



Aplicación práctica en la implementación de sistemas de instrumentación y monitoreo para el control de riesgos de comportamientos en taludes de corredores viales.

Casa Centeno, Cristian Alexander; Chuquín Quito, Holger Robinson; Jaque Intriago, Pamela Beatriz; Montaquiza Panchi, Gabriel Sebastián; Sánchez Barroso, Gustavo Miguel y Véliz Oña, Jerson Alejandro

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

Ing. Morales Muñoz, Byron Omar Msc.

01 de septiembre del 2022



MIC-FINAL3.pdf

Scanned on: 14:0 August 24, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	255
Words with Minor Changes	15
Paraphrased Words	51
Omitted Words	0



BYRON OMAR
MORALES MUNOZ



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

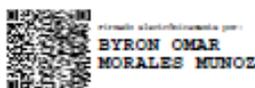
Carrera de Ingeniería Civil

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: "**Aplicación práctica en la implementación de sistemas de instrumentación y monitoreo para el control de riesgos de comportamientos en taludes de corredores viales.**" fue realizado por los señores Casa Centeno, Cristian Alexander; Chuquín Quito, Holger Robinson; Jaque Intriago, Pamela Beatriz; Montaquiza Panchi, Gabriel Sebastián; Sánchez Barroso, Gustavo Miguel y Véliz Oña, Jerson Alejandro; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 24 de agosto de 2022

Firma:



Ing. Morales Muñoz, Byron Omar

C.C.: 1712565900



Departamento De Ciencias De La Tierra y de la Construcción
Carrera de Ingeniería Civil

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Casa Centeno, Cristian Alexander; Chuquín Quito, Holger Robinson; Jaque Intriago, Pamela Beatriz; Montaquizza Panchi, Gabriel Sebastian; Sánchez Barroso, Gustavo Miguel; Véliz Oña, Jerson Alejandro**, con cédulas de ciudadanía N° **0503327041, 1003233325, 1750018143, 1726342718, 1600574774, 1723763577** respectivamente; declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de Integración Curricular "**Aplicación práctica en la implementación de sistemas de instrumentación y monitoreo para el control de riesgos de comportamientos en taludes de corredores viales.**", es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 24 de agosto de 2022


Casa Centeno, Cristian Alexander

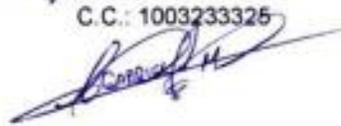
C.C.: 0503327041


Chuquín Quito, Holger Robinson

C.C.: 1003233325


Jaque Intriago, Pamela Beatriz

C.C.: 1750018143


Montaquizza Panchi, Gabriel Sebastian

C.C.: 1726342718


Sánchez Barroso, Gustavo Miguel

C.C.: 1600574774


Véliz Oña, Jerson Alejandro

C.C.: 1723763577



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción
Carrera de Ingeniería Civil

Autorización de Publicación

Nosotros, Casa Centeno, Cristian Alexander; Chuquín Quito, Holger Robinson; Jaque Intriago, Pamela Beatriz; Montaquiza Panchi, Gabriel Sebastian; Sánchez Barroso, Gustavo Miguel; Véliz Oña, Jerson Alejandro, con cédulas de ciudadanía N° 0503327041, 1003233325, 1750018143, 1726342718, 1600574774, 1723763577, respectivamente; autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de Integración Curricular "Aplicación práctica en la implementación de sistemas de instrumentación y monitoreo para el control de riesgos de comportamientos en taludes de corredores viales." en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.


Casa Centeno, Cristian Alexander

C.C.: 0503327041


Jaque Intriago, Pamela Beatriz

C.C.: 1750018143


Sánchez Barroso, Gustavo Miguel

C.C.: 1600574774

Sangolquí, 24 de agosto de 2022


Chuquín Quito, Holger Robinson

C.C.: 1003233325


Montaquiza Panchi, Gabriel Sebastian

C.C.: 1726342718


Véliz Oña, Jerson Alejandro

C.C.: 1723763577

CONTENIDO	
Resumen	19
Abstract.....	20
Capítulo I	21
Introducción.....	21
Antecedentes	22
Objetivos.....	23
Objetivo General.....	23
Objetivos Específicos	23
Capitulo II: Marco Teórico.....	24
Roca.....	24
Definición	24
Origen y formación	24
Propiedades	24
Suelo	25
<i>Definición</i>	25
<i>Origen y formación</i>	25
<i>Propiedades Mecánicas</i>	26
Ensayos Destructivos o directos	26
Ensayo de Clasificación SUCS.....	27
Ensayo de Compresión Simple (No Confinada)	34

Ensayo de Corte Directo	35
Ensayo Triaxial	36
Ensayos No destructivos	38
Sísmica de Refracción	38
Resistividad Eléctrica.....	40
Talud	43
Definición	43
Tipos de Fallas	44
Deslizamientos	44
Método del Equilibrio Límite	45
Método de Elementos Finitos.....	45
Método de deformación.....	46
Factor de Seguridad	46
Métodos Determinísticos en la estabilidad de taludes	48
Método de Bishop Simplificado (1955).....	48
Método de Janbu (1967).....	49
Método de Morgenstern & Price (1965)	50
Consideraciones Sísmicas	51
Instrumentación para el control de taludes	52
Instrumentos, equipos y métodos.....	53

Uso de transductores.....	57
Sistema TDR (Time Domain Reflectometry)	57
Presión	58
Transductor.....	59
Transductores de presión	59
Clasificación de los transductores.....	59
Transductores de fuerza	61
Tipos de transductores de Fuerza.....	62
Humedad.....	63
Transductores de humedad	63
Clasificación y funcionamiento	64
Acelerómetro	64
Giroscopio	66
Capítulo III.....	68
Descripción de la zona de estudio	68
Ubicación	68
Condiciones climáticas.....	68
Precipitación	69
Temperatura	69
Humedad.....	70

Aspectos físicos	71
Geología	72
Actividades de campo	72
Levantamiento Topografía.....	72
Procesamiento de datos.	75
Ensayo de Clasificación SUCS	75
Ensayo de Compresión No Confinada.....	76
Ensayo de Corte Directo	77
Ensayo Triaxial	77
Ensayos geofísicos.....	78
Sísmica de Refracción	79
Resistividad Eléctrica.....	81
Capítulo IV: Análisis De Estabilidad Del Talud En Condiciones Actuales	84
Plaxis 2D - V20.....	84
Procedimiento para el modelamiento en Plaxis 2D.....	85
Resultados del Análisis.....	92
Discusión PLAXIS 2D.....	104
GeoStudio R2 2018	105
Análisis en GeoSlope - Perfil 1	105
Superficie de deslizamiento	105

	10
Cargas Sísmicas	106
Bishop – Perfil 1	108
Janbu – Perfil 1.....	109
Morgenstern & Price - Perfil 1	110
Análisis en Geoslope – Perfil 2.....	111
Bishop – Perfil 2	111
Janbu – Perfil 2.....	112
Morgenstern & Price – Perfil 2	113
Análisis en Geoslope Perfil-3	114
Bishop Perfil-3.....	114
Janbu Perfil-3	116
Morgenstern & Price Perfil-3	117
Discusión GeoSlope.....	118
Capítulo V: Propuesta de mitigación para controlar la erosión del Talud y su estabilidad	120
Propuesta de Estabilidad por Corrección Superficial.....	120
Canales con revestimiento de geomembrana	122
Capítulo VI: Propuesta de Monitoreo del Talud	127
Propuesta de instrumentación de medición	127
Cuerpo del prototipo	127
Procedimiento para obtener espuma de poliuretano	128

Transductor de humedad.....	130
Transductor de fuerza.....	131
Giroscopio	132
Características Giroscopio MEMS de triple eje en el MPU-60X0.....	132
Acelerómetro	133
Características Acelerómetro MEMS de triple eje en MPU-60X0	133
Módulo lector de adaptador de tarjeta Micro SDHC mini TF para Arduino	134
Control de tiempo para registros.....	134
Módulo RTC DS1302, Reloj de tiempo real.....	134
Costos estimados de propuesta de instrumentación y monitoreo de taludes.....	138
Primera propuesta de costos	139
Propuesta de costos del cuerpo de prototipo (material de poliuretano)	141
Propuesta de costos del cuerpo de prototipo (material de PVC)	141
Propuesta de costos para monitoreo	142
Propuesta de costos definitiva.....	142
Capítulo VII: Conclusiones y Recomendaciones	144
Conclusiones	144
Recomendaciones.....	146
Bibliografía	148
Apéndices.....	155

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Propiedades de la matriz rocosa y métodos para su determinación.....	25
Tabla 2	Clasificación de materiales de carreteras subrasantes	28
Tabla 3	Velocidades de ondas sísmicas de corte típicas de materiales.....	39
Tabla 4	Velocidades de ondas sísmicas de corte de compresión	40
Tabla 5	Valores típicos de resistividad.....	42
Tabla 6	Factor de Seguridad Manual de estabilidad de USACE.....	47
Tabla 7	Factores de seguridad por corte mínimo	47
Tabla 8	Resultados de Clasificación SUCS.....	76
Tabla 9	Resultados de laboratorio.....	76
Tabla 10	Resultados de las pruebas de corte directo	77
Tabla 11	Resultados de las pruebas triaxial.....	77
Tabla 12	Resumen de velocidades de onda de corte	80
Tabla 13	Resumen de las velocidades de onda de compresión	81
Tabla 14	Modelo Invertido de la Resistividad	82
Tabla 15	Cuadro resumen de estratos presentes en el talud.....	83
Tabla 16	Propiedades Mecánicas - Estrato 1 ML.....	85
Tabla 17	Propiedades Mecánicas - Estrato 2 ML (Cangahua).....	86
Tabla 18	Propiedades Mecánicas - Estrato 3 GP (Aluvial)	86
Tabla 19	NEC-SE-CG Carga Viva: sobrecargas mínimas. (Tabla 9)	88
Tabla 20	Tabla resumen de resultados Plaxis.....	104
Tabla 21	Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto	107
Tabla 22	Resumen Resultados Perfil 1.....	111

Tabla 23 Resumen Resultados Perfil2.....	114
Tabla 24 Resumen Resultados perfil 3.....	118
Tabla 25 Tabla comparativa de factores de seguridad - Perfil 1.	118
Tabla 26 Tabla comparativa de factores de seguridad - Perfil 2.	119
Tabla 27 Tabla comparativa de factores de seguridad - Perfil 3.	120
Tabla 28 Coeficientes de escorrentía.....	124
Tabla 29 Coeficientes de escorrentía.....	124
Tabla 30 Velocidades medias máximas admisibles del agua en canales.....	125
Tabla 31 Presentaciones y propiedades generales, físicas y mecánicas del poliuretano.....	128
Tabla 32 Propiedades de la reacción química de la espuma de poliuretano.	128
Tabla 33 Características finales de la espuma de poliuretano	128
Tabla 34 Muestra de sensibilidad del eje transversal como porcentajes de sensibilidad.....	133
Tabla 35 Presupuesto referencial del prototipo mediante cable de fuente de alimentación para arduino (Suministro)	139
Tabla 36 Presupuesto del prototipo mediante una batería recargable de litio (Suministro). ...	140
Tabla 37 Presupuesto referencial del cuerpo del prototipo.....	141
Tabla 38 Presupuesto referencial del cuerpo del prototipo PVC	141
Tabla 39 Presupuesto del monitoreo	142
Tabla 40 Presupuesto de costo total (incluye suministro e instalación).	142

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Dispositivo de límite líquido y herramienta de ranurado	31
Figura 2 Gráfica de Plasticidad.....	32
Figura 3 Esfuerzo normal vs Resistencia al Corte	36
Figura 4 Dromocrona y tomografía	39
Figura 5 Geometría de los electrodos.....	42
Figura 6 Expresividad de la resistividad	43
Figura 7 Deslizamientos en laderas	44
Figura 8 Fuerzas consideradas en el método de Bishop.....	48
Figura 9 Equilibrio estático de Fuerzas Janbu.....	49
Figura 10 Cálculo del factor correctivo f_0 Método de Janbu.....	49
Figura 11 Equilibrio estático de Fuerzas Morgenstern-Price.....	50
Figura 12 Diagrama de instalación de un extensómetro horizontal.	54
Figura 13 Esquema del equipo y funcionamiento de un extensómetro vertical.....	55
Figura 14 Monitoreo de deslizamientos utilizando inclinómetros y piezómetros.	55
Figura 15 Piezómetro de tubo abierto con ranuras verticales.	56
Figura 16 Implementación de inclinómetros en estructuras.....	57
Figura 17 TDR (Time Domain Reflectometry)	58
Figura 18 Sensores resistivos.....	60
Figura 19 Sensor Piezorresistivo	60
Figura 20 Sensor Piezoeléctrico	61
Figura 21 Sensor Capacitivo.....	61
Figura 22 Sensor piezoeléctrico de fuerza.....	62

Figura 23 Sensor Capacitivo.....	65
Figura 24 Sensor Piezorresistivos	66
Figura 25 Sensores piezoeléctricos.....	66
Figura 26 Ilustración de giroscopio con relación a sus ejes.....	67
Figura 27 Zona de estudio	68
Figura 28 <i>Probabilidad diaria de precipitación en Quito</i>	69
Figura 29 Temperatura máxima y mínima promedio en Quito.....	70
Figura 30 Niveles de comodidad de la humedad en Quito.....	70
Figura 31 Condiciones del suelo en la cabeza del talud	71
Figura 32 Evidencia de escarpes en el cuerpo del talud.....	71
Figura 33 Edificación cercana a la cabeza del talud.....	72
Figura 34 <i>Mapa topográfico del talud</i>	74
Figura 35 <i>Perfil transversal del talud a lo largo de la línea A y B</i>	74
Figura 36 Ubicación de los sondeos realizados en campo.....	75
Figura 37 Grafica del círculo de Mohr con la envolvente de falla	78
Figura 38 Mapa de ubicación de las líneas para el estudio de ensayos geofísicos	78
Figura 39 Perfiles de las líneas para el estudio de ensayos geofísicos	79
Figura 40 Diagrama de ensayo de refracción sísmica.....	79
Figura 41 Perfil estratigráfico del Talud.....	83
Figura 42 Perfiles analizados.....	84
Figura 43 Definición de la Geometría - Perfil 1.....	85
Figura 44 Asignación de propiedades generales de suelo.....	87
Figura 45 Asignación de propiedades generales de suelo.....	87
Figura 46 Cálculo de carga actuante.....	88

Figura 47 Opción para generar mallado.	89
Figura 48 Mallado del talud.	89
Figura 49 Selección de Nodos.	89
Figura 50 Opción para generar nivel freático.	90
Figura 51 Fase Inicial plaxis.	91
Figura 52 Fase Elástico-Plástico plaxis.	91
Figura 53 Fase Factor de Seguridad.	92
Figura 54 Geometría del talud - Perfil 1.	92
Figura 55 Deformación del talud - Perfil 1.	93
Figura 56 Esfuerzos efectivos – Perfil 1.	93
Figura 57 Plano de Falla del talud - Perfil 1.	94
Figura 58 Análisis nodo 499.	94
Figura 59 Factor de Seguridad vs Deformación.	95
Figura 60 Análisis nodo 197.	95
Figura 61 Factor de Seguridad vs Deformación.	96
Figura 62 Geometría del talud - Perfil 2.	96
Figura 63 Deformación del talud - Perfil 2.	97
Figura 64 Esfuerzos efectivos - Perfil 2.	97
Figura 65 Plano de falla del talud - Perfil 2.	98
Figura 66 Análisis nodo 2887.	98
Figura 67 Factor de Seguridad vs Deformación.	99
Figura 68 Análisis nodo 2222.	99
Figura 69 Factor de Seguridad vs Deformación.	100
Figura 70 Geometría del talud - Perfil 3.	100

Figura 71	Deformación del talud - Perfil 3.....	101
Figura 72	Plano de falla del talud - Perfil 3.....	101
Figura 73	Esfuerzos efectivos - Perfil 3.....	102
Figura 74	Análisis nodo 3093.....	102
Figura 75	Factor de Seguridad vs Deformación.....	103
Figura 76	Análisis nodo 3196.....	103
Figura 77	Factor de Seguridad vs Deformaciones.....	104
Figura 78	Definición de la geometría y materiales del talud.....	105
Figura 79	Delimitación de la superficie de Deslizamiento.....	106
Figura 80	Mapa de Diseño Sísmico NEC.....	106
Figura 81	<i>Análisis Estático Bishop FS=1,857</i>	108
Figura 82	<i>Análisis Pseudo-estático Bishop FS=1,182</i>	108
Figura 83	<i>Análisis Estático Janbu FS=1,804</i>	109
Figura 84	<i>Análisis Pseudo-estático Janbu FS=1,104</i>	109
Figura 85	<i>Análisis Estático Morgenstern & Price FS=1,854</i>	110
Figura 86	<i>Análisis Pseudo-estático Morgenstern-Price FS=1,182</i>	110
Figura 87	<i>Análisis Estático Bishop FS=1,570</i>	111
Figura 88	<i>Análisis Pseudo-estático Bishop FS=1,040</i>	112
Figura 89	<i>Análisis Estático Janbu FS=1,578</i>	112
Figura 90	<i>Análisis Pseudo-estático Janbu FS=0,993</i>	113
Figura 91	<i>Análisis Estático Morgenstern & Price FS=1,598</i>	113
Figura 92	<i>Análisis Pseudo-estático Morgenstern-Price FS=1,077</i>	114
Figura 93	<i>Análisis Estático Bishop FS=1,462</i>	115
Figura 94	<i>Análisis Pseudo-estático Bishop FS=0,966</i>	115

Figura 95 Análisis Estático Janbu FS=1,425.....	116
Figura 96 Análisis Pseudo-estático Janbu FS=0,895	116
Figura 97 Análisis Estático Morgenstern-Price FS=1,460.....	117
Figura 98 Análisis Pseudo-estático Morgenstern & Price FS=0,966	117
Figura 99 Utilización de hiedra para estabilidad de Talud carretera panamericana E20.....	121
Figura 100 Utilización de hiedra para estabilidad de Talud carretera panamericana E20.....	121
Figura 101 Grietas y deformaciones en la corona del talud causa del mal drenaje.....	122
Figura 102 Revestimiento de canal con geomembrana	123
Figura 103 Área de precipitación.....	125
Figura 104 Modelamiento del canal en FlowMaster	126
Figura 105 Sección Canal con revestimiento de geomembrana	126
Figura 106 Mezcla de componente que conforman la espuma de poliuretano.	129
Figura 107 Mezclado y tiempo de espera para la obtención de la espuma de poliuretano.	129
Figura 108 Ilustración del proceso paso a paso para la obtención de espuma de poliuretano.	129
Figura 109 Propuesta de posicionamiento de los transductores.	130
Figura 110 Esquema mecánico de transductor de humedad.....	131
Figura 111 Esquema mecánico del transductor de presión FSR 402.....	131
Figura 112 Esquema mecánico del giroscopio MEMS de triple eje en el MPU-60X.....	132
Figura 113 Módulo de interfaz de tarjeta Micro SD	134
Figura 114 Módulo de reloj de tiempo real.....	135
Figura 115 Flujograma de propuesta de elaboración del prototipo de monitoreo.	136
Figura 116 Flujograma de funcionamiento de los componentes que conforman el prototipo.	137
Figura 117 Ubicación de la zona propuesta para la colocación del prototipo de monitoreo.	138
Figura 118 Propuesta para el cuerpo del prototipo de material de PVC.....	141

Resumen

En la actualidad existen taludes que, por actividad sísmica y debido a la zona que se ubica el país por la cordillera de los andes, tienden a ser susceptibles a deslizamientos que provocan inconvenientes en los principales corredores viales dedicados al tránsito y al comercio. En el presente trabajo se realiza el estudio de un talud ubicado en el corredor vial del ingreso a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Campus IASA, Sangolquí, ya que se evidenció pérdida de la capa vegetal, erosión y agrietamiento del suelo, y desprendimiento de suelo superficial en el cuerpo del talud, todo esto sumado a las malas condiciones del drenaje en la corona del talud, hacen aún más precarias las condiciones de estabilidad provocando un riesgo constante a la comunidad universitaria.

A fin de evaluar las condiciones actuales del talud se realizó la aplicación práctica de ensayos destructivos y no destructivos in situ y laboratorio, para conocer las propiedades índice y mecánicas del suelo presente en el talud, así mismo se desarrolló una modelación en softwares académicos como Plaxis 2D y Geoslope con el propósito de determinar planos de falla, deformaciones y calcular factores de seguridad importantes para el análisis de estabilidad del talud.

El estudio se complementa con una propuesta de control y monitoreo del talud con un prototipo de medición que consta de un tubo PVC que lleva incorporados transductores los cuales se encargan de recolectar información de humedad, presión y movimiento del suelo, se presentan datos de calibración indicadores de su correcto funcionamiento. Dicha propuesta ayudaría a investigaciones futuras en las cuales se pueda implementar este tipo de sistemas de monitoreo con aplicaciones que puedan llegar hasta modos de alerta sobre riesgos de inestabilidad en taludes para que puedan ser controlados.

Palabras Clave: Talud, diseño, monitoreo.

Abstract

Currently there are slopes that, due to seismic activity and because of the area where the country is located by the Andes Mountains, tend to be susceptible to landslides that cause inconveniences in the main road corridors dedicated to traffic and commerce. In the present work, a study of a slope located in the road corridor of the entrance to the Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE - Campus IASA, Sangolquí, is carried out, since it was evidenced loss of the vegetation layer, erosion and cracking of the soil, and detachment of surface soil in the body of the slope, all this added to the poor drainage conditions in the crown of the slope, make the stability conditions even more precarious, causing a constant risk to the university community.

In order to evaluate the current conditions of the slope, the practical application of destructive and non-destructive in situ and laboratory tests was carried out to determine the index and mechanical properties of the soil present in the slope. Likewise, a modeling in academic software such as Plaxis 2D and Geoslope was developed in order to determine failure planes, deformations and calculate important safety factors for the slope stability analysis.

The study is complemented with a proposal for control and monitoring of the slope with a measurement prototype consisting of a PVC pipe with built-in transducers which are responsible for collecting information on moisture, pressure and soil movement, calibration data indicators of its correct operation are presented. This proposal would help future research in which this type of monitoring systems can be implemented with applications that can reach alert modes on slope instability risks so that they can be controlled.

Key words: Slope, design, monitoring.

Capítulo I

Introducción

El diseño y construcción de vías a través del tiempo, nos ha permitido enlazarnos con diferentes lugares que antes eran inaccesibles, sin darle importancia al control de taludes y terraplenes. A pesar de que la tecnología ha avanzado en el campo de la ingeniería civil enfocándose en el diseño estructural, hidráulica y la ingeniería vial, las teorías y estudios de la mecánica de suelos no han avanzado con la misma intensidad.

Con lo anterior mencionado, el estudio de estabilización de taludes es un factor imprescindible para el diseño de corredores viales de modo que estos no provoquen inconvenientes en el nivel de serviciabilidad y vida útil. El control y monitoreo de taludes es una estrategia importante para dar soluciones a posibles riesgos: antes, durante y después de que se termine la construcción de un proyecto vial.

En Ecuador actualmente existen corredores viales con taludes de gran magnitud en zonas de alto riesgo sísmico y de precipitaciones, dando problemas de deslizamiento y fisuras en edificaciones aledañas y asfalto de corredores viales, debido al movimiento de tierras que no tuvieron un estudio preliminar del suelo.

El presente documento refleja información necesaria sobre el comportamiento y caracterización del suelo de un talud el cual se ha visto en riesgo de posible deslizamiento. Con ensayos de laboratorio y modelaciones en softwares académicos se determinará las condiciones actuales del talud y de esta forma se generará una propuesta de instrumentación para el monitoreo y control del mismo por medio de sensores.

Antecedentes

Los problemas que se presentan en los taludes dependen de las características mecánicas del suelo por el cual están conformados, además factores externos como la vibración causada por el tránsito de vehículos, las presiones que pueden causar las sobrecargas de estructuras aledañas o la humedad provocada por las intensas precipitaciones, son condiciones que generan el riesgo de fallo de este tipo de formaciones naturales o artificiales. Cuando se reconoce un riesgo en un talud aledaño a edificaciones o en corredores viales, se debe clasificar el tipo de movimiento ya que este puede condicionar el análisis y conclusiones de control y estabilización del mismo (Ayala Carcedo , 1987).

El problema se da cuando, la cara del talud no es protegido y se puede evidenciar el desprendimiento del material, haciendo que la pendiente del talud cambie y sea inminente que se produzca el plano de falla generando así pérdidas económicas e incluso humanas.

En Ecuador, según Pazos Galvez & Sopa Tipanquiza (2021), identificaron que los mecanismos de falla actuantes en taludes en una zona ubicada en el Cantón Chunchi, Provincia de Chimborazo se deben a una topografía abrupta que sumado a la incidencia de la infiltración del agua generan que los acuíferos existentes contengan una sobrecarga hidráulica que posteriormente son conducidos a través de las vertientes superiores y que se depositan en el pie del talud dando como resultado la saturación del suelo y un aumento de presión de poros que resulta en una disminución de la resistencia al corte lo que desencadena en problemas de estabilidad del talud (p. 101).

Es importante realizar un monitoreo en aquellos taludes en donde es evidente su inestabilidad, el talud del IASA presenta claras evidencias de desprendimiento de material en la cara frontal, grietas, así como una evidente inclinación de los árboles existentes en la zona, el monitoreo de esta formación de tipo natural permitirá dar propuestas para su estabilización.

(Auz, 2010), realizó una exploración de las condiciones necesarias para estabilizar los taludes generados de manera artificial en los terrenos del proyecto Hypermarket, El Progreso en el sector de San Luís Sangolquí, de esta publicación podemos evidenciar la presencia de arcillas inorgánicas CL y limos orgánicos ML los cuales se logran estabilizar con muros anclados, sin embargo, la visita técnica de la zona de estudio del presente documento refleja que se podría solucionar el problema de estabilización con una correcta distribución de los drenajes existentes.

Objetivos

Objetivo General

Analizar la estabilidad de un talud ubicado en el corredor vial de acceso a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Campus IASA, Sangolquí, mediante ensayos de laboratorio, modelaciones en software académico y medición de deformaciones del suelo para optimizar el análisis y monitoreo del mismo.

Objetivos Específicos

Elaborar ensayos de laboratorio y ensayos in situ que permitan evaluar las características físicas y mecánicas que forman parte del cuerpo del talud.

Determinar asunciones de diseño, modelación y simulación en software académico del comportamiento del talud en condiciones estáticas y dinámicas.

Generar una propuesta de monitoreo y control en taludes, tomando en cuenta la integración de transductores de fuerza, humedad, aceleración y giroscopio.

Capítulo II: Marco Teórico

Roca

Definición

La roca se define como un agregado compuesto por uno o más minerales que ocupan una gran área de la corteza terrestre. En mecánica de rocas, roca o roca intacta se usa a menudo para referirse a elementos de roca como especímenes en los que no existen discontinuidades observables (Ramírez & Alejano, 2004).

Origen y formación

La forma en las que se presentan las rocas en la naturaleza son macizos rocosos, los cuales tienen su origen desde el magna de la tierra por lo tanto son discontinuos y presentan propiedades heterogéneas (Ramírez & Alejano, 2004).

Las características y el accionar mecánico de los macizos rocosos afectan el nivel de fracturación y de meteorización; la existencia de agua; la dirección y tipo de discontinuidades (Vallejo, 2004). Además, son parámetros importantes en función de la litología, rugosidad y estabilidad de los taludes (Suarez, 2009).

Propiedades

Estas características están determinadas primordialmente por los minerales que componen el suelo, y por lo tanto, seguidos de las rocas, a continuación se presenta la siguiente tabla resumen (Das, 2013).

Tabla 1*Propiedades de la matriz rocosa y métodos para su determinación*

	Propiedades	Métodos de determinación
Propiedades de identificación y clasificación	Composición	Descripción visual.
	Textura	Microscopía óptica y electrónica.
	Tamaño de grano	Difracción de rayos X.
	Color	
	Porosidad (η)	Técnicas de laboratorio
	Peso específico (γ)	
	Contenido en humedad	
	Permeabilidad (coeficiente de permeabilidad, k)	Ensayo de permeabilidad
	Durabilidad.	
	Alterabilidad (índice de alterabilidad)	Ensayos de alterabilidad
Propiedades mecánicas	Resistencia a compresión simple (σ_c)	Ensayo de compresión uniaxial Ensayo de carga puntual
	Resistencia a tracción (σ_t)	Ensayo de tracción directa Ensayo de tracción indirecta
	Velocidad de ondas sínicas (V_p, V_s)	Medida de velocidad de ondas elásticas en laboratorio
	Resistencia (parámetros c y ϕ)	Ensayo de compresión triaxial
	Deformabilidad (módulos de deformación elástica estáticos o dinámicos: E, ν)	Ensayo de compresión uniaxial Ensayo de velocidad sínica

Nota. Recuperado de (Gonzales, 2002).

Suelo

Definición

Se define como un conjunto de materia orgánica sin consolidar sobre una roca maciza que se encuentra en la superficie de la tierra o bajo ella, que puede sufrir una acción mecánica e incluir la presencia de cantidades no constantes de agua y aire (Zapata, 2018).

Origen y formación

Los suelos deben su origen a procesos de meteorización de la roca madre a causa de estar en contacto con el medioambiente que ayuda a la transportación o desintegración provocada por la erosión de los ríos y posteriormente se consolidara el suelo. El proceso de formación se produce a través

de cinco factores independientes: el clima, la topografía, formadores biológicos, composición litológica y el tiempo. La desagregación da origen a las gravas, arenas o limos (Zapata, 2018).

Propiedades Mecánicas

Resistencia de los suelos al corte. El valor máximo que resiste el suelo al ser cortado dentro de su masa bajo ciertas condiciones como ejemplo la flexibilidad conducirá a la formación de una superficie de deslizamiento por corte que puede tener una gran cantidad de deslizamiento como es el caso de rotación de taludes, avalanchas, etc. La resistencia al corte en el núcleo se debe a un desarrollo de la resistencia a la fricción entre partículas adyacentes, basándose principalmente en el modelo de fricción.

Modelo de fricción. Una de las causas de resistencia la fricción, es que en los puntos de contacto las partículas pueden trabarse entre sí. El modelo de fricción da una base útil para predecir el comportamiento del suelo al corte. Sin embargo, se debe tener en cuenta varios puntos como cualquier aplicación de carga en un suelo indicara cambios apreciables en el volumen y en un suelo saturado presentara cambios en el contenido de humedad dependiendo de la tasa de permeabilidad

En suelos arcillosos, el esfuerzo cortante límite decrece aún más y cuando los desplazamientos son mayores que un metro, se puede reducir a un valor bajo como el 10 por ciento del esfuerzo máximo. A este valor muy bajo del esfuerzo con deformación grande se le llama esfuerzo residual, por lo general este valor se relaciona con las partículas de arcilla en las superficies de deslizamientos y con los efectos de pulimiento.

Cohesión La palabra cohesión puede dar ideas erróneas y con frecuencia se entiende mal. Para las arcillas remodeladas, incluyendo arcillas en la cercanía de superficies se debe tomar el valor de cohesión cero. Los esfuerzos máximos se desarrollan en suelos densos o muy consolidados sado lugar la envolvente de falla.

Ensayos Destructivos o directos

Son ensayos realizados sobre materiales caracterizados por el hecho de que deforman el material. Entonces no se puede utilizar. Para eso se acostumbra a utilizar una probeta del material a ensayar y que solo se utiliza para una aplicación.

Ensayo de Clasificación SUCS

Los suelos con propiedades similares tienen el potencial de dividirse en grupos y en subgrupos, según la función de las propiedades índice y mecánicas de ingeniería. El ordenamiento de los suelos proporciona un lenguaje habitual.

El sistema de clasificación AASHTO que se usa hoy en día, divide la clasificación en siete categorías amplias (A-1 a A-7). Se les considera como materiales granulares a los grupos (A-1, A-2 y A-3) son materiales granulares, significativamente más del 35% o menos de las partículas pasan por el tamiz N° 200. Los suelos considerados más del 35% pasan por el tamiz N° 200 y se consideran en los grupos (A-7, A-6, A-5 y A-4). Éstos son principalmente materiales limosos y arcillosos. Esta distribución toma como referencia los siguientes parámetros (Das, 2013).

Tamaño de grano

Partícula considerada como Grava: es el pasante del tamiz de 75 mm y es obstruida en el tamiz N°10 (2mm), por otro lado, la partícula considerada como Arena es la parte pasante del tamiz N° 10 (2 mm) y es obstruida en el tamiz núm. 200 (0.075 mm), y finalmente se considera como limo y arcilla al pasante del tamiz N° 200.

Plasticidad: se considera aplicable cuando las porciones finas del suelo contienen un grado de plasticidad hasta los 10 m, mientras que arcilloso se toma en cuenta a las porciones finas en vista que poseen un nivel de plasticidad de 11 o más.

Los cantos y guijarros es decir con un tamaño mayor a 75 mm, se descartan de la muestra considerada del suelo en la que en sus inicios se realizó la categorización, no obstante, se toma en cuenta, el porcentaje de esta clase de material.

En la siguiente tabla 2, podemos ver la clasificación de materiales de acuerdo al porcentaje de paso del tamiz.

Tabla 2
Clasificación de materiales de carreteras subrasantes

Clasificación de materiales de carreteras subrasantes							
Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm.200)						
	A-1			A-2			
Grupo de clasificación	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm.10	50 máx.						
Núm.40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
Núm.200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido							
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
				10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Fragmentos de roca. grava y arena		Arena fina	Limo o grava arcillosa y arena			
Clasificación general de la subrasante	Excelente a bueno						
Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm.200)						
Grupo de clasificación	A-4	A-5	A-6				A-7 A-7-5* A-7-6**
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm.10							
Núm.40							
Núm.200	36 mín.	36 mín.	36 mín.				36 mín.
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido	40 máx.	41 máx.	40 máx.				41 mín.
Índice de plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 máx.				11 mín.
Tipos de materiales significativos constituyentes	Suelos limosos			Suelos arcillosos			
Clasificación de la subrasante	Regular a malo						

*Para A-7-5, $PI \leq LL-30$

**Para A-7-6, $PI > LL-30$

Nota. La tabla muestra la clasificación del suelo en siete grupos principales (Das, 2013).

Para realizar la respectiva clasificación del suelo tomando como referencia la tabla 2, los datos se leen de izquierda a derecha. Hablando de otro modo, en el grupo que ingresa y quepan los datos de muestra o prueba la clasificación será correcta.

Relación peso – Volumen, Para entender las relaciones peso-volumen es necesario conocer las tres fases en que se puede separar la muestra (aire, agua y sólido)., de acuerdo a esto se define las siguientes relaciones del volumen:

Relación de vacíos, e , se refiere a la relación de vacíos al volumen de sólidos un suelo en una masa de suelo dada.

$$e = \frac{V_n}{V_s}$$

Donde:

V_n : Volumen de vacíos

V_s : Volumen de sólidos del suelo

La porosidad, se refiere a la relación del volumen de vacíos entre el volumen de la muestra de suelo.

$$n = \frac{V_n}{V} = \frac{e}{1 + e}$$

Donde:

V : Volumen total

Grado de saturación, se refiere a la relación del volumen de agua en los espacios vacíos entre el volumen de vacíos, se expresa el valor.

$$S(\%) = \frac{V_w}{V_v} * 100$$

Donde:

V_w : Volumen de agua

Límites de Atterberg, Atterberg en su laboratorio definió estados de consistencia de acuerdo al contenido de agua, para suelos susceptibles de ser plásticos:

- Estado líquido. - apariencia de suspensión, con sus respectivas propiedades.
- Estado semilíquido. - se relaciona con un fluido viscoso, pero con sus respectivas propiedades.
- Estado plástico. -el suelo se comporta se deforma que no presenta propiedades elásticas y variación de volumen.
- Estado semisólido. - el suelo tiene la forma de un sólido, pero al ser deshidratado disminuye de volumen.
- Estado sólido. - el suelo cuando es secado no cambia su volumen.

Según los distintos estados, Atterberg definió diferentes parámetros de acción, que son los pilares de su respectiva designación y de esta forma despliego pruebas simples de laboratorio para designarlos (García, 2017).

- Flujo viscoso, considerado como límite superior.
- Límite líquido. - contenido en humedad a partir de la cual el suelo se comporta como un líquido viscoso. Se determina por el método de Casagrande normalizado en la cual se emplea la cuchara de Casagrande y sobre la parte de suelo que ha pasado el Tamiz N° 40 (0,40mm).

Figura 1

Dispositivo de límite líquido y herramienta de ranurado



Nota. En la figura representa un esquema de copa de Casagrande. Tomado del libro Fundamentos de Ingeniería por (Das, 2013).

