



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**Investigación y metodologías de solución sobre el deslizamiento de
la masa de suelo que afecta la infraestructura de la Universidad del
Azuay**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTORES:

MATEO ARTURO CEDILLO CORDERO
JUAN ANDRES ANDRADE LOPEZ

DIRECTOR:

ING. JOSÉ FRANCISCO VASQUEZ CALERO

CUENCA – ECUADOR

2023

Dedicatoria:

Andrés Andrade

Este trabajo se lo dedico a mi padre y madre los cuales siempre estuvieron hay para mi guiándome en la vida y enseñándome valores y que nunca se debe rendir si se quiere algo, por la ayuda que me han dado tanto económica como moral siempre apoyándome a lo largo de mi carrera nunca dejando que me rindiera y dándome sus consejos que me han servido mucho en esta etapa universitaria, muchas gracias a los dos por todo.

Mateo Cedillo

A mi familia, que siempre dieron lo mejor de sí mismos para ayudarme a ser quien soy ahora. Por todas las veces que han dado su tiempo y esfuerzo para ayudarme cuando lo necesitaba, a pesar de los buenos y malos tiempos; nunca me dejaron solo, esta obra es para ustedes.

Agradecimientos:

Andrés Andrade

Doy gracias primeramente a Dios por ayudarme a cumplir este sueño que es ser Ingeniero, a mi familia, que en todo este tiempo me ha tanto económicamente como moralmente, que han estado siempre apoyándome y nunca me han dejado solo, a mis maestros que me han impartido un poco de su sabiduría, a nuestro director de tesis el ING. José Vásquez por su ayuda como director en este trabajo, como profesor de la carrera que nos ha dado mucho de su conocimiento para ser ingenieros y al Ing. Magno Rivera por guiarnos a la realización de esta trabajo con su gran conocimiento.

Mateo Cedillo

Primero agradezco a Dios, a la vida y al universo que me han puesto aquí y ahora en este largo y sinuoso camino de existencia. A mi madre, mi padre y mis hermanas; gracias por la ayuda y la orientación cuando tuve momentos de incertidumbre, siempre me ayudaron a avanzar incluso cuando tenía miedo o ya no quería más. Ing. José Vásquez, que nos ha guiado como director a lo largo de este trabajo; y como mentor a lo largo es la carrera. Ing. Magno Rivera, sus conocimientos, guía e instrucción a lo largo de este tiempo fueron sin duda más que necesarios tanto en la universidad, así como lo será en la vida fuera de ella, a todos les digo, gracias.

1 RESUMEN:

El presente trabajo tiene como objetivo el buscar una solución para el problema de deslizamiento de la masa del suelo en la Universidad del Azuay utilizando métodos informáticos de cálculo y abarcando conceptos de mecánica de suelos en taludes, deslizamientos, geotecnia, etc. Inicialmente identificamos la posible causa del deslizamiento en el predio universitario. Posteriormente se inició la recolección datos de distinta índole en la universidad como pluviométricos, historial de deslizamientos, los tipos de estratos existentes, etc. El análisis, tratamiento y resultados de los mismos se lo hará con la ayuda de tres distintas metodologías provenientes de los autores Bishop, Morgenstern-Price, y Spencer; pioneros en el análisis de taludes. Estos métodos serán adaptados al formato informático mediante el programa Microsoft Excel para mayor precisión, dando una guía de cómo usarlo. Finalmente compararemos las posibles soluciones para abordar el problema, analizando cual es la más conveniente, valorando la eficacia de cada una.

Palabras clave: cálculo, deslizamientos, informático, métodos, programa, taludes

2 ABSTRACT:

The objective in this work is solve the land mass slippage problem for the “Universidad del Azuay” university. We use computational calculation methods to counteract it thanks to the concepts of soil mechanics in slopes, landslides, geotechnics and others. For identify the posible cause of the land slide, we need to collect different kind of data around the university, such as

rainfall, history of landslides, the types of strata that exist in the area, etc. The analysis, treatment and results will be done with the help of three different methodologies from the authors Bishop, Morgenstern-Price, and Spencer; pioneers in slope analysis. These methods will be adapted to the computer format through the Microsoft Excel program for greater precision, giving a guide on how to use it. Finally, the possible solutions will be compared to solve the problem, analyzing which is the most convenient and assessing the effectiveness, of each one.

Keywords: calculation, computer, landslides, methods, program, slopes



Este certificado se encuentra en el repositorio digital de la Universidad del Azuay, para verificar su autenticidad escanee el código QR

Este certificado consta de: 1 página

Índice de contenidos

1	Resumen:	3
2	Abstract:.....	3
1	Capítulo 1: Introducción.....	1
1.1	Introducción	1
1.2	Objetivos	2
1.2.1	Objetivo general	2
1.2.2	Objetivos específicos.....	2
1.3	Talud:	3
1.3.1	Partes del talud:	3
2	Capítulo 2. Definiciones y teoría básica.....	5
2.1	Factores de estabilidad	5
2.1.1	Factores naturales	5
2.1.2	Factores no naturales.....	7
2.2	Definición de deslizamiento y tipos del mismo	8
2.2.1	Deslizamientos	8
2.2.2	Tipos de deslizamiento.....	8
2.3	Factores de erosión.....	15
2.3.1	El relieve	15
2.3.2	El tipo de material parental	15

2.3.3	Las condiciones climáticas.....	15
2.3.4	El tipo de vegetación y sus condiciones.....	16
2.3.5	El uso del suelo	16
2.3.6	Propiedades físicas y químicas del suelo	16
2.4	Teoría de mecánica de suelos, geotecnia y tipos de suelo	16
2.4.1	Mecánica de suelos.....	16
2.4.2	Geotecnia.....	17
2.4.3	Ámbito de investigación.....	17
2.4.4	Área de investigación	17
2.4.5	Metodologías de cálculo.....	18
2.4.6	Tipos de suelos	23
3	Capítulo 3. Análisis y recolección de datos.....	32
3.1	Recolección de datos pluviométricos de la ciudad de Cuenca.....	32
3.2	Historial de deslizamientos o problemas de terrenos en la zona en los últimos años. 34	
3.3	Recolección de datos de la masa de suelo de la Universidad del Azuay; aceleraciones, desplazamientos, tipos de estratos.	36
3.3.1	Tipos de estratos.....	38
3.3.2	Desplazamientos y aceleraciones	42
4	Capítulo 4. Elaboración del programa de estabilidad de taludes en computadora	55

4.1	Tratamiento de datos como base de entrada.....	55
4.2	Elaboración del programa en Microsoft Excel en base a la teoría de geotecnia y mecánica de suelos	57
4.3	Obtención de resultados para la masa de terreno de la Universidad del Azuay..	71
5	Capítulo 5. Soluciones, evaluación de factibilidad y eficacia	97
5.1	Drenajes.....	97
5.1.1	Zanjas de corona.....	97
5.1.2	Drenes Franceses.....	98
5.1.3	Trinchos o Cortacorrientes.....	99
5.1.4	Sellado de grietas con arcilla o mortero	100
5.2	Subdrenajes	100
5.2.1	Cortinas impermeables subterráneas.....	101
5.2.2	Cortinas de Columnas de Suelo con Cemento	102
5.2.3	Subdrenes de zanja	102
5.2.4	Galerías de drenaje	104
5.3	Galerías de infiltración	104
5.3.1	Clasificación de las galerías	105
5.4	Pozos de agua.....	106
5.4.1	Pozos verticales de drenaje	106
5.4.2	Pozos verticales con subdrenes de penetración.....	107

5.4.3	Pozos interconectados	108
5.4.4	Pozos de alivio	109
6	RESULTADOS	111
6.1.1	Ubicación de pozos	111
7	Conclusiones.....	115
8	Lista de referencias	117

Índice de tablas:

Tabla 2-1 <i>Clasificación del suelo por SUCS</i>	23
Tabla 2-2 <i>Clasificación AASHTO</i>	27
Tabla 3-1 <i>Datos históricos del clima de Cuenca de 1991-2021</i>	33
Tabla 3-2 <i>Coordenadas y nivel freático de los sondajes</i>	43
Tabla 3-3 <i>Perfiles geotécnicos</i>	44

Índice de figuras:

Figura 2-1 <i>Desprendimiento</i>	9
Figura 2-2 <i>Vuelco de bloques</i>	10
Figura 2-3 <i>Derrumbe planar</i>	11
Figura 2-4 <i>Derrumbe en forma de cuña</i>	12
Figura 2-5 <i>Derrumbes rotacional</i>	13
Figura 2-6 <i>Extensiones laterales</i>	14
Figura 2-7 <i>Presentación de un talud y partes de la dovela</i>	20
Figura 2-8 <i>Suelo arcilloso de la isla Java – Indonesia</i>	28
Figura 2-9 <i>Suelo limo -arenoso en el estrato de la superficie y suelo arcilloso en el estrato inferior, ubicado en España</i>	29
Figura 2-10 <i>Superficie de un suelo lomo-calcareo el cual presenta una porosidad pequeña, lo cual afecta a la escorrentía y la erosión, está ubicado al Oeste de Marruecos</i>	30
Figura 3-1 <i>Área del estudio para la Universidad del Azuay</i>	32
Figura 3-2 <i>Climograma Cuenca</i>	33
Figura 3-3 <i>Deslizamiento Universidad del Azuay</i>	35
Figura 3-4 <i>Características del deslizamiento de la Universidad del Azuay</i>	36
Figura 3-5 <i>Ubicación de los puntos de extracción de los estratos</i>	37
Figura 3-6 <i>Mapa Universidad del Azuay con sus curvas de nivel y ubicación de donde se sacó las muestras</i>	37
Figura 3-7 <i>Mapa de ubicación de sondajes y perfiles geotécnicos</i>	43
Figura 3-8 <i>Factor de seguridad en el perfil 1 Zona A en condición estática</i>	45

Figura 3-9	<i>Factor de seguridad en el perfil 1 Zona A en condición pseudo estática.....</i>	45
Figura 3-10	<i>Factor de seguridad en el perfil 1 Zona B en condición estática</i>	46
Figura 3-11	<i>Factor de seguridad en el perfil 1 Zona B en condición pseudo estática....</i>	47
Figura 3-12	<i>Factor de seguridad en el perfil 2 Zona A en condición estática</i>	48
Figura 3-13	<i>Factor de seguridad en el perfil 2 Zona A en condición pseudo estática....</i>	48
Figura 3-14	<i>Factor de seguridad en el perfil 2 Zona B en condición estática</i>	49
Figura 3-15	<i>Factor de seguridad en el perfil 2 Zona B en condición pseudo estática....</i>	50
Figura 3-16	<i>Factor de seguridad en el perfil 3 Zona A en condición estática</i>	51
Figura 3-17	<i>Factor de seguridad en el perfil 3 Zona A en condición pseudo estática....</i>	52
Figura 3-18	<i>Factor de seguridad en el perfil 3 Zona B en condición estática</i>	53
Figura 3-19	<i>Factor de seguridad en el perfil 3 Zona B en condición pseudo estática....</i>	53
Figura 4-1	<i>Hoja de presentación de nuestro programa</i>	55
Figura 4-2	<i>Hoja de Presentación de nuestro programa</i>	56
Figura 4-3	<i>Hoja de Presentación de nuestro programa</i>	57
Figura 4-4	<i>Hoja de Bishop Riguroso imágenes de explicación de nuestro programa</i>	61
Figura 4-5	<i>Hoja de Bishop Riguroso tabla de cálculos de nuestro programa</i>	63
Figura 4-6	<i>Hoja de Morgenstern-Price imagen de guía de nuestro programa.....</i>	64
Figura 4-7	<i>Hoja de cálculo de Morgenstern Price</i>	67
Figura 4-8	<i>Hoja de cálculo de Morgenstern Price</i>	68
Figura 4-9	<i>Hoja de Spencer imagen de guía de nuestro programa.....</i>	68
Figura 4-10	<i>Hoja de Spencer tabla de cálculo de nuestro programa</i>	70
Figura 4-11	<i>Datos de presentación (talud inestable)</i>	71
Figura 4-12	<i>Datos de entrada (talud inestable).....</i>	72

Figura 4-13 <i>Datos del talud (inestable)</i>	73
Figura 4-14 <i>Datos de los estratos (talud inestable)</i>	73
Figura 4-15 <i>Datos comunes de los programas (talud inestable)</i>	75
Figura 4-16 <i>Datos Bishop Riguroso (talud inestable)</i>	78
Figura 4-17 <i>Resultados Bishop riguroso (talud inestable)</i>	79
Figura 4-18 <i>Datos Morgenstern Price (talud inestable)</i>	80
Figura 4-19 <i>Datos Spencer (talud inestable)</i>	82
Figura 4-20 <i>Datos de presentación (talud estable)</i>	84
Figura 4-21 <i>Datos de entrada (talud estable)</i>	85
Figura 4-22 <i>Datos del talud (talud estable)</i>	86
Figura 4-23 <i>Datos de los estratos (talud estable)</i>	86
Figura 4-24 <i>Datos comunes de los programas (talud estable)</i>	88
Figura 4-25 <i>Datos Bishop rigurosos (Talud estable)</i>	90
Figura 4-26 <i>Resultados Bishop Riguroso (talud estable)</i>	91
Figura 4-27 <i>Datos Morgenstern Price (talud estable)</i>	92
Figura 4-28 <i>Datos Spencer (talud estable)</i>	94
Figura 5-1 <i>Detalle de zanjas de la corona</i>	98
Figura 5-2 <i>Esquema de un dren francés</i>	98
Figura 5-3 <i>Cortacorrientes</i>	99
Figura 5-4 <i>Sistema de subdrenaje</i>	100
Figura 5-5 <i>Cortina impermeable</i>	101
Figura 5-6 <i>Colocación de un subdrén de corona</i>	103
Figura 5-7 <i>Montaje de piezómetros. Galerías filtrantes</i>	106

Figura 5-8 Pozos verticales de drenaje con subdrenes de penetración en el terraplén de una carretera	107
Figura 5-9 Pozos verticales de drenaje con subdrenes de penetración en el terraplén de una vía.....	107
Figura 5-10 Principio de un sistema de pozo vertical con drenes horizontales para la estabilización de los deslizamientos	108
Figura 5-11 Combinación de pozos verticales y subdrenes horizontales	109
Figura 5-12 Reducción de presiones artesianas con el uso de pozos de alivio inclinados	110
Figura 5-13 Uso de puntos de bombeo como complemento de los pozos de bombeo profundos en excavaciones	110
Figura 6-1 Pozo 1 de 35m	112
Figura 6-2 Pozo 2 de 15.5m	112
Figura 6-3 Pozo 3 de 8m	113
Figura 6-4 Pozo 3 de 17m	113
Figura 6-5 Ubicación de los diferentes pozos.....	114
Figura 7-1 Comparación del incremento de llenado de agua en las dovelas durante condiciones estables e inestables a causa de la disminución del N_f	116

Índice de ecuaciones:

(Ecuación 1).....	18
(Ecuación 2).....	19
(Ecuación 3).....	20
(Ecuación 4).....	21
(Ecuación 5).....	22
(Ecuación 6).....	22
(Ecuación 7).....	57
(Ecuación 8).....	58
(Ecuación 9).....	58
(Ecuación 10).....	58
Ecuación 11.....	59
(Ecuación 12).....	59
(Ecuación 13).....	59
(Ecuación 14).....	60
(Ecuación 15).....	61
(Ecuación 16).....	61
(Ecuación 17).....	62
(Ecuación 18).....	62
(Ecuación 19).....	62
(Ecuación 20).....	62
(Ecuación 21).....	64
(Ecuación 22).....	64

(Ecuación 23).....	65
Ecuación 24.....	65
Ecuación 25.....	65
(Ecuación 26).....	65
(Ecuación 27).....	66
(Ecuación 28).....	66
(Ecuación 29).....	69
(Ecuación 30).....	69
(Ecuación 31).....	69
(Ecuación 32).....	69
(Ecuación 33).....	70

1 CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

La estabilización de taludes es un desafío en la ingeniería geotécnica, puesto que los deslizamientos son una gran amenaza para la seguridad de las personas y las infraestructuras. Los taludes inestables pueden ser el resultado de diversos factores, como la naturaleza del suelo, las condiciones climáticas, la geometría del talud y las cargas aplicadas. Para abordar esta problemática, se ha reconocido la necesidad de desarrollar un programa de estabilización con diferentes métodos que minimicen los riesgos asociados.

