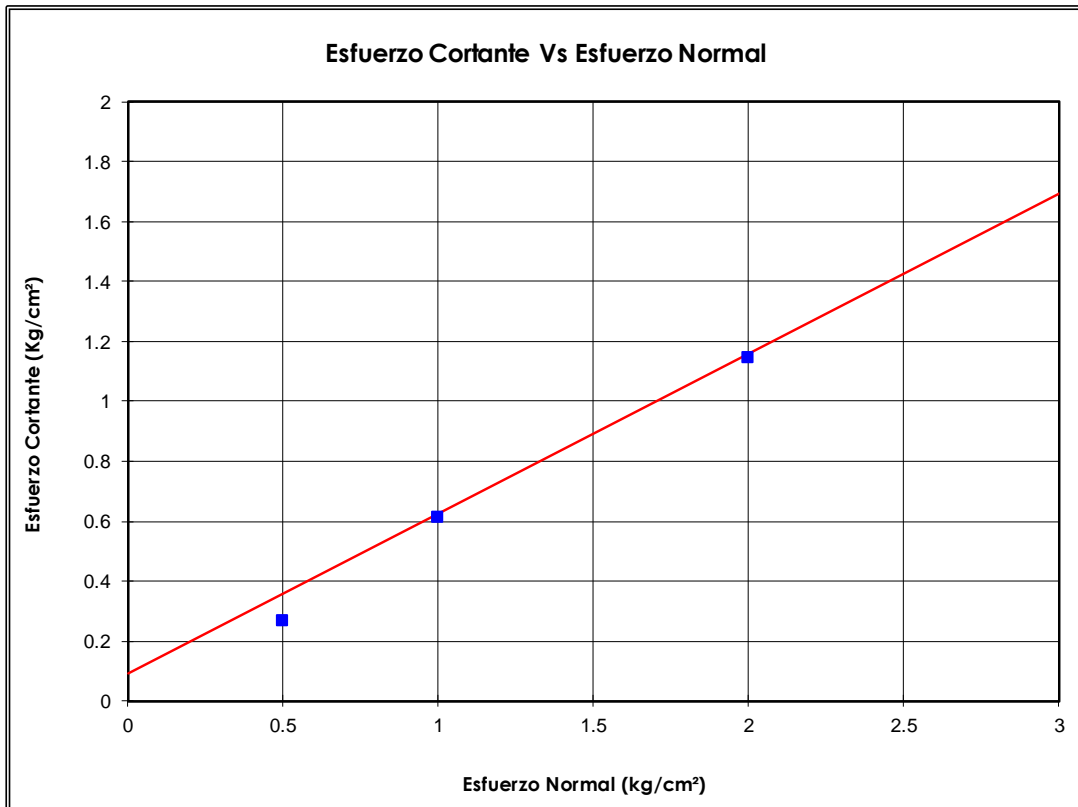




 SIX SIGMA INGENIEROS S.A.C.
 Ing. Jean Edison Palma Vañez
 CIP 169359
 JEFE DE LABORATORIO



ENSAYO : CORTE DIRECTO
NORMA : ASTM D3080
INFORME : PROYECTO DE TESIS
SOLICITANTE : BACH. GENRY CAYO CARDENAS MORALES
PROYECTO : "ESTABILIZACIÓN DE TALUDES CON EL SISTEMA ERDOX EN EL KM 47 DE LACARRETERA CU-566: PE-28B DEL DISTRITO CIELO PUNCO - LA CONVENCION -CUSCO"
UBICACION : EMP PE-28B - CHIRUMPIARI - SAN CARLOS
FECHA : ENERO 2024
TIPO DE EXPLORACION : CALICATA
No DE EXPLORACION : C - 01
No DE MUESTRA : M - 01

PARAMETROS DE RESISTENCIA




 SIX SIGMA INGENIEROS S.A.C.
 Ing. Jean Edison Palma Vañez
 CIP: 169359
 JEFE DE LABORATORIO