- Límite de endurecimiento. - la placa metálica pierde su adherencia.
- Límite de cohesión. -dejan de ser coherentes los granos entre sí.
- Límite plástico. – se considera como el porcentaje de humedad, donde se toma una muestra de suelo enrollado en hilos de 3,2 mm y este pierde su forma.
- Límite de contracción. - cambio de volumen de límite inferior.

Por otro lado, para comprender los estados de rigidez mencionados anteriormente, Atterberg configuró límites para lograr distinguirlos.

- Límite líquido, considerado como un fluido viscoso. - donde el suelo una vez amasado, se coloca las dos secciones en un recipiente cóncavo, por la cual a duras penas se tocan por el impacto de algunos golpes secos.
- Límite plástico, considerado como un estado plástico. – cuando se enrolla en bastoncitos el suelo comienza a desagregarse.
- Límite de contracción, considerado como un cambio de volumen. – no pierde e volumen, cuando pierde su humedad.

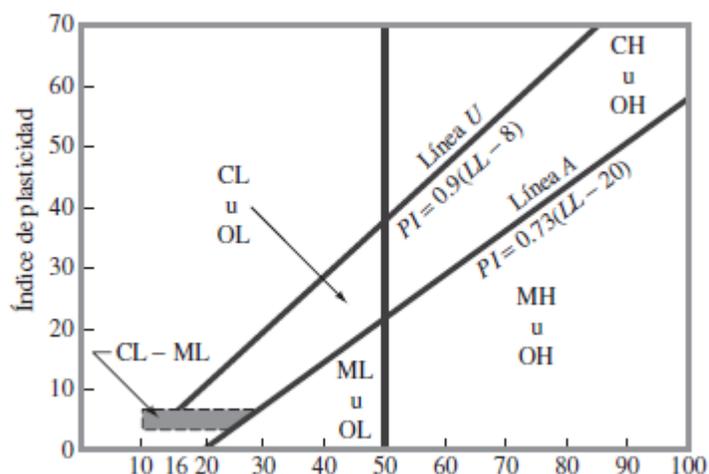
Atterberg, designó a las fronteras entre los estados plásticos y semilíquidos, límite líquido, que definió ciertos parámetros al encontrarse en el laboratorio en la que consistía en colocar una muestra de suelo remoldeado en una cápsula formando en él una ranura y en hacer contraer la ranura contra en una superficie dura por medio de golpes (García, 2017).

La muestra de suelo tenía el contenido de agua correspondiente al límite líquido, al momento que los bordes inferiores de la ranura se entrelazaban, sin mezclarse al cabo de un determinado número de golpes.

Atterberg llamo a la frontera común como límite plástico dado que estaba entre el estado semisólido y plásticos. Entonces, se tuvo en cuenta que la elasticidad del suelo está determinada por la cantidad máxima de arena y el límite líquido que tiene la posibilidad de adherirse al suelo, a pesar de estar con un contenido de agua que corresponde al límite líquido, sin perder plasticidad.

A demás determino el índice de plasticidad, que corresponde al rango de contenido de agua en el que el suelo se vuelve plástico. Además, recomendó que éste podía ser útil en la clasificación de suelos (García, 2017).

Figura 2
Gráfica de Plasticidad



Nota. La presente figura representa la clasificación SUCS, usado por carreras de geología y ciencias de la tierra para representar el tamaño y contextura del suelo en sus partículas.

Porcentaje de Humedad

El contenido de humedad es una propiedad importante del suelo que permite medir la cantidad de agua o vapor de agua por medio de la relación del peso natural y seco del suelo, este valor se lee en porcentaje.

$$w\% = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Donde:

W: % de humedad

W_w: Peso natural del suelo

W_s: Peso del suelo seco

Granulometría

El análisis granulométrico se lo realiza para clasificar apropiadamente un suelo ya que influye sobre la aireación, movimiento de agua, trabajabilidad y erosionabilidad del mismo (Donald & Lobo, 2006).

Para un suelo grueso este se lo realiza separando las partículas en rango a través de mallas de distintas dimensiones, por otro lado, para el caso de un suelo de granos finos, esta distribución granulométrica se lo puede hacer por un análisis del hidrómetro (Brajas).

La gráfica granulométrica se refiere a construir una curva con los porcentajes en peso que pasan por cada tamiz.

Además, las curvas distribución granulométrica permiten encontrar otros parámetros de grueso para un suelo grueso como:

Coefficiente de uniformidad (Cu):

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Coefficiente de curvatura (Cc):

$$C_c = \frac{D_{30}}{D_{60} * D_{10}}$$

Donde D10, D30 y D60 son los diámetros correspondientes al porcentaje que pasa 10, 30 y 60%, respectivamente.

Límite líquido. - Para determinar el límite líquido de un suelo se utiliza la copa de Casagrande siguiendo la norma D-4318 de las ASTM y se define como el contenido de humedad en el que se cierra una ranura de 12,7 mm mediante 25 golpes.

Límite plástico. - Se refiere al contenido de humedad en el que el suelo se agrieta al formar un rollito de 3,18 mm de diámetro siguiendo con la norma D-4318 de la ASTM.

Ensayo de Compresión Simple (No Confinada)

Durante este ensayo podemos establecer las siguientes propiedades tecnológicas:

Resistencia mecánica del material, que se mide a través de la resistencia a la cedencia en metales y polímeros. En lo que concierne a cerámicas y fundiciones de hierro de comportamiento frágil, se mide a través de la resistencia a la compresión y en los materiales compuestos, a través del ensayo de compresión;

Rigidez específica del material, misma se expresa a través del módulo de Young (E), parámetro considerado como de selección y de diseño;

Maleabilidad del material. No existe un parámetro adecuado para medir esta propiedad, sin embargo, se puede utilizar el porcentaje de acortamiento axial, que es parecido al porcentual a la fractura medido en el ensayo de tracción.

Tenacidad del material, energía que absorbe hasta la fractura, medida a través del módulo de tenacidad. Parámetro complementario en selección de materiales.

Como podemos notar en la antes mencionado, la información que facilita el ensayo de compresión es casi tan amplia como la que puede proporcionar el ensayo de tracción. Para la realización de este ensayo debemos de basarnos en la (ASTM D2166), donde trata de determinar qué tan no

confinados son los suelos en análisis, sometiéndoles a una fuerza vertical al plano de referencia horizontal, después de realizar algunos ensayos con muestras de suelos se logra de determinar al usar el Circulo de Mohr es bastante visible que la resistencia al corte puede ser indicada de la siguiente forma:

$$c = \frac{q_u}{2}$$

q_u = resistencia a la compresión del suelo no confinado

La cantidad obtenido nos permite determinar el valor de la carga última de suelo, además, permite conocer la resistencia del suelo que tiene al corte, los resultados obtenidos nos ayudan a comprender el comportamiento de los suelos cuando son sometidos a cargas.

Para comprender las propiedades del suelo se calcula el esfuerzo y deformación unitaria axial, que nos dejará conseguir la curva, esfuerzo vs deformación unitaria, también nos permitirá obtener el esfuerzo máximo del suelo, toda vez que no supere el 20 % de deformación, al contrario, se entendería como resistencia al esfuerzo inconfina.

La gráfica de esfuerzo-deformación nos ayuda a obtener el valor promedio mayor de la resistencia de la compresión q_u para de esta manera tomar el valor máximo de esfuerzo.

Ensayo de Corte Directo

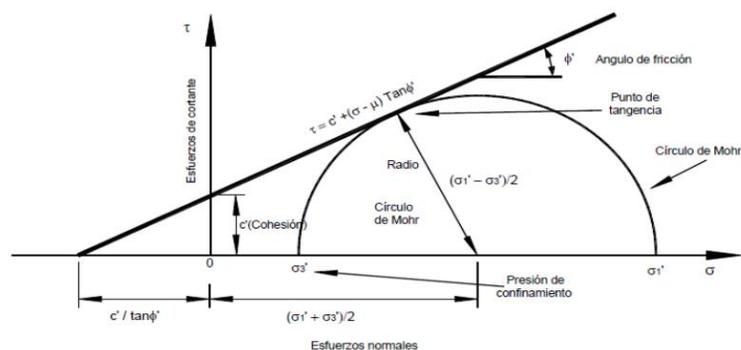
Para encontrar parámetros que nos permitirán conocer las características del suelo es necesario conocer los parámetros resistentes, cohesión, ángulo de rozamiento internos, c , se realiza el ensayo de corte directo en una muestra de suelo, ya sea de forma cuadrangular o circular que será introducida en una probeta restringida lateralmente por la caja debido a sus paredes rígidas; el procedimiento comienza mientras la muestra es sometido a una presión normal a un plano de referencia hasta que falle (Serrano Méndez, 2017).

Es así, para este ensayo se sigue la norma AASHTO T236, mide el esfuerzo normal y de corte en el plano de falla. La resistencia al corte de un suelo y sus características de deformación dependen de la

forma en que varía el volumen durante el ensayo de corte. Para las arenas el grado de grabación entre las partículas es mayor a medida que el suelo tiene mayor grado de compactación (Chávez, 2012).

Como resultado, se obtendrá puntos en un gráfico, esfuerzo normal vs resistencia al corte. La interpretación de los puntos nos señala la envolvente de falla del material y el acercamiento dada para una recta de acuerdo a criterio de la falla de Mohr-Coulomb (Ayala, 2016).

Figura 3
Esfuerzo normal vs Resistencia al Corte



El esfuerzo cortante, se considera como la fuerza aplicada en la superficie de la caja de corte, al realizar el ensayo el área de contacto decrece y es ahí por donde se provoca la falla, aumentando de esta manera el esfuerzo. El esfuerzo normal nominal, es la fuerza aplicada en la superficie de la muestra, considerando que durante el ensayo la superficie o área disminuye, es así que el esfuerzo normal nominal crece (E, 2016).

Ensayo Triaxial

La norma ASTM D2850 y ASTM D 4767, la prueba triaxial de corte es uno de los ensayos indirectos más confiables para determinar los parámetros de resistencia cortante, ya que proporciona información más confiable sobre el comportamiento esfuerzo-deformación). Para los ensayos triaxiales se toma una muestra de suelo tomando en cuenta las dimensiones que rige la norma ASTM, para que después sea envuelto con una membrana de látex y colocado en una cámara la misma que introduce presión en un borde la muestra (Salas, 2011).

Al momento de colocar la muestra en la cámara de presión se debe considerar colocar la parte superior de la muestra en el área donde va introducirse presión. La parte inferior y superior tienen propiedades porosas, las cuales se enlazan con el sistema de drenaje de la cámara para drenarla y saturarla (Salas, 2011).

A medida que el agua ingresa a la cámara, la presión puede variar por la acción del compresor conectado a ella. La fuerza axial se transmite por medio de un brote que atraviesa la cámara desde la parte superior. La presión que despliega la cámara sobre el suelo se consideran hidrostáticas, entonces, introduce un esfuerzo en todas las direcciones de forma lateral y axial.

El ensayo Triaxial es una prueba de compresión simple llamándolo de esta forma, donde permanece constante el esfuerzo total principal menor y es similar al esfuerzo intermedio. Al realizar el ensayo solo aumenta el esfuerzo axial es decir el esfuerzo vertical, que será igual al esfuerzo desviador más el esfuerzo principal menor, nominado, así como encargado para que la muestra tenga una condición de falla.

La presión ejercida en la cámara en relación al círculo de Mohr se reduce a un punto, en tal virtud, el criterio de la ruptura o falla de Mohr – Coulomb, al momento de falla se expresa en función de los esfuerzos principales, por tanto, para su respectiva interpretación se debe aplicar el ensayo triaxial, debido al esfuerzo que este ensayo posee (Aguirre Noreña, 2001).

Al realizar el ensayo Triaxial se debe considerar que tipo de ensayo se va a realizar, debido a que existen tres tipos de ensayos: No consolidado no drenado, consolidado no drenado, consolidado drenado. La selección del ensayo depende a las condiciones que se pretende tener en el suelo en análisis. En tal virtud, el trabajo se realizó con el ensayo no consolidado no drenado, ya que se requiere medir la cantidad de agua que sale de la muestra al momento de realizar el ensayo antes mencionado, esto favorece cuando la muestra de suelo llega a su saturación total (Aguirre Noreña, 2001).

Ensayos No destructivos

END se refiere a un sin número de pruebas practicas empleando un material que no produce cambios a sus propiedades mecánicas, químicas y físicas. Los distintos procedimientos se fundamentan en el estudio de fenómenos físicos, como, por ejemplo: electromagnéticos y Acústicos.

Sísmica de Refracción

El método de refracción sísmica es una técnica utilizada para trabajos de ingeniería civil especialmente relacionados con la geofísica, el cual permite describir la estructura o composición del subsuelo a través de la distribución de ondas y profundidad de las ondas. Además, detecta la posición de las zonas críticas por presencia de suelo débil en donde existe fallas o fracturas (Ramirez, 2019).

Este consiste en obtener información del subsuelo controlando los tiempos de viaje de las ondas compresionales y en algunos casos de las ondas de corte a lo largo del suelo en un eje de la superficie. Esta fuente de energía es generada por una carga pequeña de explosivo o de un golpe de martillo (Campos,2002).

El momento de colisión se considera "tiempo cero", por tanto, se registra junto con las vibraciones del suelo que son emitidas por los geófonos. Resumiendo, los valores consisten en tiempo y distancia de viaje, siendo el periodo de viaje el momento entre el instante y el "Tiempo cero", en que el geófono comienza a reconocer a la revolución (Campos,2002).

La información tiempo-distancia registrada es procesado para luego interpretar la estructura del estrato del suelo y la rapidez de propagación de ondas.

Tomografías de Difracción

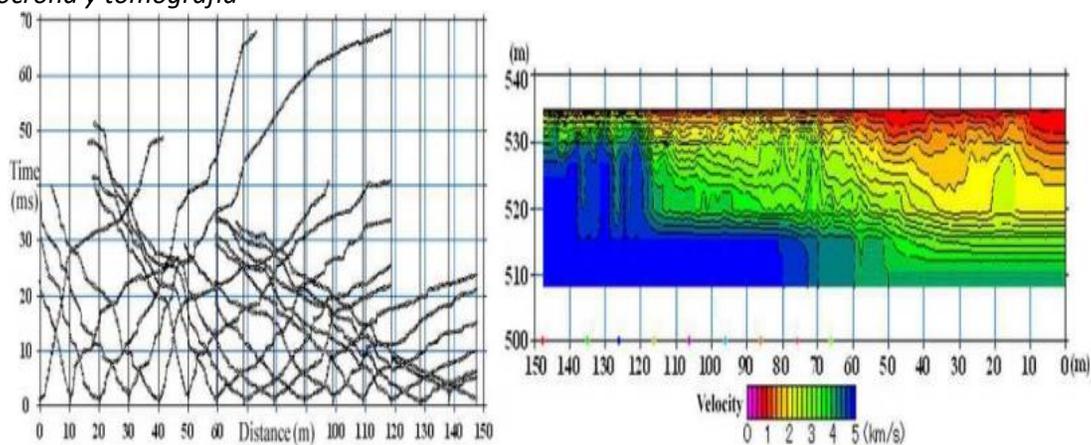
Son datos o registros obtenidos en el terreno en distintas combinaciones dependiendo de la localización de fuentes para después realizar los respectivos procesos, dando como resultados dromocronas que nos ayudarán a encontrar la distribución de velocidades y reflectividades, dando como resultado curvas tiempo vs distancia trazadas en base a las ondas P de cada uno de los geófonos en

relación al tiempo de llegada y en la longitud desde el punto de disparo a cada geófono (De Berlín, 2020).

La gráfica que representa las dromocrónicas son analizadas en términos de profundidad tomando en consideración la capa de suelo y de las velocidades de las ondas P en relación a cada capa, a su vez, dichos parámetros elásticos nos dan información sobre el material del suelo en análisis (Pinto Chavez, 2016).

La tomografía de difracción cuando la energía es propagada como un rayo no la asume, más aún usa ecuaciones de propagación de onda para determinar el cambio de velocidades laterales y verticales.

Figura 4
Dromocrona y tomografía



Nota. Tomado de (De Berlín, 2020).

Tabla 3
Velocidades de ondas sísmicas de corte típicas de materiales

Material	Velocidad Vs (m/s)
Aire	360
Arena seca	400 a 1000
Arcilla	300 a 1800
Roca ígnea o metamórfica meteorizada	450 a 3700
Roca sedimentaria meteorizada	300 a 3000
Roca metamórfica sana	1000 a 6000
Basalto sano	1000 a 4300
Caliza	500 a 6700

Nota. Tomado por (Suarez, 2013)

Tabla 4*Velocidades de ondas sísmicas de corte de compresión*

Material	Velocidad Vp (m/s)
Suelo	
Arena, suelo superficial de grano fino	200-1000
Aluvión	500-2000
Arcillas compactadas, gravas arcillosas	1000-2500
Loess	250-750
Roca	
Pizarra y lulita	2500-5000
Arenisca	1500-5000
Granito	4000-6000
Roca caliza	5000-10 000

Nota. Tomado por (Das, 2013)

Para obtener un estudio más profundo del suelo, se debe realizar tendidos de refracción conjugados o también conocidos como tendido intermedio o directo. En el tendido intermedio se ubica en el centro de tendido para colocar el punto de disparo, en el segundo punto se ubica en el extremo del tendido el punto de disparo y por último a una distancia conocida a un extremo del tendido se coloca el punto de disparo. Para tener un mejor modelamiento de la topografía se recomienda hacer tendidos traslapados (Pinto Chavez, 2016).

Resistividad Eléctrica

Es un método geofísico que da la información del comportamiento del material especialmente para medios porosos al paso de la corriente eléctrica mediante la obtención de la estratigrafía aproximada (Tofflinger & Guerra, 2017). Su uso es para realizar una estimación de tasas de corrosión para el diseño de sistemas de protección.

Es así, que este ensayo consiste en determinar la resistividad a profundidad para eso se realizan sondeos en el terreno, por el método de Wenner y Schlumberger. En los dos casos los sondeos se

colocan electrodos separados a una distancia, los dos electrodos en el centro a una distancia AB y los externos a una distancia MN, esta última distancia puede estar entre 50 m y 100 m (Losinno et al, 2008).

El electrodo no es el más importante, al contrario, el más significativo es la resistividad del suelo, por lo que es fundamental, conocer las propiedades índice y mecánicas para calcular y diseñar un sistema de tierra.

La resistividad eléctrica se diferencia una de otra y esta a su vez se determina por: temperatura, composición del terreno propio, granulometría, estratigrafía, etc.

Medición de la Resistividad del Suelo

El ensayo de resistividad a más de cumplir su función específica de medir la profundidad y el grueso de la roca en estudios geofísicos, puede ser empleada para determinar el grado de corrosión de tuberías subterráneas.

Se debe tomar en cuenta que esta prueba de medición de la resistividad del terreno no se requiere una red de puesta a tierra, por otro lado, para estudios y diseños a gran escala de terrenos, se recomienda sondear sectores de escasa resistividad para evitar gastos innecesarios (Gómez, 1999).

Tenga en cuenta que existe una discrepancia en la toma de lecturas de mencionados dispositivos, además cuando se colocan los electrodos no colocan de la manera adecuada por tanto hacen falsos contactos, por lo que, habrá falsos avisos de corrientes y voltaje.

Para la toma de resistividad existen algunos métodos, pero para el presente trabajo solo vamos a considerar dos: El método de Wenner y el Método de Schulumberger.

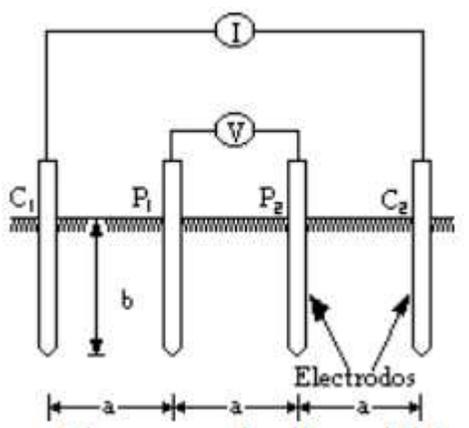
Método de Wenner

La configuración Wenner es la más utilizada por la mayor profundidad de penetración de la corriente eléctrica. Los electrodos funcionan como inyectores de corriente en el suelo y medidores de potencial eléctrico. Los cuatro electrodos se los coloca a lo largo de una línea recta en el terreno

trabajando en un perfil lateral, luego se va incrementando la distancia AM, manteniendo constante la distancia AB (Losinno et al, 2008).

La funcionalidad elemental de este procedimiento es inyectar una corriente continua por medio de la tierra entre dos electrodos (C1 y C2), a su vez el potencial se registra en P1 y P2, (ver figura 5) y verificando los valores típicos de resistividad, respectivamente, como se muestra la Tabla 5 (Gómez, 1999).

Figura 5
Geometría de los electrodos



Nota. En la figura tenemos la posibilidad de ver la geometría de los electrodos, donde se inyecta la corriente por el electrodo exterior y se mide la resistividad el electrodo interior, tomado de (Gómez, 1999)

Tabla 5
Valores típicos de resistividad

Material	Velocidad Vp (m/s)
Limonita	100000
Caliza seca	1000-10000
Caliza húmeda	50-500
Mineral de pirita, seca	10-100
Mineral de pirita, húmeda	1-0,1

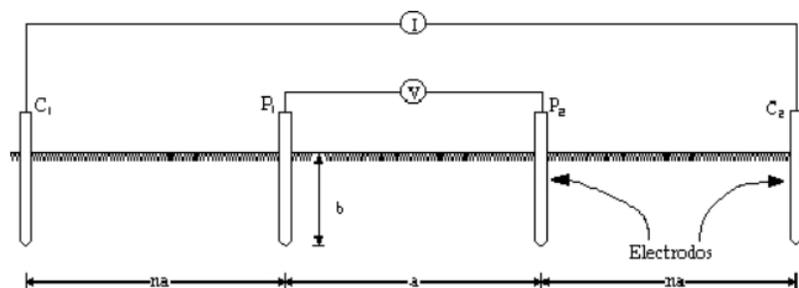
Calcopirita húmeda	50-100
Marga, húmeda	1-10
Arcilla, seca	0,1-1

Método de Schlumberger

Este modelo es una modificación del método de Wenner, porque se utilizan 4 electrodos, sin embargo, varia el electrodo central en relación a su división, prosigue el ciclo y a su vez registra la longitud del electrodo externo, tomando como base el electrodo interno, como se muestra en la figura 6 (Gómez, 1999).

Figura 6

Expresividad de la resistividad



Nota. En la figura indica el procedimiento de resistividad en el registro de mediciones, tomado de (Gómez).

Para utilizar este procedimiento es aconsejable medir en un ángulo de 90 grados, los registros para que no afecten las lecturas.

Talud

Definición

Se denomina a la superficie inclinada con respecto a la horizontal, que adopten permanentemente o de manera parcial las estructuras de tierra. Los taludes pueden ser artificiales, cuando el hombre participa en el diseño y construcción en una obra de ingeniería civil.

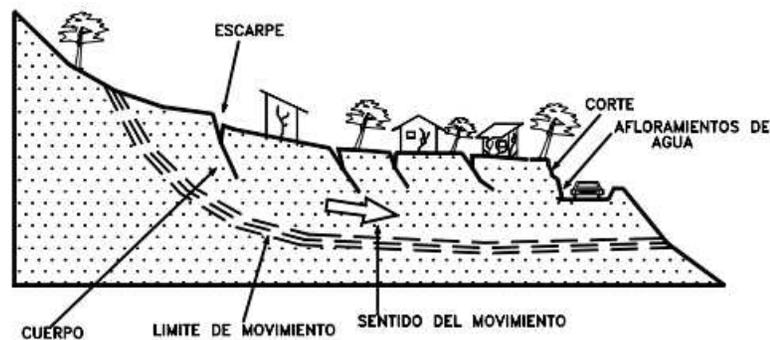
Tipos de Fallas

Deslizamientos

Los deslizamientos en corredores viales se originan debido a los grandes desplazamientos de masas de suelo producidos por su propio peso, por acción sísmica o erosión lo que conlleva a una respuesta en la inestabilidad del talud generando así la reducción de la resistencia al corte del suelo (Torres B. A., 2012).

Figura 7

Deslizamientos en laderas



Nota. Tomado de (Díaz, 1998)

Falla rotacional

En la falla rotacional la falla ocurre en una superficie cilíndrica o concoidal que se produce de manera súbita. Generalmente aquí acontecen fallas del tipo local es decir cuando el plano de falla queda dentro del cuerpo del talud, o fallas del tipo base en la cual la superficie del colapso queda en la cercanía del pie del talud (Seguridad Minera, 2022).

Falla traslacional

En este tipo de falla el movimiento de la masa de suelo se desplaza a lo largo de una superficie plana u ondulada. En la falla traslacional el cuerpo deslizante se mueve indefinidamente a lo largo de la pendiente y su falla se ve influenciada por planos de estratificación y zonas de cambio de estado de

meteorización. En varios casos los movimientos traslacionales generan que la masa de suelo se deforme y que se transformarse en flujo (Diaz, 1998).

Método del Equilibrio Límite

Esta metodología establece el equilibrio de una masa deslizante de suelo que tiende a desestabilizarse bajo la acción de la gravedad y de su propio peso. En el equilibrio límite se hace la comparación entre fuerzas y momentos actuantes es decir se basa en el equilibrio estático. Además, se supone que la resistencia al corte del suelo a lo largo del plano de falla está regida por relaciones del tipo lineales (Mohr-Coulomb) y no lineales entre la resistencia al cizallamiento y la tensión normal del suelo (US Army Corps of Engineers, 2003).

Cabe destacar que en el equilibrio limite se presume que la falla ocurrirá a través de un plano potencial de deslizamiento preestablecido, además que el factor de seguridad a lo largo de toda la superficie deslizante de suelo es el mismo y por último se considera que no ocurren deformaciones a lo largo del plano de ruptura.

Dentro de este contexto se han desarrollado varias metodologías de cálculo que emplean varios supuestos y criterios para hacer que el problema resulte en estáticamente determinado. Por un lado, están los aproximados los cuales hacen referencia a aquellos que no satisfacen en su totalidad las ecuaciones de la estática como es el caso de Fellenius, Janbu y Bishop simplificado y por otro aquellos que resultan en precisos o completos, los cuales si cumplen con el equilibrio estático tal y como Morgenstern-Price y Spencer.

Método de Elementos Finitos

El método de elementos finitos (FEM) es una técnica numérica general por el cual se establece la división de un cuerpo, estructura o dominio (medio continuo) en varios elementos que comparten características particulares en los que se establecen ciertas ecuaciones que describen su comportamiento físico (Nieto Leal, Camacho Tauta, & Ruiz Blanco, 2009). Se le denomina discretización

a la división del cuerpo para su estudio en el cual se generan subdominios o también llamados elementos finitos.

Plaxis 2D utiliza el método de elementos finitos, método más utilizado para resolver problemas geofísicos de esfuerzo-deformación, casos de interacción suelo-estructura que su cálculo es complicado de realizar y de esta forma se obtienen resultados reales y aproximados al problema de estudio.

Método de deformación

La deformación en estructuras de ingeniería como la tierra o suelo que sufren deformaciones y son estudiados en Geodesia. El estudio de deformaciones se aplica en movimientos de la corteza terrestre, corrimientos de laderas, hundimientos de terreno.

Factor de Seguridad

El factor de seguridad precisa la relación entre el momento resistente y el momento de vuelco, siendo el momento resistente función de la resistencia al corte desarrollado entre el suelo y la masa deslizante.

$$FS = \frac{MR}{MV}$$

El factor de seguridad indica cuantitativamente la estabilidad de un talud, si este alcanza el valor de 1,0 indicará que se encuentra en la condición límite de falla, si FS alcanza un valor menor a uno estaremos ante una condición de inestabilidad y por el contrario si es mayor alcanzaremos la condición de estabilidad (Duncan, Wright, & Brandon, 2014).

A continuación, se presentan los valores recomendados del factor de seguridad para la estabilidad de taludes.

Tabla 6*Factor de Seguridad Manual de estabilidad de USACE.*

Factor mínimo de Estabilidad de taludes			
Tipos de suelo	Para Fin de Construcción	Estabilidad a largo plazo	Retiro rápido
Taludes, presas, diques y diques, y otros terraplenes y excavaciones taludes	1,3	1,5	1,0-1,2

Nota. Tomado de (Duncan, Wright, & Brandon, 2014).**Tabla 7***Factores de seguridad por corte mínimo*

Condición	Fs corte Mínimo	
Carga + Carga muerta Nominal	1,5	1,25
Carga + Carga muerta Máxima	1,25	1,1
Carga muerta + carga viva nominal + sismo de diseño pseudo-estático	1,1	1,00*
Taludes-condición estática y agua subterránea normal	1,5	1,25
Taludes- condición pseudo-estática con agua subterránea y coeficiente sísmico de diseño	1,05	1,00*

- La Carga Viva Nominal, se considera un factor de reducción por simultaneidad de la carga viva.
- La Carga Viva Máxima no se considera un factor de reducción.
- (*) La demanda sísmica para los análisis pseudo-estáticos será del 60% de la aceleración máxima en el terreno:

Nota. Tomado de (NEC-SE-GC, 2015)

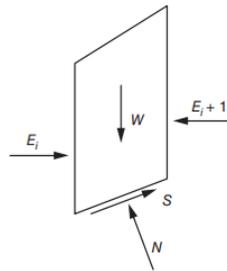
Métodos Determinísticos en la estabilidad de taludes

Método de Bishop Simplificado (1955)

El método de Bishop es una extensión del método de dovelas ordinario que toma en consideración fuerzas de interacción horizontales entre dovelas, es decir se omiten las fuerzas cortantes verticales entre rebanadas y la falla ocurre en un plano circular (Duncan, Wright, & Brandon, 2014).

Figura 8

Fuerzas consideradas en el método de Bishop



Nota. Tomado de (Duncan, Wright, & Brandon, 2014).

Partimos de la ecuación de equilibrio

$$N \cos(\alpha) + S \sin(\alpha) - W = 0$$

Por otro lado, tenemos que:

$$S = \tau \Delta l$$

Expresado en términos del factor de seguridad

$$S = \frac{s \Delta l}{FS}$$

$$S = \frac{1}{FS} (c' \Delta l + (N - u \Delta l) \tan(\phi'))$$

$$N = \frac{W - (1/FS) S}{\cos(\alpha) + \sin(\alpha) \tan(\alpha)/FS}$$

Los esfuerzos efectivos resultan de:

$$\sigma' = \frac{N}{\Delta l} - u$$

Finalmente, el factor de seguridad en términos de esfuerzos efectivos se expresa como:

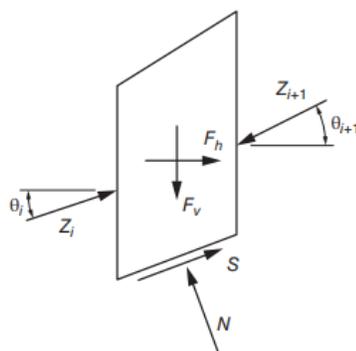
$$FS = \frac{\sum \left[\frac{c' \Delta l \cos(\alpha) + (W - u \Delta l \cos(\alpha)) \tan(\phi')}{\cos(\alpha) + \sin(\alpha) \tan(\alpha) / FS} \right]}{\sum W \sin(\alpha)}$$

Método de Janbu (1967)

También conocido como el método de las fuerzas se caracteriza por suponer horizontales las fuerzas actuantes entre dovelas, en esta metodología se cumple el equilibrio de fuerzas más no el equilibrio de momentos. Para mejorar la estimación del factor de seguridad se propusieron factores de corrección basados en la relación profundidad-longitud de la masa deslizante de suelo (Huang, 2014).

Figura 9

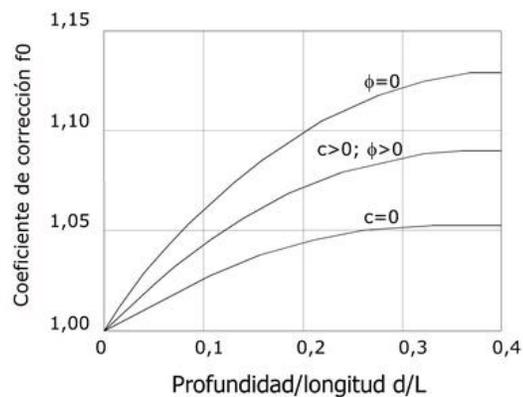
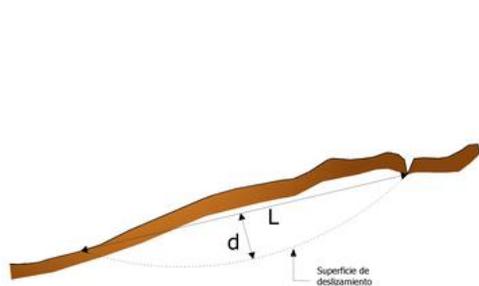
Equilibrio estático de Fuerzas Janbu



Nota. Tomado de (Duncan, Wright, & Brandon, 2014).

Figura 10

Cálculo del factor correctivo f0 Método de Janbu



Nota. tomada de (GeoStru, 2015).

El factor de seguridad queda definido por:

$$FS = \frac{f_0 \sum [c_i b_i + (W_i - u_i b_i + \Delta x_i) \tan(\phi_i)] \times \frac{1}{\cos(\alpha)} ma}{\sum W_i \times \tan(\alpha_i)}$$

$$ma = \cos(\alpha) \left(1 + \frac{\tan(\alpha) \tan(\phi)}{FS} \right)$$

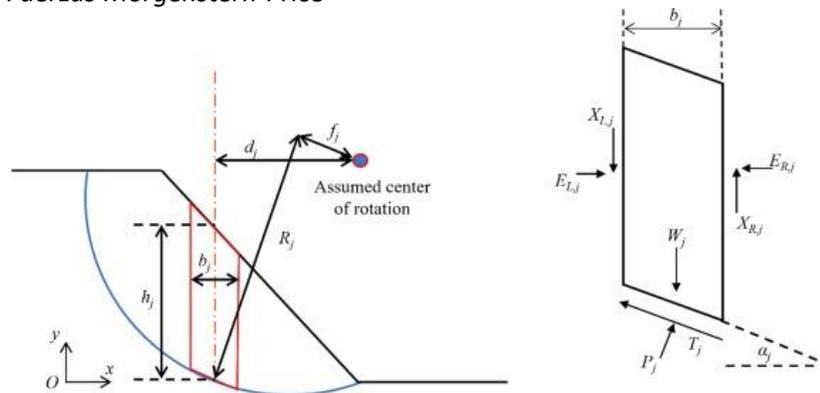
Cabe recalcar que este método no cumple con el equilibrio de momento mientras que si lo hace con el equilibrio de fuerzas.

Método de Morgenstern & Price (1965)

El método considera fuerzas de contacto normales E además de fuerzas de corte X entre dovelas y se basa establecer una función de correspondencia entre las mismas, esta función puede ser del tipo constante, semi-seno, trapezoidal o en base a un conjunto de datos. Cabe destacar que dentro de esta metodología se satisface el equilibrio de fuerzas y momentos (GeoSlope, 2021).

Figura 11

Equilibrio estático de Fuerzas Morgenstern-Price



Nota. Tomado de (Ouyang, Liu, & Yang, 2022).

La función de correspondencia se expresa como:

$$X = \lambda f(x) E$$

$f(x)$: función de fuerza entre cortes que representa la dirección relativa de la fuerza resultante entre cortes.

λ : es un factor de escala

Consideraciones Sísmicas

Este análisis es una ampliación al equilibrio límite puesto que se introduce la incidencia de la aceleración de un eventual movimiento sísmico tanto en su componente horizontal como vertical.

El análisis parte de la segunda ley de Newton, en donde la fuerza es el producto de la masa por su aceleración.

$$F = ma$$

A su vez el peso lo podemos expresar en función de la gravedad.

$$W = mg; m = \frac{W}{g}$$

Reemplazando y ordenando tenemos:

$$F = \frac{a \cdot W}{g}$$

Por lo tanto, si descomponemos a la fuerza resultante en sus dos componentes tendríamos:

$$F_h = \frac{a_h \cdot W}{g} = k_h \cdot W$$

$$F_v = \frac{a_v \cdot W}{g} = k_v \cdot W$$

a : aceleración del terreno

W : Peso de cada dovela

g : aceleración de la gravedad.

k_H y k_V : Coeficiente pseudo-estático de aceleración horizontal y vertical

Para la componente horizontal del sismo la Norma Ecuatoriana de la Construcción en su apartado NEC-SE-CM señala que ante la demanda sísmica para los análisis pseudo-estáticos la componente horizontal se reducirá al 60% de la aceleración máxima del terreno (NEC-SE-GC, 2015) . Es así como la componente horizontal queda definida por:

$$k_h = \frac{0,6(a_{max})}{g}; a_{máx} = ZFa$$

Z: Factor de Zona

Fa: Coeficiente de amplificación del suelo.