Lo que se busca de este trabajo es proporcionar una solución para la estabilización del talud que afecta a la Universidad del Azuay, se va a ir buscando cada una de las diferentes soluciones que se pueden dar para el talud para saber cuál sería la mejor opción que se pueda aplicar.

Se va a dar primero la teoría de los taludes y como son afectados por distintos factores ya sean naturales o no naturales, para así entender lo que más está afectando a este talud, se va a tomar los datos pluviométricos y antecedentes de la zona al fin de saber cómo ha ido evolucionando el deslizamiento al pasar de los años, se va a ver los diferentes métodos que se utilizan para estabilizar un talud.

Se va a realizar un programa realizado en Excel el cual incluya Morgenstern Price, Bishop Riguroso y Spencer, los cuales son métodos exactos de la estabilidad de suelos, para poder estabilizar el talud y así saber cómo se podría estabilizar revisando diferentes soluciones que son muy eficaces pero que en casos específicos uno es mejor que otro.

Se espera que este programa de estabilización de taludes proporcione una guía práctica y eficiente para la estabilización de taludes, permitiéndoles tomar decisiones informadas y efectivas

para abordar los problemas de estabilidad del suelo en los taludes. Con la implementación adecuada de este programa, se busca lograr una mayor seguridad en las áreas afectadas, protegiendo tanto a las personas como a las infraestructuras de la zona.

Se busca disminuir o parar por completo el deslizamiento que afecta a la zona de la Universidad, para que así no se dé mantenimientos de las infraestructuras de la zona, las cuales cuestan muchísimo dinero y son muy necesarias para que la infraestructura no llegue a fallar, afectando así a miles de estudiantes que estudian en la Universidad del Azuay.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Proponer una metodología de cálculo, evaluar el avance del deslizamiento y tratar de estabilizar o disminuir la velocidad del mismo el cual afecta a la Universidad del Azuay.

1.2.2 Objetivos específicos

Analizar y recopilar la información existente que tenemos con respecto al deslizamiento y los estados geotécnicos que se van realizando en la Universidad del Azuay.

Identificar las causas que generan el deslizamiento que bordea la Universidad del Azuay.

Construir un programa de cálculo de estabilidad de taludes en Microsoft Excel para determinar los factores de seguridad y tratar dichos deslizamientos.

Proponer diferentes soluciones que ayuden a estabilizar o disminuir el deslizamiento del terreno.

1.3 Talud:

Se define como talud a una masa de suelo con una superficie externa inclinada con respecto a la horizontal. Cuando el talud se forma de manera natural, sin la intervención del hombre, se denomina ladera natural o simplemente ladera. Cuando la inclinación en la masa de suelo es generada por la intervención de la actividad humana, excavaciones o rellenos, se denomina talud. (Castañon, 2011, pág. 124)

Hay diferentes tipos de talud, la natural la cual no ha tenido intervención humana y el talud artificial que es hecho por el hombre el cual también se le denomina cortes, como en la figura 1-1 se pueden ver las partes que constituyen un talud (Suarez, 1998).

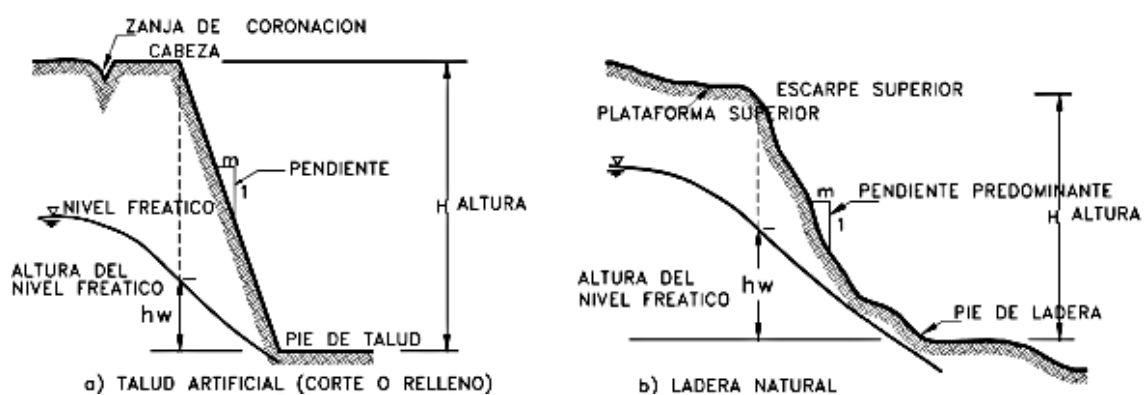


Figura 1-1 Partes constitutivas del talud, a) artificial y b) natural.

Fuente. (Suarez, 2009)

1.3.1 Partes del talud:

Cabeza o corona

Escarpe principal

Salto en cabecera

Cabeza

Escarpe secundario

Flanco

Base

Masa deslizada

Superficie de falla

Pie de la superficie de fallo

Grietas

Lengua

2 CAPÍTULO 2. DEFINICIONES Y TEORÍA BÁSICA.

2.1 Factores de estabilidad

2.1.1 Factores naturales

Geología

Según varios autores:

“La geología se parte de una visión espacial de los fenómenos físicos de la tierra, con escalas que van de lo cósmico hasta lo microscópico” (Vallejo, 2002, pág. 5).

Es la ciencia que persigue la comprensión del planeta Tierra. La ciencia de la Geología se ha dividido tradicionalmente en dos amplias áreas: la física y la histórica. La Geología física, estudia los materiales que componen la tierra y busca comprender los diferentes procesos que actúan debajo y encima de la superficie terrestre. El objetivo de la Geología histórica es comprender el origen de la Tierra y su evolución a lo largo del tiempo. (Tarbuck & Lutgens, 2005, pág. 2)

Como vemos según estos autores la geología nos ayuda a comprender mejor cómo funciona nuestro planeta, la cual nos ayuda mucho en los estudios de un talud para comprender porque falla un talud y cuáles son las causas principales de que falle el talud, los deslizamientos generalmente se dan en estos relieves:

Taludes escarpados

En estos se da el deslizamiento a lo largo del contacto con la roca de suelos coluviales o también con la roca de suelos residuales.

Áreas de concentración de drenaje y filtración

Las filtraciones de agua son muy comunes por lo que se debe realizar un buen estudio de drenaje y áreas de concentración de agua para evitar estas filtraciones.

Topografía

Generalmente en áreas que tienen características como movimientos o irregularidades en el suelo, acantilados o curvas de nivel onduladas se da un mayor riesgo de presentar fenómenos de deslizamientos.

Agua

Este es uno de los factores los cuales, más afecta la estabilización de un talud puesto que el mismo se debilita cuando hay filtraciones de agua.

Ríos y oleaje

El agua tiene un gran poder erosivo lo cual afecta al talud y puede ser un factor el cual, de varios problemas al mismo, depende bastante de la intensidad de la corriente el cual puede traer problemas de socavación en el pie del talud.

Los oleajes afectan generalmente a los acantilados, debido a cuando hay tormenta provoca una socavación en los mismos.

Aguas subterráneas

Ejercen una serie de disoluciones y otros cambios dentro del terreno las cuales disminuyen las características resistentes.

Actividad sísmica

Este trae fuertes afectaciones al talud debido a las diferentes frecuencias que genera el sismo al interior del terreno así afectando al talud y produciendo el deterioro o la falla del mismo.

Actividad volcánica

Cuando los volcanes están activos traen consigo movimientos sísmicos las cuales generan diversos problemas a las laderas.

Actividad biológica

Hay varios factores que hacen que los taludes fallen tales como la cubrición vegetal, la deforestación y la actividad de organismos animales.

Subsidencia regional

Son los diferentes desplazamientos verticales que tienen origen en los niveles del mar y tierra, el mismo causa un aumento considerable del ángulo del talud, que ayuda a la aparición de deslizamientos.

2.1.2 Factores no naturales.

Actividades humanas

Esta es una de las principales causas en los movimientos de taludes, ya sea por construcciones o por otros factores generadas por el ser humano provocan el movimiento de los taludes.

Excavaciones

Esta al momento de realizarse como se generan cambios al interior del terreno puede provocar modificaciones dentro del mismo.

Voladuras

Se generan estos por diferentes ondas que se propagan y diferentes gases que se dan, así causando mayores efectos en las fracturas ya existentes en el área.

Sobrecargas

Aquí el demasiado peso que se da sobre un talud trae que el mismo no tenga la misma resistencia haciendo que falle y se provoque deslizamientos.

Actividad minera

Al momento de darse actividad minera el interior del terreno se va a modificar por las diversas excavaciones que van a dar haciendo que el talud falle.

2.2 Definición de deslizamiento y tipos del mismo

En este capítulo se va a dar énfasis en que son los deslizamientos, cuáles son los tipos del mismo, las causas y consecuencias del mismo para así estar claro con los diferentes tipos de deslizamientos que existen y detectar cual es el que afecta a la Universidad del Azuay.

2.2.1 Deslizamientos

Son movimientos de diferentes tipos de materiales como roca, suelo, rellenos artificiales o la combinación de los mismos que debido a diferentes factores y por la fuerza de la gravedad caen a la parte más baja del talud a través de una superficie de rotura determinada.

2.2.2 Tipos de deslizamiento

Desprendimiento

Es cuando se da una falla repentina de taludes verticales o semiverticales que producen el desprendimiento de un bloque o varios bloques.

Suelen darse en zonas constituidos geológicamente por diferentes tipos de capas las cuales varían de resistentes a débiles, hay varios factores los cuales ayudan a que ocurra este fenómeno como la: meteorización, extrusión de capas blandas, concentración de presiones en el borde y rotura por flexo tracción, existen dos tipos de desprendimientos:

Caída libre

Esta se da cuando hay un desprendimiento de rocas las cuales caen al vacío provocando así diferentes accidentes ya sea en carreteras o viviendas.

Volcadura

Se da cuando un bloque se desprende con respecto a un pivote ubicado debajo de su centro de gravedad.

En la Figura 2-1 se pueden ver como se da un desprendimiento (Organización Panamericana de la Salud, 1997).

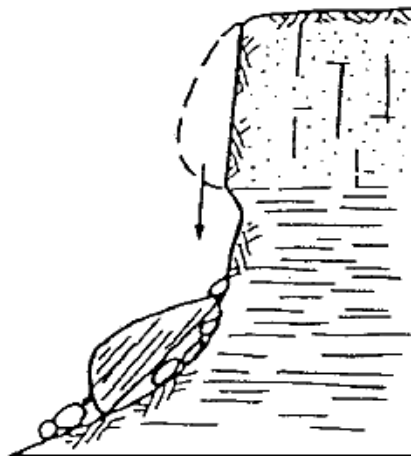


Figura 2-1 *Desprendimiento*

Fuente. (Organización Panamericana de la Salud, 1997)

Vuelcos

“Estos movimientos implican una rotación de unidades con forma de columna o bloque sobre una base, bajo la acción de la gravedad y fuerzas ejercidas por unidades adyacentes o por inclusión de agua en las discontinuidades.” (Barrera & Garnica , 2002, págs. 113-114)

Vuelco por flexión

Se desarrolla bajo un mecanismo compuesto por flexiones pseudo continuas del material, cuando se desencadena el movimiento por transmisión de la carga en el pie de talud, progresa hacia el interior del macizo rocoso, originando grietas de tracción con profundidad y anchuras variables. (Sánchez & Merchan, 2013, pág. 67)

Vuelco de bloques

Es característico de aquellos macizos rocosos que contienen sistemas de discontinuidades ortogonales, dando lugar a una geometría de columnas divididas en bloques, el empuje sobre los bloques inferiores da paso a un desplazamiento que cuando se da progresa hacia

la parte superior del talud, cuando las columnas son menos esbeltas son desplazadas hacia afuera del talud. (Arteaga, Coreas, & Alvarado, 2004, págs. 68-69)

Vuelcos mixtos

Participan el vuelco por flexión y el vuelco de bloques, se produce cuando los bloques son alargados, debido a flexiones en el pie del talud.

En la Figura 2-2 se pueden ver como se da un vuelco de bloques (Organización Panamericana de la Salud, 1997).

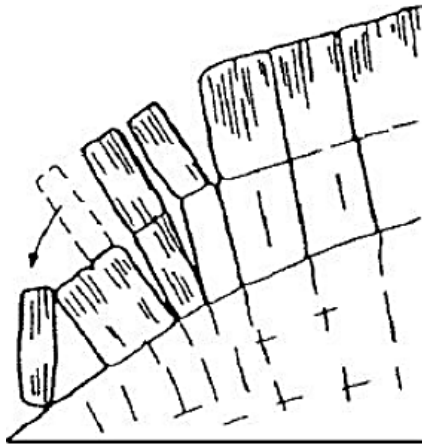


Figura 2-2 *Vuelco de bloques*

Fuente. (Organización Panamericana de la Salud, 1997)

Derrumbes

Se produce cuando se supera la resistencia al corte del material y tienen lugar a lo largo de una o varias superficies o a través de una franja relativamente estrecha del material.

El movimiento puede ser progresivo, produciéndose inicialmente una rotura local, que puede no coincidir con la superficie de rotura general, que se da por una propagación a la primera.