COHESION (c)	(kg/cm²)	0.041
ANGULO DE FRICCION (F)	(°)	32.50



ENSAYO	: CORTE DIRECTO
NORMA	: ASTM D3080
INFORME	: PROYECTO DE TESIS
SOLICITANTE	: BACH. GENRY CAYO CARDENAS MORALES
PROYECTO	: "ESTABILIZACIÓN DE TALUDES CON EL SISTEMA ERDOX EN EL KM 47 DE LACARRETERA CU-566: PE-28B DEL DISTRITO CIELO PUNCO - LA CONVENCIÓN -CUSCO"
UBICACION	: EMP PE-28B - CHIRUMPIARI - SAN CARLOS
FECHA	: ENERO 2024
TIPO DE EXPLORACION	: CALICATA
No DE EXPLORACION	: C - 02
No DE MUESTRA	: M - 02
PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO (m)	: -
PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m)	: 1.50 - 2.00 m.
VELOCIDAD DE ENSAYO (mm/min)	: 0.70
ALTURA DE LA MUESTRA (cm)	: 2.00
LADO DE LA MUESTRA (cm)	: 6.00
ESTADO DE LA MUESTRA	: REMOLDEADA
CONDICION DE ENSAYO	: HUMEDECIDO

ESFUERZO NORMAL (kg/cm²)	0.50	1.00	2.00	0.00
---------------------------------	------	------	------	------

CONDICIONES INICIALES

Contenido de Humedad (w) (%)	11.00	4.35	4.35	-
Peso Específico (g) (gr/cc)	2.04	1.65	1.65	-
Peso Específico Seco (gd) (gr/cc)	1.84	1.58	1.58	-
Grado de Saturación (Gw) (%)	132.45	132.45	132.45	-

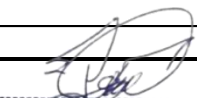
ASENTAMIENTO DESPUES DE LA S/C (%)	-0.432	-0.336	-0.719	0.000
---	--------	--------	--------	-------

CONDICIONES FINALES

Contenido de Humedad (w) (%)	26.23	24.21	21.57	-
------------------------------	-------	-------	-------	---

PARAMETROS DE RESISTENCIA

ESFUERZO CORTANTE (kg/cm²)	0.55	0.65	1.27	0.00
COHESION (c) (kg/cm²)				0.000
ANGULO DE FRICCION (F) (°)				35.50



 SIX SIGMA INGENIEROS S.A.C.
 Ing. Jean Edison Palma Vañez
 CIP 169359
 JEFE DE LABORATORIO



ENSAYO : CORTE DIRECTO
NORMA : ASTM D3080
INFORME : PROYECTO DE TESIS
SOLICITANTE : BACH. GENRY CAYO CARDENAS MORALES
PROYECTO : "ESTABILIZACIÓN DE TALUDES CON EL SISTEMA ERDOX EN EL KM 47 DE LACARRETERA CU-566: PE-28B DEL DISTRITO CIELO PUNCO - LA CONVENCION -CUSCO"
UBICACION : EMP PE-28B - CHIRUMPIARI - SAN CARLOS
FECHA : ENERO 2024
TIPO DE EXPLORACION : CALICATA
No DE EXPLORACION : C - 02
No DE MUESTRA : M - 02