En cuanto a la componente vertical del sismo según NEC-SE-DS (2015) sugiere que esta componente se puede establecer mediante el escalamiento de la componente horizontal de la aceleración por un factor de reducción mínimo de 2/3.

Instrumentación para el control de taludes

Los planteamiento y resoluciones teóricas que se obtienen en la estabilización de taludes, nunca suelen ser satisfactorias debido a que las incertidumbres que se generan en el ingeniero por las diferencias entre el análisis y el real comportamiento de estos cuerpos.

El propio comportamiento natural y a la vez complejo del suelo y de las rocas hace que cualquier tipo de obras o procesos constructivos de estabilización trabajen bajo un cierto grado de incertidumbre, por todo lo anterior expuesto el desarrollo de transductores que puedan captar señales provenientes de taludes o laderas ha crecido, el uso de esta nueva tecnología y la correcta interpretación de las observaciones permiten validar algunas de las hipótesis y teorías considerados en el análisis teórico de proyectos o estudios de fallas (Oliva, 2015).

El cuerpo del talud que se está analizando en el presente estudio, ya ha presentado grietas, desprendimientos e inclinación de la vegetación existente por lo que es importante desarrollar un instrumento el cual sea capaz de registrar los movimientos que aparezcan en determinados momentos.

Instrumentos, equipos y métodos

La importancia de la instrumentación de monitoreo de taludes tiene ventajas como; alertar la falla de estructuras evitando así pérdidas económicas y humanas, el constante monitoreo puede servir para dar previo aviso después de que algún indicador haya excedido límites aceptables (Torres & Quintero Franco, 2012).

Algunas de las fallas que se pueden presentar es debido a sobrecargas de las estructuras, errores de diseño, deterioro y muchas veces por fuertes precipitaciones y la inexistencia o mal funcionamiento de un sistema de drenaje.

Algunos de las metodologías que se pueden usar para el control de deformaciones se presentan a continuación.

Control topográfico

Reconocido tal vez como uno de los métodos tradicionales más utilizados para el control de movimientos de cuerpos y estructuras que se asientan sobre las coronas de laderas o taludes.

La idea de esta metodología es monitorear planimétrica y altimétricamente una serie de puntos denominados hitos de control, en aquellas zonas en donde se prevé puedan ocurrir desplazamientos.

La limitación que puede tener esta metodología es establecer una línea o punto de referencia que este fuera de la influencia de los movimientos que se están monitoreando, una vez materializado un punto de referencia finalmente se puede establecer la dirección y la velocidad de los movimientos a través de una planta topográfica en donde cada punto refleje un vector de desplazamiento, dando así una idea de cuan inestable es el suelo o roca.

Una metodología que se basa en los mismos conceptos es el control mediante GPS en donde establecidos los puntos de control se puede encontrar los desplazamientos por medio de la diferencia en las coordenadas, dichas medidas deben realizarse en instantes de tiempo, épocas o campañas.

Extensómetros

Este tipo de instrumentación es muy útil en túneles y minas, consiste en colocar dispositivos que midan los desplazamientos relativos entre masas de tierra de un mismo cuerpo, su uso es recomendable para aquellas zonas de difícil acceso. Dentro de esta categoría podemos definir dos tipos de extensómetros.

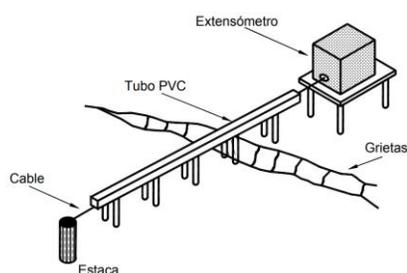
Extensómetros horizontales

Estos instrumentos ayudan a la medición de movimientos relativos entre dos puntos de forma manual o automática, la típica ubicación suele ser en los escarpes principales permitiendo así determinar el movimiento y deformación de las grietas principales.

Se puede determinar el movimiento de bloques individuales dentro del movimiento general con la ayuda de varios extensómetros. Las mediciones deben tener una precisión de al menos 0.2mm y deben relacionarse con los datos de lluvia diaria además tienen la ventaja de no ser afectado por la humedad, densidad o presión atmosférica (Torres & Quintero Franco, 2012).

Figura 12

Diagrama de instalación de un extensómetro horizontal.



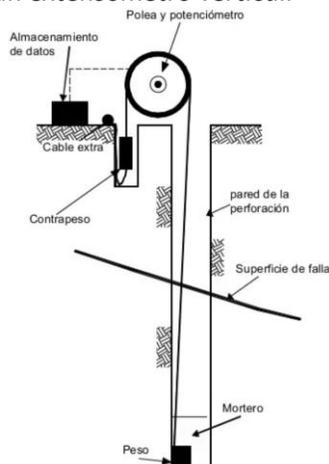
Nota. Tomado de Suarez, (2021)

Extensómetros verticales

Este tipo de instrumentos cumplen con la misma función de los extensómetros horizontales, pero miden el aumento o disminución de la longitud de un cable que debe mantenerse en tensión.

Figura 13

Esquema del equipo y funcionamiento de un extensómetro vertical.



Nota. Tomado de Suarez, (2021)

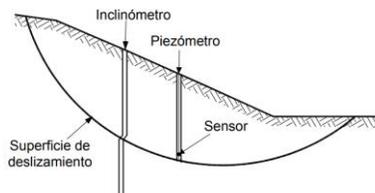
Inclinómetros

Este instrumento ayuda a determinar la profundidad de la superficie de falla y la dirección y magnitud de los desplazamientos.

El inclinómetro está compuesto por cuatro componentes principales; un tubo guía de plástico, acero o aluminio que va instalado dentro de una perforación, un sensor portátil montado sobre un sistema de ruedas, un cable de control que baja y sube el sensor y transmite las señales eléctricas, finalmente un equipo de lectura que pueda recibir las señales eléctricas, presente las lecturas, guarde y procese los datos.

Figura 14

Monitoreo de deslizamientos utilizando inclinómetros y piezómetros.



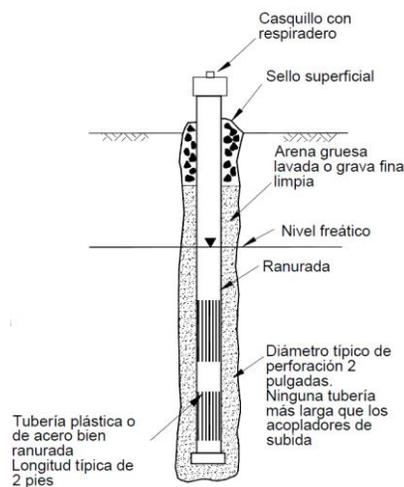
Nota. Tomado de Suarez, (2021)

Piezómetros

Según Suarez (2021), la presión de poros se puede monitorear utilizando excavaciones de observación o piezómetros, los cuales pueden ser de tubo abierto, neumáticos o de cable vibratorio.

Figura 15

Piezómetro de tubo abierto con ranuras verticales.



Nota. Tomado de Suarez, (2021)

La metodología para poder usar estos instrumentos consiste en la introducción de un tubo perforado en su base, dentro de una excavación, el nivel del agua se equilibra dentro de tubo hasta alcanzar el nivel freático del cuerpo de talud o ladera y finalmente se puede tomar lecturas de forma electrónica o manual mediante un cable y un elemento detector.

Inclinómetros de pared

Uno de las alternativas para poder controlar movimientos relativos en estructuras son los inclinómetros, dichos instrumentos detectan la inclinación o basculamiento entre dos canales, un paralelo y un perpendicular al mismo. Su precisión es de $0,001^\circ$ y se emplean comúnmente en el monitoreo de la pérdida de verticalidad de elementos estructurales, por causa de los movimientos en el terreno.

Figura 16*Implementación de inclinómetros en estructuras.*

Nota. Tomado de Oliva, (2015)

Uso de transductores

En el estudio de la estabilidad de taludes se observa lo más crítico, donde va a ocurrir una quebradura en la superficie del suelo, para ello se debe recurrir a usos de instrumentación como el sistema TDR (Time Domain Reflectometry), transductores de presión, fuerza y humedad para así minimizar el riesgo para una futura población o usuarios que transiten por el sector del talud.

Sistema TDR (Time Domain Reflectometry)

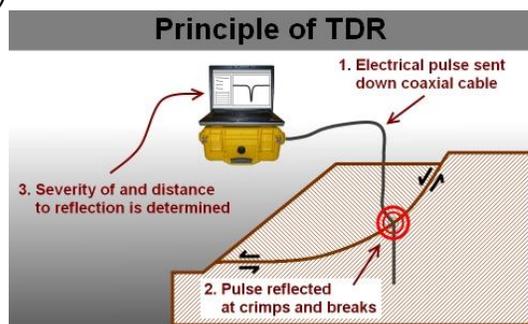
También denominado Reflectometría de dominio de tiempo, que se la define como una técnica de medición para determinar de forma precisa el contenido de agua volumétrico, conductividad eléctrica del suelo, deformación de una masa rocosa, u otra medida TDR del usuario (CAMPBELL SCIENTIFIC, 2016).

La técnica TDR es el método más común al medir la humedad del suelo para eludir los métodos tradicionales tales como la gravimétrica, la resistencia eléctrica, la sonda de neutrones, etc. La tecnología TDR se utiliza en diversas aplicaciones industriales en el campo de la electrónica, ideadas para cuando se detecta una anomalía en la línea de transmisión eléctrica, y la respuesta del campo eléctrico de los componentes del suelo (Tecles, 2017).

La presencia de fragmentos de roca en el suelo puede afectar las mediciones realizadas con el TDR, ya que estos fragmentos no contienen agua o poseen menos agua que el suelo. Sin

embargo, el sistema TDR funcionó bien en suelos gruesos, siempre que se hicieran las correcciones en función de la pedregosidad (Martínez, Sanchez, & Cammeraat, 1994).

Figura 17
TDR (Time Domain Reflectometry)



Nota. Tomado de (KANE GeoTech, INC., 2020)

Presión

A la presión se la conoce como una medida de fuerza por unidad de superficie, en el sistema internacional de unidades la presión se mide en pascal (Pa) que corresponde a 1 N/m^2 , sin embargo, para los procesos industriales a la presión se la mide en unidades de atmósferas, mmHg, bar, etc. Básicamente existen dos tipos de valores por los que se pueden medir la presión dependiendo del criterio utilizado. Ya sea el cero absoluto o la presión atmosférica, entonces de estas referencias tenemos:

Presión absoluta: Es la que se mide en relación al cero absoluto de presión, es decir, con respecto al vacío perfecto, por lo que los transductores de presión absoluta son dispositivos que miden la presión absoluta del medio ambiente o de una fuente de presión, teniendo como referencia el vacío (Cesar, 2003).

Presión atmosférica: Es la que ejerce la atmósfera sobre la superficie terrestre y varía dependiendo del lugar, a nivel del mar la presión atmosférica es de 760 mmHg o 1 atmósfera (Cesar, 2003).

Transductor

Los transductores son elementos que pueden convertir las magnitudes físicas captadas (temperatura, posición, peso, deformación, par de fuerzas, velocidad, etc.) en magnitudes eléctricas, de tal forma que el sistema pueda entenderlas, es decir que es un dispositivo capaz de transformar una magnitud física en una magnitud eléctrica (de la Quintana Gordon, López López, Zaballos Bustingorri, & de la Quintana Gordon, 2004).

Transductores de presión

Un transductor de presión es un artefacto que ayuda a la medición, monitoreo y control de la presión que presenta un tipo de fluido contra el mecanismo del artefacto, estos equipos constan de un elemento sensible a la presión para determinar la presión que actúa sobre el sensor y algunos componentes que cambian esta información en una señal de salida.

Además, es un componente capaz de enviar una señal eléctrica de salida a largas distancias en función de la presión detectada. Asimismo, forman parte de muchos sistemas de automatización como el control de apertura y cierre de válvulas o el funcionamiento de bombas de presión (acpautomatismos, 2021).

Todo esto se convierte en una señal eléctrica proporcional a una presión específica. De esta forma dependiendo de la magnitud de la corriente generada, es posible transmitir varios comandos a los órganos de control a los que se conecta el transductor de presión (acpautomatismos, 2021).

Clasificación de los transductores

Dentro de un mismo tipo de transducción podemos encontrar diferentes tipos de equipos, dependiendo de sus características estructurales u operativas donde podemos distinguir dos tipos básicos de transductor (de la Quintana Gordon, López López, Zaballos Bustingorri, & de la Quintana Gordon, 2004):

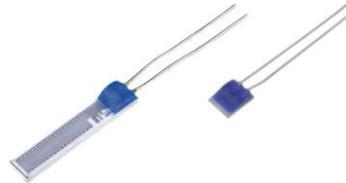
Directos: Se colocan directamente en contacto con el punto cuya presión se va a medir.

Indirectos: Se sitúan alejados del punto de medición.

Es probable hallar diferentes tipos de transductores de presión en función del sensor que se incorpora. Donde cada uno de ellos tiene una función diferente los cuales son:

Sensores resistivos: Estos sensores se basan en medir los cambios de resistencia causados por la deformación, que es función de la presión. Para ello, se utiliza una membrana que se puede deformar de forma controlada según la presión. Las membranas contienen conductores que se deforman, como las membranas que los sostienen, y darán como resultado un aumento o disminución de la resistencia.

Figura 18
Sensores resistivos



Nota. Tomada de (TEM Electronic Components, s.f.)

Sensores piezorresistivos: Similar a los sensores de resistencia. La diferencia es que se utilizan semiconductores en lugar de metales como conductores y la deformación en esta cuestión provocará cambios en la resistividad.

Figura 19
Sensor Piezorresistivo



Nota. Tomada de (Ninghai Sendo Sensor Co., Ltd, 2022)

Sensores piezoeléctricos: Se basan en los efectos físicos que se producen en algunos cristales no conductores como el cuarzo.

Figura 20
Sensor Piezoeléctrico



Nota. Tomada de (HBM an HBK company, 2020)

Sensores capacitivos: Están establecidos por la medición de la capacitancia de un condensador, que cambia con la proximidad a la superficie activa. Para ello, se usa una película con dos placas metálicas que forman un condensador (acpautomatismos, 2021).

Figura 21
Sensor Capacitivo



Nota. Tomada de (Weg, s.f.)

Transductores de fuerza

Los transductores de fuerza o también llamados dinamómetros es un dispositivo que se encarga de medir los valores instantáneos de esta fuerza utilizada, por ejemplo, durante el mecanismo automatizado, cuando una herramienta incide sobre una superficie vacía y tiene lugar al arranque de viruta que permite dar forma a las piezas proyectadas. Los equipos sensibles a la variación de algunas propiedades mecánicas del instrumento deben ser capaces de registrar una señal específica y convertirla en cambios de fuerza (Cabrera Mata, 2002).

De la misma manera son elementos de medición diseñados para medir las fuerzas de compresión y tracción de forma precisa.

Tipos de transductores de Fuerza

Transductores piezoeléctricos

Por lo general consta de dos discos con una placa de electrodos entre ellos. Cuando se aplica cierta fuerza a estos dispositivos, se genera instantáneamente una carga eléctrica. Esta carga se mide con un amplificador de carga. En otras palabras, la carga generada es proporcional a la fuerza aplicada al transductor y el amplificador puede medir la fuerza (AEP transducers, 2021).

Estos sensores de fuerza piezoeléctricos son adecuados para medir fuerzas muy dinámicas y cuasiestáticas es decir que el sistema está en todo momento en estado de equilibrio. Su ventaja de este elemento de medición piezoeléctrico es su precisión de medición constante en un amplio rango de medición. Por ello es permitido utilizar un sensor muy grande para medir las fuerzas pequeñas con una precisión constante (KISTLER, 2022).

Figura 22

Sensor piezoeléctrico de fuerza



Nota. Tomada de (AEP transducers, 2021)

Transductores de fuerza con sensores de galgas extensométricas.

Permite medir la fuerza de una manera diferente. Contiene un componente de material resistente y elástico sobre el que se aplica la fuerza. La fuerza parece causar una ligera deformación del elemento de resorte, a partir del cual se puede medir la fuerza aplicada. Dependiendo del tamaño del elemento de resorte, se puede seleccionar el rango de medición del dispositivo (AEP transducers, 2021)

Además, estos transductores son adecuados para la medición de fuerzas de tracción y

compresión estáticas y cuasi estáticas. Además, estos transductores son adecuados para la medición de fuerzas de tracción y compresión estáticas y cuasiestáticas.

Humedad

La humedad es una propiedad que describe el contenido de vapor de agua en un gas, Se puede expresar en términos de varias magnitudes. Algunos se pueden medir directamente y otros se pueden calcular a partir de magnitudes medidas (Martines, 2007).

Se la define como la cantidad de agua presente en el aire circundante. Este contenido de agua en el aire es un factor clave ya que si la temperatura llegara a 0°C se sentiría cómodo porque el aire estaría seco. Sin embargo, si la temperatura es de 100°C la humedad es alta, el contenido de agua es alto y nos sentiríamos incómodos, no obstante, la humedad es un factor importante para manipular los equipos como la electrónica, equipos industriales, dispositivos sensibles a la electricidad estática y dispositivos de alta tensión, etc. Estos dispositivos se deben manipular en un entorno donde la humedad sea adecuada para los equipos (Electronica Lugo, 2018).

Transductores de humedad

Estos transductores se utilizan en lugares donde es necesario la precisión de la humedad de aire. Un ejemplo comúnmente de estos transductores es en los laboratorios en conexión con un regulador para mantener una humedad constante. Agregado a lo anterior estos dispositivos convierten la magnitud física de humedad del aire en una señal normalizada, que transfiere a un sistema de control (Perez, 2021).

En este caso los transductores de humedad también se han diseñado para verificar las mediciones de aire y temperatura se debe monitorear la humedad del suelo lo cual es importante ya que puede ayudar a tomar mejores decisiones en un futuro en los trabajos proyectados de la

construcción, tal que se pueda determinar el nivel freático que se esté proporcionando en el terreno, y así determinar la sobrecarga existente del suelo.

Clasificación y funcionamiento

Los sensores de humedad se pueden clasificar en función del tipo de humedad que se utiliza para medir, por ejemplo, sensores de humedad absoluta o sensores de humedad relativa. Además, se pueden clasificar también por el parámetro utilizado para medir la humedad, es decir, sensores de humedad capacitivos, sensores de humedad con conductividad eléctrica o resistivo (Electronica Lugo, 2018).

Sensor de humedad capacitivo: Son uno de los tipos básicos de sensores de humedad. Se usan donde el costo, la rigidez y el tamaño son motivos de preocupación. Una de sus ventajas es que proporciona resultados estables durante un uso prolongado y puede detectar un amplio rango de humedad relativa, sin embargo, la distancia desde el sensor y el circuito de señalización es muy limitada (Electronica Lugo, 2018).

Sensor de humedad resistivo (sensor de conductividad eléctrica): El principio es el hecho de que la conductividad en los conductores no metálicos depende del contenido de agua. Este sensor está compuesto de materiales con resistividad relativamente baja y esta resistividad cambia significativamente con los cambios en la humedad. La relación entre resistencia y humedad es inversamente exponencial. Su ventaja es de bajo costo, tamaño pequeño, la distancia entre el sensor y el circuito de señal puede ser grande, aunque los sensores de humedad resistivos son sensibles a los vapores químicos y otros contaminantes (Electronica Lugo, 2018).

Acelerómetro

Es una herramienta para medir y analizar la aceleración lineal y angular. Se utilizan en mediciones de aceleración gravitacional estática, lo que le permite determinar el ángulo de desviación

del cuerpo medido de la vertical, así como en mediciones de aceleración dinámica debido a golpes, movimiento, impacto o vibración. Los acelerómetros no son más que transductores de aceleración que mide su propio movimiento en el espacio (TEM Electronic Components, s.f.).

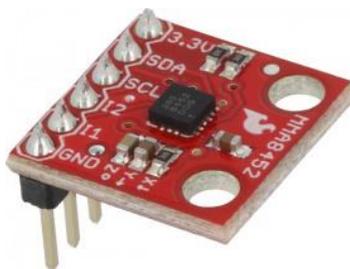
Este dispositivo se implementa directamente en el objeto que vibra, lo que permite convertir la energía vibratoria en una señal eléctrica proporcional a la aceleración instantánea del cuerpo.

Así mismo el acelerómetro generalmente se utiliza para diagnosticar estructuras sometidas a altos esfuerzos, por ejemplo, estructuras de acero de mástiles, puentes o estructuras de edificios (TEM Electronic Components, s.f.).

En el mercado existe tres tipos de acelerómetros los cuales son: acelerómetros capacitivos MEMS, acelerómetros piezoeléctricos y acelerómetros piezorresistivos.

Acelerómetros capacitivos MEMS: estos sensores son de estructura pequeña, barata y común y su funcionamiento minimiza el peso montado en los resortes ya que uno de los resortes está unido a los revestimientos del condensador de peine, mientras que el otro extremo está unido al peso montado.

Figura 23
Sensor Capacitivo

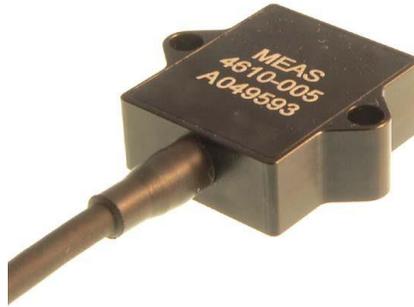


Nota. Tomada de (TEM Electronic Components, s.f.)

Acelerómetros piezorresistivos: Se caracterizan por una banda de medición, gracias a la cual puede interpretar vibraciones de mayor amplitud y frecuencias, lo que es útil entre otros, además permite su uso en sistemas de navegación para calcular velocidad y desplazamiento de sistemas por la

medición de señales de cambio lento, sin embargo, este acelerómetro tiene problemas en detectar señales débiles y son más costosos que otros dispositivos.

Figura 24
Sensor Piezorresistivos



Nota. Tomada de (SENSING, 2019)

Acelerómetros piezoeléctricos: Su función es para determinar el nivel de vibración y se utilizan a nivel de industrias para el diagnóstico de maquinarias. Se caracterizan por su alta sensibilidad y precisión.

Figura 25
Sensores piezoeléctricos



Nota. Tomada de (SENSING, 2019)

Giroscopio

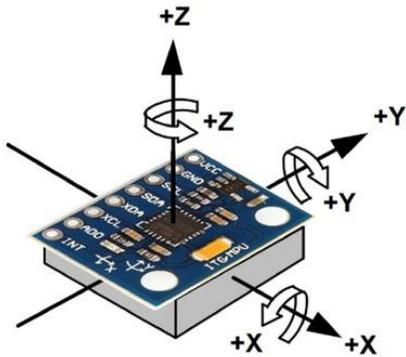
Este es un dispositivo que se utiliza la gravedad de la tierra para determinar la orientación, es decir, que detectan la velocidad angular, el cambio en el ángulo rotacional por unidad de tiempo.

Existen tres tipos de giroscopios: giroscopios rotativos, giroscopios de estructura vibratoria y giroscopios ópticos (Newark, s.f.).

Este dispositivo tiene un diseño que consta de un disco que, rota libremente, llamado rotor, montado en un eje giratorio en el centro de una rueda más grande y estable. A medida que gira el eje, el rotor permanece estacionario para indicar el efecto de la gravedad central y, por lo tanto, la dirección hacia abajo. Un giroscopio mantiene su eficiencia al poder medir la velocidad de rotación sobre un eje específico. Usando los conceptos básicos del momento angular, un giroscopio ayuda a determinar la dirección (Newark, s.f.).

Figura 26

Ilustración de giroscopio con relación a sus ejes



Nota. Tomada de (NAYLAMP, s.f.)

Capítulo III

Descripción de la zona de estudio

Ubicación

El talud se encuentra localizado en la hacienda EL Prado IASA I, instalaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE", en el sector de Selva Alegre perteneciente a la parroquia de Sangolquí, cantón Rumiñahui, Provincia de Pichincha, cuyas coordenadas de referencia WGS_1984_UTM_Zonr_17S del proyecto son 9957450 N y 787400 E Y 2700 msnm.

Figura 27
Zona de estudio



Nota. En la imagen podemos observar el lugar de análisis y ensayos realizados

Condiciones climáticas

El área de estudio es considerada una zona de vida bosque húmeda Montano con un clima templado, la temperatura promedio, la precipitación y la humedad relativa es de 14,2°C, 1575 mm/año y 68%, respectivamente (Estación de Meteorología e Hidrología – Hacienda El Prado, 2020).

Precipitación

Un día humedecido es un día con por lo menos 1 milímetro de precipitación. La ocurrencia de precipitación en Quito cambia considerablemente durante el transcurso del año. La temporada con más precipitación dura 5,5 meses, del 10 de diciembre al 27 de mayo, con una ocurrencia de más del 44% que de cierto día será un día con mucha precipitación. El mes con mayor precipitación es abril, con un promedio de 160 milímetros de precipitación (Spark, 2022).

Figura 28

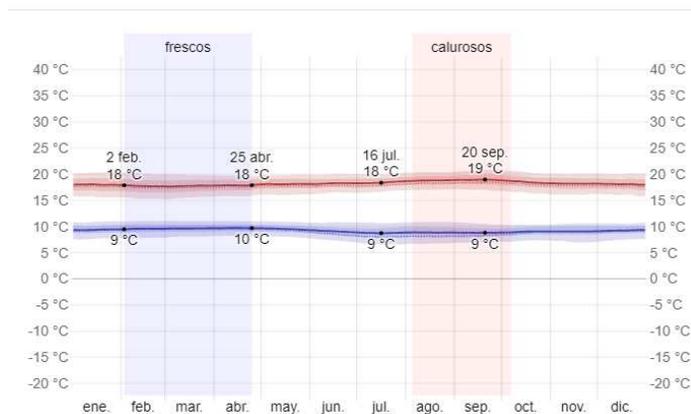
Probabilidad diaria de precipitación en Quito



Nota. La imagen muestra el porcentaje de días en los que se observan diferentes tipos de precipitaciones, excluidas las cantidades ínfimas: solo lluvia, solo nieves, mezcal (llovió y nevó el mismo día). Fuente: Weather Spark

Temperatura

La temperatura templada dura 2 meses, desde el 5 de agosto al 7 de octubre, la temperatura máxima promedio diaria es más de 19 °C. El mes más cálido del año en Quito es agosto, con una temperatura máxima promedio de 19 °C y mínima de 9 °C.

Figura 29*Temperatura máxima y mínima promedio en Quito*

Nota. Gráfica tomada de (Spark, 2022)

Humedad

El nivel de humedad, medido por el porcentaje de tiempo en el cual el nivel de comodidad de humedad es insoportable, no cambia considerablemente durante el año y permanece prácticamente constante en 0%.

Figura 30*Niveles de comodidad de la humedad en Quito.*

Nota. Gráfica tomada de (Spark, 2022)

Aspectos físicos

Para un mejor alcance del desarrollo del proyecto, se realizó un recorrido por el sitio para una visualización de las condiciones actuales alrededor del talud, así mismo del área de estudio.

Actualmente, en la cabeza del talud existe la presencia de ojos de agua, estas más abundantes en épocas de mayor precipitación como se observa en la Figura 31 y un canal de en el cual desemboca el agua de varias tuberías hacia la parte baja del talud, mientras que en el cuerpo del talud se observa escarpes de falla, ver Figura 31 y abundante vegetación en el pie del talud.

Figura 31

Condiciones del suelo en la cabeza del talud



Nota. La imagen representa la saturación del suelo

Figura 32

Evidencia de escarpes en el cuerpo del talud



Las infraestructuras cercanas en la cabeza del talud son de planta baja, el criadero de cuyes del IASA es la más próxima, a una distancia horizontal alrededor de 5 metros como se muestra la Figura 33.

Figura 33

Edificación cercana a la cabeza del talud

**Geología**

Se conoce que la geología de la zona es proveniente de un depósito de sedimentos como resultado de lahares de antiguas erupciones del volcán Cotopaxi, estos depósitos están compuestos por materiales como cenizas volcánicas, arenas, cangahuas, este último material conformado por ceniza muy fina, dura y de gran espesor presente en la mayor parte de la Sierra (Terán & Villacrés, 2006).

Actividades de campo***Levantamiento Topografía***

Se ejecutó un conjunto de actividades en campo, con el fin de adquirir información necesaria que permita determinar coordenadas de los puntos en análisis del terreno, ya sea directa o por medio de cálculos mismos que nos brindará una representación gráfica del terreno levantado.

Planimetría

Para el presente trabajo se realizó la toma de información haciendo uso del Dron (ver Apéndice 1), empleando fotografías o imágenes para obtener la información del lugar, con el uso de las fotografías se pueden observar el suelo, la geología, movimientos del terreno y otros elementos naturales que son difíciles de observar a simple vista.

Para ello se siguió la técnica de posicionamiento RTK, el cual permite crear un enlace directo entre la estación tierra y el dron, permitiendo correlaciones en tiempo real de las imágenes tomadas. Las imágenes del dron fueron tomadas a una altura de 30 m del punto materializado. La información se procesa en el software Pix4D versión estudiantes para obtener la nube de puntos y las curvas de nivel. en el terreno.

Altimetría

De la misma forma se hizo uso de la estación total y el GPS (ver Apéndice 2); al primer instrumento se le conoce así, porque integra en un solo equipo las funciones realizadas por el teodolito electrónico, un medidor electrónico de distancia y un microprocesador para realizar los cálculos pertinentes para cualquier trabajo topográfico que necesite determinar las coordenadas rectangulares de los puntos del terreno.

A continuación, se presenta la topografía de la zona de estudio con curvas de nivel cada 5 y 1 metro; además la delimitación del área de estudio, coordenadas de los puntos de control, edificaciones cercanas, el afluente más cercano y el orto mosaico (ver Figura 33). El perfil transversal del talud se muestra en la Figura 34.

Figura 34
 Mapa topográfico del talud

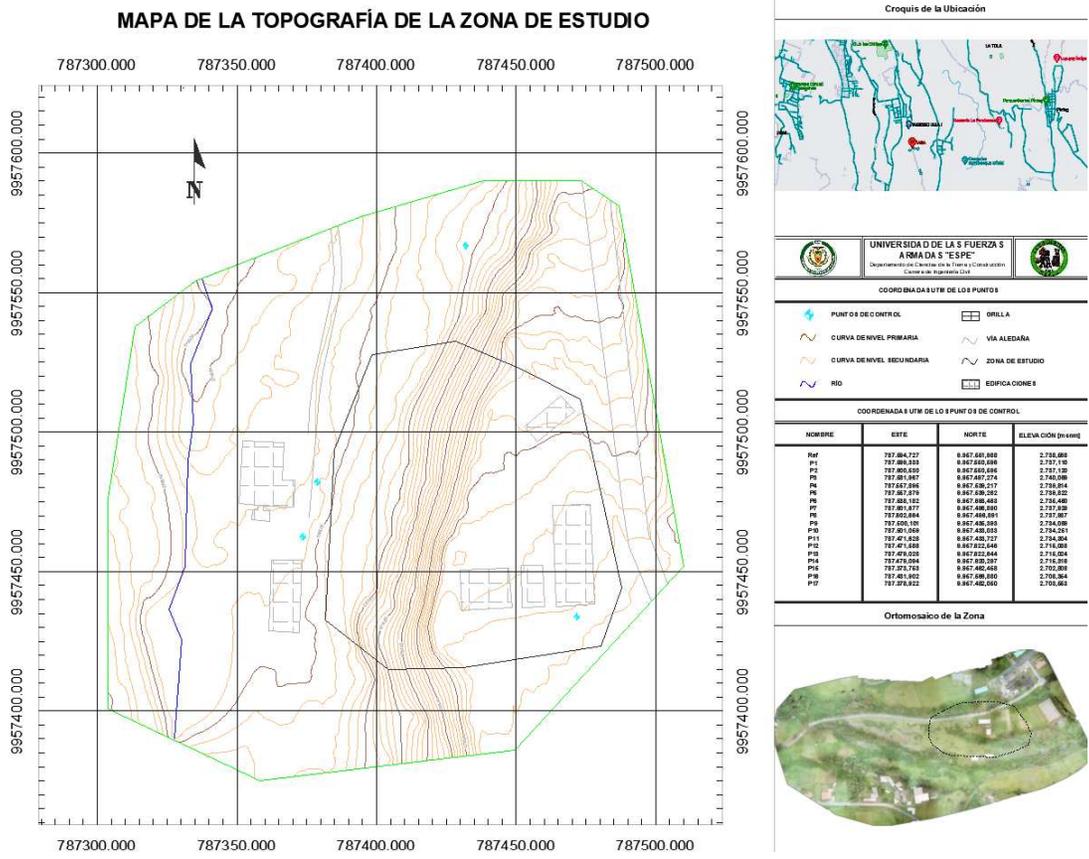
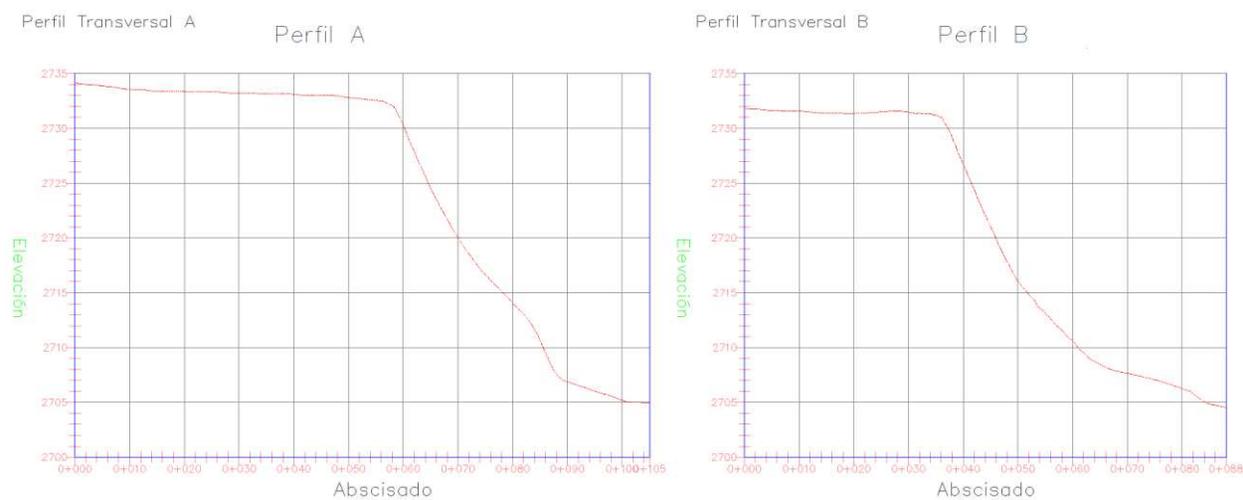


Figura 35
 Perfil transversal del talud a lo largo de la línea A y B

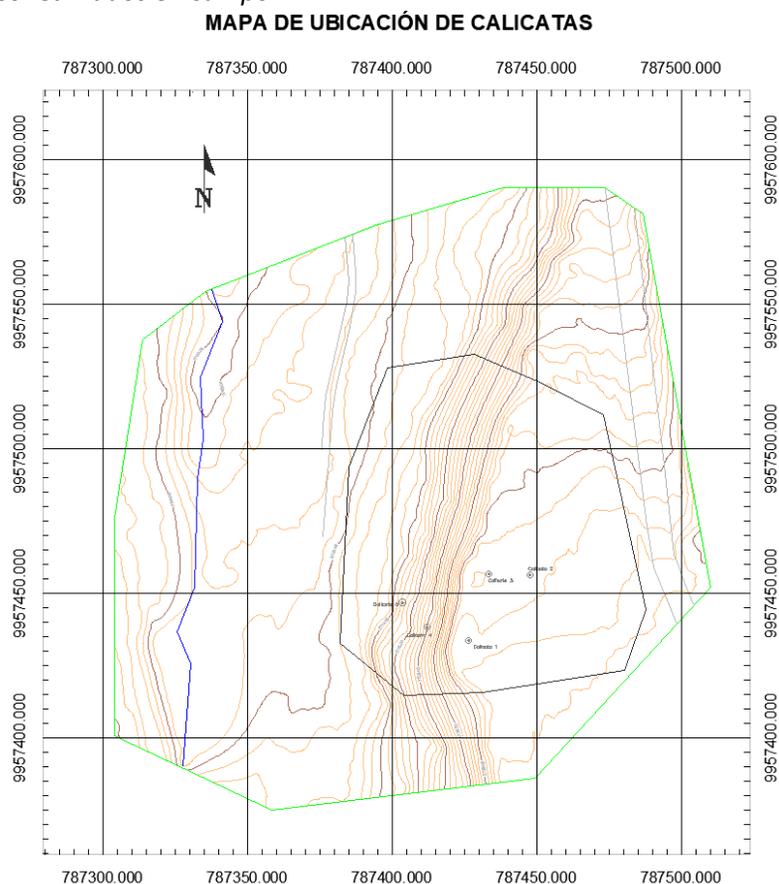


Procesamiento de datos.