Los derrumbes están asociadas a fallas en suelos y rocas, y se clasifican de acuerdo a la superficie donde se da estas se subdividen en rotacionales y planares.

Derrumbes planares

Son un movimiento de uno o varios bloques de suelo o rocas a lo largo de una superficie de falla plana bien definida, se pueden dar lenta o rápidamente y se desplaza de afuera hacia abajo.

Estos pueden en bloque ser destructivos si se encuentran en zonas montañosas, estos resultan desastrosos y en algunos casos no se pueden prevenir.

En la Figura 2-3 se pueden ver como se da un derrumbe planar (Organización Panamericana de la Salud, 1997).

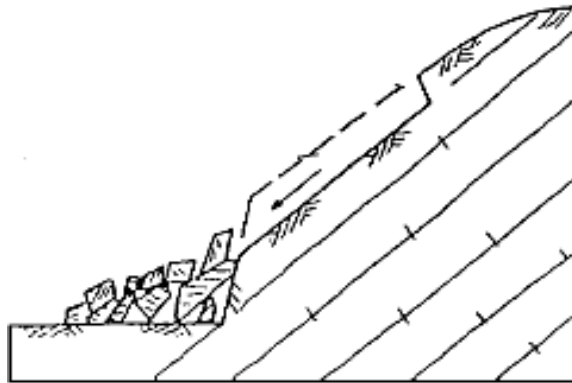


Figura 2-3 Derrumbe planar

Fuente. (Organización Panamericana de la Salud, 1997)

Estos derrumbes también se pueden dar en macizos rocosos o en forma de cuña y ocurren generalmente en rocas sedimentarias que tengan buzamiento menor a la inclinación de la cara del talud, en discontinuidades tales cuales como fallas, foliaciones o diaclasas que forman largos y continuos planos de debilidad que interceptan la superficie del talud, en intersección de diaclasas o discontinuidades que originan la falla en forma de bloque.

En la Figura 2-4 se pueden ver como se da un derrumbe en forma de cuña (Organización Panamericana de la Salud, 1997).

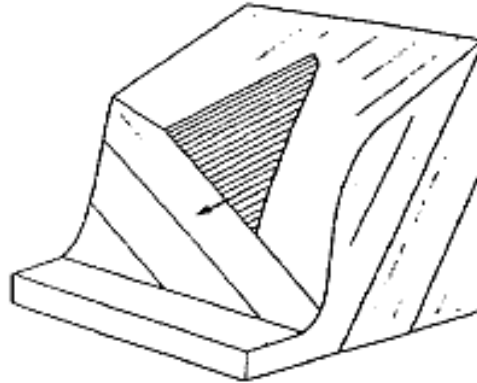


Figura 2-4 *Derrumbe en forma de cuña*

Fuente. (Organización Panamericana de la Salud, 1997)

Derrumbes rotacionales

Se dan lentamente y en forma de cuchara, el material falla por rotación en una superficie cilíndrica, si el perfil de la superficie deslizada se inclina hacia al norte, se mejora el equilibrio de la masa inestable, decreciendo el momento inductor y se puede llegar a detener el deslizamiento.

Una de las causas principales de este tipo de derrumbe es el incremento de la inclinación del talud, meteorización y fuerzas de filtración, puede causar daños severos a las estructuras que se encuentren dentro o a los alrededores de la falla.

En la Figura 2-5 se pueden ver como se da un derrumbe rotacional (Organización Panamericana de la Salud, 1997).

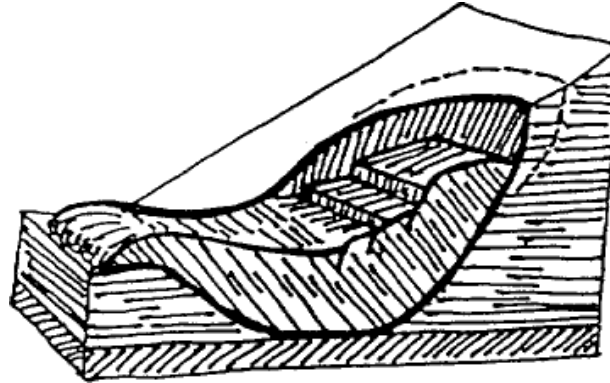


Figura 2-5 *Derrumbes rotacional*

Fuente. (Organización Panamericana de la Salud, 1997)

Superficie de talud

La superficie de rotura corta el talud por encima de su pie.

Superficie de rotura del pie del talud

La rotura se da por el pie del talud y queda por encima de la base del talud.

Superficie de rotura de base de talud

La rotura del talud se da por el pie del talud con salida en la base del mismo y alejada del pie se le dice superficie de rotura de base de talud.

Extensiones laterales

No son frecuentes, generalmente se dan en valles de ríos y se asocia también con arcillas firmes y duras fisuradas, lutitos y estratos con buzamiento horizontal y una zona continua de debilidad, se pueden activar repentinamente por eventos sísmicos.

Consiste en una extensión lateral controlada por superficies de corte y fracturas de tensión, puede ser complejo, pudiendo darse en formas de translación, rotación, flujo y licuación del material, si se dan en medios rocosos se dan lentamente y si se dan en material tipo suelo son rápidos.

En la Figura 2-6 se pueden ver como son las extensiones laterales (Organización Panamericana de la Salud, 1997).

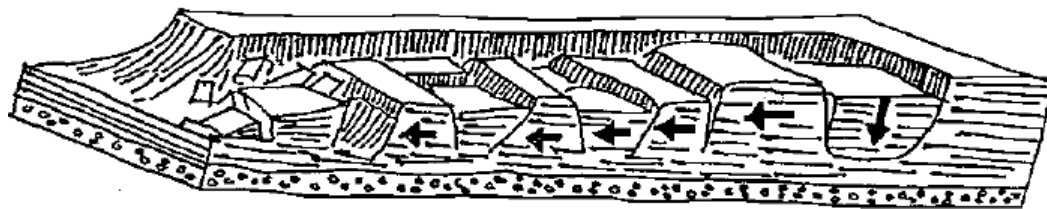


Figura 2-6 Extensiones laterales

Fuente. (Organización Panamericana de la Salud, 1997)

Deslizamiento de escombros

Se da como una masa de suelo con fragmentos de rocas las cuales se mueven por superficies planas las cuales tienen un alto grado de inclinación.

Estas se dan de una manera continua y se pueden convertir en flujos, estos se dan en depósitos coluviales y en suelos residuales, las principales causas son la inclinación que tiene el talud, y cuando se da un incremento en la infiltración.

Avalanchas

“Es el movimiento rápido de escombros, conformado por suelo o roca pudiendo comenzar o no en una ruptura de falla, dándose el arrastre de toda la capa. Las causas que originan las avalanchas pueden ser filtración vegetal.” (Sánchez & Merchan, 2013, pág. 27)

Flujo de escombros

Es como las avalanchas, con la diferencia que hay una mayor cantidad de agua y por eso se forma como un lodo, las principales causas son las lluvias y material suelto en la superficie.

Repteo

El repteo consiste en un lento e imperceptible movimiento o deformación del material de un talud frente a bajos niveles de esfuerzos que generalmente afectan a las porciones más

superficiales del talud, aunque también puede afectar a porciones profundas cuando existe un estrato poco resistente. El repteo es el resultado de la acción de fuerzas de filtración o gravitacionales y es un indicador de condiciones favorables para el deslizamiento. (Sánchez & Merchan, 2013, pág. 25)

Movimientos complejos

Son el resultado de la combinación de más de un tipo de los diferentes movimientos que se describieron anteriormente, las velocidades con que se producen vienen condicionadas por los tipos de movimientos que componen la rotura.

2.3 Factores de erosión

La erosión puede ser causada por agentes naturales y humanos, en los agentes naturales están:

2.3.1 El relieve

El relieve de la zona va a ayudarnos a saber que velocidad la cual va a alcanzar el escurrimiento superficial del agua, así como otras particularidades.

2.3.2 El tipo de material parental

El tipo de material parental es el que va a tener una gran influencia en la tasa de formación del suelo y en sus características del mismo, el suelo para que mantenga su productividad debe de haber un equilibrio con la tasa de erosión.

2.3.3 Las condiciones climáticas

Las condiciones climáticas del área son muy determinantes a la hora de saber la susceptibilidad a la erosión del suelo, debido a que el agua es una de las principales causas del mismo.

2.3.4 El tipo de vegetación y sus condiciones

Estas características van a ser determinantes para el suelo sobre que se encuentra, porque dependiendo de sus condiciones o tipo de vegetación va haber mayor humedad haciendo que es suelo sea más susceptible a la erosión.

2.3.5 El uso del suelo

Si se da un mal manejo del suelo este va a ser un gran determinante para que se dé la erosión.

2.3.6 Propiedades físicas y químicas del suelo

Estas son determinantes para saber la susceptibilidad que tiene ese tipo de suelo a la erosión.

La erosión puede causar daños en diferentes obras de ingeniería, como en estructuras, pavimentos, etc.

2.4 Teoría de mecánica de suelos, geotecnia y tipos de suelo

2.4.1 Mecánica de suelos

La mecánica de suelos es parte de la geotecnia, esta trata de la acción de las fuerzas sobre la masa de los suelos.

La mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producto de la desintegración química y mecánica de las rocas. (Terzaghi, THEORETICAL SOIL MECHANICS , 1943, pág. 1)

2.4.2 Geotecnia

La geotecnia es una ciencia la cual estudia y desarrolla diferentes técnicas en el ámbito de la construcción, generalmente se enfoca más en el suelo e incluye diferentes ramas tales como la geología, mecánica de rocas, hidrogeología, etc.

Se enfoca más en la rama de suelos, sus propiedades, composición, y reacciones a diferentes factores para así prevenir problemas con un talud.

2.4.3 Ámbito de investigación

Relacionado con cuestiones básicas de geología y terrenos de construcción, dos componentes del suelo son la geología subterránea y el suelo. La base geológica es el lecho rocoso, que garantiza la estabilidad de los edificios y estructuras y puede utilizarse como referencia para las mediciones. El suelo cubre el lecho rocoso y forma capas. La base geológica también asegura la estabilidad del edificio. Aseguran que, durante un terremoto o deslizamiento, ningún movimiento pueda dañar los edificios o estructuras que descansan sobre ellos. Área de investigación: análisis de daños en cimentaciones y estructuras. La base del edificio es la parte que soporta la estructura del edificio desde abajo. Si la base no es lo suficientemente estable, puede provocar el debilitamiento y el agrietamiento de la estructura. Utilizados para edificios y estructuras, los cimientos se utilizan no solo para estabilizarlos, sino también para evitar que el agua se filtre en el suelo.

2.4.4 Área de investigación

Características del suelo y pruebas de laboratorio Las características del suelo y las pruebas de laboratorio se realizan para determinar el tipo de suelo, su fertilidad y propiedades físicas. Se toman muestras de suelo para medir el pH (acidez) del suelo y su capacidad de retención de agua.

Factor de seguridad

Este término es indispensable para poder obtener la estabilidad en un talud, y en él se basarán todos los cálculos y métodos posteriores pues es este quien nos garantiza que tanto puede nuestra masa de suelo quedarse en su lugar ante las inclemencias de la zona y las sobrecargas que se le pongan. Lo podemos definir como la relación entre la resistencia a cortante promedio del suelo τ_f y el esfuerzo cortante promedio que se desarrolla conforme avanza la superficie potencial de falla τ_d .

La siguiente Ecuación 1 es el factor de seguridad, para con este saber que tan estable está el talud.

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Según el profesor Braja M. Das PhD. Un factor de seguridad de 1.5 puede considerarse adecuado para que un diseño de talud pueda ser estable.

2.4.5 Metodologías de cálculo

Para poder llegar a esa estabilidad requerida en la masa de terreno es necesario utilizar métodos que con los parámetros iniciales de la zona y mediante su propia base lógica, nos permitan obtener el factor de la relación antes descrita. Existen numerosos y muy buenos para llegar a donde queremos en este trabajo; sin embargo, basándonos en los conocimientos obtenidos a lo largo de la carrera, el consejo de nuestros tutores y colaboradores y nuestro criterio como futuros ingenieros; hemos elegido tres métodos debido a que los consideramos los más completos, eficaces y potentes en cuanto a cálculo se refiere debido a que en sus hipótesis hacen consideraciones que otros métodos ignoran y los hace menos precisos, algo que no se busca para hacerlo en computadora (que es nuestro caso), además de que en cierto modo comparten bastante su base

lógica y demostrativa, lo cual los hace ideales para comparar porcentajes de error (desviación) entre uno y otro factor de seguridad. Dichas formas de cálculo elegidas son: “Bishop riguroso”, “Morgenstern-Price” y “Spencer”.

Para empezar, es necesario decir que estos parten de un procedimiento madre que es el “Método de las dovelas” por lo que primero es necesario definir los términos y parámetros que comparten.

Comenzando con las dovelas, el peso de ellas resulta de la multiplicación del peso específico del estrato de suelo y por la altura promedio z_n y el ancho de la dovela b_n .

La Ecuación 2 es el peso de la dovela con la que vamos a trabajar.

$$W = \gamma * z_n * b_n \quad (\text{Ecuación 2})$$

Tenemos unas componentes de la fuerza de reacción R provocada sobre la base, la fuerza normal N_r y tangencial T_r que se oponen a las componentes del peso del elemento. En adición a eso tenemos las fuerzas P_n y P_{n+1} que se originan de forma perpendicular la cara lateral de la dovela actual y la de la siguiente, así hasta completar el número total de estas. Del mismo modo tenemos las fuerzas cortantes T_n y T_{n+1} que en este caso se originan de forma paralela.

Este método hace la suposición de que P_n y T_n son iguales en magnitud a las fuerzas P_{n+1} y T_{n+1} .

En la Figura 2-7 se puede ver como se presenta un talud y sus partes (Braja M. Das, 2001).