ESFUERZO NORMAL (kg/cm²) 0.50 1.00 2.00 0.00

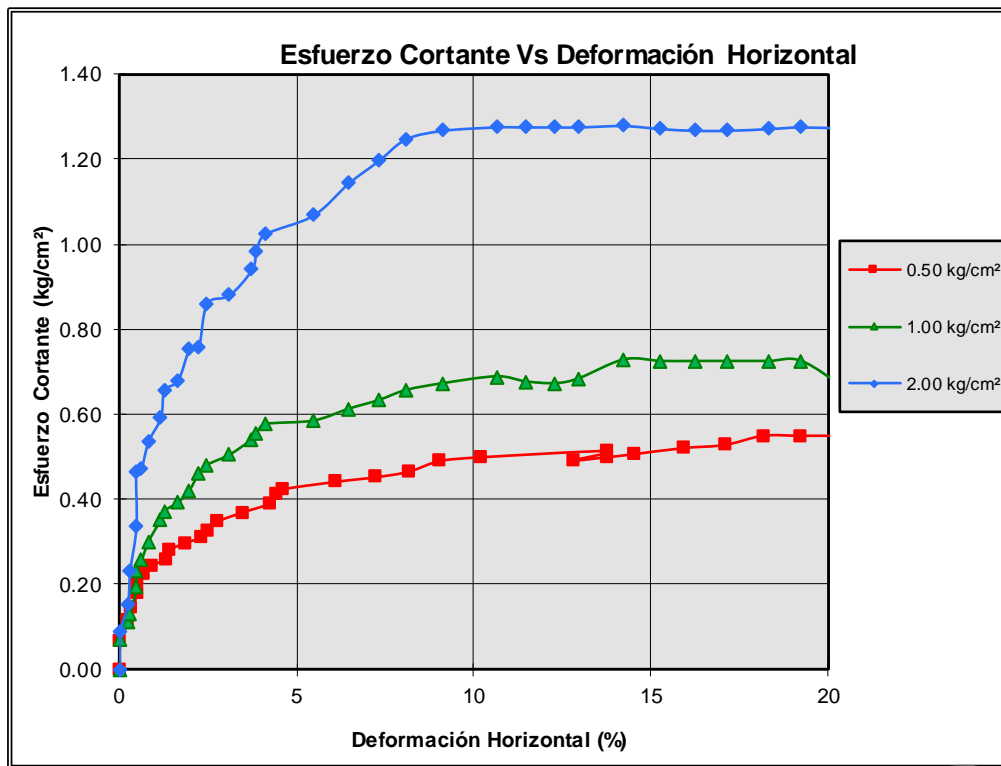
Esfuerzo Cortante Vs Deformación Horizontal	Deformación Horizontal	Esfuerzo Cortante	Deformación Horizontal	Esfuerzo Cortante	Deformación Horizontal	Esfuerzo Cortante	Deformación Horizontal	Esfuerzo Cortante
	(%)	(kg/cm²)	(%)	(kg/cm²)	(%)	(kg/cm²)	(%)	(kg/cm²)
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		-
	0.03	0.07	0.02	0.07	0.02	0.09		-
	0.26	0.12	0.23	0.11	0.23	0.15		-
	0.34	0.14	0.30	0.13	0.30	0.23		-
	0.53	0.18	0.48	0.19	0.48	0.34		-
	0.52	0.21	0.47	0.23	0.47	0.46		-
	0.69	0.22	0.62	0.26	0.62	0.47		-
	0.91	0.24	0.82	0.30	0.82	0.54		-
	1.31	0.26	1.17	0.35	1.17	0.59		-
	1.41	0.28	1.26	0.37	1.26	0.66		-
	1.85	0.30	1.65	0.39	1.65	0.68		-
	2.33	0.31	1.97	0.42	1.97	0.75		-
	2.50	0.33	2.23	0.46	2.23	0.76		-
	2.76	0.35	2.47	0.48	2.47	0.86		-
	3.47	0.37	3.10	0.50	3.10	0.88		-
	4.27	0.39	3.73	0.54	3.73	0.94		-
	4.44	0.41	3.87	0.56	3.87	0.98		-
	4.61	0.42	4.12	0.58	4.12	1.02		-
	6.12	0.44	5.47	0.58	5.47	1.07		-
	7.24	0.45	6.47	0.61	6.47	1.14		-
	8.17	0.46	7.30	0.63	7.30	1.20		-
	9.05	0.49	8.08	0.66	8.08	1.25		-
	10.22	0.50	9.13	0.67	9.13	1.27		-
	13.77	0.51	10.63	0.69	10.63	1.28		-
	12.82	0.49	11.45	0.68	11.45	1.28		-
	13.77	0.50	12.30	0.67	12.30	1.28		-
	14.51	0.51	12.97	0.68	12.97	1.28		-
	15.93	0.52	14.23	0.73	14.23	1.28		-
	17.09	0.53	15.27	0.72	15.27	1.27		-
	18.17	0.55	16.23	0.72	16.23	1.27		-
	19.22	0.55	17.17	0.72	17.17	1.27		-
	20.49	0.55	18.30	0.72	18.30	1.27		-
	21.53	0.55	19.23	0.72	19.23	1.28		-
	23.04	0.55	-	0.65	20.58	1.27		-