Para determinar las principales propiedades físicas y mecánicas del suelo y analizar los estratos presentes en el talud se efectuaron los siguientes sondeos y ensayos de laboratorio.

Figura 36

Ubicación de los sondeos realizados en campo



Ensayo de Clasificación SUCS

En el sector de estudio se hicieron calicatas en diferentes puntos de la cabeza, cuerpo y pie del talud, en el cual se reportó la presencia de suelo limoso, a una profundidad superficial no mayor a 1,0 m por la presencia de agua, escombros como ladrillo, tejas y cimentación (ver Apéndice 3). La parte superficial ha sido clasificada según el sistema SUCS como ML, limos inorgánicos y arenas muy finas con ligera plasticidad, el porcentaje de humedad está entre el 45%-50%.

Además, se efectuó una descripción de campo que incluyó tipo de material, color y humedad; permeabilidad, grado de cementación, plasticidad, tenacidad y compacidad relativa para ver los términos de suelo, media y densa.

Tabla 8*Resultados de Clasificación SUCS*

UBICACIÓN	COORDENADAS UTM	SONDEO	PROFUNDIDAD	%w	LL	LP	IP	CLASIFICACIÓN SUCS
Cabeza de talud	9957433,569 S; 787426,415 W	Muestra 1	1,00 m	50,28	23	22,01	0,98	ML
	9957428,382 S; 787430,836 W	Muestra 2	1,00 m	45,18	39,2	37,6	1,6	ML
	9957456,504 S; 787433,420 W	Muestra 3	1,00 m	50,28	23	22,01	0,98	ML
	9957446,428 S; 787426,567 W	Muestra 4	1,00 m	45,71	39,2	37,6	1,6	ML
	9957456,122 S; 787447,492 W	Muestra 5	1,00 m	45,64	44,99	35,44	9,55	ML
Cuerpo del talud	9957438,102 S; 787422,428 W	Muestra 6	Superficial	48,59	62	46,82	23,68	MH
	9957446,600 S; 787411,880 W	Muestra 7	Superficial	45,65	55,29	52,34	2,95	SM

Se evidencia la presencia de canchagua en el talud, clasificado como tipo 4 por sus características como color oscuro y estar ligado a los depósitos volcánicos (Valverde B. & Bonifaz G., 2008).

Ensayo de Compresión No Confinada

El tramo de estudio se sacaron dos cubos de suelo (ver Apéndice 4), en cada uno se tallaron especímenes para ensayar en el laboratorio, los registros y cálculos se presentan en el Apéndice 6.

A continuación, se presenta un cuadro resumen del módulo de elasticidad y el esfuerzo de compresión simple.

Tabla 9*Resultados de laboratorio*

Descripción	Valor	Unidad
Compresión axial	2,70	(kg/cm ²)
Módulo de elasticidad	3523	(kg/cm ²)

Las gráficas de carga vs deformación muestran como el límite de proporcionalidad y el módulo de elasticidad están distantes ya que a la vez que el suelo no se comporta como un material elástico.

Las probetas ensayadas presentan una ruptura dúctil propias de las arcillas blandas ya que aparecen zonas de discontinuidades y se produce un plano de falla inclinado como se observa en el Apéndice 6. Para suelos blando como es el caso se presentan un ensanchamiento sólo por el centro.

Ensayo de Corte Directo

Para el ensayo de corte directo se ensayó 3 especímenes con tres tipos de carga diferente (ver Apéndice 7), los resultados se presentan a continuación:

Tabla 10
Resultados de las pruebas de corte directo

Descripción	Valor	Unidad
Esfuerzo máximo	2,85	(kg/cm ²)
Cohesión	1,38	(kg/cm ²)
Ángulo de fricción	45,51	(°)

Las curvas de los ensayos de corte directo reflejan baja densidad, ya que se alcanza un valor de resistencia media y luego un valor residual.

Ensayo Triaxial

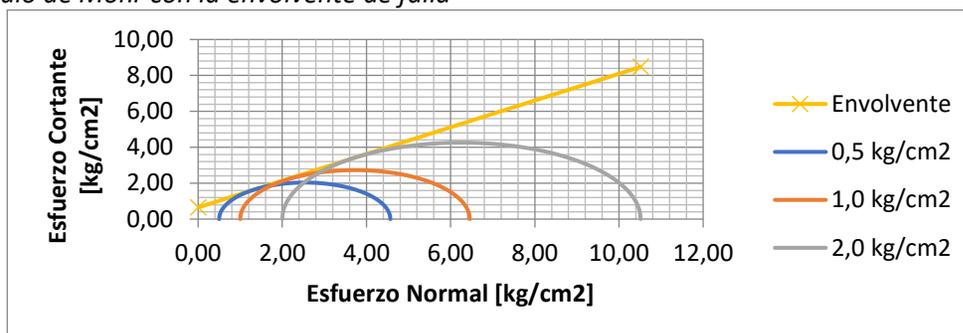
Se ensayaron 3 especímenes para tres tipos de carga 0,5 kg/cm², 1,0 kg/cm² y 2,0 kg/cm² (ver Apéndice 8), obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 11
Resultados de las pruebas triaxial.

Descripción	Valor	Unidad
Cohesión	0,65	(kg/cm ²)
Ángulo de fricción	33,67	(°)
Compresión no confinada	0,37	(kg/cm ²)

Figura 37

Grafica del círculo de Mohr con la envolvente de falla



Ensayos geofísicos

Para el estudio de la geofísica se realizó en total 4 líneas, que abarcan dos zonas denominadas: 3 en la cabeza del talud y 1 al pie del talud, su ubicación se representa en la Figura 33 de la topografía de la zona de estudio y los perfiles se muestran a continuación.

Figura 38

Mapa de ubicación de las líneas para el estudio de ensayos geofísicos

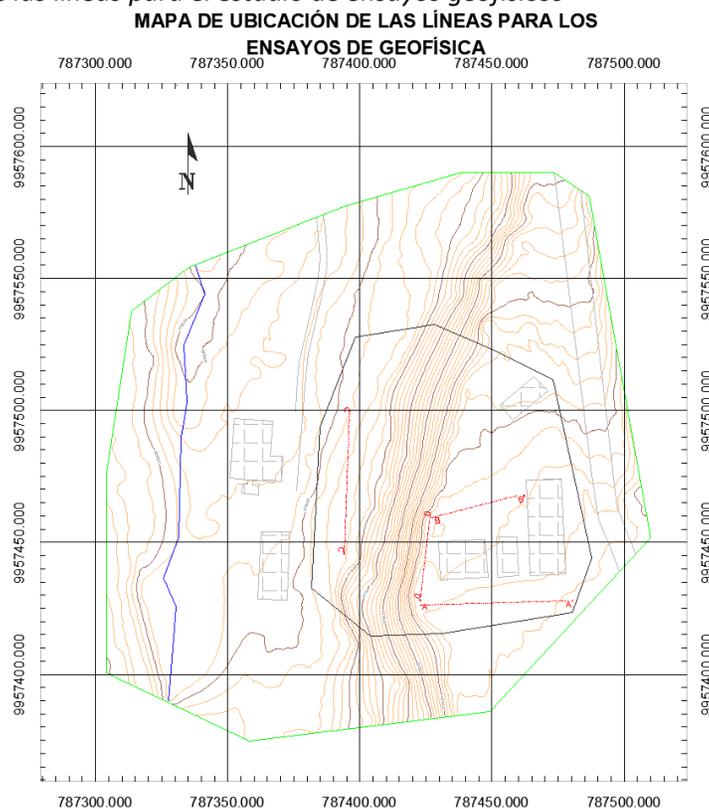
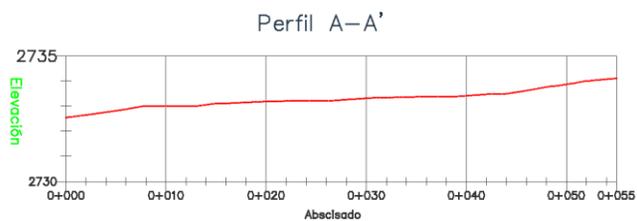


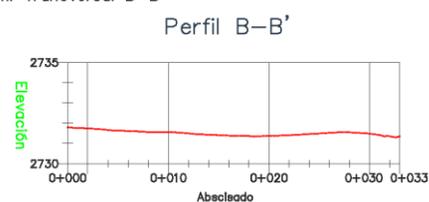
Figura 39

Perfiles de las líneas para el estudio de ensayos geofísicos

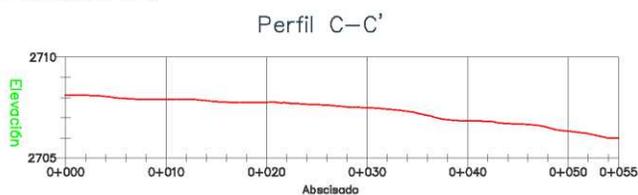
Perfil Transversal A-A'



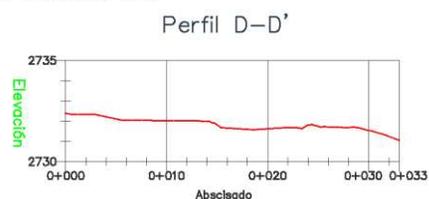
Perfil Transversal B-B'



Perfil Transversal C-C'



Perfil Transversal D-D'

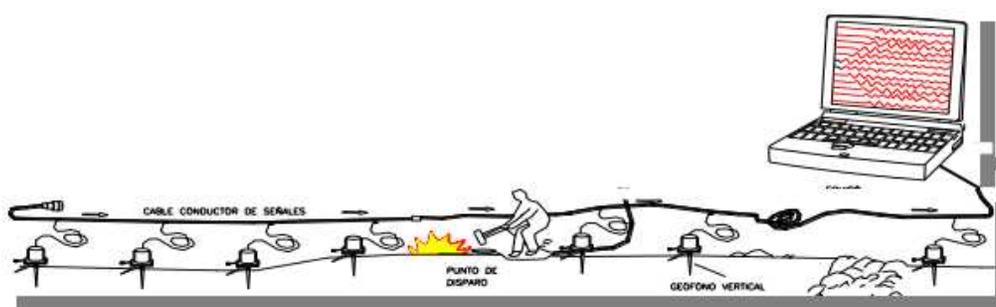


Sísmica de Refracción

Se procedió a colocar los respectivos tendidos de líneas de refracción sísmica con espaciamentos entre sensores o bien llamados geófonos de 2,5 m y 1,5 m, generándose líneas de refracción de 50 m y 35 m de longitud (ver Apéndice 9), dentro del área establecida. Los puntos de impacto se realizaron en los extremos y en la parte central, para así de esa forma tener una buena correlación del tiempo de llegada de la onda sísmica tal cual como se observa en la Figura 38.

Figura 40

Diagrama de ensayo de refracción sísmica



Nota. Tomado de (Pinto Chavez, 2016).

La toma y fuente de energía empleada para determinar y generar las ondas sísmicas fue un combo de 25 lbs, en la que nos permitió obtener registros que mostraron la propagación de las ondas refractadas en el suelo de buena calidad.

Los registros del ensayo de refracción sísmica en lo que respecta a las ondas obtenidas en cada línea de exploración se las puede procesar en el campo de manera preliminar y consolidada en trabajos de gabinete, empleando programas especializados (*Protrefa-Refration seismic, Surface waves y EaveEq-Surface wave analyst*), que permiten obtener velocidades de propagación de las ondas P.

La metodología consiste en graficar las ondas con los valores registrados en campo, hallar los valores de V_s activo y V_s pasivo, para finalmente combinar las curvas de dispersión y calcular una velocidad de onda general o por capas (ver Apéndice 10).

Para este estudio se obtuvo velocidades de ondas de corte alrededor de 370 m/s y 257 m/s (ver Apéndice 12), que según la norma ecuatoriana NEC-15 lo clasifica como suelo tipo C, el cual lo describe roca blanca y Tabla 3, como roca sedimentaria meteorizada.

Tabla 12

Resumen de velocidades de onda de corte

Ubicación	No.	V_s 30 (m/sec)	Tipo de suelo (NEC-15)	Tipo de suelo (Jaime Suarez)
Pie del talud	Línea 1	370.5	C	
	Línea 2	527.3	C	Roca sedimentaria meteorizada
Cabeza del talud	Línea 3	428.5	C	
	Línea 4	442.9	C	

Por otro lado, se modela un dromocroma con las ondas registradas y con ello definir el número de capas y obtener una tomografía de los estratos presentes en el suelo con las velocidades de ondas de compresión V_p que muestran más información de los estratos presentes a lo largo de todo el perfil de la línea de análisis (ver Apéndice 12), para este caso se estableció 3 capas de suelo en todo el talud con un

perfil promedio de acuerdo a los resultados de los ensayos indirectos y directos, se resume en la Tabla 13.

Tabla 13

Resumen de las velocidades de onda de compresión

Capa	Vp (m/s)	Espesor (m)	Material
Superficial	300	1,00-2,00	Suelo superficial
	472-644	1,50-2,50	
Segunda	644-874	1,00-3,00	Aluvión
	989-1448	1,00-4,00	
	1333-1735	0,01-2,50	
Tercera	1849-2022		Gravas arcillosas

Resistividad Eléctrica

Las mediciones de resistividad eléctrica se realizaron por medio de un resistímetro, el cual posee una memoria interna donde almacena los datos tomados en campo de cada uno de las muestras. Posee una pantalla táctil donde señala opciones dependiendo la necesidad de investigación; para el presente trabajo se eligió la metodología Schlumberger con el número de medidas a realizar y la cantidad de electrodos.

El método antes mencionado solo es una variación del método de Wenner con la diferencia que los electrodos centrales se mantienen constantes y sus mediciones dependen de la variación de los electrodos exteriores. Se empleó 4 electrodos designados (A “y” B) denominados electrodos interiores y (M “y” N) como electrodos exteriores. Se registro lecturas de resistividad eléctrica en 4 líneas a distancias de 58 m, con profundidades de 28 m.

Para transmitir o enviar la corriente de energía se empleó un cable multiconector conectado a la fuente de energía y a cada uno de los electrodos por medio de los bornes del cable y los respectivos conectores, de esta forma, permitió medir la diferencia de voltaje. Los electrodos empleados son de acero inoxidable, provocando disminuir el efecto de polarización del electrodo y manteniendo una buena adherencia al suelo.

Con el propósito de comparar los resultados obtenidos en las tablas 14, 15, 16, 17, se desarrolló varias pruebas que ayudaron de alguna u otra forma corroborar los datos obtenidos en el ensayo antes descrito, de esta forma se logró constatar que el talud posee un suelo con limos y con presencia de agua.

Tabla 14

Modelo Invertido de la Resistividad

Capa	Ohm- m	Espesor (m)	Material
1	90-100	0,15+0,60	Limo saturado
2	20-50	0,30-0,50	
3	40-50	0,60-0,80	
4	100	1,00-2,13	Arcilla arenosa
5	100	2,00-4,00	
6	20		Limo saturado

Perfil estratigráfico

En función a los datos obtenidos en campo y en laboratorio como la evaluación de las condiciones actuales del talud, ejecución de calicatas y ensayos directos e indirecto, se obtuvo los siguientes resultados.

Los datos obtenidos en las calicatas se evidenció el grosor de la capa vegetal esta alrededor de 30 – 40 cm, material limoso a una profundidad de 1 – 2m y la acumulación de agua superficial (ver Apéndice 3). A demás se realizo el ensayo DCP a nivel superficial donde se constató la presencia de un material duro tipo cangahua (ver Apéndice 14), esto nos manifestó la imposibilidad de hacer el ensayo SPT, en vista de que este material impide el ingreso de la varilla y así tomar datos correctos, ya que no es factible realizar el ensayo en gravas, cantos rodados y suelos cohesivos.

En los ensayos de compresión simple, corte directo, triaxial, se obtuvo parámetros de resistencia del suelo como: módulo de elasticidad, cohesión y ángulo de fricción, lo que ayudo a correlacionar los resultados con los ensayos geofísicos (Ver Apéndice 6, 7, 8). Por lo tanto, en los ensayos de geofísica se

corroboro la información descrita anteriormente y que estratos existen a profundidades mayores de 2 m., constando de 3 capas diferentes: la primera capa con un suelo superficial, segunda capa un suelo tipo ML y por último grava tipo GP, (Ver Apéndice 9, 10, 11, 12, 13), a continuación, observaremos el cuadro resumen.

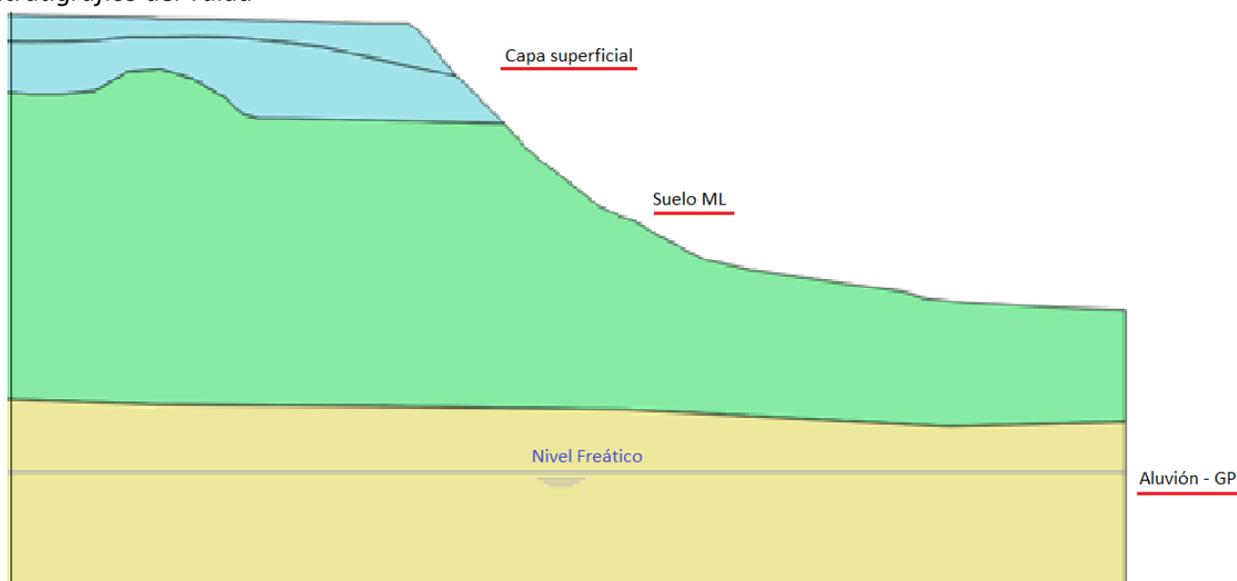
Tabla 15

Cuadro resumen de estratos presentes en el talud

Nivel	Capa	Tipo de Estrato	Espesor (m)	Observaciones
N. 0,00	Estrato 1	Suelo superficial - ML	1 – 3	Suelo limoso con presencia de agua superficial y material de relleno, color café oscuro.
N. 3,00	Estrato 2	Suelo tipo Cangahua – ML	20 - 25	Suelo limoso notando material de cangahua tipo 4, color café claro.
N. 25,00	Estrato 3	Suelo - GP	Desconocido	Material de aluvi3n, grava con finos en pequeñas cantidades.

Figura 41

Perfil estratigráfico del Talud



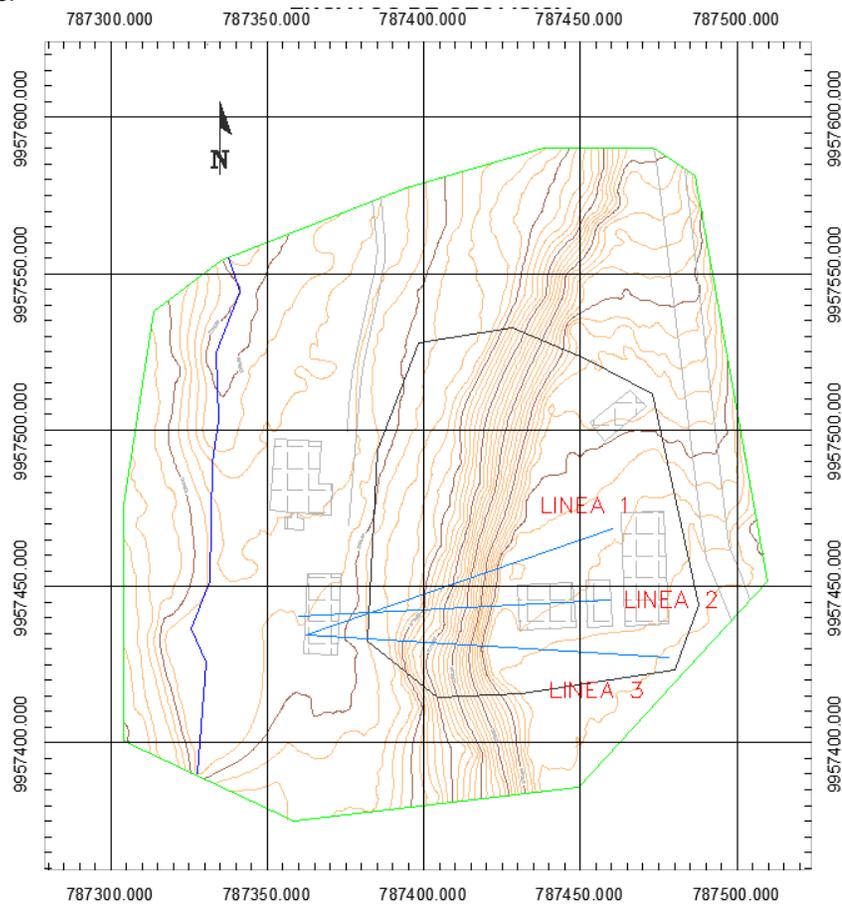
Capítulo IV: Análisis De Estabilidad Del Talud En Condiciones Actuales

Plaxis 2D - V20

El objetivo de utilizar este software académico es realizar el análisis del comportamiento del talud en condiciones de esfuerzos totales y efectivos. Plaxis 2D nos permite generar la geometría del talud, caracterizar del suelo ingresando parámetros reales como: cohesión (c'), ángulo de fricción (ϕ') y módulo de Elasticidad (E), generar un nivel freático y producir cargas actuantes a las que está sometida el talud.

A continuación, se muestra el mapa de perfiles analizados:

Figura 42
Perfiles analizados.



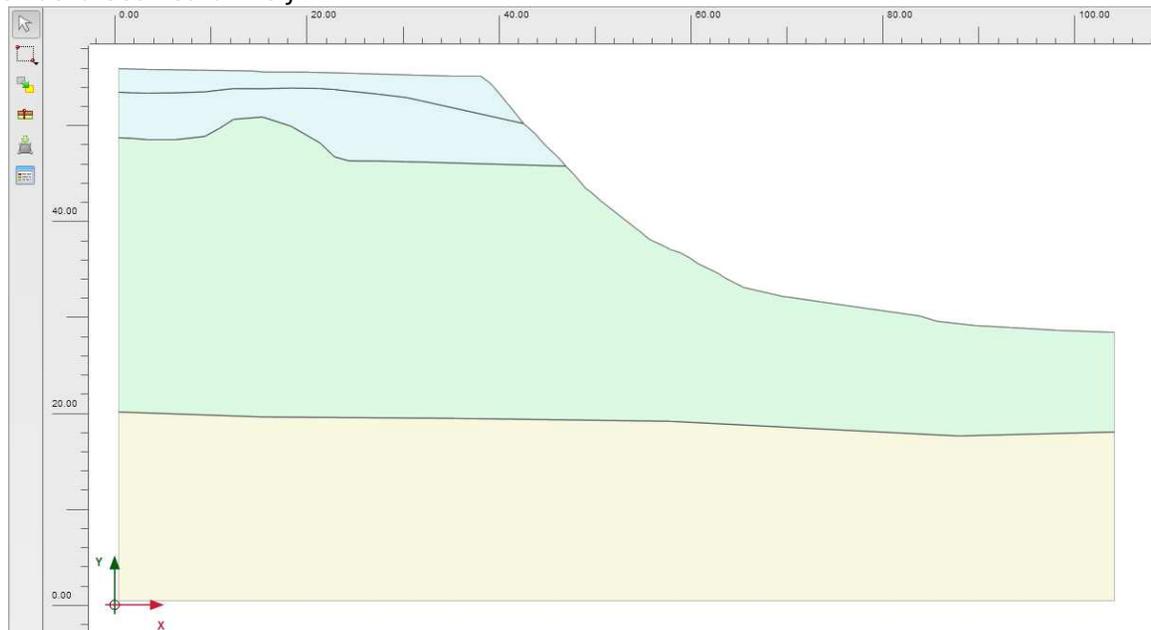
Procedimiento para el modelamiento en Plaxis 2D

1. Definición de la geometría

Se generó la geometría del talud con la ayuda de Civil 3D para importarlo al Plaxis y facilitar el modelamiento como se muestra a continuación.

Figura 43

Definición de la Geometría - Perfil 1



2. Propiedades, índice y mecánicas de los estratos del suelo

Para definir las propiedades del suelo, consideramos los ensayos realizados en el laboratorio, y tablas de referencias bibliográficas que asimilen las características determinadas in situ, ver Apéndice 8, respectivamente para cada estrato, como se muestra a continuación.

Tabla 16

Propiedades Mecánicas - Estrato 1 ML

Estrato 1 – ML (Suelo Superficial)		
Parámetro	Valor	Unidad
Peso específico húmedo (γ_h)	20,00	kN/m ³
Peso específico seco (γ_d)	16,00	kN/m ³

Módulo de Elasticidad (E)	20000,00	kN/m ²
Coefficiente de Poisson (v')	0,30	-
Cohesión (c')	24,53	kN/m ²
Ángulo de fricción (φ')	25,00	°

Tabla 17*Propiedades Mecánicas - Estrato 2 ML (Cangahua)*

Estrato 2 – ML (Cangahua)		
Parámetro	Valor	Unidad
Peso específico húmedo (γ_h)	15,24	kN/m ³
Peso específico seco (γ_d)	9,95	kN/m ³
Módulo de Elasticidad (E)	352319,79	kN/m ²
Coefficiente de Poisson (v')	0,30	-
Cohesión (c')	63,66	kN/m ²
Ángulo de fricción (φ')	36,67	°

Tabla 18*Propiedades Mecánicas - Estrato 3 GP (Aluvial)*

Estrato 3 – GP (Aluvial)		
Parámetro	Valor	Unidad
Peso específico húmedo (γ_h)	20,61	kN/m ³
Peso específico seco (γ_d)	20,01	kN/m ³
Módulo de Elasticidad (E)	100000,00	kN/m ²
Coefficiente de Poisson (v')	0,35	-
Cohesión (c')	0,00	kN/m ²
Ángulo de fricción (φ')	38,00	°

Los valores se ingresarán en la sección de "Show Materials" como se muestra en la siguiente figura.

Figura 44
Asignación de propiedades generales de suelo.

Soil - Mohr-Coulomb - Suelo1

Property	Unit	Value
Material set		
Identification		Suelo1
Material model		Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained
Colour		RGB 161, 226, 232
Comments		
General properties		
V_{unsat}	kN/m ³	16,00
V_{sat}	kN/m ³	20,00

Figura 45
Asignación de propiedades generales de suelo.

Soil - Mohr-Coulomb - Suelo1

Property	Unit	Value
Stiffness		
E'	kN/m ²	15,38E3
$v' (nu)$		0,3000
Alternatives		
G	kN/m ²	5917
E_{oed}	kN/m ²	20,71E3
Strength		
c'_{ref}	kN/m ²	24,53
$\phi' (phi)$	°	25,00
$\psi (psi)$	°	0,000
Advanced		

3. Definir Cargas actuantes

De los 3 perfiles de análisis, solo se aplicó una carga de 1,5 T/m o 14,72 kN/m al perfil No.2 debido a una construcción existente en la corona del talud.

Figura 46

Cálculo de carga actuante.

Carga Muerta					kg/m ²
Cimentacion					
L1 (m)	L2 (m)	h (m)	γ_{HS} (kg/m ³)		
1,00	1,00	0,50	2200,00	=	1100,00
Peso de cubierta					= 12,00 --> Cubierta 12 kg/m ²
Accesorios					= 20,00
Enlucido y masillado					
e (m)	b (m)	h (m)	γ_{HS} (kg/m ³)		
0,02	1,00	1,00	2200,00	=	44,00
Recubrimiento de piso					
e (m)	b (m)	h (m)	γ_{HS} (kg/m ³)		
0,02	1,00	1,00	2200,00	=	44,00
Peso mamposteria (Asumido)					
#N	L1 (m)	L2 (m)	h (m)	γ (kg/m ³)	
12,50	0,40	0,20	0,20	866,46	= 173,29
Carga Vigas =					= 18,00 --> Madera tipo C, $\gamma=900$ kg/m ³
Carga Muerta					= 1411,29
					= 1,41 T/m ²
Carga Viva					= 100,00
					= 0,10 T/m ²
Carga actuante					= 1,51 T/m ²
ancho cooperante (ancho de construccion)					= 1,00 m
w					= 1,511 T/m
					14,83 kN/m

Tabla 19

NEC-SE-CG Carga Viva: sobrecargas mínimas. (Tabla 9)

Ocupación o Uso	Carga Uniforme (kN/m ²)	Carga concentrada (kN)
Áreas de almacenamiento sobre techos	1.00	-

4. Mallado de la sección geométrica

Se genera la malla de análisis y puntos de interrelación gráfica, como se muestra a continuación.

Figura 47
Opción para generar mallado.

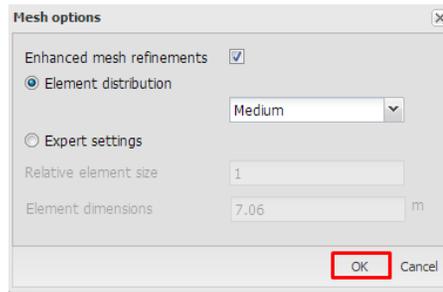


Figura 48
Mallado del talud.

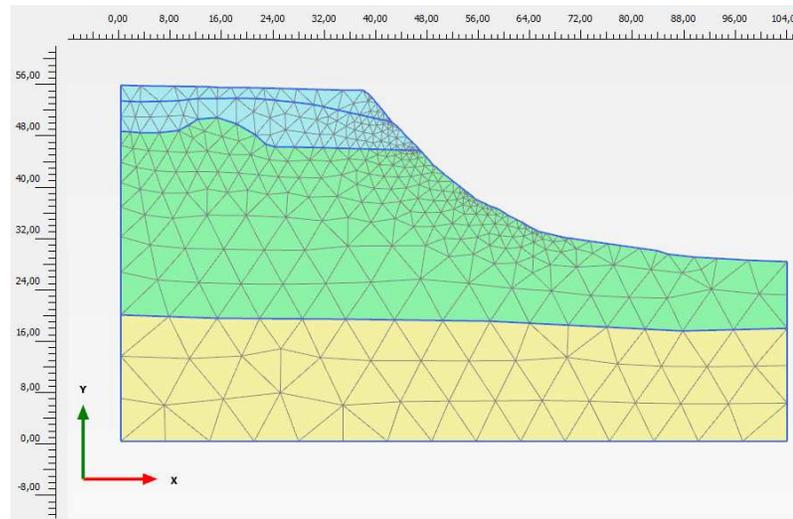
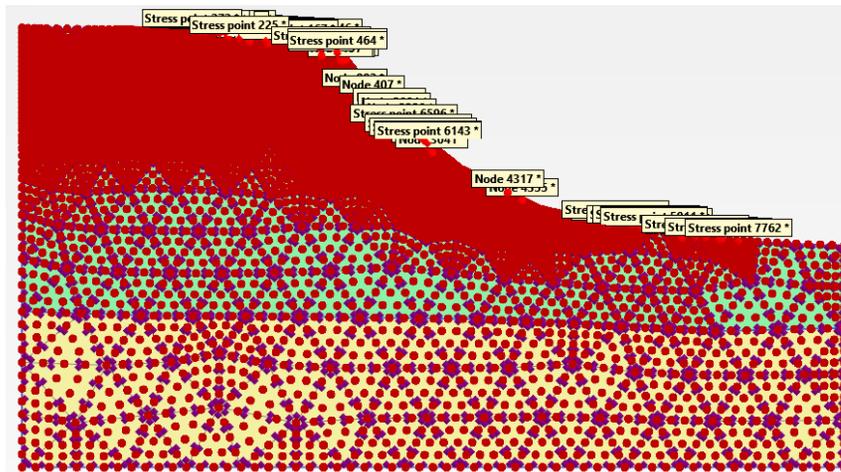


Figura 49
Selección de Nodos.

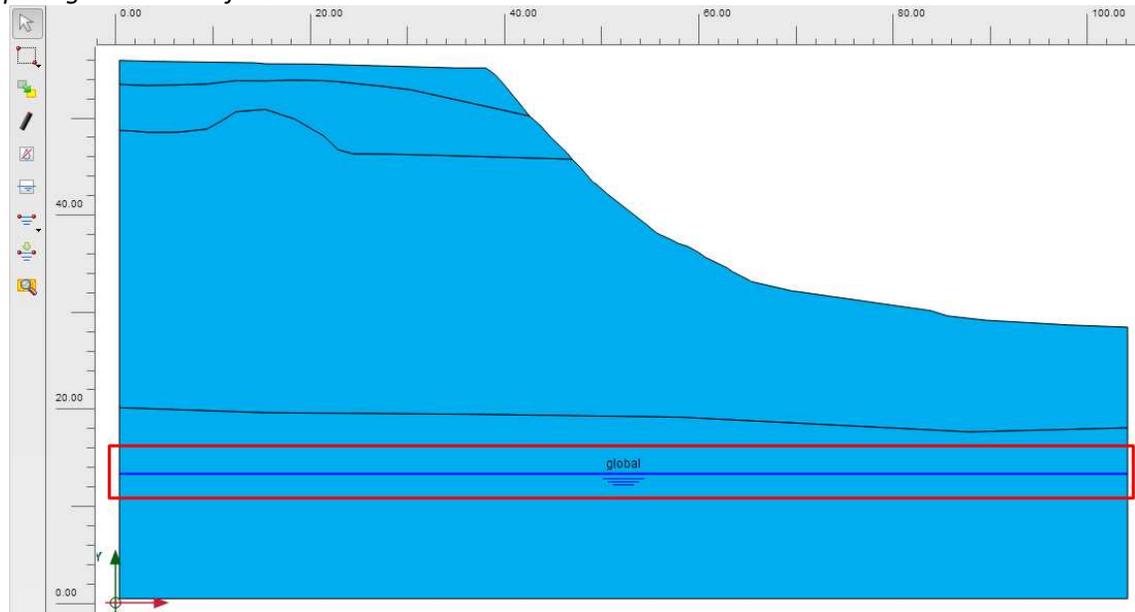


5. Determinar condiciones de flujo (Nivel Freático)

Se debe generar el nivel freático que contiene el talud como se muestra.

Figura 50

Opción para generar nivel freático.



6. Definir fases de cálculo

6.1. Fase Inicial

Este análisis viene por defecto y nos muestra el talud formado, sin tomar en cuenta cargas externas, solo se basa en tensiones efectivas iniciales y presiones internas del estado actual de los estratos de suelo. Este análisis no emplea elementos finitos, con lo que no el equilibrio no es garantizado.

Figura 51
Fase Inicial plaxis.

Name	Value
General	
ID	Initial phase [InitialPhase]
Calculation type	K0 procedure
Loading type	Staged construction
ΣM_{weight}	1,000
Pore pressure calculation type	Phreatic
First step	0
Last step	0
Design approach	(None)
Special option	0
Deformation control parameters	
Updated water pressure	<input type="checkbox"/>
Ignore suction	<input checked="" type="checkbox"/>
Reached values	

6.2. Fase Elástico-Plástico

En esta fase realiza un análisis Elastoplástico para encontrar deformaciones del talud y ver su comportamiento.

Figura 52
Fase Elástico-Plástico plaxis.

Name	Value
General	
ID	Deformacion [Phase_1]
Start from phase	Initial phase
Calculation type	Plastic
Loading type	Staged construction
ΣM_{stage}	1,000
ΣM_{weight}	1,000
Pore pressure calculation type	Phreatic
Time interval	0,000 day
Estimated end time	0,000 day
First step	1
Last step	4
Design approach	(None)
Special option	0

6.3. Fase Factor de Seguridad

En esta fase se busca calcular el factor de seguridad que nos determinará la estabilidad del talud por modos de falla.

Figura 53
Fase Factor de Seguridad.