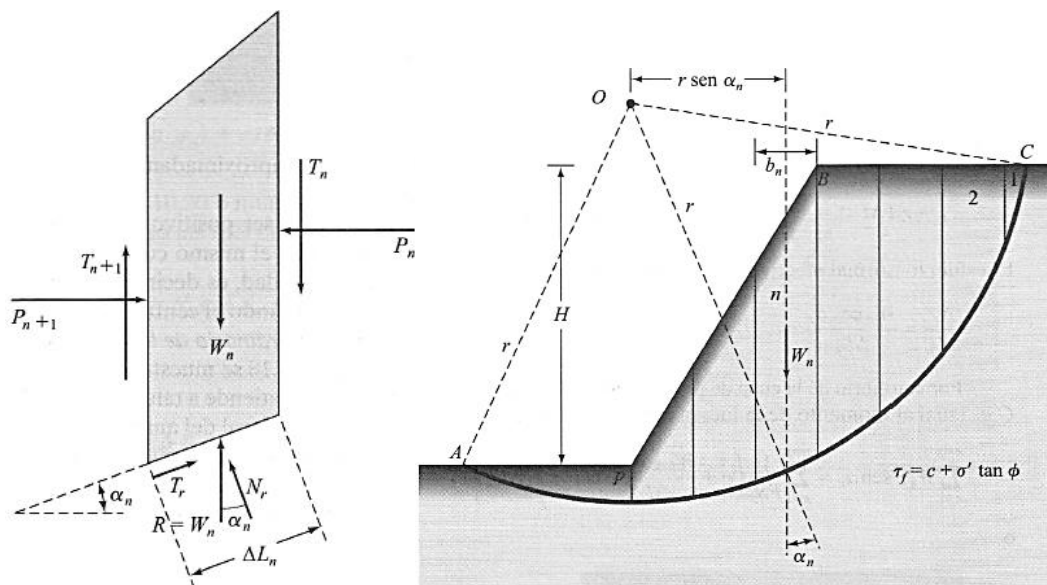


Figura 2-7 Presentación de un talud y partes de la dovela

Fuente. (Braja M. Das, 2001)

Para obtener dicho margen de seguridad garantizado y un equilibrio, este método propone la relación entre la fricción más el momento estabilizante sobre el momento desestabilizador para cada dovela de la siguiente forma:

La Ecuación 3 es la fuerza de reacción R que se provoca en la base de nuestra dovela.

$$Fr = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c * \Delta b_n + W_n * \cos * \alpha_n * \tan \phi)}{\sum_{n=1}^{n=p} (W_n * \sen * \alpha_n)} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Método de Bishop riguroso:

Este consiste en suponer una forma de rotura circular, se divide la zona desestabilizada en rebanadas y se plantea las ecuaciones de equilibrio. La formulación en este método conduce a una ecuación implícita de la incógnita F. Esto es debido a la derivación del balanceo de fuerzas en donde parte de estas se dirigen en contra de la dirección de la falla. (Espinoza, 2003)

De esta forma se logra crear la expresión que se muestra:

En el método de Bishop Riguroso se busca hallar la Ecuación 4 la cual es el factor de seguridad ya realizando los debidos cálculos del programa.

$$F = \frac{\sum \frac{(W + \Delta T / \cos \alpha - U_i * \Delta L) * \tan \phi + c * \Delta L}{1 + \tan \alpha * \tan \phi / F}}{\sum W * \sin \alpha} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Método de Morgenstern-Price:

A diferencia del método anterior, este propone una variación sinusoidal en el ángulo de inclinación d_i y por ende en la posición x en cada punto de la masa deslizante. Si bien dicha variación puede ser con una función como la que se menciona, es posible elegir otras variantes como constante, semisinusoidal y otros, para nuestro caso se utiliza una función semisinusoidal.

Para obtener las fuerzas perpendiculares a los lados de la dovela E_i y E_{i+1} es necesario conocer los pesos de la masa de tierra, pero además se debe saber las presiones de sobre carga F_{x_i} y F_{y_i} producto de una obra que pueda estar ejerciendo sobre el talud. En adición se debe conocer los factores de aceleración horizontal en la zona de estudio, pues son de gran utilidad debido a su incidencia en la fuerza horizontal que presenta el peso de la dovela.

El método de Morgenstern-Price lo que busca es encontrar el resultado mediante la Ecuación 5 la cual son las fuerzas ejercidas por bloques vecinos, inclinados desde el plano horizontal por el ángulo δ .

$$E_{i+1} = \frac{[(W_i - Fy_i)\cos\alpha_i - (K_h * W_i - Fx_i)\sin\alpha_i - U_i + E_i * \sin(\alpha_i - d_i)] * \frac{\tan\phi_i}{FS} + \frac{c_i}{FS} * \frac{b_i}{\cos\alpha_i} - (W_i - Fy_i)\sin\alpha_i - (K_h * W_i - Fx_i)\cos\alpha_i + E_i * \cos(\alpha_i - d_i)}{\sin(\alpha_i - d_{i+1}) * \frac{\tan\phi_i}{FS} + \cos(\alpha_i - d_i)}$$

(Ecuación 5)

Para poder encontrar el factor de seguridad se debe asumir que $E_i=0$ en los extremos del deslizamiento, pues es ahí cuando consideramos que la condición es estable.

Método de Spencer:

Este método propone que los elementos son infinitamente pequeños y con base plana, los momentos y sumatorias de las componentes de fuerzas adyacentes en cada tramo de cada sección del suelo, en total, tiene que ser cero.

Además, también considera la presión de poro en el estrato r_u . como componente directa para el cálculo. De este modo tenemos que la resultante de fuerzas intersticiales Q se obtiene como:

(En Spencer lo que se busca encontrar es la Ecuación 6 la cual es la reacción total de la base.)

$$Q \quad \text{(Ecuación 6)}$$

$$= \gamma * b$$

$$* H \left[\frac{\frac{c'}{F * \gamma * H} + \frac{1}{2} * \frac{h}{H} * \frac{\tan\phi'}{F} * (1 - 2 * r_u + \cos 2\alpha) - \frac{1}{2} * \frac{h}{H} \sin 2\alpha}{\cos\alpha * \cos(\alpha - \theta) * \left[1 + \frac{\tan\phi'}{F} * \tan(\alpha - \theta) \right]} \right]$$

2.4.6 Tipos de suelos

Existen 2 sistemas para clasificar los suelos las cuales son el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS, y la AASHTO.

SUCS

El sistema divide entre suelos gruesos y suelos finos, considerando el porcentaje pasante por el tamiz #200 (0,075 mm). Si menos del 50% en peso del suelo pasa por dicho tamiz, entonces el suelo es grueso, y se subclasifica en arena a la parte que pasa la malla N°10 y es retenida en la malla N°200, grava a la fracción que atraviesa por medio del tamiz N°4 y es retenida en el N°10. Caso contrario, el suelo es fino, y se subclasifica en limo o arcilla (que son las porciones que pasan la criba N°200) según los valores de los límites líquido y plástico.

En la tabla 2-1 se muestra la clasificación del suelo por SUCS (Brajam M, 2001):

Tabla 2-1

Clasificación del suelo por SUCS

Divisiones mayores			Símbolo del grupo	Nombre del grupo
Suelos granulares gruesos El 50% o más se retuvo en el tamiz n°200 (0.075 mm)	Grava < 50% de la fracción gruesa que pasa el	Grava limpia menos del 5% pasa el tamiz n°200	GW	Grava bien graduada, grava fina a gruesa
			GP	Grava pobremente graduada

	tamiz n.º 4 (4.75 mm)	Grava con más de 12% de finos pasantes del tamiz n.º 200	GM	Grava limosa
			GC	Grava arcillosa
			SW	Arena fina a gruesa.
	Arena ≥ 50% de fracción gruesa que pasa el tamiz n.º 4	Arena limpia menos del 5% pasa el tamiz n.º 200	SP	Arena pobremente graduada
			SM	Arena limosa
			SC	Arena arcillosa
Suelos de grano fino	Limos y arcillas	límite líquido < 50 orgánico	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos

Más del 50% de la muestra pasa el tamiz No.200 (0.075 mm)			CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres
			OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad
	Limos y arcillas Límite líquido \geq 50	Límite líquido \geq 50	MH	Limo de alta plasticidad, limo elástico
			CH	Arcilla de alta plasticidad
			OH	Arcilla orgánica, Limo orgánico

Suelos altamente orgánicos	P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.
----------------------------	---	---

Fuente. (Braja M, 2001)

AASHTO

En la clasificación AASHTO se los divide en grupos que se extienden del A-1 al A-7 donde los tres primeros grupos corresponden a aquel material granular en el cual menos del 35% atraviesan al tamiz N°200; por otro lado, los cuatro grupos restantes son aquellos suelos que superan este porcentaje al pasar por dicha criba. A continuación, se muestra la clasificación en la siguiente tabla:

En la tabla 2-2 se puede ver cómo es la clasificación del suelo por AASHTO (Brajam M, 2001).

Tabla 2-2*Clasificación AASHTO*

Clasificación General	Suelos Granulares ($\leq 35\%$ pasa 0.08 mm)						Suelos Finos ($> 35\%$ bajo 0.08 mm)				
Grupo	A - 1		A-3	A-2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7
Sub-Grupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5**
Nº 10	≤ 50										A-7-6**
Nº 40	≤ 30	≤ 50	≥ 51								
Nº 200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35				≥ 36			
L1				≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41
IP	≤ 6		NP	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11
Descripción	Gravas y Arenas		Arena fina	Gravas y Arenas Limosas y Arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	

Fuente. (Braja M, 2001)

Suelos arenosos

Son suelos que tienen buena permeabilidad por lo que el agua se infiltra con moderada facilidad a través de ellos, razón por la cual en las capas superiores tienden a encontrarse secos o húmedos de manera temprana. El grano en estos suelos suele tener consistencia espesa cuando están apilados en montículos, aunque también se los puede encontrar como parches separados. En regiones como Giroux y Rouvres en Francia se los puede encontrar sobre estratos puramente arcillosos, así como generalmente en otras partes del mundo. (Chambre d'agriculture Indre, 2006, págs. 20-23).

Suelos arcillosos

Este tipo es mediana o altamente hidromórfico por lo que tienden a retener cantidades bastante considerables de agua en su estructura y sobre ellos, al estar en contacto con el agua adquieren una consistencia densa, expansiva y sumamente plástica, por lo que a falta de esta se vuelve quebradiza y con tendencia a presentar fisuras. A más de eso, su coloración típica en los estratos es marrón verdosa o puramente marrón en varios casos y en otros tiene tonalidades más oscuras producto de la presencia de minerales como manganeso y hierro. Si bien puede ser encontrada en la superficie, es posibles verla en estratos más profundos que los del suelo arenoso. (Ruellan, 2010, págs. 2-5)

En la Figura 2-8 se puede ver el tipo de suelo arenoso (Alain Huellan, 2010)



Figura 2-8 *Suelo arcilloso de la isla Java – Indonesia*

Fuente. (Alain Huellan, 2010)

En la Figura 2-9 se puede ver el tipo de suelo limo -arenoso en el estrato de la superficie y suelo arcilloso en el estrato inferior (Alain Huellan, 2010)



Figura 2-9 Suelo limo -arenoso en el estrato de la superficie y suelo arcilloso en el estrato inferior, ubicado en España

Fuente. (Alain Huellan, 2010)

Suelos limosos

Son suelos con partículas finas no pedregosas, sus estratos suelen reposar sobre areniscas o arcillas compactas de gran profundidad y sobre tierras blandas. En suma, su buena plasticidad presenta características hidro mórficas por lo que retienen en gran medida el agua durante largos periodos. Sin embargo, no llegan a los niveles de los suelos arcillosos.

Suelos calcáreos

Son duros, de colores semi claros (aunque en otros casos particulares pueden ser oscuros o casi negros debido a minerales incorporados) y ricos en carbonatos, los estratos superficiales en algunos casos suelen tener partes rocosas debido a la presencia de piedra caliza, tienden a retener agua en los estratos inferiores donde se encuentran más compactados, se lo puede encontrar combinado con otros tipos de suelo como las arcillas. Suelen tener una escasa presencia de materia orgánica, principalmente en sus estratos más duros. Se los encuentra abundantemente en lugares como el oeste de Marruecos. (Chambre d'agriculture Indre, 2006)

En la Figura 2-10 se puede ver el tipo de suelo lomo-calcareo (Alain Huellan, 2010)



Figura 2-10 *Superficie de un suelo lomo-calcareo el cual presenta una porosidad pequeña, lo cual afecta a la escorrentía y la erosión, está ubicado al Oeste de Marruecos*

Fuente. (Alain Huellan, 2010)

3 CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y RECOLECCIÓN DE DATOS.

La zona en la cual se está realizando los estudios es en la Universidad del Azuay, ubicada en Cuenca Ecuador, la cual el deslizamiento del talud está afectando a toda la Universidad, haciendo que se dé mantenimientos constantes a las estructuras dentro de la Universidad.

Se encuentra la zona en la parte baja de la autopista Cuenca- Azogues, la cual se cree que con la filtración de agua de las precipitaciones que se dan en el talud más el peso que genera la autopista sobre el talud generan un mayor deslizamiento.

En la Figura 3-1 se puede el área de estudio el cual se va a estudiar (Universidad del Azuay, 2022).



Figura 3-1 Área del estudio para la Universidad del Azuay

Fuente. (Universidad del Azuay, 2022)

3.1 Recolección de datos pluviométricos de la ciudad de Cuenca.

Cuenca se caracteriza por un clima cálido y templado, pero existen precipitaciones todo el año, la temperatura media anual de cuenca es de 12.4°C, la precipitación aproximada es de 1612mm.

En la Figura 3-2 se puede ver el climograma de cuenca mostrándonos en que mes del año hay más precipitaciones (Climate Data, 2021).

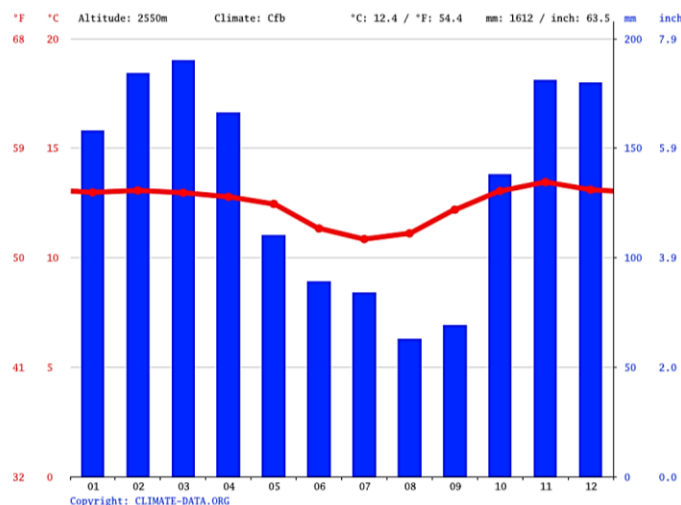


Figura 3-2 *Climograma Cuenca*

Fuente. Adaptación de *Climograma de Cuenca* [Fotografía], por Climate Data Climate, 2021, Climate Data (<https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-del-azuay/cuenca-875185/#climate-table>) CC BY 2.0

Como se puede observar en la Figura 8 el mes de agosto es el más seco con 63mm de lluvia y el más alto es en marzo con casi 200mm, mientras que el mes de Julio es el que tiene menor temperatura con 10.9°C y el de Noviembre el más cálido con 13.9°C.

Los datos históricos que se han dado en Cuenca desde 1991-2021 se muestran en la tabla 3-1 (Climate Data, 2021).