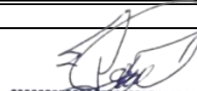


SIX SIGMA INGENIEROS S.A.C.
 Ing. Jean Edison Palma Vañez
 CIP 169359
 JEFE DE LABORATORIO



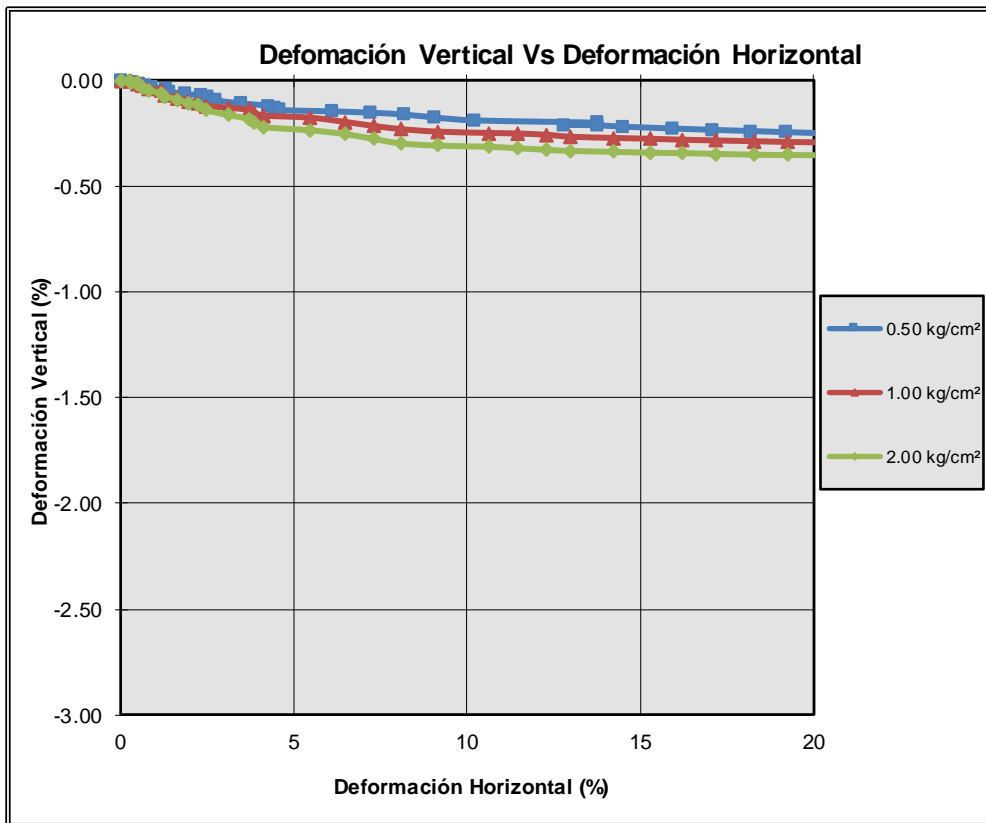
ENSAYO : CORTE DIRECTO
NORMA : ASTM D3080
INFORME : PROYECTO DE TESIS
SOLICITANTE : BACH. GENRY CAYO CARDENAS MORALES
PROYECTO : "ESTABILIZACIÓN DE TALUDES CON EL SISTEMA ERDOX EN EL KM 47 DE LACARRETERA CU-566: PE-28B DEL DISTRITO CIELO PUNCO - LA CONVENCION - CUSCO"
UBICACION : EMP PE-28B - CHIRUMPIARI - SAN CARLOS
FECHA : ENERO 2024
TIPO DE EXPLORACION : CALICATA
No DE EXPLORACION : C - 02
No DE MUESTRA : M - 02





 SIX SIGMA INGENIEROS S.A.C.
 Ing. Jean Edison Palma Vañez
 CIP: 169359
 JEFE DE LABORATORIO