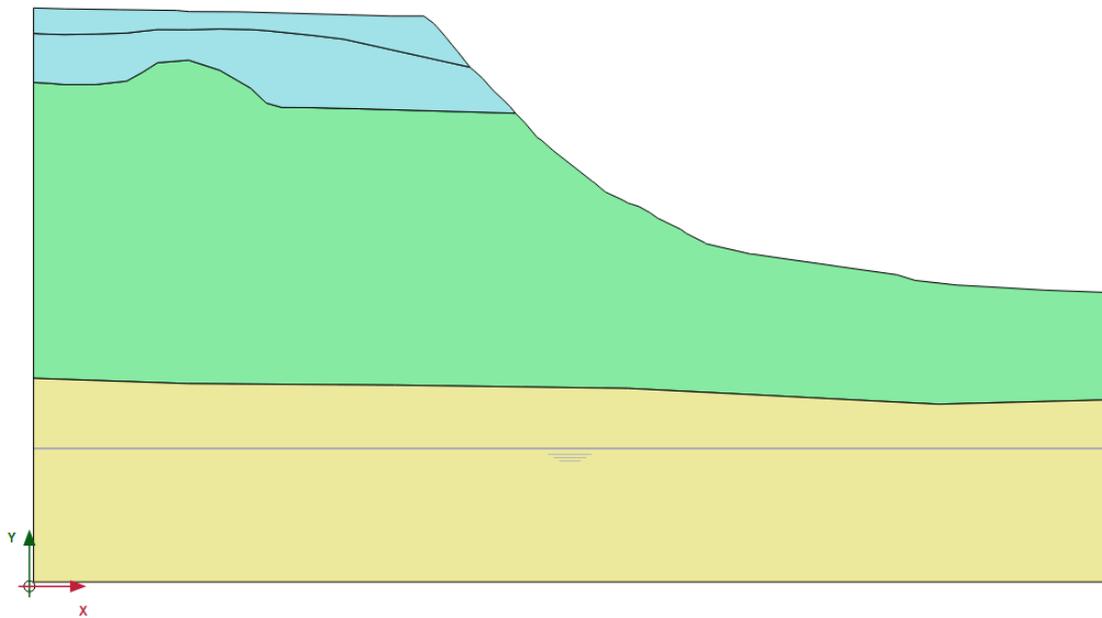
Name	Value
General	
ID	Safety [Phase_2]
Start from phase	Initial phase
Calculation type	Safety
Loading type	Incremental multiplier
M_{sf}	0,1000
Pore pressure calculation type	Use pressures from p
First step	5
Last step	104
Design approach	(None)
Special option	0

Resultados del Análisis

Perfil 1

Geometría del Talud

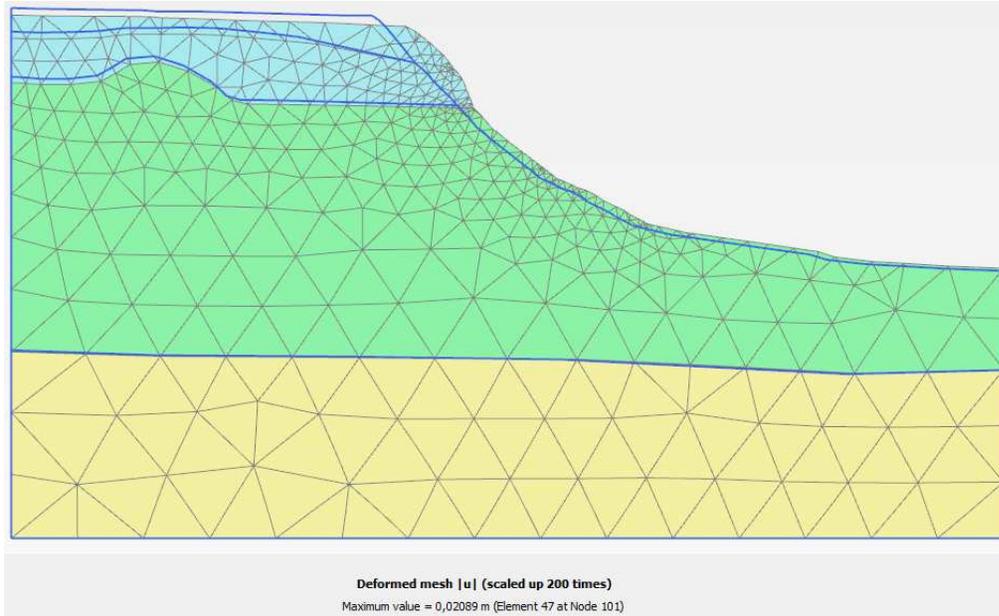
Figura 54
Geometría del talud - Perfil 1.



Deformación

Figura 55

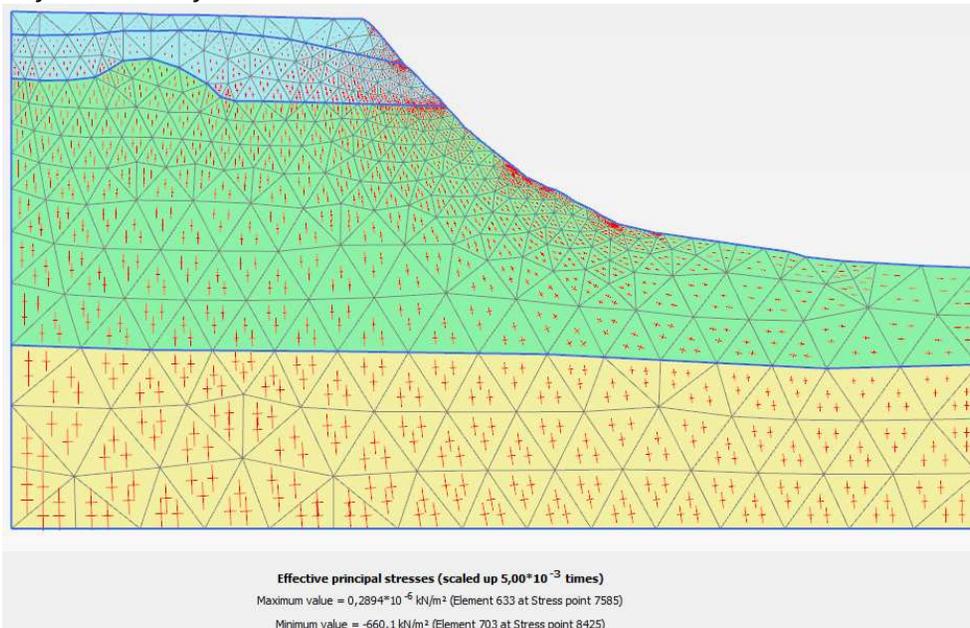
Deformación del talud - Perfil 1.



Esfuerzos Efectivos

Figura 56

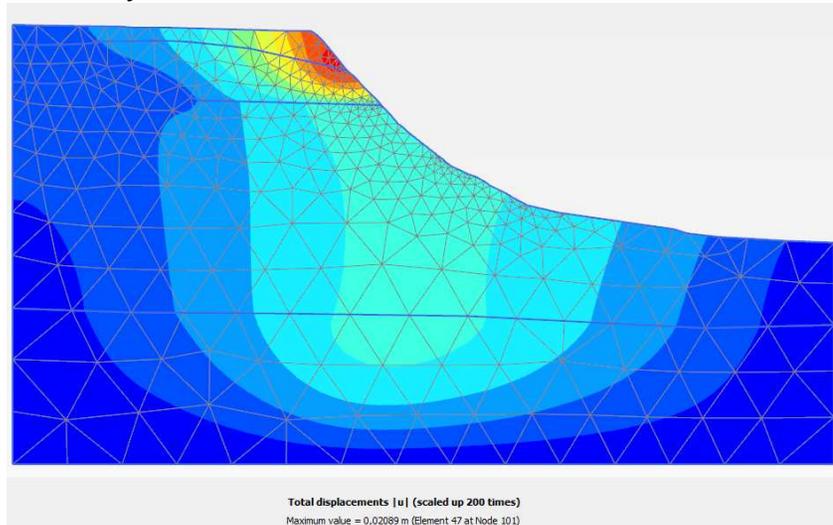
Esfuerzos efectivos – Perfil 1.



Plano de falla y Factor de Seguridad

Figura 57

Plano de Falla del talud - Perfil 1.



$$\Sigma M_{sf} = 1,712$$

Gráfico Deformación vs Factor de Seguridad

Análisis Nodo corona del Talud

Figura 58

Análisis nodo 499.

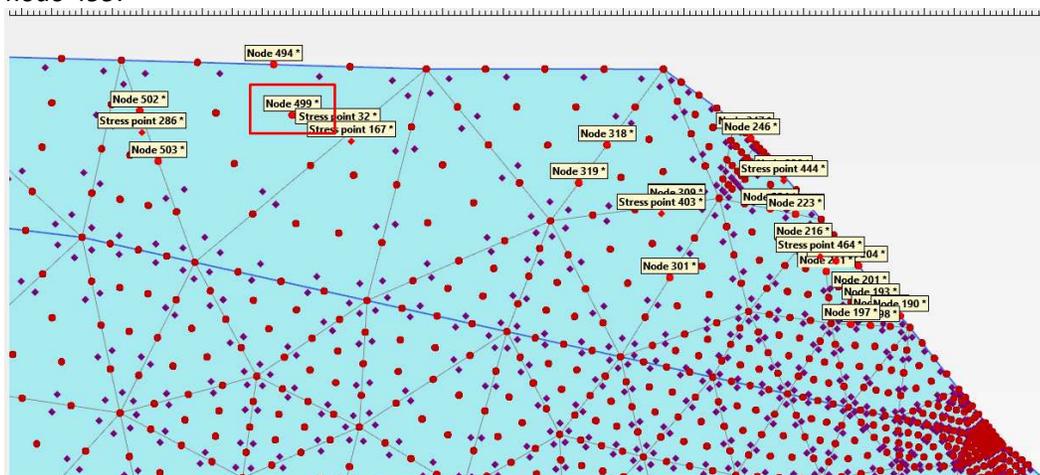
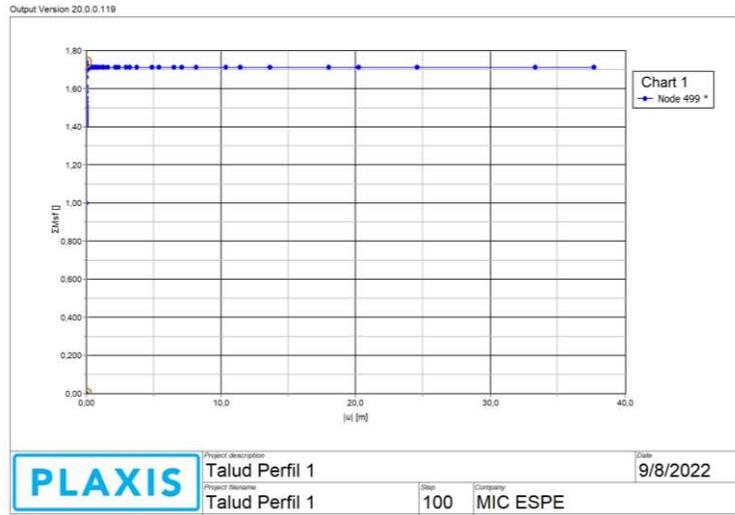


Figura 59
Factor de Seguridad vs Deformación.



Análisis Nudo cuerpo del Talud

Figura 60
Análisis nodo 197.

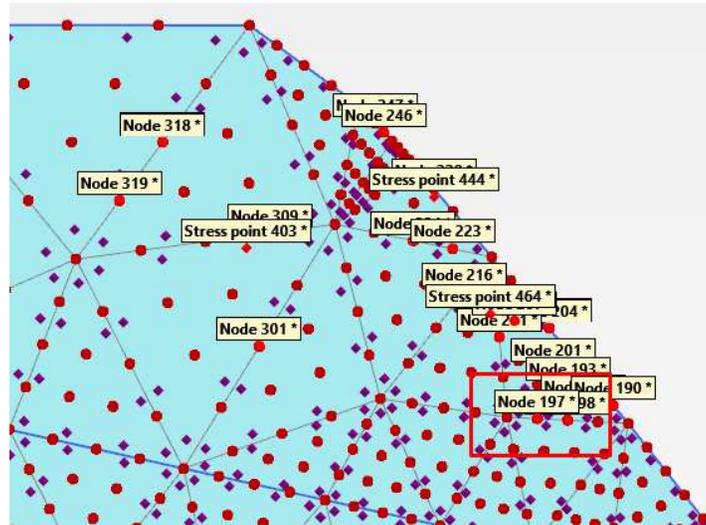
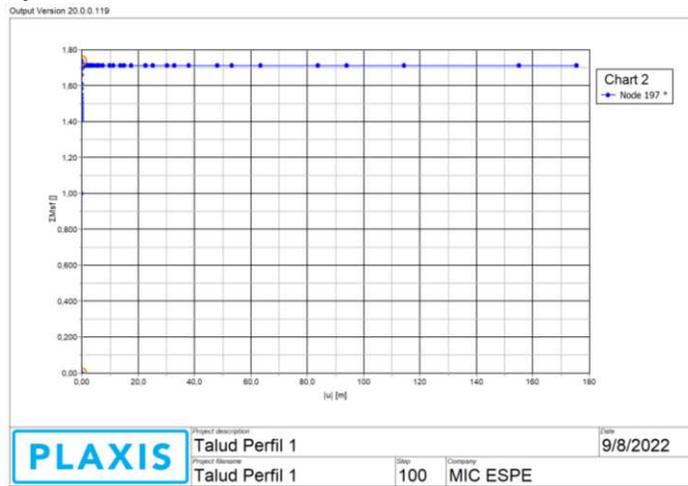


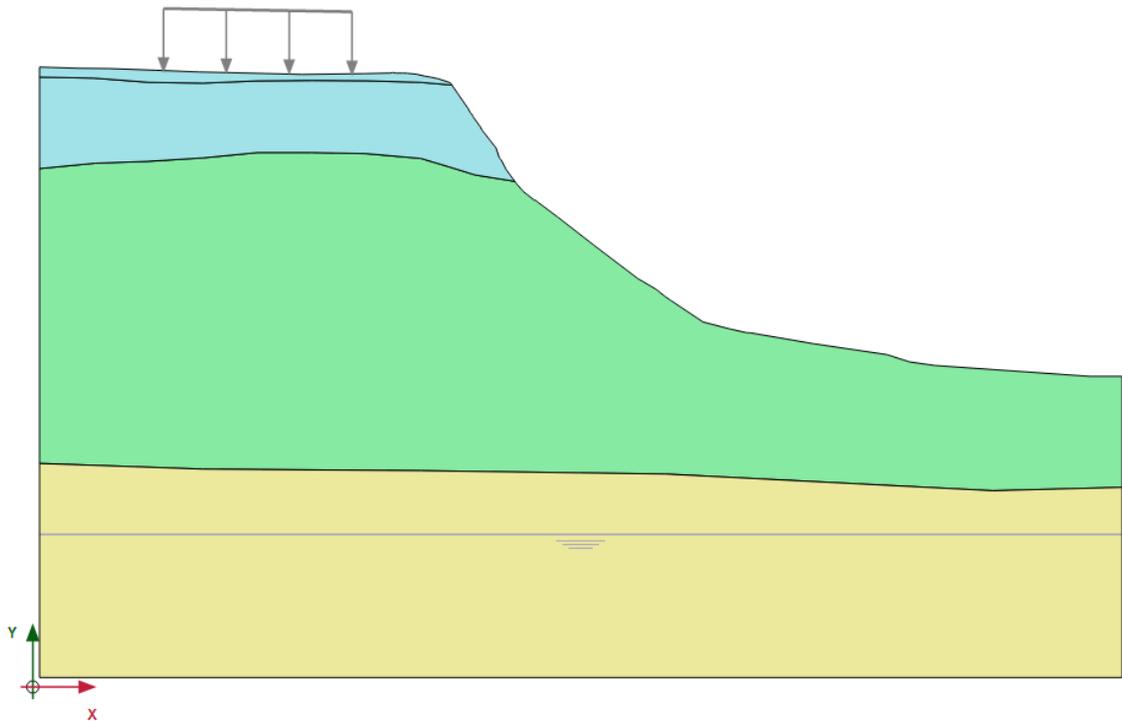
Figura 61
Factor de Seguridad vs Deformación.



Perfil 2

Geometría del Talud

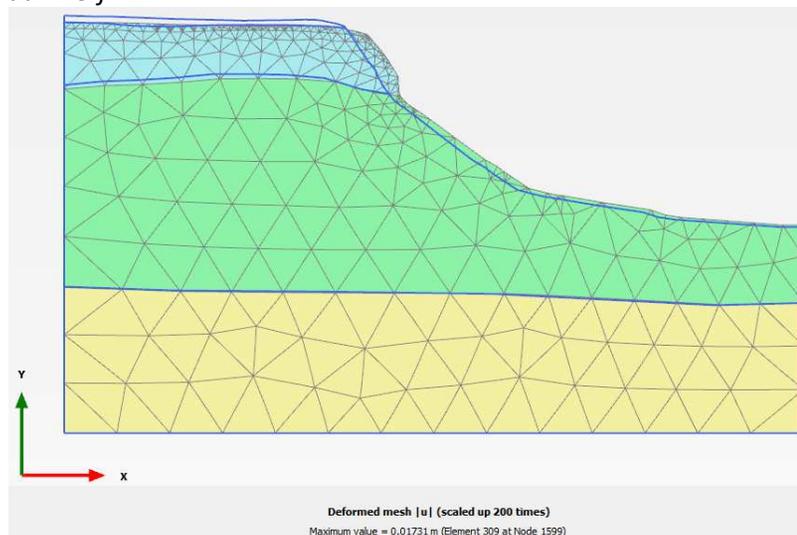
Figura 62
Geometría del talud - Perfil 2.



Deformación

Figura 63

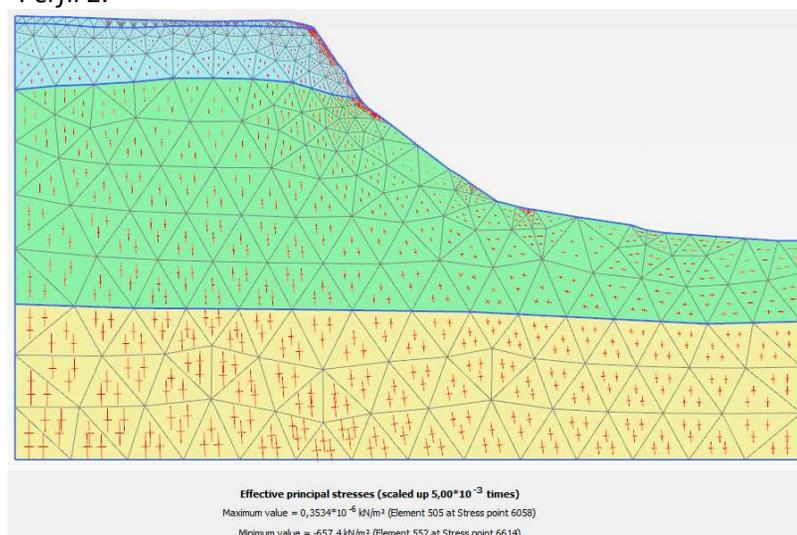
Deformación del talud - Perfil 2.



Esfuerzos Efectivos

Figura 64

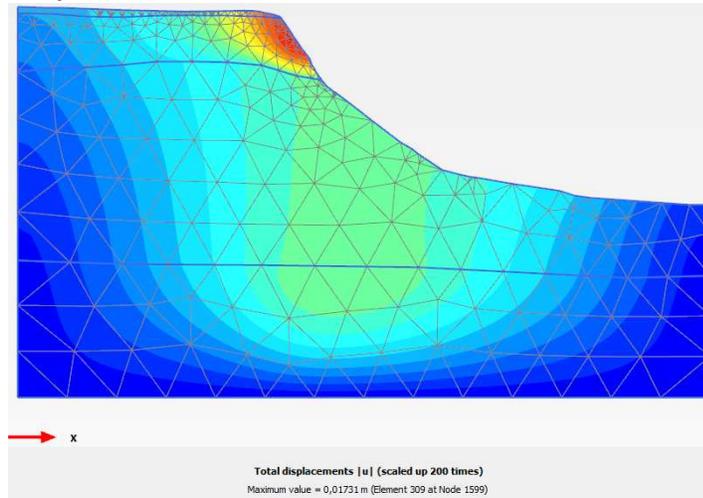
Esfuerzos efectivos - Perfil 2.



Plano de falla y Factor de Seguridad

Figura 65

Plano de falla del talud - Perfil 2.



$$\Sigma M_{sf} = 1,462$$

Gráfico Deformación vs Factor de Seguridad

Análisis Nodo corona del Talud

Figura 66

Análisis nodo 2887.

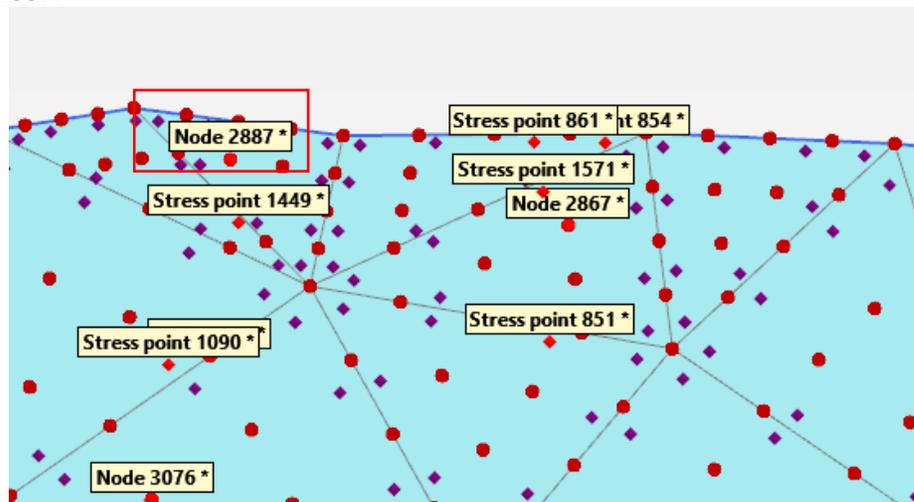
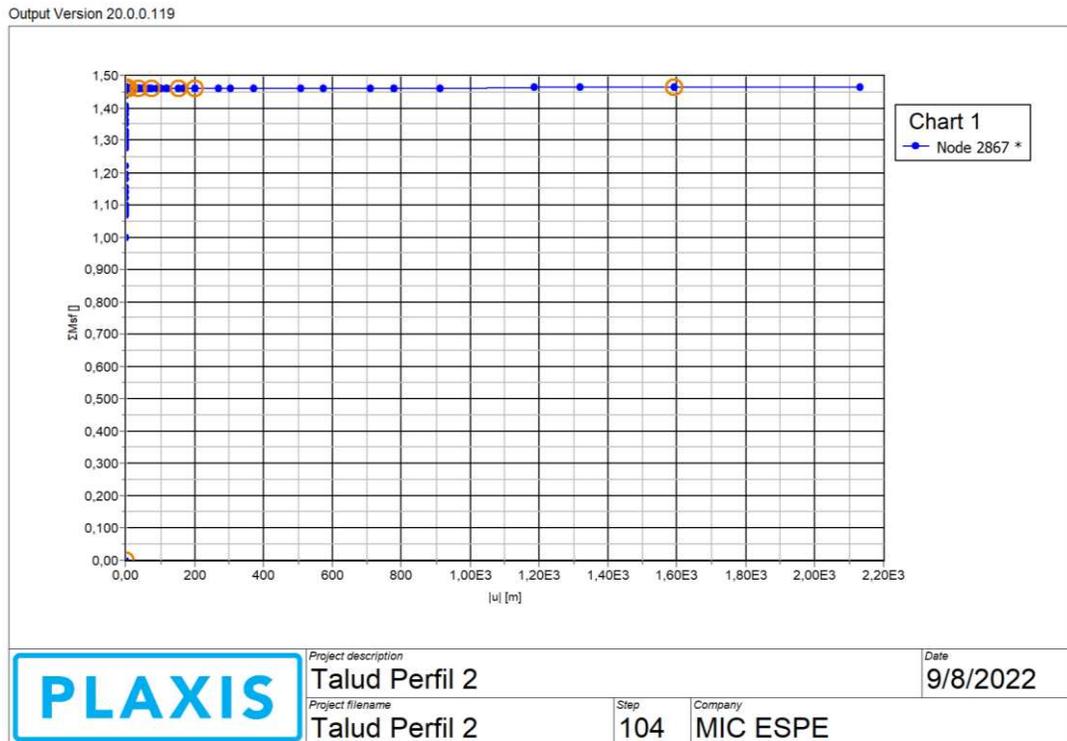


Figura 67
Factor de Seguridad vs Deformación.



Análisis Nodo cuerpo del Talud

Figura 68
Análisis nodo 2222.

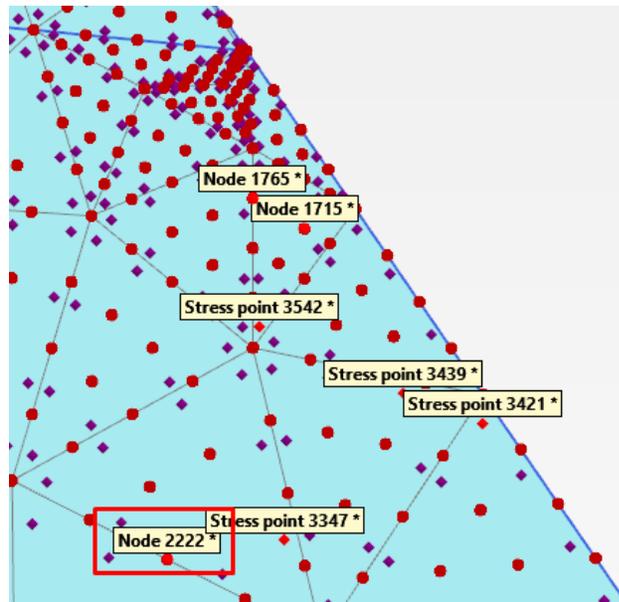
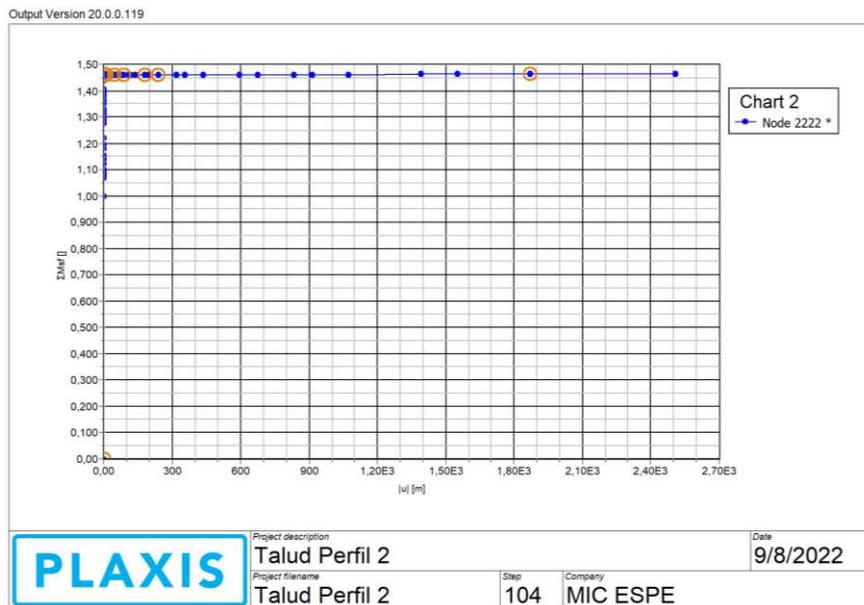


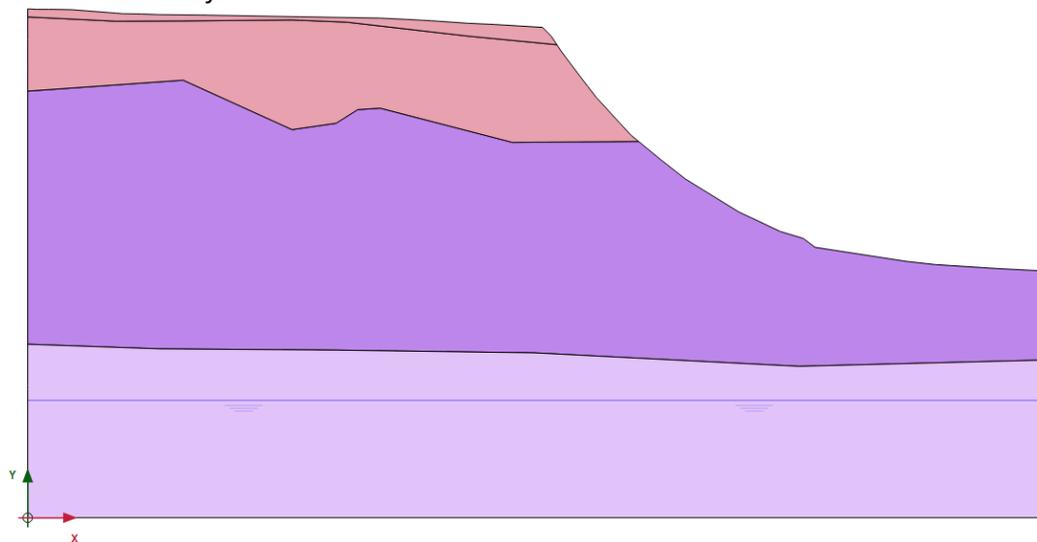
Figura 69
Factor de Seguridad vs Deformación.



Perfil 3

Geometría del Talud

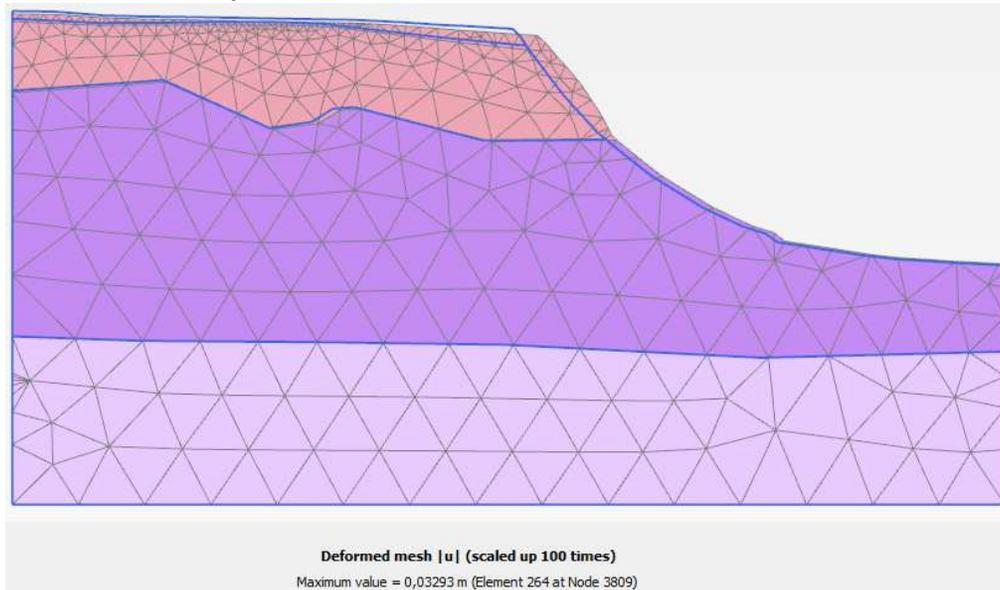
Figura 70
Geometría del talud - Perfil 3.



Deformación

Figura 71

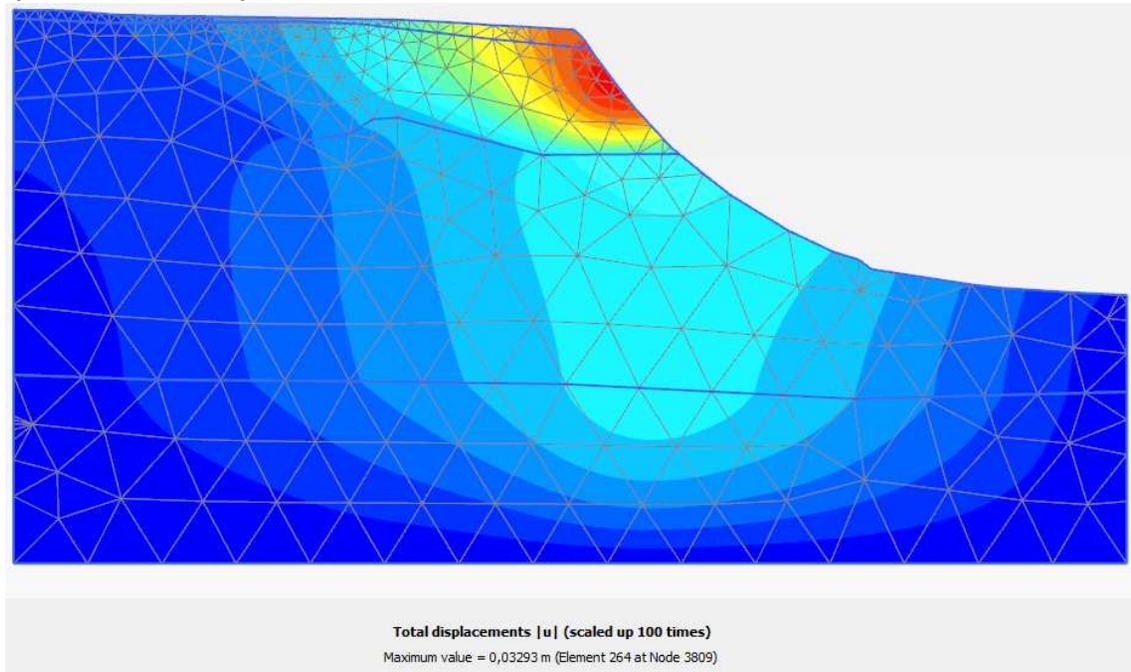
Deformación del talud - Perfil 3.



Plano de falla y Factor de Seguridad

Figura 72

Plano de falla del talud - Perfil 3.



$$\Sigma M_{sf} = 1,39$$

Esfuerzos Efectivos

Figura 73

Esfuerzos efectivos - Perfil 3.

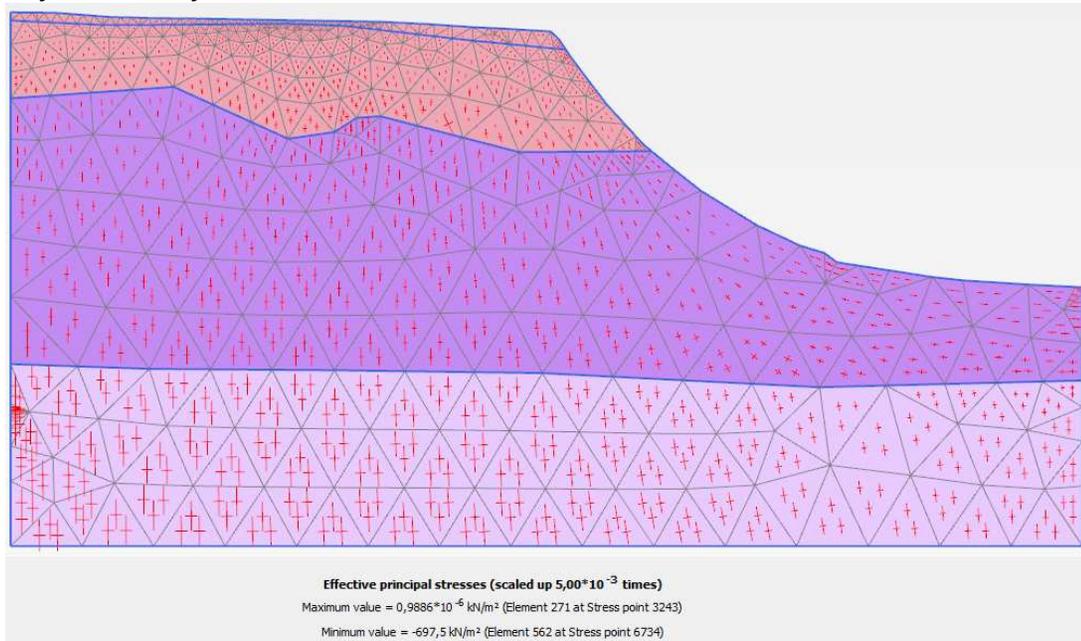


Gráfico Deformación vs Factor de Seguridad

Análisis Nodo corona del Talud

Figura 74

Análisis nodo 3093.