Tabla 3-1

Datos históricos del clima de Cuenca de 1991-2021

	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Avg. Temperature °C (°F)	13 °C (55.4) °F	13.1 °C (55.5) °F	13 °C (55.3) °F	12.8 °C (55) °F	12.5 °C (54.4) °F	11.3 °C (52.4) °F	10.9 °C (51.5) °F	11.1 °C (52) °F	12.2 °C (53.9) °F	13 °C (55.5) °F	13.5 °C (56.2) °F	13.1 °C (55.6) °F
	10.1 °C	10.3 °C	10.2 °C	10 °C	9.6 °C	8.5 °C	7.9 °C	7.6 °C	8.3 °C	9.5 °C	10.1 °C	10.1 °C

Min. Temperature °C (°F)	(50.1) °F	(50.5) °F	(50.3) °F	(49.9) °F	(49.3) °F	(47.2) °F	(46.2) °F	(45.7) °F	(47) °F	(49.2) °F	(50.2) °F	(50.2) °F
Max. Temperature °C (°F)	16.7 °C (62) °F	16.8 °C (62.2) °F	16.6 °C (61.9) °F	16.4 °C (61.5) °F	16 °C (60.8) °F	14.9 °C (58.8) °F	14.6 °C (58.4) °F	15.3 °C (59.6) °F	16.6 °C (62) °F	17.2 °C (63) °F	17.6 °C (63.7) °F	16.9 °C (62.4) °F
Precipitation / Rainfall mm (in)	158 -6	184 -7	190 -7	166 -6	110 -4	89 -3	84 -3	63 -2	69 -2	138 -5	181 -7	180 -7
Humidity (%)	85%	86%	86%	86%	86%	87%	86%	83%	79%	82%	82%	85%
Rainy days (d)	18	18	20	20	18	15	14	11	12	17	17	18
avg. Sun hours (hours)	4.6	4.2	4.4	4.5	4.4	3.8	3.7	4.6	5.6	5.4	5.3	4.8

Fuente. Adaptación de *Datos históricos del clima de Cuenca de 1991-2021* [Tabla], por Climate Data Climate, 2021, Climate Data (<https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-del-azuay/cuenca-875185/#climate-table>) CC BY 2.0

Como se puede ver en la tabla la mayor cantidad de precipitaciones se dan en los meses de febrero, marzo, noviembre y diciembre, mientras que en los más secos se encuentran agosto y septiembre, además la mayor cantidad de días lluviosos se dan en febrero y marzo ambos con 20 días de lluvia mientras es mes menos lluvioso se da en agosto y septiembre.

3.2 Historial de deslizamientos o problemas de terrenos en la zona en los últimos años.

El deslizamiento el cual está afectando, lleva muchísimos años, los cuales no se saben con precisión, pero el mismo se hizo más evidente luego de la construcción de la autopista Cuenca-Azogues, haciendo que se dé a una mayor velocidad el deslizamiento y con las constantes lluvias que se dan en diferentes temporadas en la zona hace que se dé a mayor velocidad el desplazamiento del mismo.

La zona la cual se estudia se ha visto muy afectado por el desplazamiento del talud, haciendo que se den diferentes mantenimientos a las estructuras de la Universidad, que es el área donde más afecta este deslizamiento, en la misma página de la Universidad se encuentra los deslizamientos que se encuentran en la zona mostrando el mismo.

En la Figura 3-3 se puede ver el deslizamiento que afecta a la Universidad del Azuay. (Universidad del Azuay,2023).

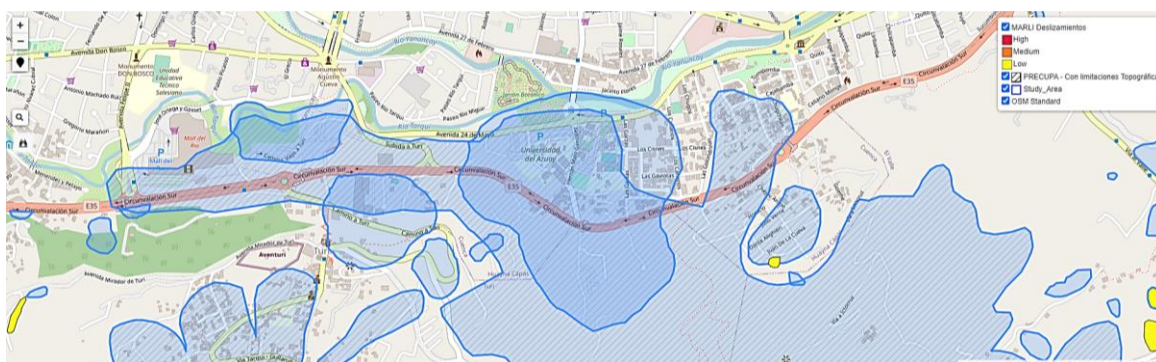


Figura 3-3 Deslizamiento Universidad del Azuay

Fuente. Adaptación de *Deslizamiento Universidad del Azuay* [Fotografía], por Universidad del Azuay, 2023, IERSE (<https://gis.uazuay.edu.ec/proyectos/deslizamientos/#12/-2.9556/-78.9035>) CC BY 2.0

En el IERSE en el sistema de registro de deslizamientos se puede observar como en el sector de la UDA se da un deslizamiento rotacional que se da por la caída de lluvia a una velocidad moderada con un peligro alto dentro de esa zona según lo describe el IERSE.

En la Figura 3-4 se puede ver las características del deslizamiento que afecta a la Universidad del Azuay. (Universidad del Azuay, 2023).

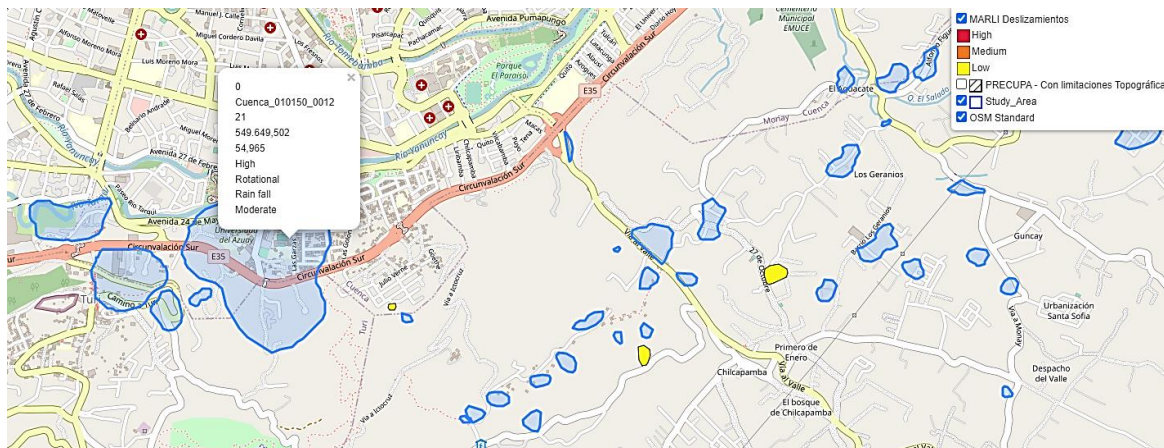


Figura 3-4 Características del deslizamiento de la Universidad del Azuay

Fuente. Adaptación de *Características del deslizamiento de la Universidad del Azuay*

[Fotografía], por Universidad del Azuay, 2023, IERSE

(<https://gis.uazuay.edu.ec/proyectos/deslizamientos/#12/-2.9556/-78.9035>) CC BY 2.0

3.3 Recolección de datos de la masa de suelo de la Universidad del Azuay; aceleraciones, desplazamientos, tipos de estratos.

Las zonas las cuales se sacaron las muestras del suelo de la zona son las siguientes, se sacó de estos puntos debido a que son puntos estratégicos, donde se da una mayor incidencia del desplazamiento.

En la Figura 3-5 se puede ver 5 las diferentes ubicaciones de los puntos de extracción de los estratos. (Universidad del Azuay,2022).



Figura 3-5 Ubicación de los puntos de extracción de los estratos

Fuente. (Universidad del Azuay,2022)

En la Figura 3-6 se puede la ubicación de donde se sacó las muestras, mostradas en el mapa.
(Universidad del Azuay,2022).



Figura 3-6 Mapa Universidad del Azuay con sus curvas de nivel y ubicación de donde se sacó las muestras

Fuente. (Universidad del Azuay,2022)

3.3.1 Tipos de estratos

El primer lugar donde se tomó las muestras hasta los 34,70 m, el comienza a los 5,20m debajo de la superficie, está ubicado encima del Parque libre Aventura, los cuales se encontraron:

0,00 - 1,70: Arcilla de color café oscura, de consistencia dura, resistencia en seco alta, dilatancia nula, plasticidad alta, con clastos o gravilla.

1,70 - 2,20: Arena arcillosa, de color gris rojiza, consistencia media, resistencia en seco media, dilatancia media, ligeramente plástica. Arena de grano fino y medio.

2,20 - 6,00: Arcilla limosa de color verdosa, consistencia media, resistencia en seco media, dilatancia nula, de baja plasticidad.

6,00 - 6,20: Transición de arcilla limosa a arenisca.

6,20 - 9,30: Arena con poco porcentaje de finos (arcilla), de color gris, consistencia blanda, dilatancia alta, sin plasticidad, húmeda. Arena de grano fino, medio y grueso.

9:30 - 10,20: Arcilla arenosa de color café claro, resistencia en seco baja, dilatancia baja y presencia de grano de arena fina.

9:30 - 10,20: Arcilla arenosa de color café claro, resistencia en seco baja, dilatancia baja y presencia de grano de arena fina.

10,20 - 14,00: Arcilla, de color verdosa, con limo y arena, consistencia media, resistencia en seco baja, dilatancia nula, de baja a media plasticidad.

14,00 - 15,60: Arcilla con limo y arena, de color verdosa, de consistencia dura, clastos de lutita, resistencia en seco alta, dilatancia nula, plasticidad media.

15,60 - 18,55: Lutita de color verdosa, con alto grado de meteorización, con arcilla, limo y arena.

18,55 - 21,90: Arenisca limo arcilloso, de color verdosa, resistencia en seco baja, dilatancia alta.

18,55 - 21,90: Arenisca limo y arcillosa, de color verdosa, resistencia en seco baja, dilatancia alta, en esta parte se encuentra una falla o diaclasa a 45 grados, superficie de la diaclasa de arcilla, de color café verdosa.

21,90 - 22,60: Arcilla limosa arenosa, de color verdosa, consistencia media, resistencia en seco baja, dilatancia nula, de baja a media plasticidad, poco consolidado.

22,60 - 23,50: Conglomerado, en matriz arcillosa, con 40% de clastos angulares, de color gris y matriz verdosa.

23,50 - 24,70: Intercalación de arcilla limosa arenosa con arenas arcillo limosas, poco consolidado.

24,70 - 26,90: Lutita meteorizada, de color café, resistencia en seco media, dilatancia nula, plasticidad media.

26,90 - 28,60: Lutita de color verdosa, con limo y arena, consistencia media, resistencia en seco baja, dilatancia nula, de baja a media plasticidad, poco meteorizada.

28,60 - 34,70: Lutita gris verdosa, de consistencia dura, dilatancia nula.

34,70 – Indefinido: Arena limo y arcillosa, de color gris verdosa, resistencia en seco media, dilatancia alta, con gravilla.

El segundo lugar donde se tomó las muestras hasta los 15,50 m, el nivel freático se encuentra a los 5,60 m debajo de la superficie, está ubicado en el parqueadero privado que se encuentra encima de la facultad de ciencia y tecnología de la UDA, los cuales se encontraron:

0,00 - 1,30: Material de relleno o mejoramiento conformado por clastos densimétricos de hasta 3", y suelo fino compuesto por limo y arcilla.

1,30 - 2,30: Arcilla, de color café, con clastos angulares de relleno, de consistencia media, resistencia en seco alta, dilatancia nula, de media plasticidad.

2,30 - 3,60: Arcilla arenosa, de color claro (amarillento), consistencia baja, tenacidad en seco baja, dilatancia baja, de ligera plasticidad, húmeda.

3,60 - 4,50: Arcilla arenosa de color café oscura a clara, de consistencia media, resistencia en seco media, dilatancia nula, ligeramente plástica, poco consolidada.

4,50 - 5,50: Arcilla arenosa, de color café oscura, de consistencia media, resistencia en seco media, dilatancia nula, de baja plasticidad, poco consolidada.

5,50 - 7,90: Arcilla de color negro, con clastos o gravilla, de consistencia baja, resistencia en seco media, dilatancia nula, de plasticidad media.

7,90 - 8,20: Transición de estrato, de arcilla de color negro a una arcilla de color café claro.

8,20 - 9,50: Arcilla, de color café claro o abana, con gran porcentaje de arena y grava, de consistencia baja, resistencia en seco baja, dilatancia media, de baja plasticidad. Presencia de clastos milimétricos, poco consolidada.

9,50 - 10,10: Arena de color café grisácea, con mezcla de arcilla de color negro.

10,10 - 15,50: Intercalación de arcilla arenosa y arena arcillosa, de color café claro, húmeda, poco consolidada.

10,10 - 15,50: Intercalación de arcilla arenosa y arena arcillosa, de color café claro, húmeda, poco consolidada.

El tercer lugar donde se tomó las muestras es en el área de diseño y arquitectura de la Universidad, se tomaron las muestras hasta los 8m, el nivel freático se encuentra a 3,40 m debajo de la superficie, aquí se encontraron:

0,00 - 6,40: Arena arcillosa, de color café claro, con clastos o gravilla, de consistencia baja, dilatancia baja, resistencia en seco baja, de plasticidad baja a media, poco consolidada.

6,40 - 6,60: Arcilla de color negro, con clastos o gravilla, de consistencia baja, de plasticidad media, poco consolidado.

6,60 - 8,00: Deposito aluvial, con clastos redondeados de tamaño centimétrico.

El cuarto lugar donde se tomó las muestras hasta los 17m, el nivel freático se encuentra ubicado a 1,10m debajo de la superficie, está ubicado encima de la autopista a lado de la calle Hernán Malo, los cuales se encontraron:

0,00 - 0,20: Arcilla, de color café oscuro, con raíces, cobertura vegetal.

0,20 - 0,50: Material de relleno, compuesto por bloque de piedra.

0,50 - 1,50: Arcilla, de color café claro a oscuro, de consistencia blanda, resistencia en seco media, dilatancia nula, de media plasticidad, húmeda

1,50 - 4,10: Arcilla, de color negro, de consistencia baja, resistencia en seco baja, dilatancia nula, de media a alta plasticidad, húmeda.

4,10 - 5,30: Arcilla, de color café oscuro, de consistencia media, con clastos esporádicos de lutita, resistencia en seco media, de media plasticidad, poco consolidada.