ENSAYO : CORTE DIRECTO
NORMA : ASTM D3080
INFORME : PROYECTO DE TESIS
SOLICITANTE : BACH. GENRY CAYO CARDENAS MORALES
 "ESTABILIZACION DE TALUDES CON EL SISTEMA ERDOX EN EL KM 47 DE LACARRETERA CU-566: PE-28B DEL DISTRITO CIELO PUNCO - LA CONVENCIÓN - CUSCO"
PROYECTO : LACARRETERA CU-566: PE-28B DEL DISTRITO CIELO PUNCO - LA CONVENCIÓN - CUSCO"
UBICACION : EMP PE-28B - CHIRUMPIARI - SAN CARLOS
FECHA : ENERO 2024
TIPO DE EXPLORACION : CALICATA
No DE EXPLORACION : C - 02
No DE MUESTRA : M - 02

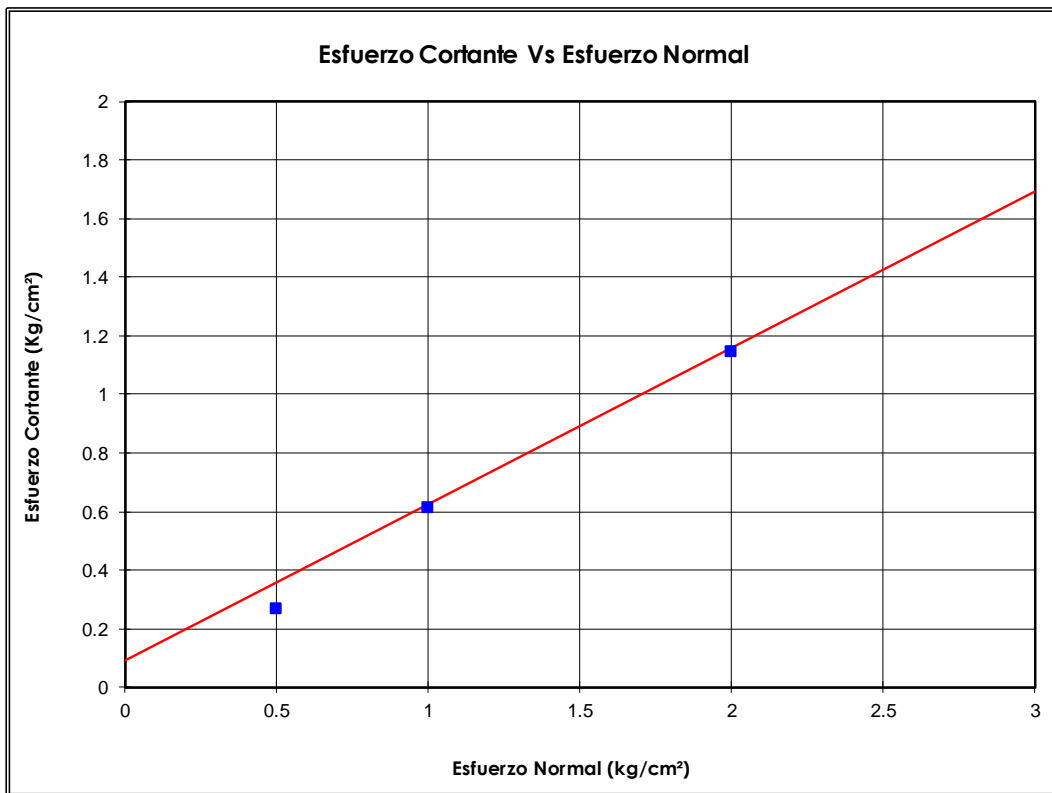



 SIX SIGMA INGENIEROS S.A.C.
 Ing. Jean Edison Palma Vañez
 CIP: 169359
 JEFE DE LABORATORIO