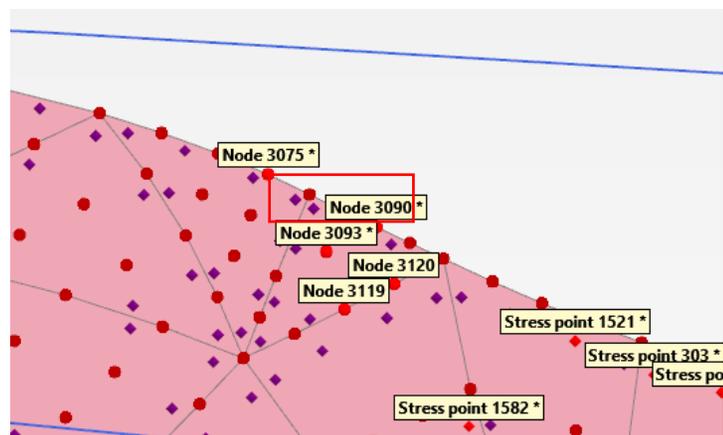
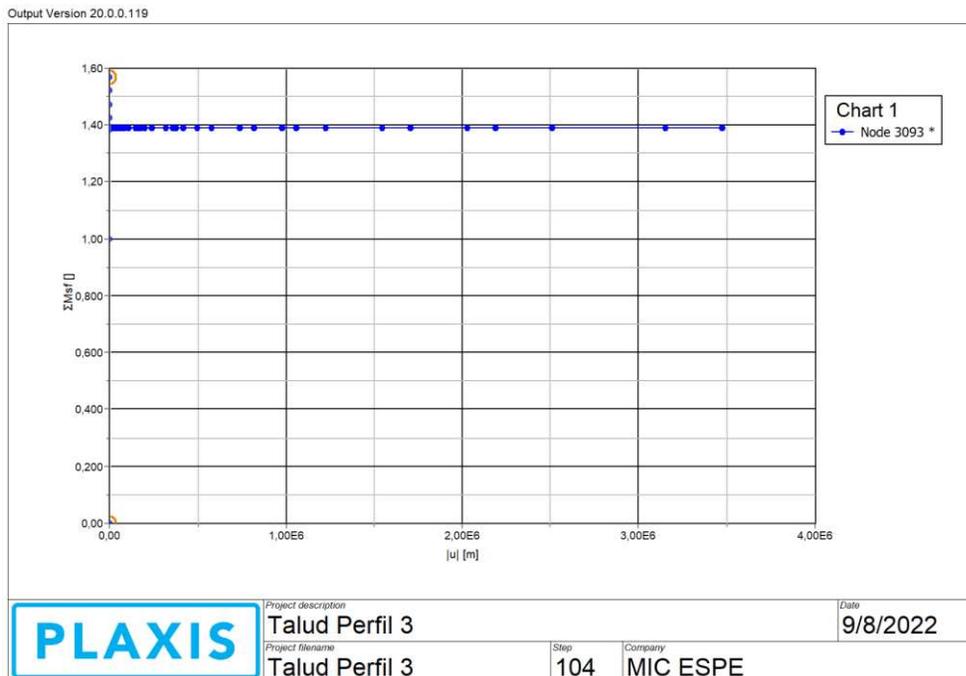


Figura 75
Factor de Seguridad vs Deformación.



Análisis Nudo cuerpo del Talud

Figura 76
Análisis nudo 3196.

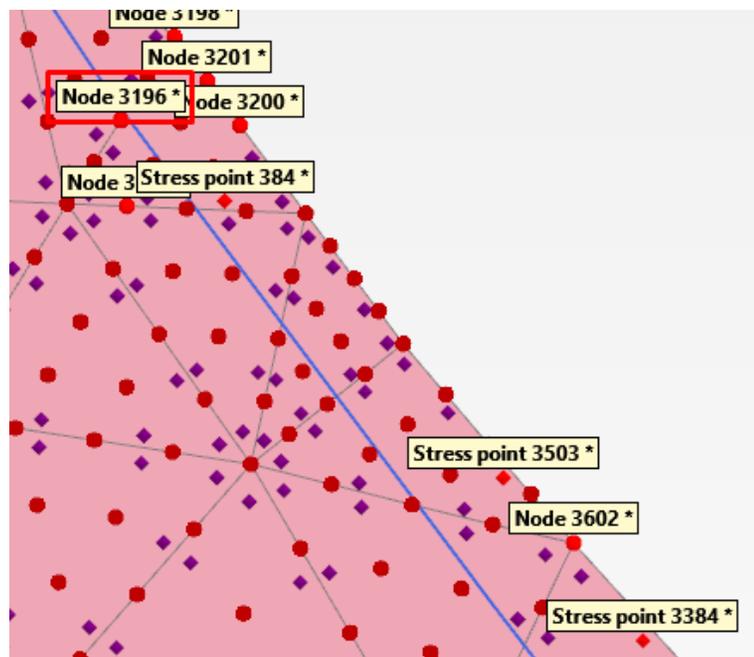
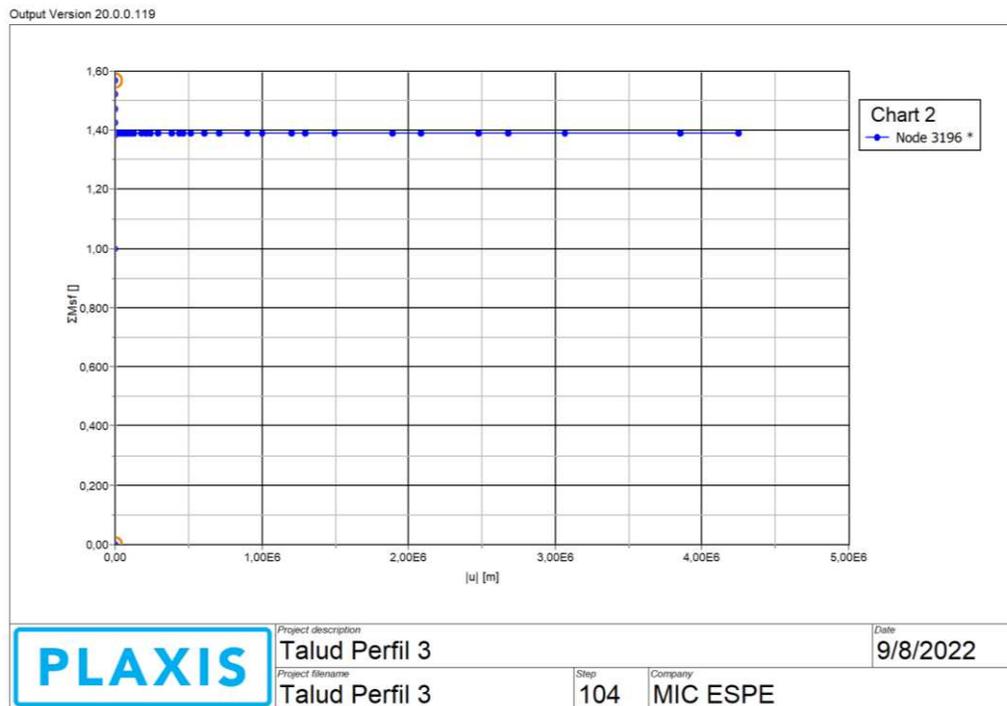


Figura 77
Factor de Seguridad vs Deformaciones.



Discusión PLAXIS 2D

Con los resultados de Plaxis 2D que trabaja con modos de deformación, se observa que el perfil 3 se produce una mayor deformación con un factor de seguridad de 1,39 que es menor al 1,50 recomendado. Con respecto al perfil 1 y 2 se tiene un factor de seguridad de mayor o igual al recomendado, a continuación, se presenta una tabla de resultados obtenidos por el software académico.

Tabla 20

Tabla resumen de resultados Plaxis.

	Deformación (m)	Factor de Seguridad
Perfil 1	0,0208	1,712
Perfil 2	0,0173	1,462
Perfil 3	0,0329	1,39

GeoStudio R2 2018

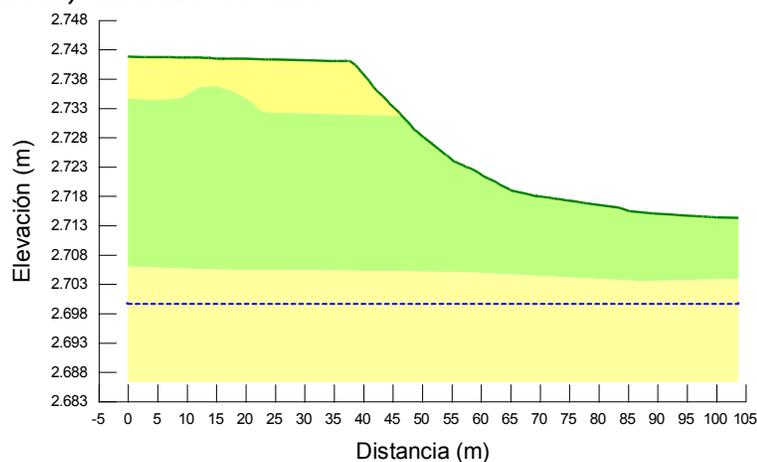
GeoStudio en su versión académica permite la modelación para materiales de un medio continuo en modos de falla usando propiedades, índice y mecánicas bajo la condición de equilibrio límite del suelo, el mismo contiene diversos métodos de análisis desde los más básicos como Fellenius y Bishop hasta los más rigurosos como Spencer y Morgenstern-Price. El software procesa estos modelos a través de una gran variedad de iteraciones que permite el hallazgo del plano más probable de falla de un talud tanto en condición estática como pseudo-estática.

Análisis en GeoSlope - Perfil 1

Para la modelación en GeoSlope se define un análisis por Equilibrio límite para luego precisar los métodos de estabilidad los cuales fueron: Bishop, Janbu y Morgenstern & Price. Seguidamente se realizó un proceso análogo al software plaxis; es decir se importó la geometría del perfil (estratos, nivel freático) en base a la topografía para así continuar con la asignación de los materiales que conforman el cuerpo del talud.

Figura 78

Definición de la geometría y materiales del talud



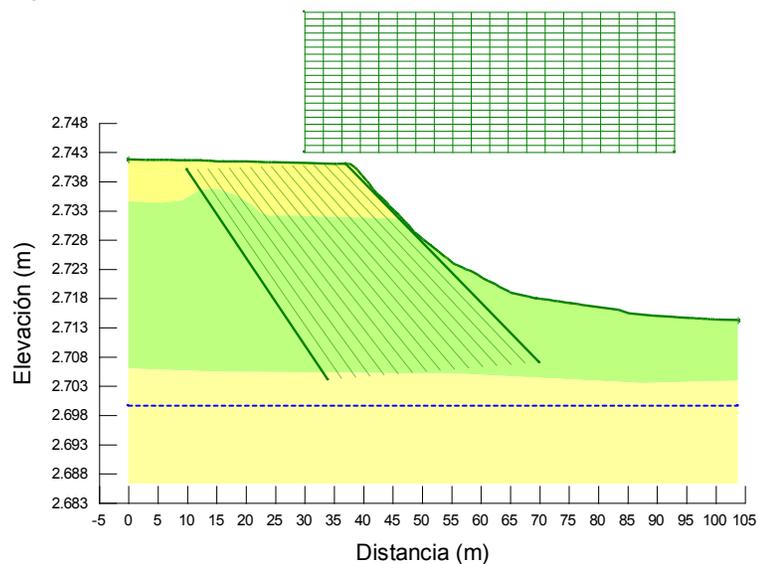
Superficie de deslizamiento

En este apartado se definió la superficie de deslizamiento en base a "Grilla y Radio" en la cual se debe establecer una superficie de deslizamiento preestablecida en base a un dominio de

radios que necesariamente deberán cumplir la condición de tangencia en una cuadrícula que delimitará el potencial plano de falla.

Figura 79

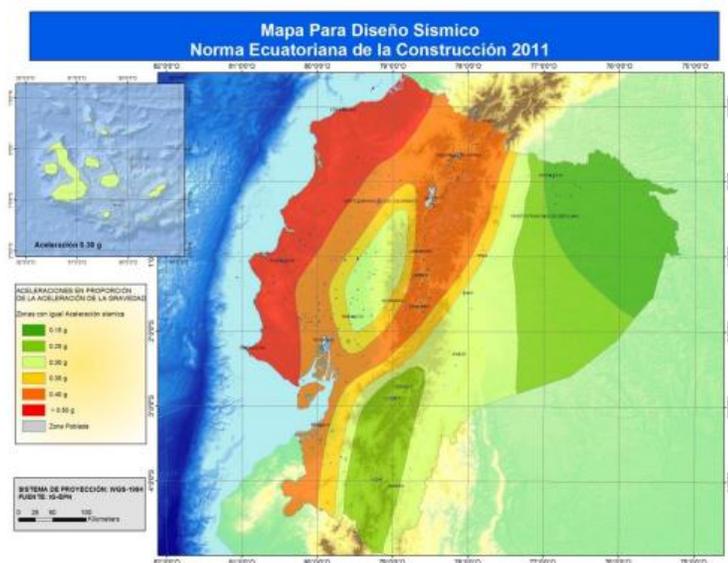
Delimitación de la superficie de Deslizamiento



Cargas Sísmicas

Figura 80

Mapa de Diseño Sísmico NEC



Nota. Tomado de (NEC-SE-DS, 2015)

En base a la Norma ecuatoriana de la construcción NEC, identificamos la aceleración máxima de diseño expresada como una fracción de la gravedad para el talud de estudio ubicado en el IASA I en el cantón Rumiñahui, la cual se encuentra en la zona V con caracterización de peligro sísmico alto $Z=0,40$.

Tabla 21*Coefficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto*

Tipo de perfil del subsuelo	I	II	III	IV	V	VI
Factor Z	0,15	0,25	0,3	0,35	0,4	$\geq 0,5$
A	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
B	1	1	1	1	1	1
C	1,4	1,3	1,25	1,23	1,2	1,18
D	1,6	1,4	1,3	1,25	1,2	1,12
E	1,8	1,5	1,39	1,26	1,14	0,97
F	Véase Tabla 2: Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.6.4 NEC-SE-DS					

Nota. Tomado de (NEC-SE-DS, 2015)

Según el ensayo de sismica de refracción se registraron velocidades de onda de corte V_s -30 entre 370,50 y 527,30 m/s el cual se clasifica como un suelo tipo C, de donde $F_a=1,2$.

$$a = Z \cdot f_a$$

$$a = 0,40(1,20) = 0,48g$$

$$k_H = \frac{0,6(0,48g)}{g} = 0,29$$

$$k_V = \frac{2}{3} k_H = 0,19$$

A continuación, se presenta los resultados del análisis para el primer perfil por los métodos de Bishop, Janbu y Morgenstern-Price.

Bishop – Perfil 1

Figura 81
Análisis Estático Bishop FS=1,857

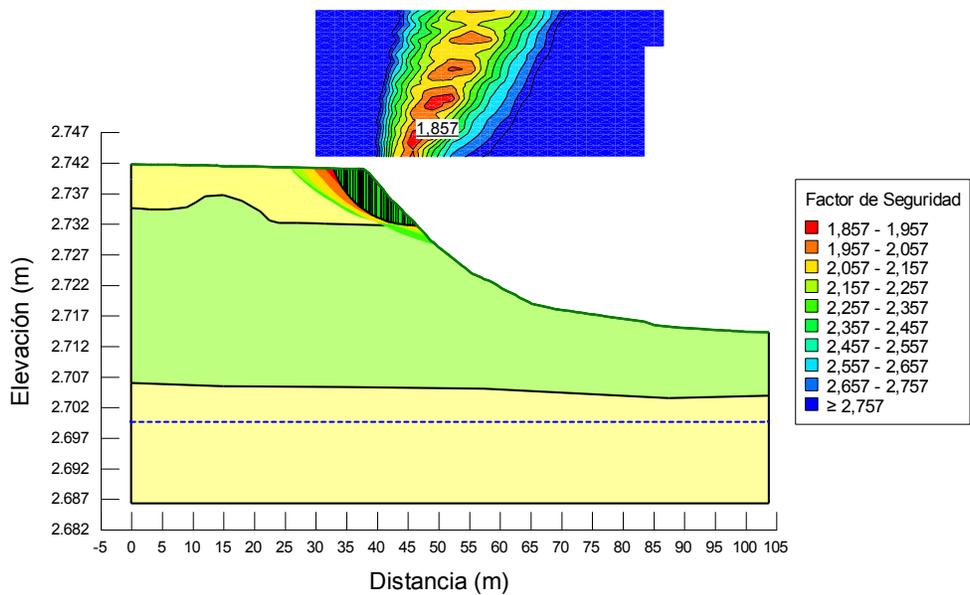
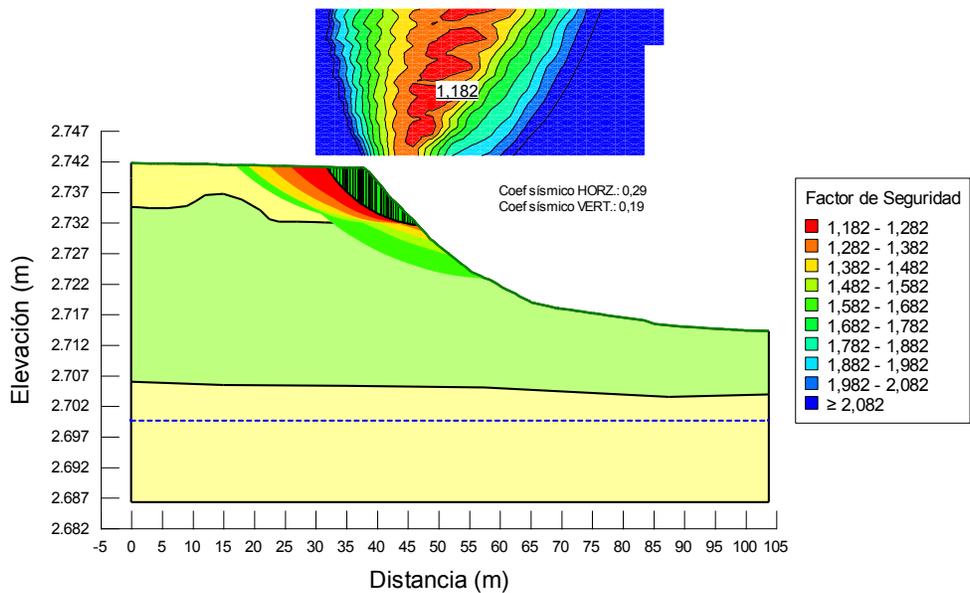


Figura 82
Análisis Pseudo-estático Bishop FS=1,182



Janbu – Perfil 1

Figura 83

Análisis Estático Janbu FS=1,804

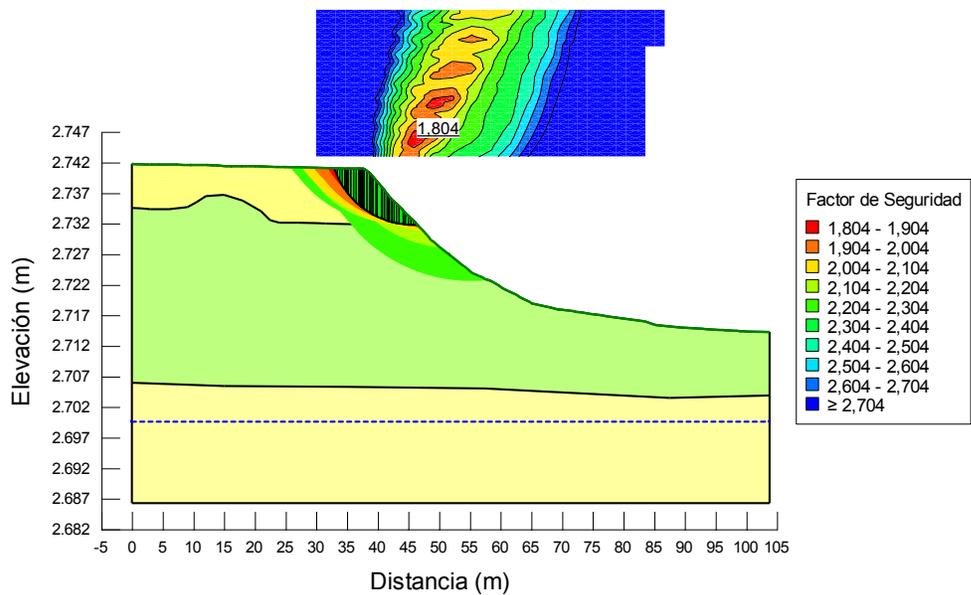
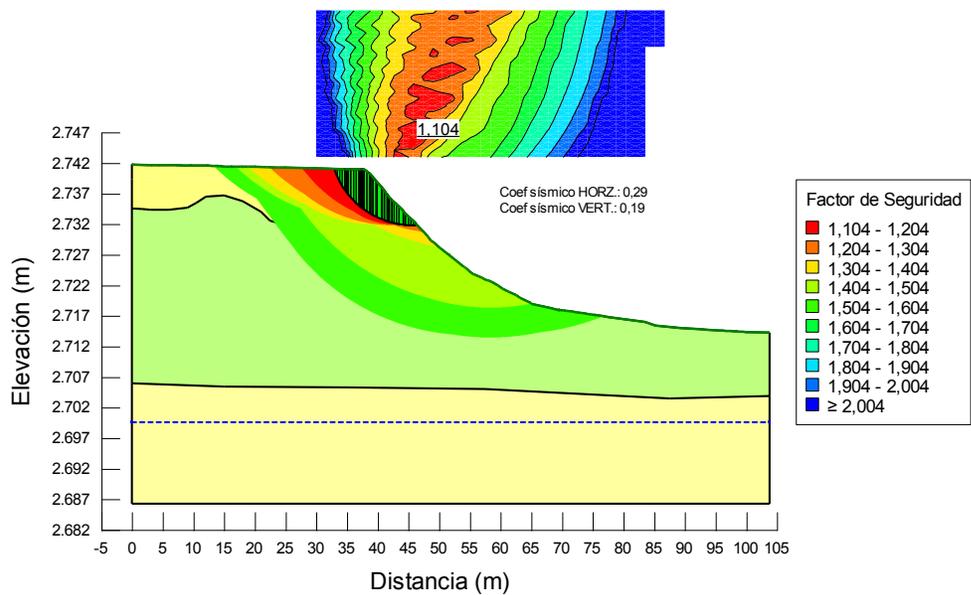


Figura 84

Análisis Pseudo-estático Janbu FS=1,104



Morgenstern & Price - Perfil 1

Figura 85

Análisis Estático Morgenstern & Price FS=1,854

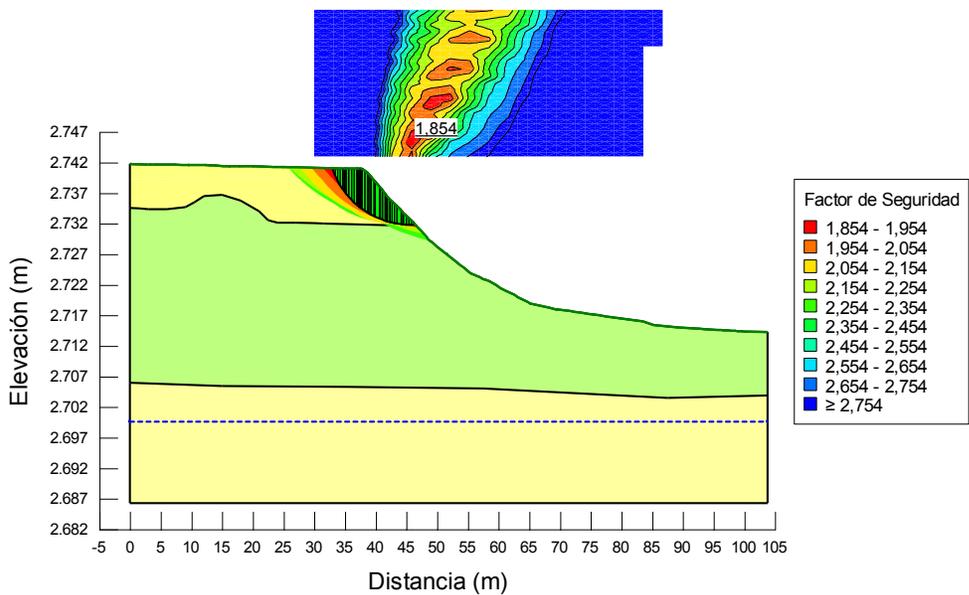


Figura 86

Análisis Pseudo-estático Morgenstern-Price FS=1,182

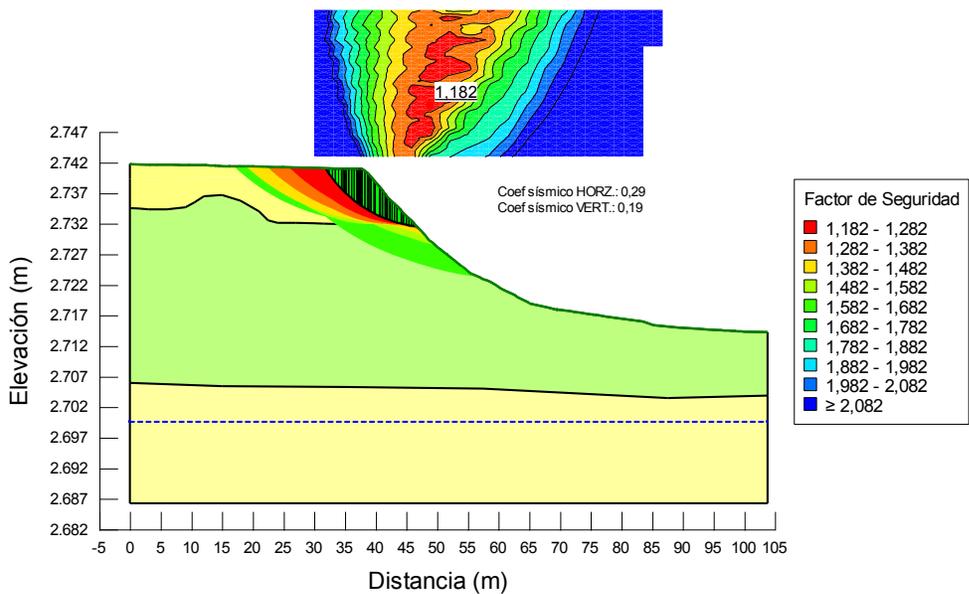


Tabla 22*Resumen Resultados Perfil 1*

	Bishop	Janbu	Morgenstern & Price
Condición estática	1,857	1,804	1,854
Condición Pseudo-estática	1,182	1,104	1,182

Análisis en Geoslope – Perfil 2

El análisis del segundo perfil es similar al anterior con la particularidad de que se aplicó una carga repartida actuante de 1,5 T/m o 14,72 kN/m debido a la construcción existente en la corona del talud. Con esta consideración en cuenta se procedió con el análisis en condición estática y pseudo-estática.

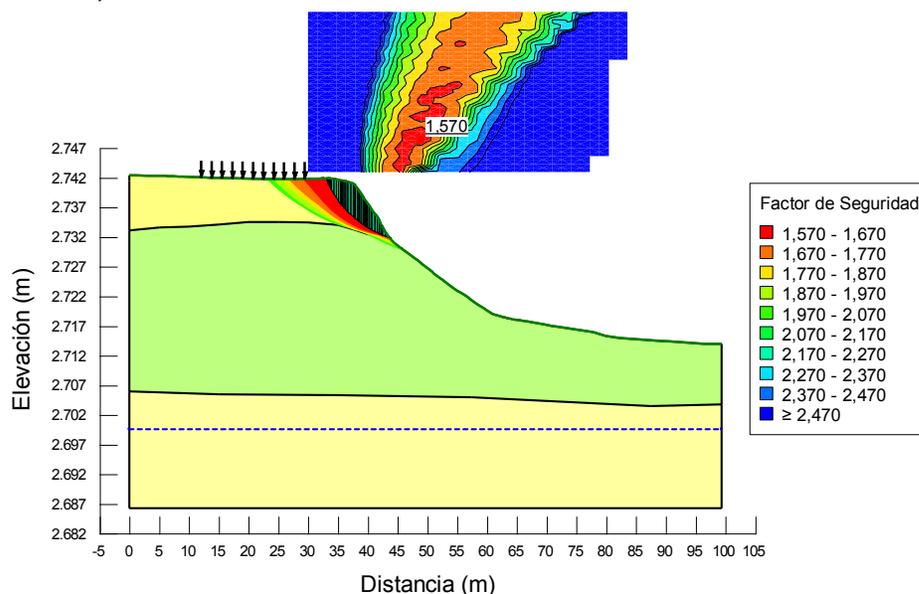
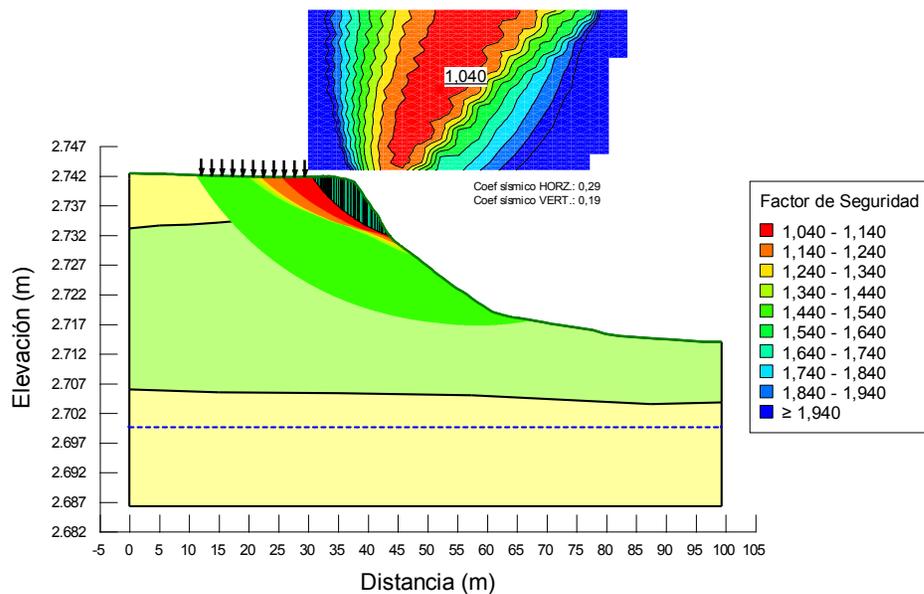
Bishop – Perfil 2**Figura 87***Análisis Estático Bishop FS=1,570*

Figura 88
Análisis Pseudo-estático Bishop FS=1,040



Janbu – Perfil 2

Figura 89
Análisis Estático Janbu FS=1,578

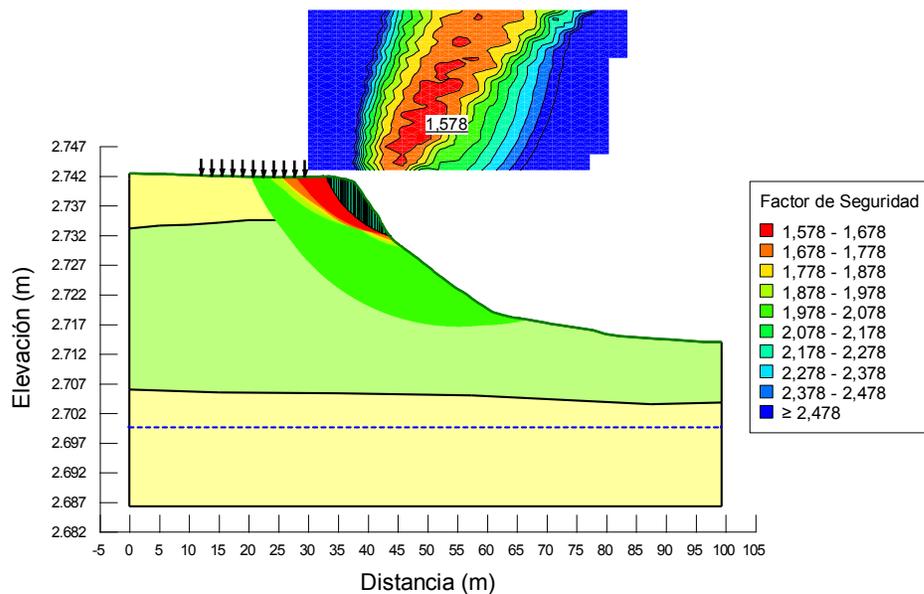
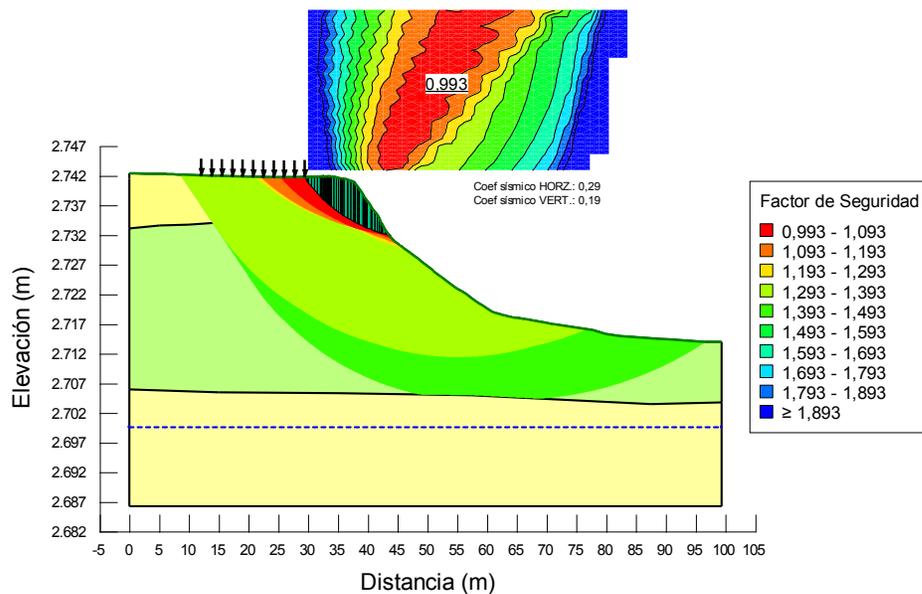


Figura 90
Análisis Pseudo-estático Janbu FS=0,993



Morgenstern & Price – Perfil 2

Figura 91
Análisis Estático Morgenstern & Price FS=1,598

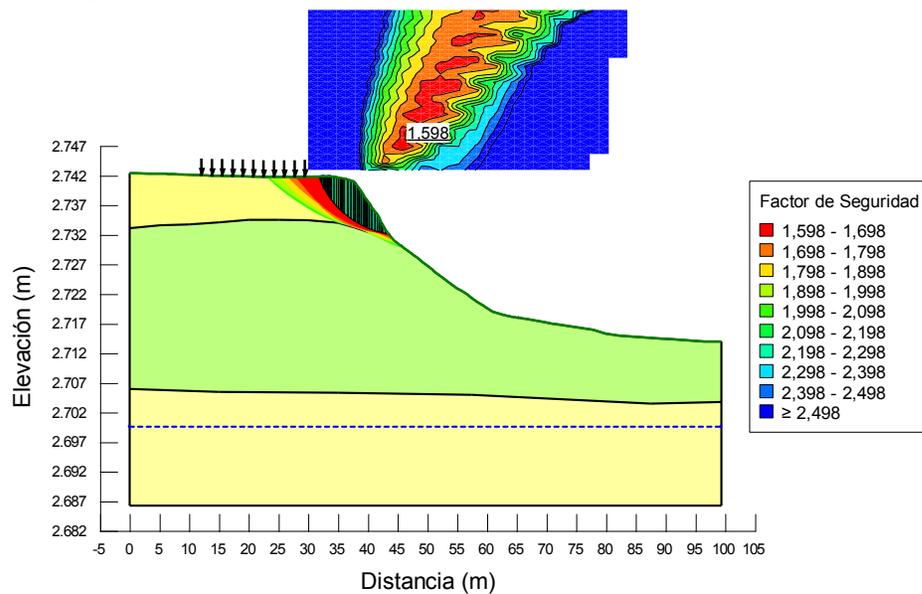
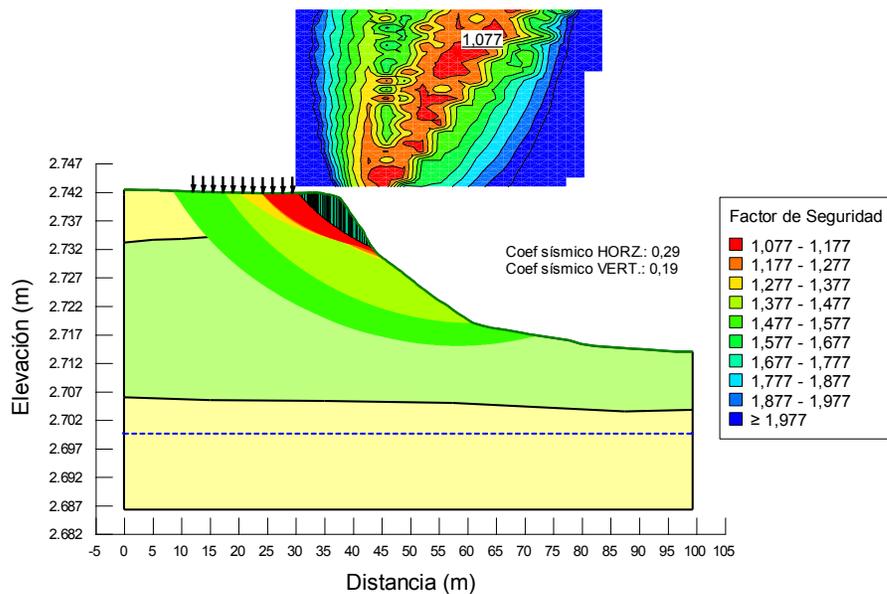