5,30 - 6,00: Arena en matriz arcillosa, de color café grisáceo, con clastos milimétricos o gravilla, de consistencia baja, resistencia en seco baja, dilatancia baja, de baja plasticidad, poco consolidada.

6,00 - 6,70: Arcilla de color amarillo, de consistencia media, resistencia en seco media, dilatancia nula, de media plasticidad

6,70 - 7,10: Arcilla arenosa, de color abanó a gris. Arena de grano medio y fino.

7,10 - 7,60: Arcilla, de color café oscuro, de consistencia media, con clastos esporádicos de lutita, resistencia en seco media, de media plasticidad.

7,60 - 8,40: Arcilla, de color gris, con arena gruesa y gravilla, de consistencia baja, resistencia en seco media, dilatancia nula, de baja a media plasticidad.

8,40 - 11,70: Arena arcillosa, de color café grisáceo, de consistencia media, dilatancia baja, con clastos de hasta 1/2 ".

8,40 - 11,70: Arena arcillosa, de color café grisáceo, de consistencia media, dilatancia baja, con clastos de hasta 1/2 ", poco consolidado.

11,70 - 17,00: Lutita de color verdosa, con lente de cambio de color a café, de consistencia media, resistencia en seco alta, dilatancia nula. Diaclasas a 30 y 45 grados.

3.3.2 Desplazamientos y aceleraciones

La zona de estudio se encuentra actualmente con un deslizamiento el cual afecta a las estructuras de esa zona, siendo la más afectada la zona en que se encuentra la Universidad del Azuay, es un deslizamiento rotacional que se da por la caída de lluvia a una velocidad moderada con un peligro alto dentro de esa zona.

El deslizamiento del talud poco a poco se va haciendo más evidente, en donde se hizo más evidente fue después de la construcción de la Autopista Cuenca- Azogues debido a su peso hizo que la velocidad del deslizamiento se haga mayor, haciendo que las estructuras que se encuentran cerca de la zona se vean afectadas, por lo que se da mantenimiento para que las mismas no sean de peligro, como se puede ver en las siguientes imágenes se ve como afectaron a la Universidad.

Se han realizado 5 perforaciones en el sector del área afectada, la cual se plantearon 3 perfiles geotécnicos relacionados con las 5 perforaciones realizadas.

En la Figura 3-7 se puede ver el mapa de la ubicación de los sondajes y perfiles geotécnicos.
(Universidad del Azuay,2022).

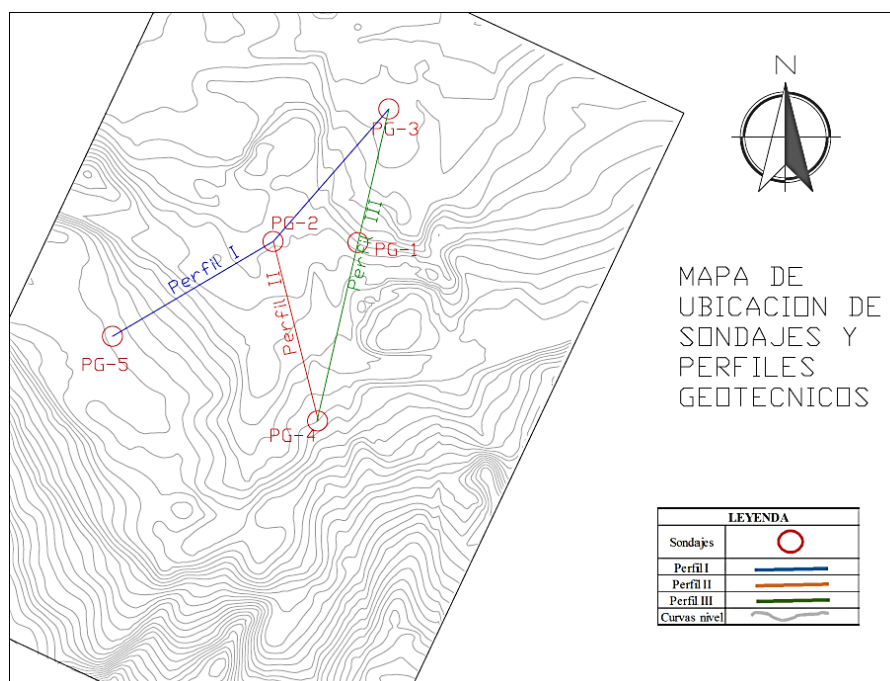


Figura 3-7 Mapa de ubicación de sondajes y perfiles geotécnicos

Fuente. (Universidad del Azuay, 2022)

En la tabla 3-2 se puede ver los diferentes sondajes con que se realizaron con sus respectivas coordenadas y niveles freáticos (Universidad del Azuay, 2022).

Tabla 3-2

Coordenadas y nivel freático de los sondajes

PERFORACIONES REALIZADAS PREVIAMENTE			
Sondaje	UBICACION		Nivel Freático (m)
	X	y	
	PG- 1	722199	9677025.5

PG-2	722092.9	9677026.8	7,81
PG-3	722237.5	9677192.3	5,18
PG-4	722148.6	9676803	3,35
PG-5	721892.3	9676908.6	0

Fuente. (Universidad del Azuay, 2022)

En la tabla 3-3 se puede ver los perfiles geotécnicos (Universidad del Azuay, 2022).

Tabla 3-3

Perfiles geotécnicos

PERFILES		GEOTECNICOS
Perfiles	SONDAJES	DIRECCION
1	PG-5, PG-2, PG-3	W-E
2	PG-4, PG-2	W-E
3	PG-4, PG-1, PG-3	W-E

Fuente. (Universidad del Azuay, 2022)

Perfil 1

En el perfil 1 se dividió en dos zonas y se encontraron 5 unidades geotécnicas, las cuales se dividen en material 1: relleno de matriz arcillosa, material 2: arcilla de color claro, material 3: arcilla arenosa de color negro, material 4: aluvial con clastos redondeados. material 5: Intercalación de arena limosa y arena arcillosa.

Zona A:

En la Figura 3-8 se puede ver el factor de seguridad en el perfil 1 Zona A en condición estática (Universidad del Azuay,2022).

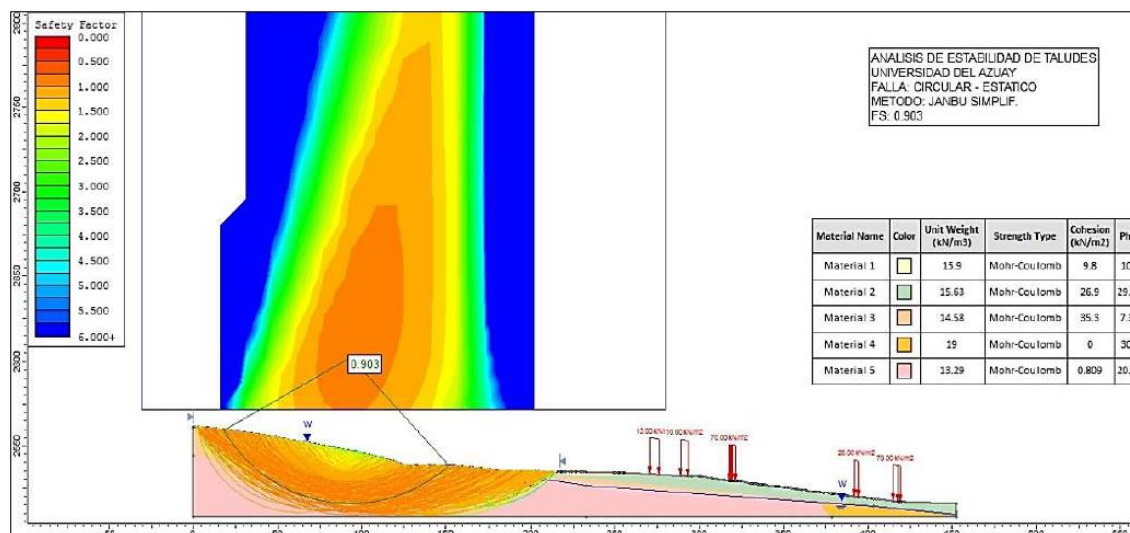


Figura 3-8 Factor de seguridad en el perfil 1 Zona A en condición estática

Fuente. (Universidad del Azuay, 2022)

En la Figura 3-9 se puede ver el factor de seguridad en el perfil 1 Zona A en condición pseudo estática (Universidad del Azuay,2022).

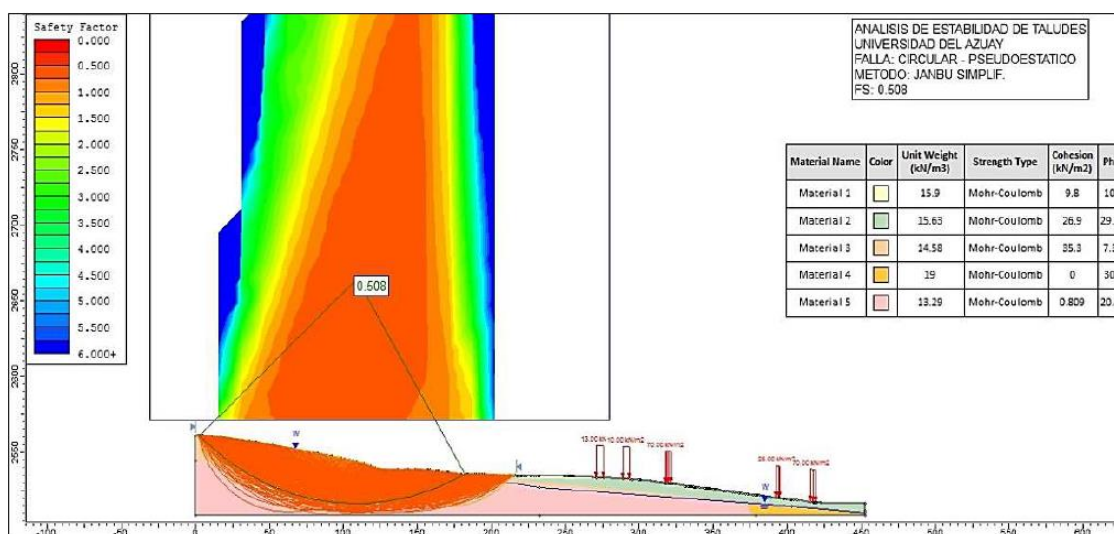


Figura 3-9 Factor de seguridad en el perfil 1 Zona A en condición pseudo estática

Fuente. (Universidad del Azuay,2022)

En esta zona, bajo condiciones estáticas, el F_s estimado es de 0.903 y en condiciones pseudo estáticas el F_s es de 0.508, en conclusión, esta zona está en un estado de inestabilidad.

Zona B:

En la Figura 3-10 se puede ver el factor de seguridad en el perfil 1 Zona B en condición estática (Universidad del Azuay,2022).

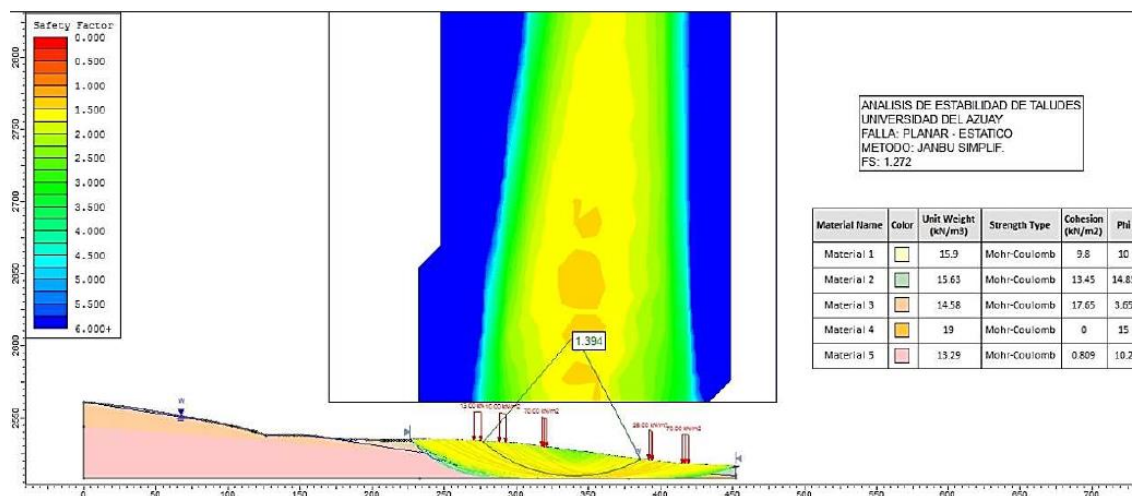


Figura 3-10 Factor de seguridad en el perfil 1 Zona B en condición estática

Fuente. (Universidad del Azuay, 2022)

En la Figura 3-11 se puede ver el factor de seguridad en el perfil 1 Zona B en condición pseudo estática (Universidad del Azuay,2022).

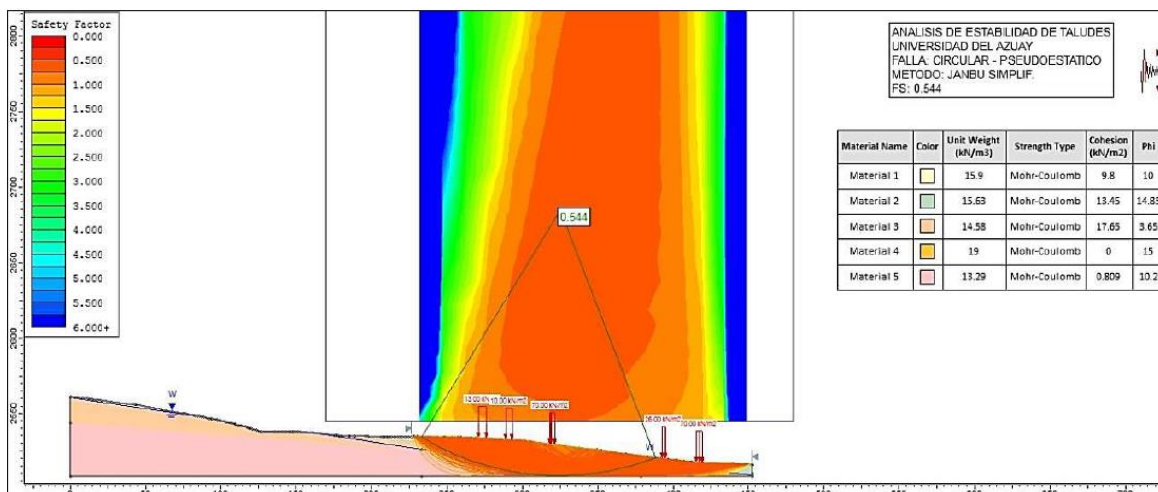


Figura 3-11 Factor de seguridad en el perfil 1 Zona B en condición pseudo estática

Fuente. (Universidad del Azuay, 2022)

Bajo condiciones estáticas, el Fs estimado es de 1.394 y en condiciones pseudo estáticas el Fs es de 0.544, por lo tanto, se encuentra en un estado de equilibrio límite, lo cual indica que se puede llegar a inestabilizarse por sismicidad.