ENSAYO : CORTE DIRECTO
NORMA : ASTM D3080
INFORME : PROYECTO DE TESIS
SOLICITANTE : BACH. GENRY CAYO CARDENAS MORALES
PROYECTO : "ESTABILIZACIÓN DE TALUDES CON EL SISTEMA ERDOX EN EL KM 47 DE LA CARRETERA CU-566: PE-28B DEL DISTRITO CIELO PUNCO - LA CONVENCION -CUSCO"
UBICACION : EMP PE-28B - CHIRUMPIARI - SAN CARLOS
FECHA : ENERO 2024
TIPO DE EXPLORACION : CALICATA
No DE EXPLORACION : C - 02
No DE MUESTRA : M - 02

PARAMETROS DE RESISTENCIA



SIX SIGMA INGENIEROS S.A.C.
 Ing. Jean Edison Palma Viquez
 CIP 169359
 JEFE DE LABORATORIO

COHESION (c)	(kg/cm²)	0.000
ANGULO DE FRICCION (F)	(°)	35.50

Fotografía 01: Trabajo en campo toma de datos.



Fotografía 02: Medida del ancho de la plataforma.



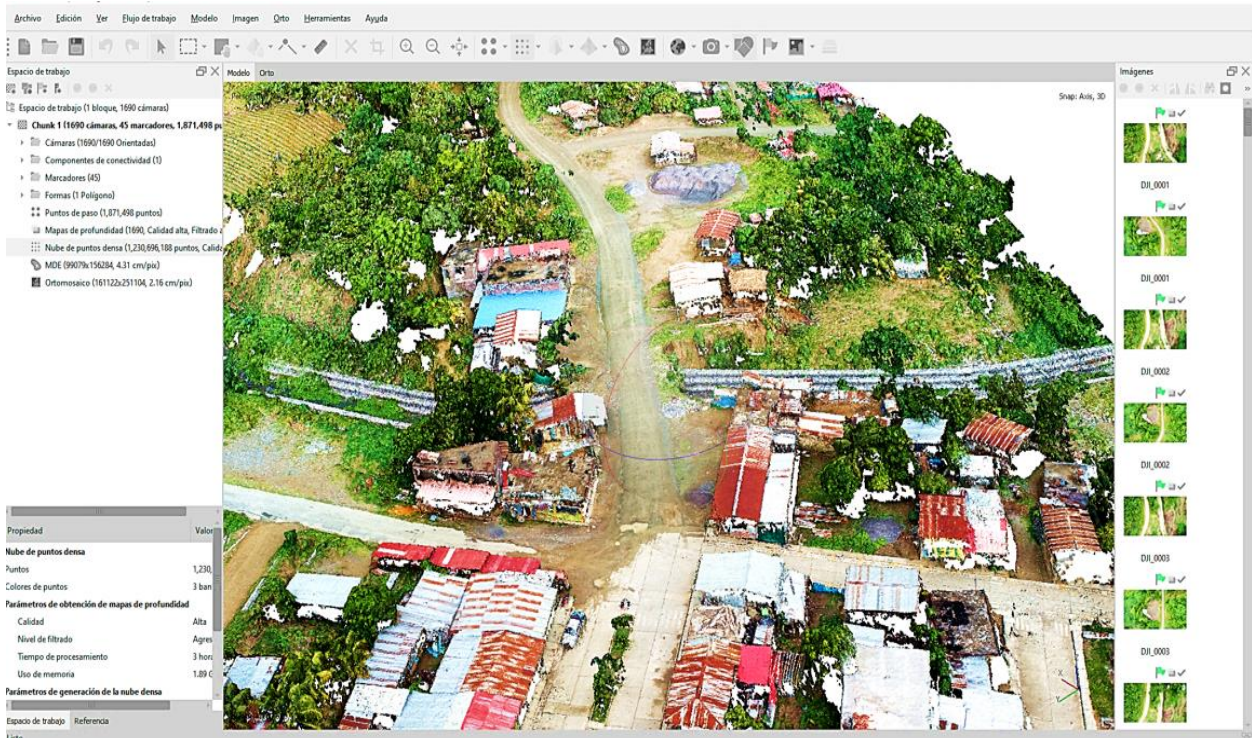
Fotografía 03: Presencia de falla geologica.



Fotografía 04: Presencia de falla por hundimiento



Fotografía 05: Interfaz del Agisoft Metashape.



Fotografía 06: Plan de vuelo de 10 faces.