Figura 92Análisis Pseudo-estático Morgenstern-Price $FS=1,077$ **Tabla 23**

Resumen Resultados Perfil2

	Bishop	Janbu	Morgenstern & Price
Condición estática	1,570	1,578	1,598
Condición Pseudo-estática	1,040	0,993	1,077

Análisis en Geoslope Perfil-3**Bishop Perfil-3**

Figura 93
Análisis Estático Bishop FS=1,462

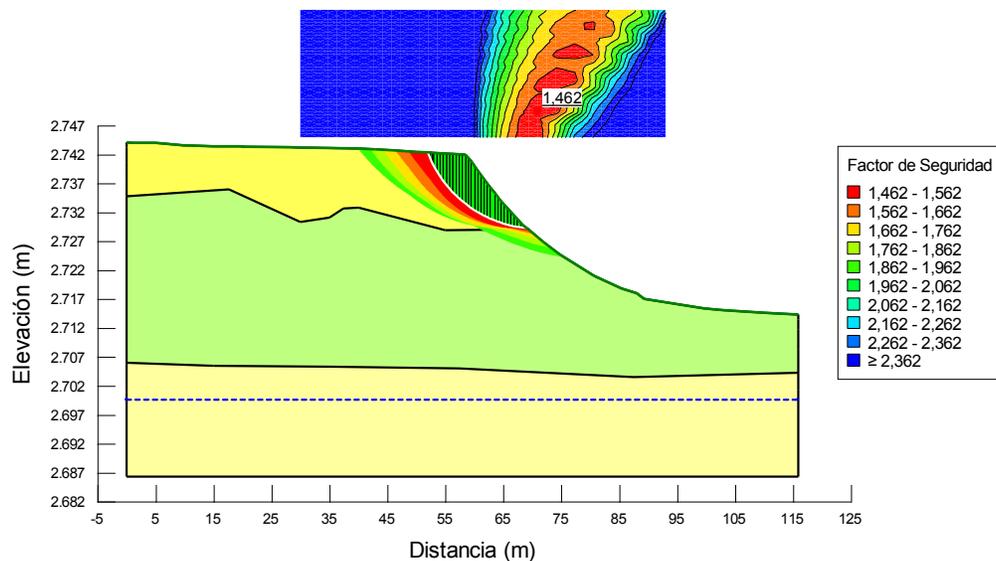
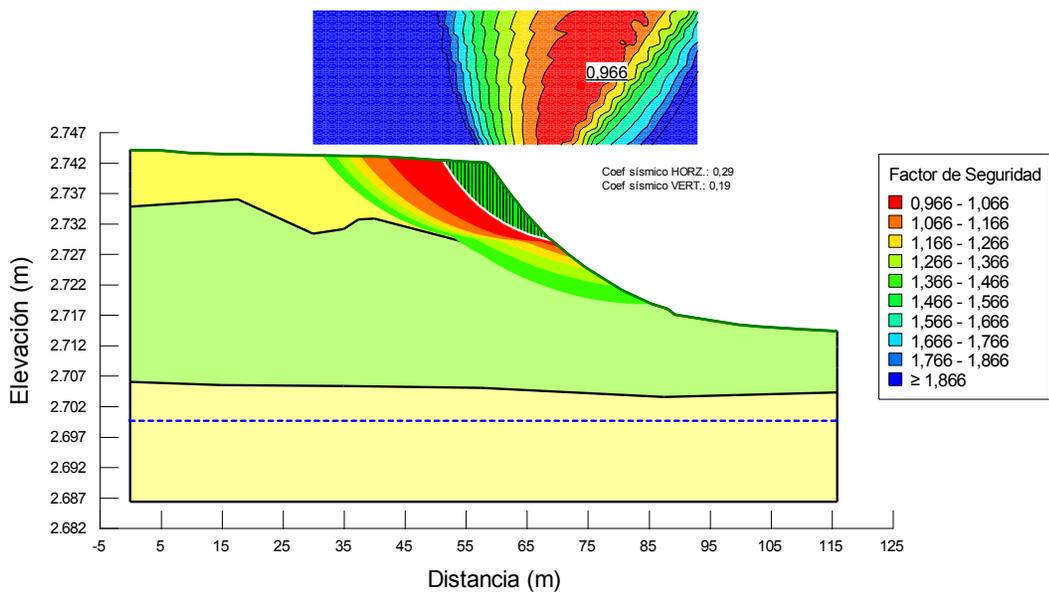


Figura 94
Análisis Pseudo-estático Bishop FS=0,966



Janbu Perfil-3

Figura 95
Análisis Estático Janbu $FS=1,425$

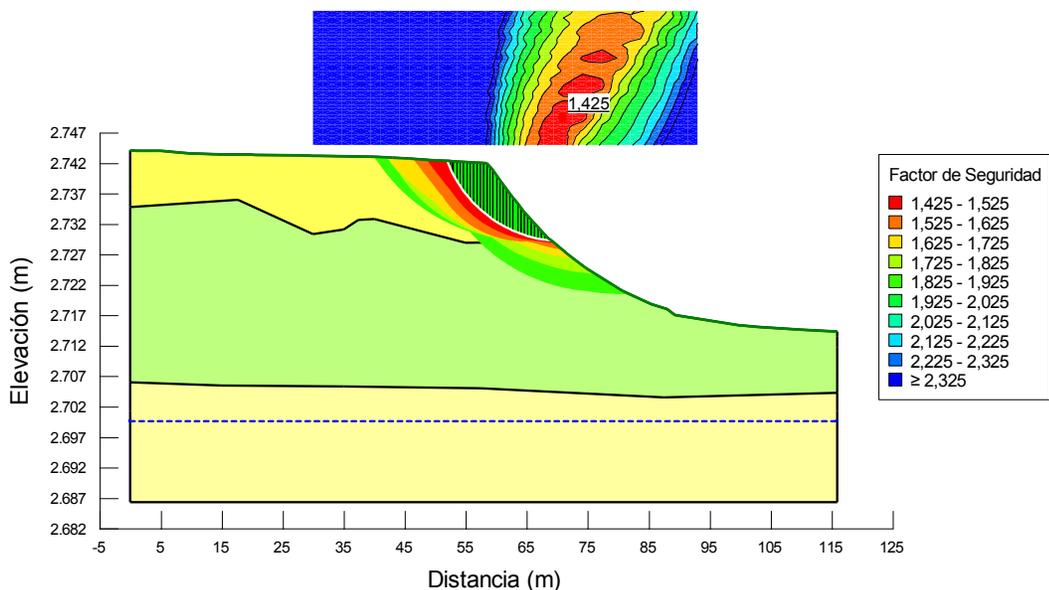
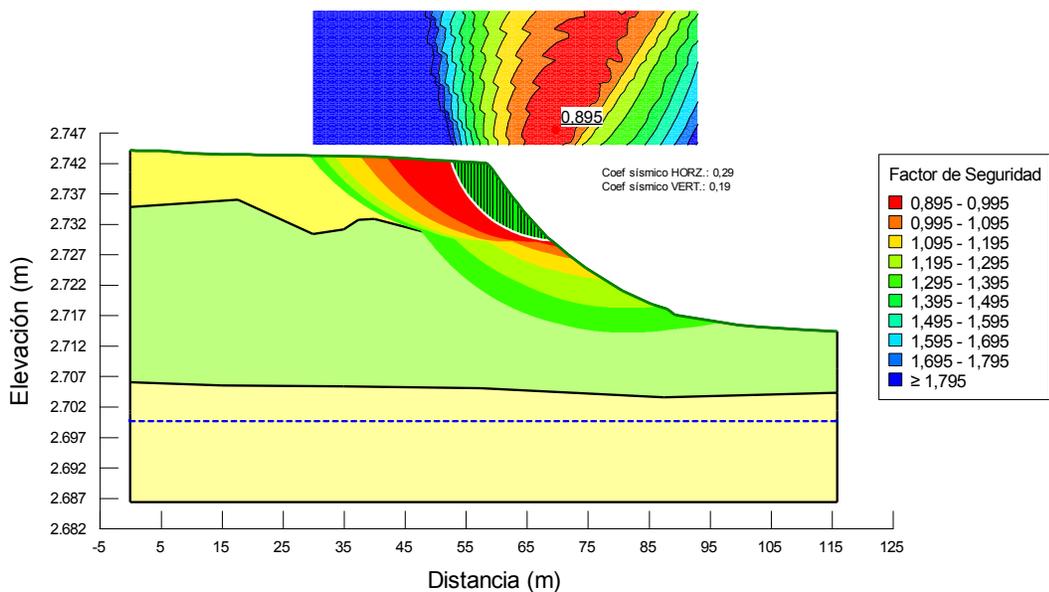


Figura 96
Análisis Pseudo-estático Janbu $FS=0,895$



Morgenstern & Price Perfil-3

Figura 97

Análisis Estático Morgenstern-Price $FS=1,460$

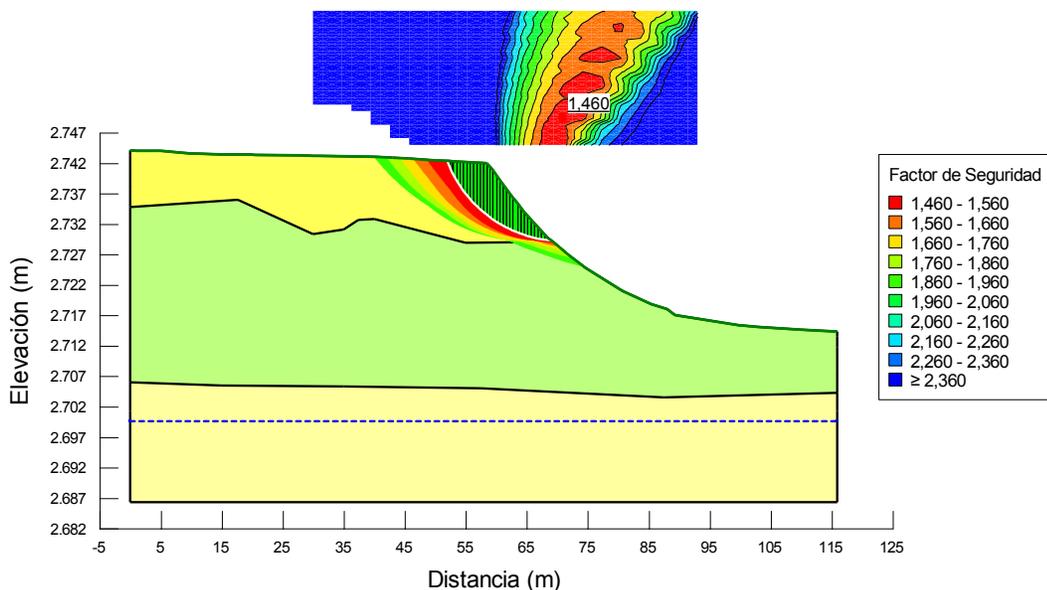


Figura 98

Análisis Pseudo-estático Morgenstern & Price $FS=0,966$

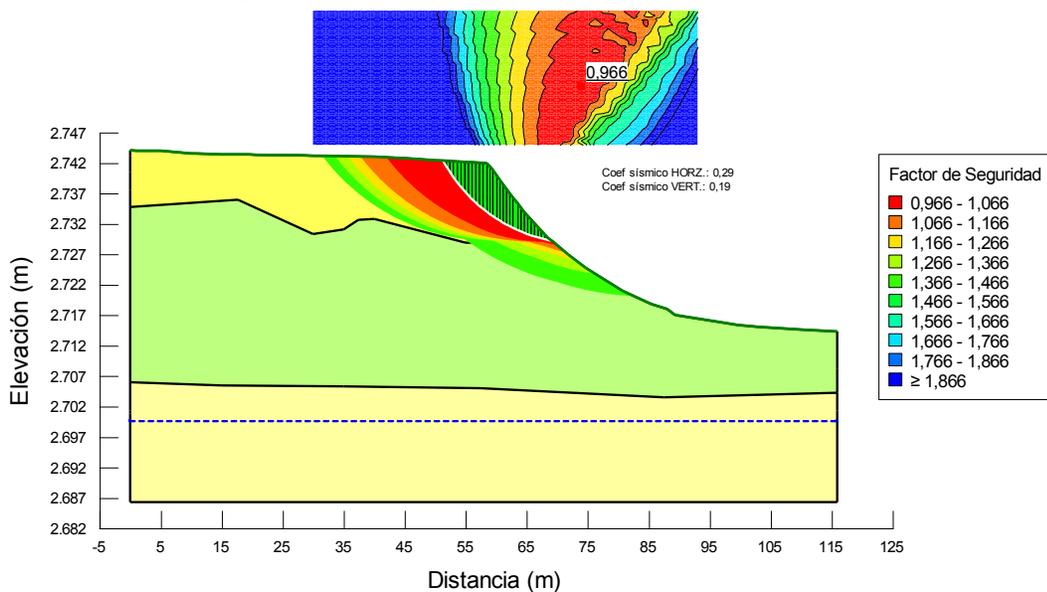


Tabla 24*Resumen Resultados perfil 3.*

	Bishop	Janbu	Morgenstern & Price
Condición estática	1,462	1,425	1,460
Condición Pseudo-estática	0,966	0,895	0,966

Discusión GeoSlope

A continuación, se presentan los factores de seguridad obtenidos mediante el análisis por modos de fallas en el software GeoSlope en los cuales se reflejan que las fallas ocurren debido a agentes extrínsecos como la geometría propia del talud o de la aplicación de cargas estáticas y dinámicas generando así fuerzas desestabilizadoras que llevan a la pérdida de resistencia del terreno.

El perfil 1 refleja un estado de estabilidad parcial del talud tanto en el escenario estático ($FS > 1.5$) como pseudo-estático ($FS > 1.05$), superando los requerimientos mínimos de seguridad en referencia a lo establecido por la NEC-SE-GC.

Tabla 25*Tabla comparativa de factores de seguridad - Perfil 1.*

Método de Análisis	Condición estática	Condición Pseudo-estática	Observación
Bishop	1,857	1,182	Estable
Janbu	1,804	1,104	Estable
Morgenstern & Price	1,854	1,182	Estable

En el perfil 2 se puede evidenciar que existe un factor condicionante de estabilidad atribuido a las sobrecargas existentes debido a que se produce fuerzas desestabilizadoras adicionales que conducen a generar incrementos en los esfuerzos cortantes del terreno viéndose así reducidos los factores de seguridad con respecto al perfil anterior, sin embargo para la

condición estática se termina cumpliendo en gran medida el requerimiento de diseño del factor de seguridad, siendo estos valores mayores a 1,50 de acuerdo a la NEC-SE-GC. Mientras tanto en el análisis pseudo-estático debido a la aplicación de cargas sísmicas el factor de seguridad infringe las solicitaciones con valores menores a 1,05 según la NEC-SE-GC lo cual deriva en calificar al talud como inestable ante la acción de tal evento sísmico.

Tabla 26

Tabla comparativa de factores de seguridad - Perfil 2.

Método de Análisis	Condición estática	Condición Pseudo-estática	Observación
Bishop	1,570	1,040	Inestabilidad condición pseudo-estática
Janbu	1,578	0,993	Inestabilidad condición pseudo-estática
Morgenstern & Price	1,598	1,077	Estable

Para el perfil 3 notamos que los factores de seguridad son inferiores a 1,50 y 1,05 en condición estática y pseudo-estática respectivamente esto es en gran parte a la topografía pronunciada con pendientes muy empinadas que contribuyen a la reducción de la estabilidad del talud, todo esto sumado a las malas condiciones de drenaje evidenciadas in situ han llevado a tener acumulaciones de agua que se infiltran en el suelo y que generan presiones de poros adicionales, derivando así en una pérdida de la resistencia al corte.

Tabla 27*Tabla comparativa de factores de seguridad - Perfil 3.*

Método de Análisis	Condición estática	Condición Pseudo-estática	Observación
Bishop	1,462	0,966	Inestabilidad condición estática y pseudo-estática
Janbu	1,425	0,895	Inestabilidad condición estática y pseudo-estática
Morgenstern & Price	1,460	0,966	Inestabilidad condición estática y pseudo-estática

Capítulo V: Propuesta de mitigación para controlar la erosión del Talud y su estabilidad

Propuesta de Estabilidad por Corrección Superficial

Las medidas por corrección superficial de taludes se lo realizan en la superficie del terreno como su nombre mismo lo indica, son soluciones que se aplican solamente en las capas o estratos más superficiales del terreno con los siguientes fines:

- Eliminar problemas de deslizamientos de rocas o material superficial.
- Evitar o reducir la erosión y meteorización de la superficie del talud.
- Evitar roturas superficiales (grietas) (Ayala Carcedo , 1987).

La propuesta para la estabilidad del talud de estudio se basa en la revegetación con plantas herbáceas que funcionan como tapizantes y cubre suelos, en este caso se ha decidido plantear la siembra de Hedera Helix (Hiedra) en el cuerpo del talud. Este tipo de planta suele extenderse con sus raíces por toda una superficie de suelo creando en el talud un manto verde muy eficaz, capaz de absorber y retener el agua superficial y nutrientes que contiene el suelo

(Bravo, 2018). De esta forma solucionamos problemas de deslizamientos de material superficial y problemas de escorrentía presentes en el talud.

Un ejemplo claro de la utilización de Hiedra para la estabilidad de un talud se encuentra en la carretera panamericana E20 sentido Tambillo – Sangolquí.

Figura 99

Utilización de hiedra para estabilidad de Talud carretera panamericana E20.



Figura 100

Utilización de hiedra para estabilidad de Talud carretera panamericana E20.



Canales con revestimiento de geomembrana

Como parte complementaria a la propuesta de mitigación se recomienda la implementación de canales con geomembrana que permitan la conducción del caudal pluvial de manera óptima debido a que el mal drenaje en la corona del talud ha causado la proliferación de ciertos puntos en donde existen zonas saturadas que han provocado una sobrepresión de poros que influyen directamente en la inestabilidad de la pendiente. Además, la variación de la humedad ha inducido cambios volumétricos en el suelo que han resultado en deformaciones y grietas visibles en el terreno, incrementando así el nivel de amenaza por desestabilización.

Figura 101

Grietas y deformaciones en la corona del talud causa del mal drenaje



Diseño del Canal revestido con Geomembrana

El canal con revestimiento de geomembrana que se presenta a continuación se diseñó con el objetivo de realizar la correcta evacuación del caudal pluvial para así mejorar el drenaje en la corona del talud atenuando de este modo los efectos de la saturación en el suelo, puesto que al impermeabilizar el canal con este tipo de revestimiento se minimizara las perdidas por infiltraciones a lo largo del recorrido del flujo.

Figura 102*Revestimiento de canal con geomembrana*

Nota. Tomado de (TechnoFlow, 2022)

La aportación del recurso pluvial se lo cuantifica en base al método racional para la determinación del caudal de diseño.

$$Q = \frac{CIA}{3600}$$

Donde:

Q: Caudal en litros/segundo.

C: Coeficiente de escorrentía, dependerá de los materiales que constituyen el área de drenaje.

I: Intensidad de precipitación en mm/h.

A: Área de aportación en m².

Intensidad de precipitación.

Constituye la razón de cambio entre la altura de precipitación en relación con el tiempo, para su estimación se puede considerar las curvas de Intensidad, duración y frecuencia del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI (2015), sin embargo, para efectos de cálculo se lo realizó acorde al Departamento de Alcantarillado y Agua Potable de Rumiñahui DAPAC-R, en donde la intensidad de lluvia se calcula en función de la siguiente correlación.

$$I = 212 \times T^{0,123} \times t^{-0,470}$$

El periodo de retorno se tomó como referencia la información de la Secretaría del Agua SENAGUA (2012) en la que se recomienda un periodo de retorno entre 2 y 10 años para obras de drenaje, en este caso se escogió un valor promedio $T=5$ años, mientras que para el tiempo de concentración se consideró $t=12$ minutos de acuerdo con el DAPAC-R.

$$I = 212(5)^{0,123}(12)^{-0,470} = 80,37 \text{ mm/h}$$

Coeficiente de escorrentía

El área en consideración consta de dos tipos de superficie para lo que se estimó un coeficiente de escorrentía promedio para las diferentes superficies y sus respectivos materiales, en base a los coeficientes de escurrimiento de (SENAGUA, 1992).

Tabla 28

Coeficientes de escorrentía

Valores de C para diversos tipos de superficie	
Cubierta metálica o teja vidriada	0,95
Cubierta con teja ordinaria o impermeabilizada	0,9
Pavimentos asfálticos en buenas condiciones	0,85 a 0,9
Pavimentos de hormigón	0,80 a 0,85
Empedrados (juntas pequeñas)	0,75 a 0,80
Empedrados (juntas ordinarias)	0,40 a 0,50
Pavimentos de macadam	0,25 a 0,60
Superficies no pavimentadas	0,1 a 0,3
Parques y jardines	0,05 a 0,25

Nota. Tomado de (SENAGUA, 1992)

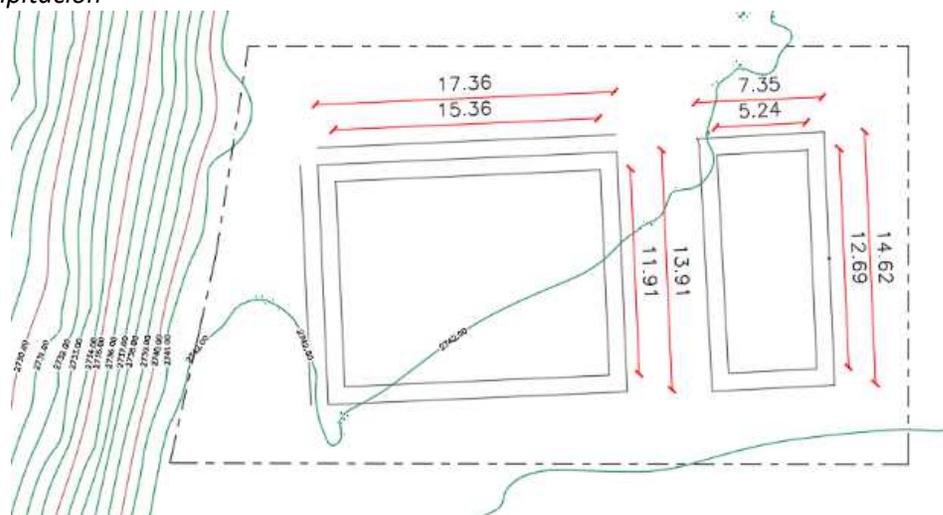
Tabla 29

Coeficientes de escorrentía

Tipo de Superficie	C	Área (m ²)	AXC
Cubierta Eternit	0,90	249,43	224,49
Área verde	0,15	727,92	109,19
	$\Sigma =$	977,35	333,68

$$C = \frac{\sum AC}{A} = 0,34$$

Figura 103
Área de precipitación



Finalmente, el caudal por el método racional se presenta a continuación.

$$Q = \frac{CIA}{3600} = \frac{(0,34)(80,37)(977,35)}{3600} = 7,45 \text{ L/s}$$

Para la determinación de la sección transversal tomamos como parámetro de diseño que el flujo que circula por el canal revestido con membrana no supere una velocidad de 0,9 m/s de acuerdo con (FAO, 2022).

Tabla 30
Velocidades medias máximas admisibles del agua en canales

Canales revestidos	Velocidad media máxima admisible (m/s)
Hormigón de cemento moldeado a pie de obra	2,5
Hormigón de cemento prefabricado	2
Bloques de cemento	1,6
Ladrillos	1,4-1,6
Membrana de plástico sumergida	0,6-0,9

Nota. Tomado de (FAO, 2022)

Seguidamente se presenta el modelamiento en FlowMaster en el cual se obtuvo una velocidad de 0,72 m/s siendo esta menor a la velocidad de máxima de 0,9 m/s, además el tirante normal fue 28,5 mm con una pendiente mínima del 0,5%.

Figura 104
Modelamiento del canal en FlowMaster

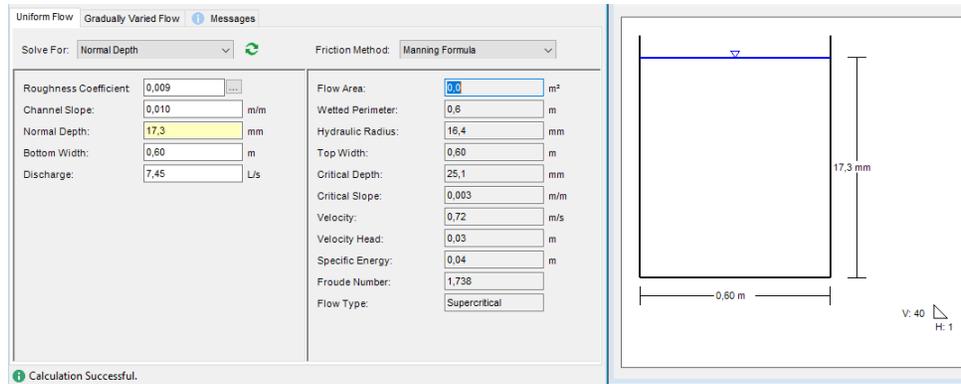
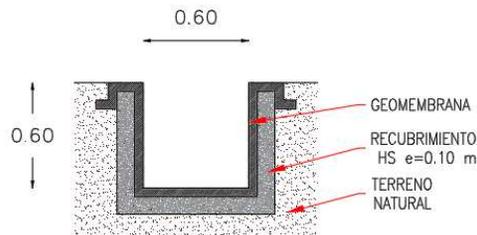


Figura 105
Sección Canal con revestimiento de geomembrana



Finalmente, para el desfogue del caudal pluvial captado por el canal se recomienda la implementación de disipadores de energía hidráulicos de hormigón a lo largo del cuerpo del talud en los cuales la velocidad del flujo no debe superar los 5 m/s.

Capítulo VI: Propuesta de Monitoreo del Talud

Propuesta de instrumentación de medición

Con el objetivo de tener un control real sobre los movimientos y fuerzas actuantes dentro del cuerpo del talud en el sitio de estudio, se ha optado por la implementación de un prototipo en donde se incluyan cuatro transductores; de humedad, de presión, un acelerómetro y un inclinómetro, dichas lecturas podrán ser almacenadas para su posterior interpretación.

Cuerpo del prototipo

La propuesta para el cuerpo del prototipo está conformada por un cilindro de tres metros de longitud, el material elegido fue el poliuretano, dicho material tiene propiedades termoplásticas, termoestables o elastoméricas.

Según la página web Materials, dependiendo de la cantidad de poros existentes en la espuma y su grado de reticulación este material cambia sus propiedades físicas y mecánicas, clasificándolo en espumas rígidas, semirrígidas y flexibles, esta misma característica hace que el material sea ideal para poder captar las señales que emiten las pequeñas deformaciones existentes en el cuerpo del talud.

Como propuesta se presenta a continuación los valores de la ficha técnica del producto ECUAFOAM I-1 402 del fabricante Ecuapoliuretanos. Dicho sistema es una espuma rígida, que resulta de la mezcla entre polioli e isocianato, es comúnmente usado en el campo de la construcción e industrial como un aislante termo acústico.

Tabla 31*Presentaciones y propiedades generales, físicas y mecánicas del poliuretano.*

Composición y presentaciones	
Composición	Componente A: Isocianato Componente B: Polioliol
Presentación tanques	A: Tanque color rojo 250 kg. B: Tanque color azul 220 kg.
Presentación canecas	A: Caneca color rojo 20 kg. B: Caneca color azul 20 kg.

Nota. Tomado de Ecuapoliuretanos**Tabla 32***Propiedades de la reacción química de la espuma de poliuretano.*

Propiedades de la espuma	
Tiempo de crema	25 segundos
Tiempo de hilo	116 segundos
Tiempo de crecimiento	212 segundos
Densidad libre	31 kg/m ³

Nota. Tomado de Ecuapoliuretanos

De la tabla anterior se puede evidenciar el tiempo estimado para la obtención de la espuma de poliuretano que como vemos, por tratarse de una reacción química es un proceso instantáneo.

Tabla 33*Características finales de la espuma de poliuretano*

Características espuma aplicada	
Densidad media	31-38 kg/m ³ UNE-EN 1602
Compresión	175-225 KPa UNE-EN 826
Absorción de agua	<5 %vol DIN 53428

Nota. Tomado de Ecuapoliuretanos***Procedimiento para obtener espuma de poliuretano***

A continuación, se presenta el procedimiento por el cual se obtiene el poliuretano al mezclar los componentes:

1. Verter los componentes A Isocianato y componente B Poliol en partes iguales 1:1. Usar balanza de ser posible.

Figura 106

Mezcla de componente que conforman la espuma de poliuretano.

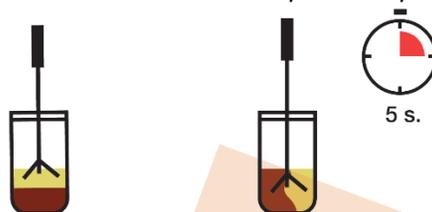


Nota. Tomado de Ecuapoliuretanos

2. Mezclar manualmente los dos componentes por 5 segundos hasta que la mezcla este homogénea. Usar un batidor eléctrico de ser posible.

Figura 107

Mezclado y tiempo de espera para la obtención de la espuma de poliuretano.



Nota. Tomado de Ecuapoliuretanos

3. Verter la mezcla manualmente en el lugar que se desea llenar con poliuretano y esperar que la espuma comience a crecer y llene todo el espacio.

Figura 108

Ilustración del proceso paso a paso para la obtención de espuma de poliuretano.



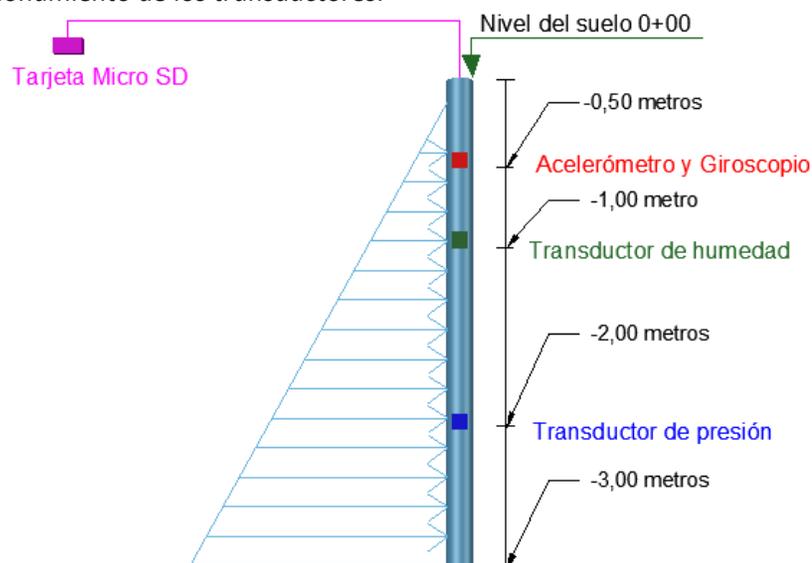
Nota. Tomado de Ecuapoliuretanos

El prototipo de la propuesta debe seguir el procedimiento descrito anteriormente, el cual corresponde a Ecuapoliuretanos. El recipiente en el cual se debe verter la mezcla debe constar de un cilindro exterior de 4 pulgadas y un cilindro interior de $\frac{3}{4}$ pulgadas, de este modo se asegura

que la espuma va a tomar la forma del recipiente, resultando así en un cilindro de espesor considerable en donde se podrá instalar los transductores, el hueco interior servirá como un ducto para el cableado que ira conectada a la unidad de almacenamiento, Para mayor información ir al Apéndice 20.

Figura 109

Propuesta de posicionamiento de los transductores.



Nota. Ilustración generada en AutoCAD.

El prototipo finalizado debe ser ubicado en la zona de la corona del talud que presente la mayor concentración de grietas. El prototipo de ingresar completamente de modo que, como se observa en la figura anterior, se genere el diagrama de empuje de tierras en los tres metros de longitud y el sensor de presión pueda captar la señal más grande ubicada en el centroide del triángulo de presiones.

Transductor de humedad

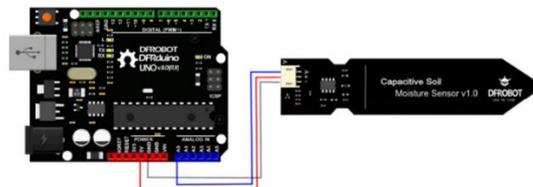
El sensor de la propuesta obtiene los niveles de humedad del suelo en porcentajes mediante detección capacitiva, es decir, que reaccionan ante metales y no metales. Su material es de alta resistencia a la corrosión lo que le da una excelente vida útil. El rango de voltaje operativo

es de 3,3 a 5,5 V. El módulo de humedad tiene unas dimensiones de 3.86 X 0,905 pulgadas y un peso de 15 gramos (DFROBOT, 2017).

Para mayor información ir al Apéndice 15.

Figura 110

Esquema mecánico de transductor de humedad.



Nota. Tomado de las fichas de especificaciones técnicas de (DFROBOT, 2017)

Transductor de fuerza

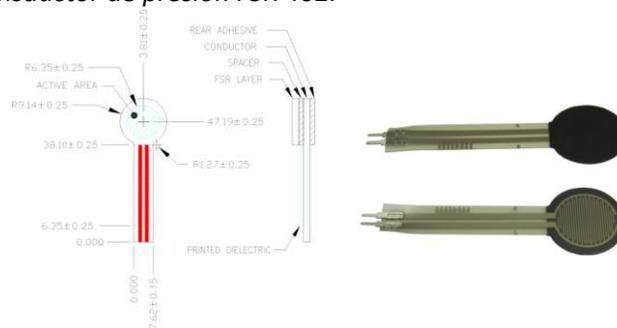
FSR 402, es un transductor estándar de forma redonda de 18,28 mm de diámetro. Se pueden fabricar sensores personalizados en tamaños que van desde 5 mm hasta más 600 mm.

Conector hembra y corto.

El diámetro del área sensible que capta la fuerza es de 12,7mm por lo que es posible calcular valores de presión, el rango de fuerzas actuantes que puede soportar va desde 0,1N hasta 10N, es simple y fácil de integrar por su espesor de 0,45mm, para mayor información ir al Apéndice 16.

Figura 111

Esquema mecánico del transductor de presión FSR 402.



Nota. Las figuras fueron tomadas de la ficha de especificaciones técnicas de Interlink Electronics.

Giroscopio

Características Giroscopio MEMS de triple eje en el MPU-60X0

Este dispositivo tiene la función para determinar la velocidad angular de los ejes X, Y y Z, además tiene una salida digital con un rango de escala completa programable por el usuario de ± 250 , ± 500 , ± 1000 y $\pm 2000^\circ/\text{seg}$. La señal que adapta este sensor es de sincronización externa conectada al pin FSYNC que permite la sincronización de imagen, video y GPS (InvenSense, 2013).

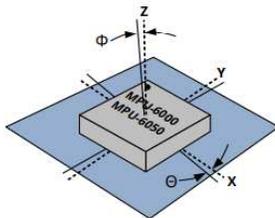
Su rendimiento al usar en campo, es de ruido de baja frecuencia además con su filtro de paso bajo programable digitalmente, para que no se dificulte la programación al momento de la implementación. En la parte eléctrica la corriente de funcionamiento del giroscopio es de: 3,6 mA y con su corriente de espera: $5\mu\text{A}$, sin embargo, el factor de escala es muy sensible y ya viene calibrado de fábrica (InvenSense, 2013).

Los errores de orientación del giroscopio y el acelerómetro montados en la placa de circuito impreso pueden causar sensibilidad en el eje transversal en el que un giroscopio o aceleración responde a la rotación o aceleración sobre otro eje, respectivamente, por ejemplo, el giroscopio del eje X puede responder a la rotación sobre los ejes Y o Z. En la siguiente grafico podemos observar de mejor manera los errores de montaje de orientación (InvenSense, 2013).

Para mayor información ir al Apéndice 17.

Figura 112

Esquema mecánico del giroscopio MEMS de triple eje en el MPU-60X.



Nota. La figura fue tomada de la ficha de especificaciones técnicas (InvenSense, 2013)

En la siguiente tabla se muestra la sensibilidad del eje transversal como porcentajes de sensibilidad.