Para el Perfil 1 en la Zona A, tanto en condiciones estáticas y pseudo estáticas, con rotura circular y no circular, se evidencia un estado inestable del talud. Para la Zona B, en condiciones estáticas el talud se encuentra en equilibrio límite con rotura circular y no circular, pero en caso de sismo su estado cambia a inestable.

Perfil 2

Para el modelamiento de este perfil se le dividió en dos zonas, las cuales se identificaron 7 unidades geotécnicas, material 1: relleno de matriz arcillosa, material 2: arcilla de color claro, material 3: arcilla arenosa de color negro, material 4: arena arcillosa de color café, material 5: Arena de color gris, material 6: arena limosa, material 7: lutitas verdes.

Zona A:

En la Figura 3-12 se puede ver el factor de seguridad en el perfil 2 Zona A en condición estática (Universidad del Azuay,2022).

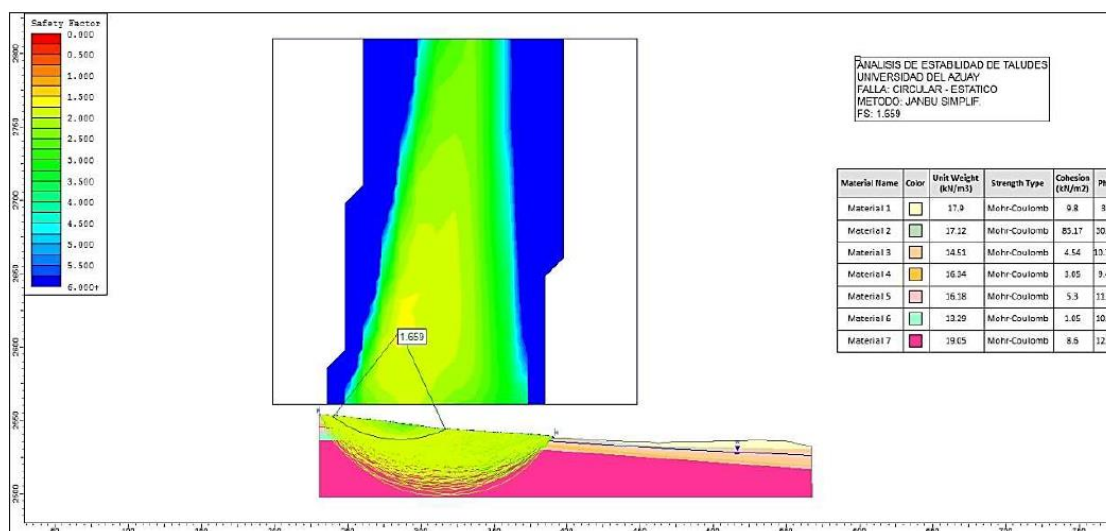


Figura 3-12 Factor de seguridad en el perfil 2 Zona A en condición estática

Fuente. (Universidad del Azuay, 2022)

En la Figura 3-13 se puede ver el factor de seguridad en el perfil 2 Zona A en condición pseudo estática (Universidad del Azuay,2022).

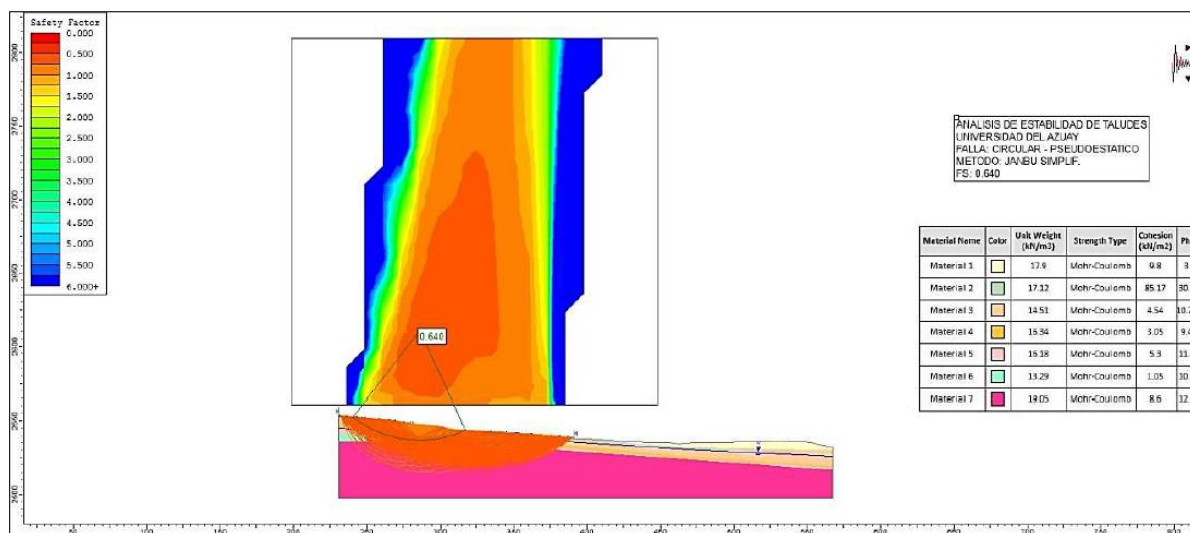


Figura 3-13 Factor de seguridad en el perfil 2 Zona A en condición pseudo estática

Fuente. (Universidad del Azuay, 2022)

En esta zona, bajo condiciones estáticas, el F_s estimado es de 1.659 y en condiciones pseudo estáticas el F_s es de 0.640, por lo tanto, se encuentra en un estado de equilibrio límite tendiendo a inestabilidad por sismicidad.

Zona B:

En la Figura 3-14 se puede ver el factor de seguridad en el perfil 2 Zona B en condición estática (Universidad del Azuay,2022).

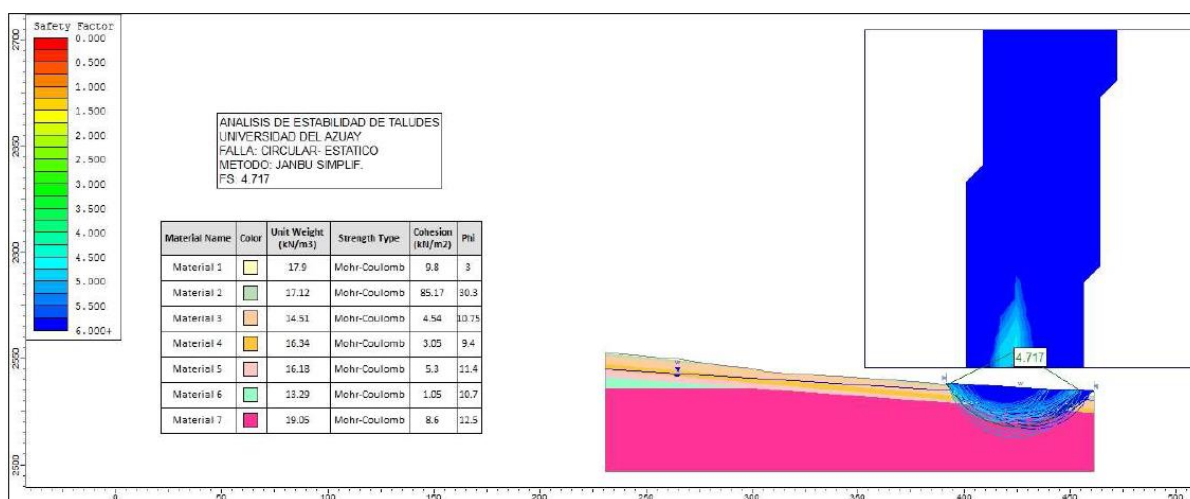


Figura 3-14 Factor de seguridad en el perfil 2 Zona B en condición estática

Fuente. (Universidad del Azuay,2022)

En la Figura 3-15 se puede ver el factor de seguridad en el perfil 2 Zona B en condición pseudo estática (Universidad del Azuay,2022).

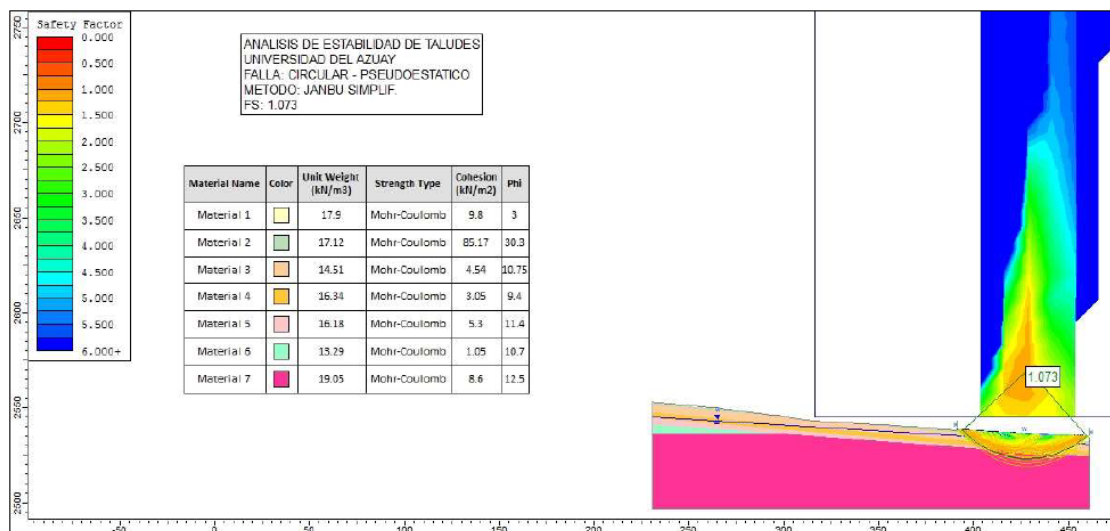


Figura 3-15 Factor de seguridad en el perfil 2 Zona B en condición pseudo estática

Fuente. (Universidad del Azuay, 2022)

En esta zona, bajo condiciones estáticas, el Fs estimado es de 4.717 y en condiciones pseudo estáticas el Fs es de 1.073, por lo tanto, se encuentra en un estado estable influenciado por la topografía plana de la zona, sin embargo, en presencia de sismos cambiara su estado de equilibrio limite.

Para el Perfil 2 en la Zona A y Zona B, para condiciones estáticas en su mayoría se estima un estado estable del talud, pero en condiciones pseudo estáticas éste varía a inestable en la zona A y un estado de equilibrio límite para la zona B.

Perfil 3

Para el modelamiento de este perfil se le dividió en dos zonas y se identificaron 11 unidades geotécnicas, material 1: relleno de matriz arcillosa, material 2: arcilla de color café oscura, material 3: arcilla de color gris, material 4: arcilla de color verde, material 5: arcilla de color negro, material 6: arena limosa color café, material 7: arcilla limosa café claro, material 8: arcilla verdosa con limo y arena (consistencia media), material 9: arcilla verdosa con limo y arena (consistencia dura), material 10: arena limosa, material 11: aluvial de clastos redondeados.

Zona A:

En la Figura 3-16 se puede ver el factor de seguridad en el perfil 3 Zona A en condición estática (Universidad del Azuay,2022).

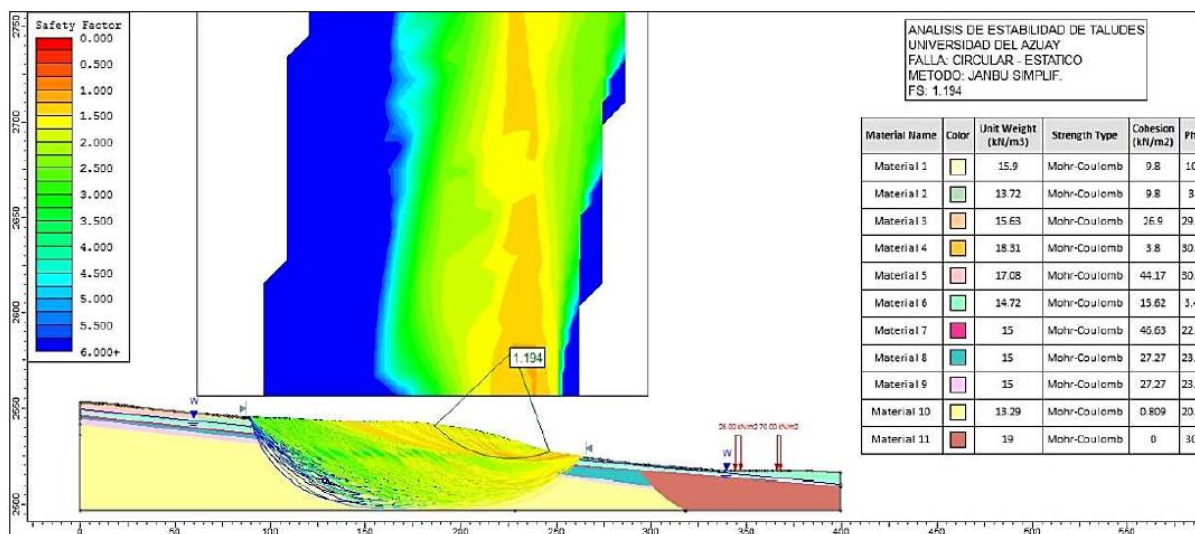


Figura 3-16 Factor de seguridad en el perfil 3 Zona A en condición estática

Fuente. (Universidad del Azuay, 2022)

En la Figura 3-17 se puede ver el factor de seguridad en el perfil 3 Zona A en condición pseudo estática (Universidad del Azuay,2022).