Tabla 34

Muestra de sensibilidad del eje transversal como porcentajes de sensibilidad.

Error de orientación (θ o Φ)	Sensibilidad de eje transversal ($\sin\theta$ o $\sin\Phi$)
0°	0%
0,5°	0,87%
1°	1,75%

Nota. Tomado de (InvenSense, 2013)

Acelerómetro

Características Acelerómetro MEMS de triple eje en MPU-60X0

Cuando el dispositivo se coloca en una superficie plana, medirá 0 gramos en los ejes X, Y y en el eje Z medirá 1 gramo. Asimismo, cada sensor tiene un ADC sigma-delta dedicado para proporcionar salidas digitales. En estos dispositivos posee un triple eje de salida digital con rango de escala completa programable de ± 2 gramos, ± 4 gramos, ± 8 gramos y ± 16 gramos. Además, viene integrado ADC de 16 bits que permiten el muestreo simultáneo de acelerómetro sin necesidad de un multiplexor externo, es decir, que no es necesario un dispositivo que transmite datos de varias entradas a una única salida (InvenSense, 2013).

Su corriente para el previo funcionamiento normal del acelerómetro es de 500 μA , consecutivamente para la corriente de modo de acelerómetro de baja potencia es de 10 μA a 1,25 Hz, 20 μA a 5 Hz, 60 μA a 20 Hz, 110 μA a 40 Hz. En este equipo es importante saber que nos ayuda con la detección de orientación y señalización, al mismo tiempo, los interruptores son programables por el usuario, para mayor información ir al Apéndice 17.

. Recopilación de datos

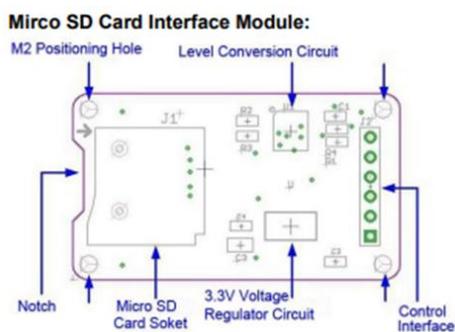
Módulo lector de adaptador de tarjeta Micro SDHC mini TF para Arduino

Para recopilar datos se propone una tarjeta digital Micro SDHC extraíble que nos ayuda a recopilar información digital obtenidos en campo de las lecturas de los transductores antes mencionadas de manera práctica sin que un dispositivo electrónico este encendido las 24 horas, es decir, es un método eficaz para captar datos durante varios meses y al procesar los datos en un dispositivo se pueda verificar que cambios a sufrido el cuerpo en estudio.

Este adaptador de tarjeta MicroSD es un módulo lector de tarjetas que su función es para leer y escribir a través del sistema de archivos y el controlador de interfaz SPI (serial sincrónico de comunicación entre dispositivos a corta distancia). Su fuente de almacenamiento es de 4,5 V a 5,5 V, para mayor información ir al Apéndice 18.

Figura 113

Módulo de interfaz de tarjeta Micro SD



Nota. La figura fue tomada de la ficha de especificaciones técnica (eBay, 2014)

Control de tiempo para registros

Módulo RTC DS1302, Reloj de tiempo real

Al momento de interpretar los datos se necesita un módulo que controle las fechas en la que se está registrando los datos de los sensores, por tal motivo se instala este prototipo que

consiste en un circuito integrado alimentado por una batería el cual, en todo momento, registra fecha, día de la semana y de igual manera la hora como un reloj convencional (Bolaños, 2017).

Figura 114

Módulo de reloj de tiempo real



Nota. La figura fue tomada de la ficha técnica de especificaciones técnicas (Bolaños, 2017)

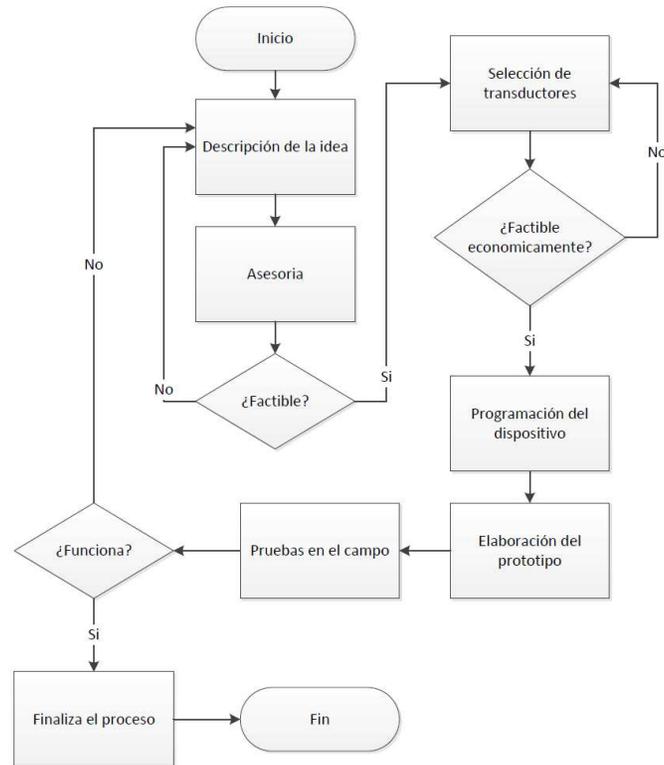
Este módulo contiene un reloj/calendario en tiempo real y 31 Bytes de RAM estática. Se comunica con un microprocesador mediante un interfaz serial simple. Conjuntamente tiene un modo de 24 o 12 horas con indicador AM/PM y puede soportar una temperatura de 0° a 70°C, con sus dimensiones de (10 x 6,4 mm), Para mayor información ir al Apéndice 19.

Propuesta para el procesamiento y monitoreo de datos

Para la propuesta del procesamiento de datos se presentan dos esquemas, el que se muestra a continuación muestra de manera general la toma de decisiones y pasos a seguir antes de dar marcha a la elaboración del prototipo de monitoreo, el segundo esquema expone como trabajan y como están conectados los componentes que conforman el prototipo.

Figura 115

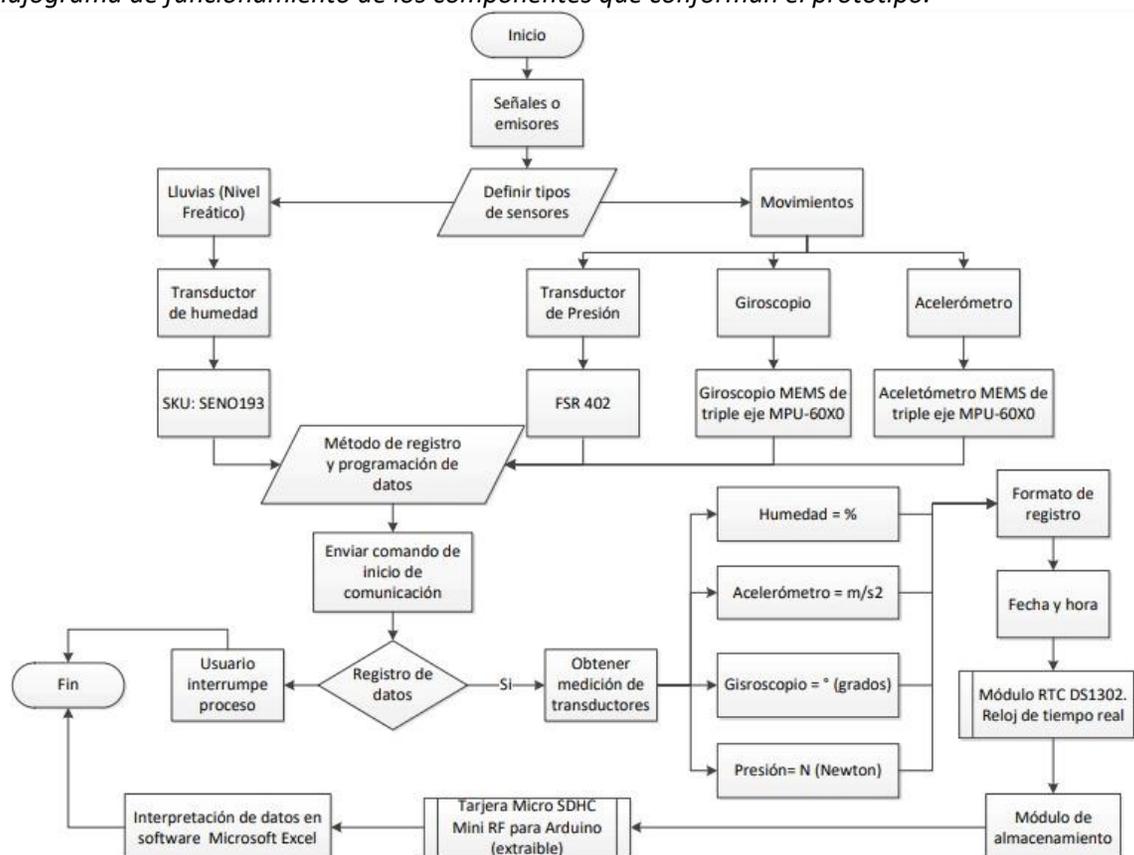
Flujograma de propuesta de elaboración del prototipo de monitoreo.



Nota. En esta figura se muestra de manera general el flujo para la elaboración del prototipo de monitoreo, en software Visio 2010.

Figura 116

Flujograma de funcionamiento de los componentes que conforman el prototipo.

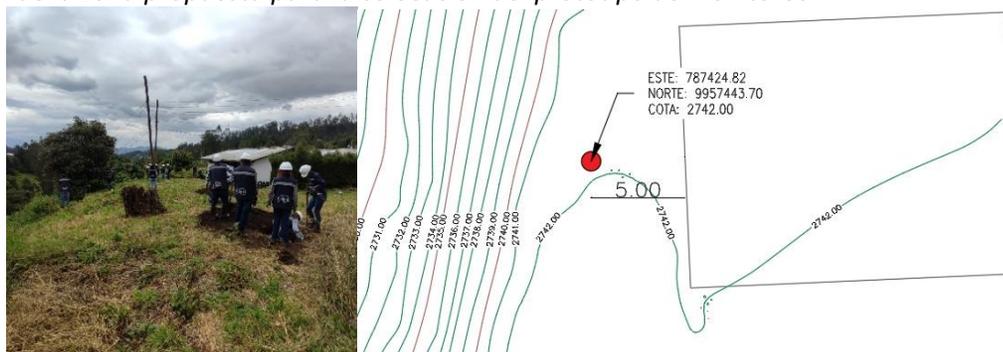


Nota. En esta figura se muestra como están conectados los componentes que componen el prototipo y su funcionamiento hasta la obtención de datos, a través del software Visio 2010.

Para el monitoreo de datos se debe establecer un punto en la corona del talud, los criterios tomados en cuenta para la designación del punto de monitoreo son la evidencia de grietas en el sector, presencia de estructuras civiles que provocan sobrecarga y evidencia de inclinación en la vegetación, para el caso de la zona de estudio se propone el punto de coordenadas 787 424,82; 9 957 443,70.

Figura 117

Ubicación de la zona propuesta para la colocación del prototipo de monitoreo.



Interpretación de datos

Los registros tomados por los transductores y almacenados en la tarjeta micro SD se presentan en formato de tabla para cada hora y fecha, esta bondad permite que se puedan realizar gráficas en función del tiempo para su interpretación.

Los datos tomados en el campo deben ser comparados con un patrón para tener una idea del comportamiento del talud, para el caso de los registros de humedades y de fuerza deben ser comparados con los valores de laboratorio, el pico más alto de la base de datos resultante del monitoreo puede ser comparada con la fuerza y las condiciones naturales que hacen que el suelo falle. El registro de datos del giroscopio debe ser comparado con el ángulo de fricción interna del suelo y finalmente la propuesta de la interpretación de datos termina con los registros del acelerómetro, sus valores de aceleración en función del tiempo se deben comparar con el sismo que hace fallar al talud.

Costos estimados de propuesta de instrumentación y monitoreo de taludes

En el presente proyecto de investigación se tiene la siguiente estimación de costos en base de diferentes propuestas donde se puede elegir la más óptima para el lugar donde se vaya a realizar la implementación del prototipo o el lugar de estudio.

Primera propuesta de costos

La siguiente cotización se realizó con la empresa APM ELECTRONICS que está ubicada en la Autopista General Rumiñahui, frente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, donde se detalla que el prototipo se lo realiza con un lector de tarjeta SD y el centro de energía es mediante un cable de fuente de alimentación para arduino que va conectado al tomacorriente, de esta manera se detalla de la siguiente manera.

Tabla 35

Presupuesto referencial del prototipo mediante cable de fuente de alimentación para arduino (Suministro)

TABLA DE CANTIDADES Y PRECIOS					
ITEM	DESCRIPCION DEL RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
001	Mano de obra	unidad	1,00	\$185,00	\$185,00
002	Placa microcontrolador	unidad	1,00	\$13,39	\$13,39
003	Sensor de humedad	unidad	1,00	\$7,59	\$7,59
004	Sensor de fuerza	unidad	1,00	\$16,07	\$16,07
005	Sensor acelerómetro analógico	unidad	1,00	\$5,80	\$5,80
006	Sensor giroscopio	unidad	1,00	\$6,70	\$6,70
007	Módulo de reloj	unidad	1,00	\$4,02	\$4,02
008	Módulo micro SD	unidad	1,00	\$4,46	\$4,46
009	SD clase 10	unidad	1,00	\$14,29	\$14,29
010	Fuente de alimentación para arduino	unidad	1,00	\$7,14	\$7,14
011	Diseño de placa PCB	unidad	1,00	\$19,64	\$19,64
012	Cableado 10 m	unidad	1,00	\$21,43	\$21,43
013	Fabricación placa PCB + soldado	unidad	1,00	\$14,29	\$14,29
				TOTAL	\$319,82
				IVA 12 %	\$38,38
				COSTO TOTAL DEL PROTOTIPO	\$358,20

Nota. Los valores realizados en la tabla son tomados de (Cadena, 2022)

Segunda propuesta de costos

De igual manera esta cotización se realizó con la misma empresa sin embargo la diferencia radica que la fuente de energía es mediante una batería recargable de litio, esta condición es ideal para aquellos lugares en donde no se puede encontrar energía eléctrica.

Tabla 36*Presupuesto del prototipo mediante una batería recargable de litio (Suministro).*

TABLA DE CANTIDADES Y PRECIOS					
ITEM	DESCRIPCION DEL RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
001	Mano de obra	unidad	1,00	\$185,00	\$185,00
002	Placa microcontrolador	unidad	1,00	\$13,39	\$13,39
003	Sensor de humedad	unidad	1,00	\$7,59	\$7,59
004	Sensor de fuerza	unidad	1,00	\$16,07	\$16,07
005	Sensor acelerómetro analógico	unidad	1,00	\$5,80	\$5,80
006	Sensor giroscopio	unidad	1,00	\$6,70	\$6,70
007	Módulo de reloj	unidad	1,00	\$4,02	\$4,02
008	Módulo micro SD	unidad	1,00	\$4,46	\$4,46
009	SD clase 10	unidad	1,00	\$14,29	\$14,29
010	Batería recargable de litio	unidad	1,00	\$10,71	\$10,71
011	Módulo regulador de voltaje Step Up	unidad	1,00	\$4,02	\$4,02
012	Módulo de carga de batería	unidad	1,00	\$4,02	\$4,02
013	Diseño de placa PCB	unidad	1,00	\$19,64	\$19,64
014	Cableado 10 m	unidad	1,00	\$21,43	\$21,43
015	Fabricación placa PCB + Soldado	unidad	1,00	\$14,29	\$14,29
TOTAL					\$331,43
IVA 12 %					\$39,77
COSTO TOTAL DEL					\$371,20
PROTOTIPO					

Nota. Los valores realizados en la tabla son tomados de (Cadena, 2022)

Nota: Cabe mencionar que el cuerpo del prototipo no está incluido en las cotizaciones anteriores, ya que el material que se vaya a usar depende del nivel de inversión. Así es que se presente diferentes propuestas para el material del cuerpo; El poliuretano cuya principal característica es, ser un material elastomérico ayudando así a los transductores a captar las señales provenientes del cuerpo del talud mientras se deforma, otra opción que se propone es un tubo de PVC, como veremos a continuación este último material resulta más económico y de fácil accesibilidad.

Propuesta de costos del cuerpo de prototipo (material de poliuretano)

Tabla 37

Presupuesto referencial del cuerpo del prototipo

TABLA DE CANTIDADES Y PRECIOS					
ITEM	DESCRIPCION DEL RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
001	Isocianato (Componente A) Ecufoam I-1402 / Caneca 20 kg - Formmulado de bayer - 1 caneca	Kg	20,00	\$6,18	\$123,60
002	Poliol (Componente B) Ecufoam I-1402 / Caneca 20 kg - Formulado de bayer - 1 caneca	kg	20,00	\$6,18	\$123,60
TOTAL					\$247,20
IVA 12 %					\$29,66
COSTO TOTAL DEL PROTOTIPO					\$276,86

Nota. Los valores realizados en la tabla son tomados de (Balderramos, 2022)

Propuesta de costos del cuerpo de prototipo (material de PVC)

Tabla 38

Presupuesto referencial del cuerpo del prototipo PVC

TABLA DE CANTIDADES Y PRECIOS					
ITEM	DESCRIPCION DEL RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
001	TUBO PVC DESAGUE 110MMX3MT REFORZA PLAST	unidad	1,00	\$13,99	\$13,99
002	Varios	-	-	\$15,00	\$15,00
TOTAL					\$28,99
IVA 12 %					\$3,48
COSTO TOTAL DEL PROTOTIPO					\$32,47

Figura 118

Propuesta para el cuerpo del prototipo de material de PVC.



Nota. Tomado de (Kywi, 2020)

Propuesta de costos para monitoreo

En la siguiente tabla se detallan los costos para el monitoreo en el lugar de estudio para una semana, tomando en cuenta el transporte, lugar donde se llevará a cabo la recopilación de datos y la asesoría profesional si así se lo requiere.

Tabla 39

Presupuesto del monitoreo

TABLA DE CANTIDADES Y PRECIOS					
ITEM	DESCRIPCION DEL RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
001	Transporte (ida y vuelta)	día	2,00	\$10,00	\$20,00
002	Asesoría profesional	hora	2,00	\$15,00	\$30,00
003	Recopilación de monitoreo de datos	día	1,00	\$10,00	\$10,00
TOTAL					\$60,00
IVA 12 %					\$7,20
COSTO TOTAL DEL MONITOREO					\$67,20

Propuesta de costos definitiva

En este proyecto se define el material de PVC como cuerpo del prototipo siendo de mayor accesibilidad económica y de igual manera que este prototipo esté conectado con un cable como fuente de energía hacia un tomacorriente tomando en cuenta que si hay electricidad en el punto de estudio, además, se incluye lo que es la mano de obra y se realiza la siguiente tabla de resumen.

Tabla 40

Presupuesto de costo total (incluye suministro e instalación).

TABLA DE RESUMEN PRECIOS	
DESCRIPCION DE LAS PROPUESTAS	PRECIO TOTAL
Primera propuesta de costos	\$358,20
Propuesta de costos del cuerpo de prototipo (material de PVC)	\$32,47
Propuesta de costos para monitoreo	\$67,20
Total, de instrumentación y monitoreo	\$457,87

Tomando en cuenta los costos estimados en las cotizaciones antes presentadas, el precio para la propuesta del control y monitoreo será de \$ 457,87, tomando en cuenta un prototipo que usa como cuerpo el material de PVC en donde se encuentran incorporados los transductores que miden humedad, fuerza, movimientos y giros.

Capítulo VII: Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

En la zona de estudio la topografía fue realizada en un terreno plano con un porcentaje mínimo de desnivel, considerando las dimensiones del talud en profundidad de 20 m y en un ancho sobre extendido.

Debido a las altas precipitaciones durante la época de invierno se evidenció in situ la existencia de un drenaje deficiente en la corona del talud, provocando la infiltración y acumulación del agua generando así sobrepresión de poros y cambios volumétricos del suelo, formando grietas, haciendo al terreno susceptible al deslizamiento de material e inestabilidad en el cuerpo del talud por la presencia de escarpes existentes.

Los parámetros de resistencia al suelo para el cuerpo del talud presentan un suelo duro con valores de contenido de humedad alrededor del 30-45%, peso específico entre el 1,5 g/cm³, cohesión entre el 1% y un valor alto de módulo de elasticidad.

Las curvas de carga vs deformación aportan con información cualitativa a la resistencia del suelo, en el cual se presenta con un pico la resistencia última y lo restante como un valor residual.

Al realizar los ensayos de geofísica se evidenció una correlación con los resultados de clasificación SUCS, mostrando la presencia de suelo limoso en las primeras capas, así se complementó la información obtenida con las propiedades, índice y mecánicas del suelo, mediante ensayos destructivos.

Con el modelamiento en condiciones actuales del talud, mediante softwares académicos, se realizó el análisis de estabilidad por deformaciones y por equilibrio límite, resultando que el perfil 3 analizado es el más crítico con valores menores a 1,5 y 1,05 de acuerdo a la NEC-SE-GC para el

análisis estático y pseudo-estático respectivamente, esto es atribuible a las cargas existentes y a la topografía pronunciada del talud.

De los resultados obtenidos sobre factor de seguridad se evidencia una semejanza de valores dados por los softwares académicos Plaxis 2D y Geoslope 18, demostrando que, a pesar de los diferentes métodos de cálculo que utilizan, son una herramienta importante para realizar análisis de estabilidad de taludes en condiciones actuales, efectos dinámicos y ambientales.

Para reducir la vulnerabilidad del talud se propone estabilizarlo mediante una corrección superficial, en este caso optamos por la revegetación de plantas herbáceas mediante la siembra de Hedera Helix (Hiedra), que, debido a sus propiedades, es capaz de absorber y retener el agua superficial, además se propone inclusión de un canal de drenaje con revestimiento de geomembrana que permita la adecuada evacuación de las precipitaciones.

La propuesta para el sistema de monitoreo se puede clasificar como semiautomático pues el proceso completo consiste en captación, transmisión y constante análisis de datos, dicho sistema es conveniente para el sitio de estudio de la presente investigación pues el talud se encuentra relativamente estable y hace posible realizar las mediciones “in situ”.

Después de adaptar las herramientas de medición al proceso, estos resultados serán más fiables; siempre que los instrumentos de medición sean adecuados y tengan una buena calibración en campo, ya que estos equipos de medida es una etapa fundamental para asegurar la claridad de los resultados proporcionados por ellos, sin embargo, la calibración no es suficiente para asegurar los valores de las medidas sino además el uso que hagamos del instrumento.

La instrumentación geotécnica representa una parte necesaria para el desarrollo en la ingeniería civil, para este estudio se ha incorporado un prototipo con material de PVC como cuerpo, tomando en cuenta que este es de bajo costo y de fácil accesibilidad para las personas, asimismo,

es resistente ante los agentes que se encuentran bajo el suelo, sin embargo las propiedades de este material tiene sus propias limitaciones ya que sus características físicas le hacen muy rígida, aun así nos ayuda a recolectar datos por medio del monitoreo y nos proporciona una abundante información a través de los transductores incorporados así como también tener una idea de la deformación del talud.

Recomendaciones

De acuerdo a la topografía del lugar realizar el estudio en un área donde se evidencia movimientos críticos de tierra, escarpes naturales y desprendimiento de la capa vegetal, sobre todo evidenciar afectación de las estructuras existentes.

En relación a las precipitaciones existentes de la zona de estudio, es recomendable rediseñar y construir canales tipo trapezoidales con dirección del flujo hacia la red de alcantarillado, para evitar infiltraciones de agua.

Para evitar variación de resultados se debe realizar ensayos acordes a las características del suelo para obtener valores de módulos de elasticidad, módulo de Poisson y resistencia del suelo apegados a la realidad a través de ensayos de tracción indirecta y triaxiales cíclicos.

Para un análisis de suelo es aconsejable tomar el primer valor de resistencia última, en vista que los resultados posteriores pueden tener errores de información y representar valores residuales que pueden ser sobredimensiones o minimizados al real.

Debido a la existencia de aguas superficiales es aconsejable realizar diferentes tipos de ensayos que nos permitan corroborar resultados con los vistos en campo y dependiendo de la zona de estudio realizar ensayos directos e indirectos, para minimizar el resultado de error.

En el caso de que el nivel de riesgo de daños o pérdidas por la inestabilidad del talud suba en el sitio de estudio, es recomendable implementar un sistema automatizado que permita medir la evolución de los movimientos del terreno y estructuras aledañas mientras se mantiene un monitoreo constante desde las computadoras, esto abre incluso la posibilidad de implementar un sistema de precaución que emita alarmas tempranas.

Los resultados que más se asemejan a la realidad sobre el comportamiento del talud en condiciones actuales son los obtenidos por Plaxis 2D ya que, a diferencia de Geoslope, este software si toma en cuenta las deformaciones producidas en el terreno a través de condiciones de contorno dadas y evaluadas en base al análisis por elementos finitos.

Se recomienda que para futuras investigaciones se realice este prototipo de monitoreo con material de poliuretano, puesto que una de sus principales características es ser un material elastomérico, en comparación al PVC esta última propuesta ayudará a que las señales provenientes del cuerpo del talud sean más precisas, gracias a su flexibilidad.

Bibliografía

- acpautomatismos*. (6 de Abril de 2021). Recuperado el 7 de Agosto de 2022, de
acpautomatismos: <https://acpautomatismos.com/que-es-un-transductor-de-presion-y-como-funciona/>
- AEP transducers*. (6 de Abril de 2021). Recuperado el 8 de Agosto de 2022, de AEP transducers:
<https://www.aep.it/es/tag/transductores-de-fuerza/>
- Agreda, F. (2016). El cono dinámico de penetración y su aplicación en la evaluación de suelos.
ACADEMIA Accelerating the worlds research.
- Aguirre Noreña, S. &. (2001). *Ensayos Triaxiales en Suelos Parciales Saturados*.
- Ayala Carcedo , F. J. (1987). *Manual de Taludes*. España: Instituto Geológico y Minero de España.
- Ayala, H. I. (2016). *Ensayo de Corte Directo y el Efecto de la Variación del Área*.
- Bravo, A. (2018). Cómo afianzar un talud con plantas. *Verdeesvida*, 52.
- Cabrera Mata, F. (2002). *Calibración de transductores de fuerza de dos componentes en proceso de torneado*. Madrid.
- CAMPBELL SCIENTIFIC*. (28 de Octubre de 2016). Recuperado el 08 de Julio de 2022, de
CAMPBELL SCIENTIFIC:
<https://www.campbellsci.es/tdr200#:~:text=El%20reflect%C3%B3metro%20TDR200%20es%20el,otra%20medida%20TDR%20del%20usuario.>
- Cesar. (2003). Corel Ventura - PRESSURE.CHP. En Cesar, *Corel Ventura - PRESSURE.CHP* (pág. 113).
- Das, B. M. (2013). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. En B. M. Das, *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (pág. 658).

De Berlín, M. &. (2020). Sísmica de Refracción. En L. A. Chelotti, *Cátedra de Geofísica Aplicada*, U.N..P.S.J.B. Chubut, Argentina.

de la Quintana Gordon, F., López López, E., Zaballos Bustingorri, J., & de la Quintana Gordon, M. (2004). *Transductores de presión. Monitorización en Anestesia, Cuidados Críticos y Medicina de Urgencias*. Elsevier.

Díaz, J. S. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*. Bucaramanga: Publicaciones Universidad Industrial de Santander.

Duncan, J. M., Wright, S. G., & Brandon, T. L. (2014). Factors of Safety and Reliability. En J. M. Duncan, S. G. Wright, & T. L. Brandon, *Soil Strength and Slope* (pág. 215). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken.

E, I. (2016). *Ensayo de Corte Directo en condición consolidada drenada (CD). Propuesta de guía para el laboratorio de suelos de la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad La Gran Colombia*. Bogotá D.C.

Ecuapoliuretanos. (s.f.). Sistema de poliuretano de Inyección o Vaciado. 1.

Electronica Lugo. (2 de Junio de 2018). *Electronica Lugo Proyectos y circuitos de electrónica*. Recuperado el 8 de Agosto de 2022, de Electronica Lugo Proyectos y circuitos de electrónica: <https://app.bibguru.com/p/0160b426-ab30-49ff-b130-fadb87009ce4>

FAO. (2022). *Estructuras de conducción del agua*. Obtenido de Food and Agriculture Organization of the United Nations: https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6708s/x6708s08.htm

García, M. R. (2017). *Límite líquido en suelos de grano fino, según los métodos de penetrómetro de cono y copa de Casagrande*. .

GeoSlope. (2021). *Stability Modeling with GeoStudio*. Canada: GeoSlope International Ltd.

GeoStru. (2015). *Método de Janbu (1967)*. Obtenido de GeoStru:

https://www.geostru.com/Help_Online_2015/Slope/ES/index.html?metodo_di_mongester_e_price.htm

Gómez, R. R. (1999). *Teoría y Diseño de Sistemas de Tierras según las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) E IEEE*.

HBM an HBK company. (23 de Octubre de 2020). Recuperado el 7 de Agosto de 2022, de HBM an HBK company: <https://www.hbm.com/es/6810/guia-de-seleccion-de-sensores-piezoelectricos/>

Huang, Y. H. (2014). *Slope Stability Analysis by the Limit Equilibrium Method*. Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers.

INAMHI. (2015). *Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación*. Obtenido de INAMHI Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología: https://www.inamhi.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/ESTUDIO_DE_INTENSIDADES_V_FINAL.pdf

Interlink Electronics. (s.f.). *Interlink Electronics*. Obtenido de www.interlinkelectronics.com

KANE GeoTech, INC. (2020). Recuperado el 08 de Julio de 2022, de KANE GeoTech, INC.: <https://kanegeotech.com/instrumentation/>

KISTLER. (2022). *KISTLER GROUP*. Recuperado el 8 de Agosto de 2022, de KISTLER GROUP: <https://www.kistler.com/es/glosario/termino/sensores-de-fuerza-transductores-de-fuerza/#:~:text=Los%20transductores%20de%20fuerza%20son,para%20pesar%20y%20determinar%20pares.>

Kywi. (9 de Noviembre de 2020). *Kywi tienda en linea*. Recuperado el 13 de Agosto de 2022, de

Kywi tienda en linea: <https://kywitiendaenlinea.com/product/tubo-pvc-desague-110mmx3mt-reforza-plast/>

Martines, E. (2007). *Definiciones de humedad y su equivalencia*. México: ENME.

Martínez, J., Sanchez, J., & Cammeraat, L. (1994). *La medida de la humedad del suelo mediante el metodo TDR: Estado del arte y ejemplos de aplicación*. Murcia: Morell.

Materials. (s.f.). Obtenido de

<http://www.ub.edu/cmematerials/es/content/poliuretano#:~:text=El%20poliuretano%20es%20un%20pol%C3%ADmero,de%20su%20grado%20de%20reticulaci%C3%B3n.>

Montenegro Padilla, L. (2014). *Calibración del método de parámetros de resistencia con SPT en suelos de la región llanera Colombia. Ingeniería Civil*.

NAYLAMP. (s.f.). *naylamp mechatronics*. Recuperado el 9 de Agosto de 2022, de naylamp mechatronics: https://naylampmechatronics.com/blog/45_tutorial-mpu6050-acelerometro-y-giroscopio.html

NEC-SE-DS. (2015). *Cargas Sísmicas Diseño Sismo Resistente*. Quito: Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC.

NEC-SE-GC. (2015). *Geotecnia y Cimentaciones*. Quito: Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC. Obtenido de Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda : <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>

Newark. (s.f.). *Newark AN AVNET COMPANY*. Recuperado el 9 de Agosto de 2022, de Newark AN AVNET COMPANY: <https://mexico.newark.com/sensor-gyroscope-technology>

- Nieto Leal, A., Camacho Tauta, J. F., & Ruiz Blanco, E. F. (2009). Determinación de parámetros para los modelos elastoplásticos mohr-coulomb y hardening soil en suelos arcillosos. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 75-91.
- Ninghai Sendo Sensor Co., Ltd. (7 de Agosto de 2022). *Pressure sensor suppliers*. Obtenido de Pressure sensor suppliers: <http://www.pressuresensorsuppliers.com/es/piezoresistive-effect-pressure-sensor-47.html>
- Oliva, A. (Abril de 2015). *Academia*. Obtenido de https://www.academia.edu/12130540/Instrumentaci%C3%B3n_y_control_de_taludes_y_laderas
- Ouyang, W., Liu, S.-W., & Yang, Y. (2022). An improved morgenstern-price method using gaussian quadrature. *Computers and Geotechnics*.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2022.104754>
- Pazos Galvez, D. C., & Sopa Tipanquiza, A. J. (2021). *Investigación de laboratorio y elaboración de modelo conceptual de los mecanismos de falla actuantes. Modelación matemática usando software. [Trabajo de integración curricular de pregrado, Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE]*. Repositorio de la Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/26067>
- Perez, A. (31 de Diciembre de 2021). *PCE Instruments Iberica S.L*. Recuperado el 8 de Agosto de 2022, de PCE Instruments Iberica S.L: <https://app.bibguru.com/p/0160b426-ab30-49ffb130-fadb87009ce4>
- Pinto Chavez, R. M. (2016). *Evaluación geofísica de la hidroeléctrica Moquegua, mediante los métodos de refracción sísmica y análisis multicanal de Ondas Superficiales*.
- Salas, O. V. (2011). Ensayos Triaxiales Para Suelos. Métodos y Materiales. *Portal de Revistas Académicas*, 14-24.

- Seguridad Minera. (2022). *Fallas que afectan la estabilidad de taludes*. Obtenido de Revista Seguridad Minera: <https://www.revistaseguridadadminera.com/operaciones-mineras/fallas-que-afectan-la-estabilidad-de-taludes/#:~:text=2.2%20Falla%20por%20rotaci%C3%B3n,movimiento%2C%20generalmente%20de%20forma%20s%C3%BAbita>.
- SENAGUA. (1992). *Código Ecuatoriano de la Construcción de parte IX Obras Sanitarias. Normas para Estudio y Diseño de sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes*.
- SENSING. (9 de Junio de 2019). *SENSING sensores de medida*. Recuperado el 9 de Agosto de 2022, de Acelerómetro piezoeléctrico económico METRA KS78B: <https://sensores-de-medida.es/catalogo/acelerometro-piezoelctrico-economico-metra-ks78b/>
- Serrano Méndez, J. A. (2017). *Interpretación de los resultados del ensayo de Corte Directo en arcillas preconsolidadas*.
- Spark, W. (2022). El clima y el tiempo promedio en todo el año en Quito-Ecuador.
- Suarez, J. (2013). *Investigación de Deslizamientos*.
- Suarez, J. (27 de Abril de 2021). *www.erosion.com.com*. Obtenido de <https://www.erosion.com.co/download/cap-12-instrumentacion-y-monitoreo/>
- TechnoFlow. (2022). *Revestimientos de canales con geomembrana HDPE*. Obtenido de TechnoFlow: <https://www.technoflow.cl/servicios/revestimientos-de-canales-con-geomembrana-hdpe/>
- Tecles, D. F. (2017). *ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DEL SUELO UTILIZANDO SENSORES APLICADO A UNA PARCELA EXPERIMENTAL*. UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA, CIENCIAS AMBIENTALES, GANDÍA.

TEM Electronic Components. (s.f.). *TEM Electronic Components*. Recuperado el 7 de Agosto de 2022, de Sensores resistivos, tipo PR: https://www.tme.eu/html/ES/sensores-resistivos-tipo-pr/ramka_2223_ES_pelny.html

Torres, B. A. (2012). Deslizamientos en taludes inducidos por altas precipitaciones en vías intermunicipales en Colombia. (*Tesis de Posgrado*). Universidad Libre - Bogotá, Bogotá.

Torres, C. C., & Quintero Franco, J. D. (2012). *Udem.edu.co*. Obtenido de <https://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/258/Gu%EDa%20de%20instrumentaci%F3n%20en%20taludes%20intervenidos%20por%20un%20proyecto%20vial.pdf?sequence=1>

US Army Corps of Engineers. (2003). *Engineering and Design Slope Stability*. Washington DC: US Army Corps of Engineers.

Valverde B., J., & Bonifaz G., H. (2008). *Propiedades geotécnicas de las cangahuas*. Quito.

Weg. (s.f.). Recuperado el 7 de Agosto de 2022, de Weg:

https://www.weg.net/catalog/weg/BR/es/Seguridad-de-M%C3%A1quinas%2C-Sensores-Industriales-y-Fontes-de-Alimentaci%C3%B3n/Sensores-Industriales/Sensores-Capacitivos/Sensores-Capacitivos/p/MKT_WDC_BRAZIL_SENSORS_CAPACITIVE_SENSORS

Zapata, R. &. (2018). *Tipos de Suelo: Caracterización de Suelos Arcillosos y Limosos*.

Apéndices