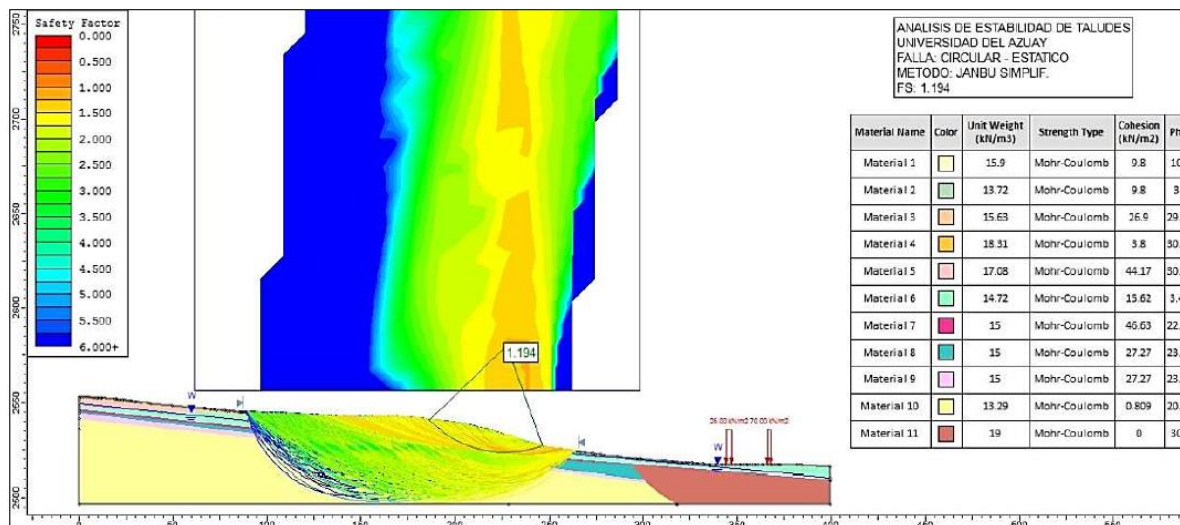


Figura 3-17 Factor de seguridad en el perfil 3 Zona A en condición pseudo estática

Fuente. (Universidad del Azuay, 2022)

En esta zona, bajo condiciones estáticas, el Fs estimado es de 1.194 y en condiciones pseudo estáticas el Fs es de 0.544, lo que quiere decir que se encuentra en un estado de equilibrio límite con tendencia a la inestabilidad.

Zona B:

En la Figura 3-18 se puede ver el factor de seguridad en el perfil 3 Zona B en condición estática (Universidad del Azuay, 2022).

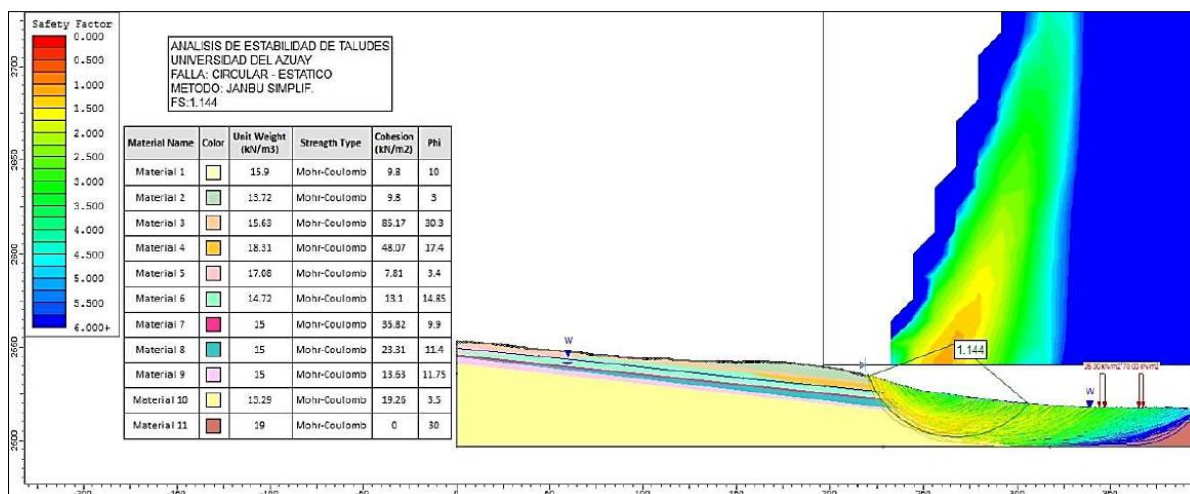


Figura 3-18 Factor de seguridad en el perfil 3 Zona B en condición estática

Fuente. (Universidad del Azuay, 2022)

En la Figura 3-19 se puede ver el factor de seguridad en el perfil 3 Zona B en condición pseudo estática (Universidad del Azuay, 2022).

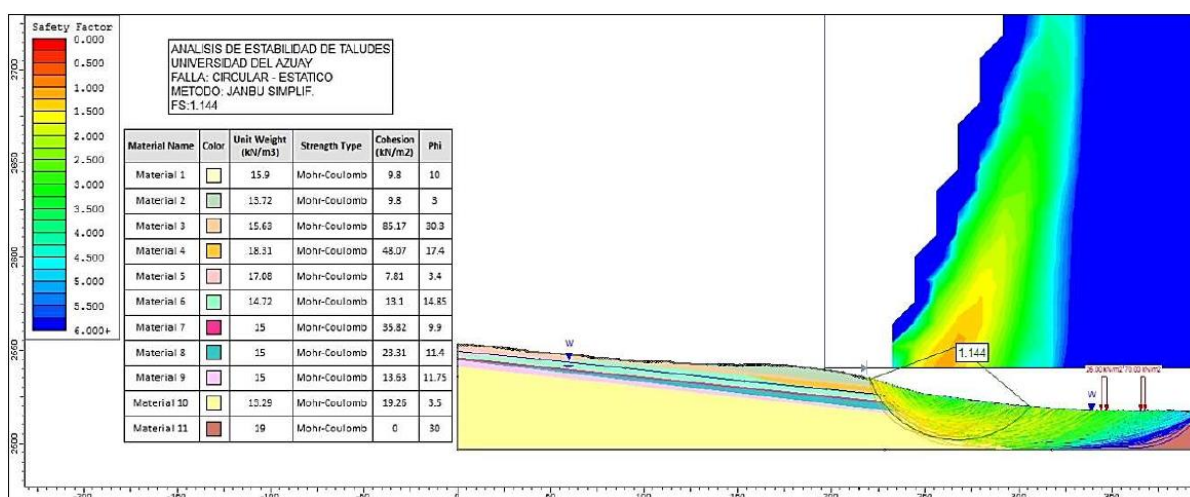


Figura 3-19 Factor de seguridad en el perfil 3 Zona B en condición pseudo estática

Fuente. (Universidad del Azuay, 2022)

En esta zona, bajo condiciones estáticas, el F_s estimado es de 1.144 y en condiciones pseudo estáticas el F_s es de 0.609, lo que quiere decir que se encuentra en un estado de equilibrio límite con tendencia a la inestabilidad.

Para el Perfil 3 en la Zona A y Zona B, para condiciones estáticas en su mayoría se estima un estado de equilibrio límite, pero en condiciones pseudo estáticas éste se inestabiliza.

Para el perfil 1 se recomienda profundizar el nivel freático a 20 m para que no sean afectadas por la saturación de agua las unidades geotécnicas para de esa manera estabilizar los taludes.

Para el perfil 2 se recomienda profundizar el nivel freático a 5 m desde el nivel de referencia a 8 m en el sondaje Pg-2 para los materiales no se afecten por saturación.

Para el perfil 3 se recomienda profundizar el nivel freático a 10 m desde el nivel de referencia a 3 m en el sondaje Pg-4 para los materiales no se afecten por saturación.

Se recomienda bajar el NF de 21,89m a 13,5m lo que representa un 38,33% de disminución de la masa de agua infiltrada, así haciendo que el talud se encuentre en condiciones estables.

4 CAPÍTULO 4. ELABORACIÓN DEL PROGRAMA DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN COMPUTADORA

4.1 Tratamiento de datos como base de entrada

En nuestra primera hoja de Excel se encuentra la presentación del proyecto el cual se va a analizar, esta va a estar diferentes parámetros como la ubicación donde se está haciendo el análisis, la fecha la cual se la realiza, la altura del terreno y el largo, el tipo de terreno, la altura del nivel freático y por último el número de estratos los cuales se van a analizar dentro del terreno.

En la Figura 4-1 se puede visualizar la hoja de presentación en donde se pone las características del proyecto (Propia, 2023).

Ubicación de la obra:	
Fecha:	
Institución:	
Altura del terreno:	
Largo del terreno:	
Tipo de terreno:	
Estratos:	
1°	
2°	
3°	
4°	
5°	
Altura del NF:	

Figura 4-1 Hoja de presentación de nuestro programa

Fuente. (Propia, 2023)

La hoja de datos se va a poner las características principales de las dovelas las cuales está un gráfico el cual va a ayudar a que se pueda llenar el mismo en el cual se encuentran el factor de presión de poros, factor de seguridad impuesto, la distancia desde el centro al inicio del deslizamiento, el radio de superficie de rotación, el ángulo del talud β , el ángulo α , número de dovelas, el nivel freático y el largo total del deslizamiento desde la corona hasta la lengua, la altura

del talud, largo desde la punta de la corona hasta el pie del talud, ángulo del nivel freático, variación de altura, superficie inclinada del talud y la pendiente.

En la Figura 4-2 se puede ver la hoja de datos en donde se pone las los datos generales del talud (Propia, 2023).

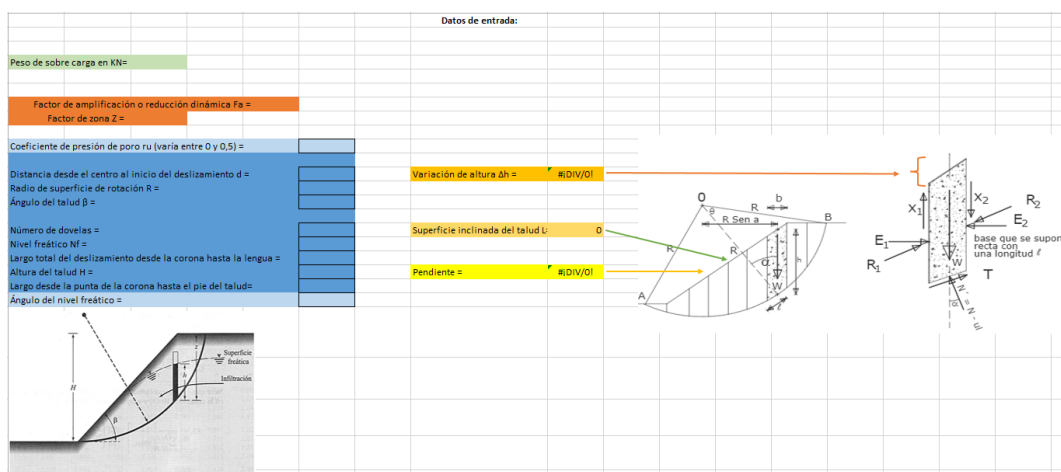


Figura 4-2 Hoja de Presentación de nuestro programa

Fuente. (Propia, 2023)

En la misma pestaña de datos encontramos los datos que dependen del número de estratos que tiene el terreno los cuales se les puede alargar o acortar tales como el peso específico, el coeficiente del estrato, la altura del estrato y por último el ángulo del estrato, aquí encontramos 3 imágenes las cuales nos va a ayudar a rellenar los datos dependiendo de las condiciones de la zona, en la primera imagen se encuentra los valores del factor de amplificación en función de la zona y perfil del suelo, en la segunda imagen es de la clasificación de los perfiles del suelo, por último se encuentra la zonas sísmicas del Ecuador.

En la Figura 4-3 se puede ver la segunda parte de la hoja de datos en donde se pone las los datos generales de los estratos (Propia, 2023).

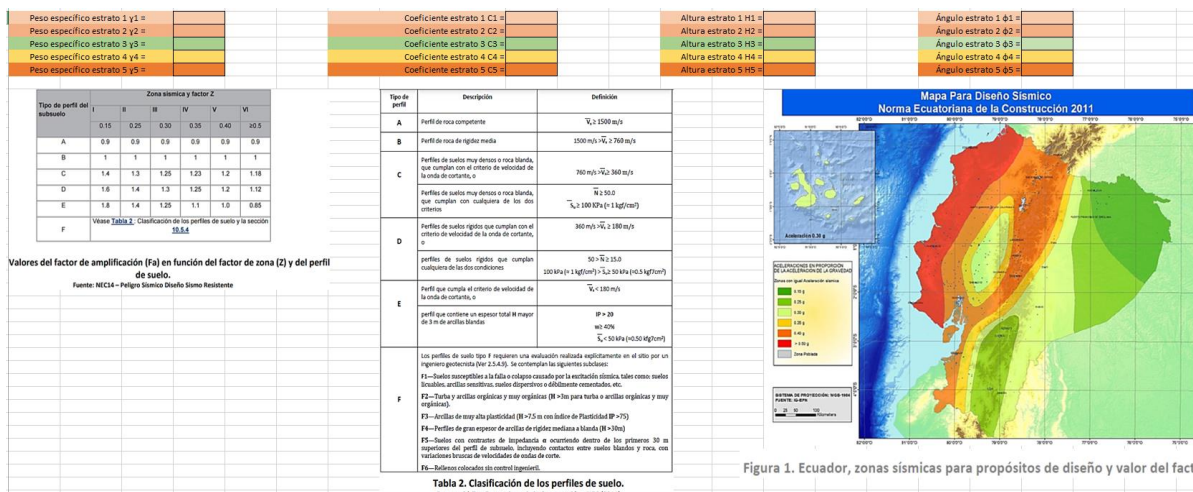


Figura 1. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor

Figura 4-3 Hoja de Presentación de nuestro programa

Fuente. (Propia, 2023)

4.2 Elaboración del programa en Microsoft Excel en base a la teoría de geotecnia y mecánica de suelos

Elementos en común

Los 3 programas los cuales están elaborados en esta hoja electrónica son: Bishop riguroso, Morgenstern-Price, y Spencer cada uno de estos comparten varios datos para su elaboración los cuales son:

Nº Dovelas: Este valor depende de en cuantas partes dividimos el talud.

Bases: La base 1 siempre empieza siendo 0 mientras que la base 2 es el anterior de la base 1 y este se calcula:

En la Ecuación 7 se busca hallar las medidas de las bases de cada dovela.

$$B2 = \cos\alpha_2 * R - \cos\alpha_1 * R \tag{Ecuación 7}$$

R: Radio de superficie de rotación

α : Inclinación del talud con respecto a la horizontal

Disminución de la altura acumulada:

En la Ecuación 8 se busca hallar la Disminución de la altura acumulada con la siguiente condición:

$$Daa = Si (N^{\circ} \text{ de dovela} * \text{Ancho de la dovela} > d ; N^{\circ} \text{ de dovela} * \Delta h ; \Delta h) \quad (\text{Ecuación 8})$$

d= Distancia desde el centro al inicio del deslizamiento

N° de dovela: El número de dovela.

Δh : Variación de la altura.

Ancho dovela:

En la Ecuación 9 se busca hallar el ancho de dovela con la siguiente formula:

$$\text{Ancho dovela} = \frac{\text{Largo total del deslizamiento desde la corona hasta la lengua}}{\text{Número de dovelas}}$$

(Ecuación 9)

Sobrecarga:

En la Ecuación 10 se busca hallar la sobrecarga con la siguiente formula:

$$\text{Sobrecarga} = \frac{\text{Peso de sobrecarga}}{\text{Numero de dovelas}} \quad (\text{Ecuación 10})$$

U_i:

En la Ecuación 11 se busca hallar la presión de poros con la siguiente fórmula:

$$U_i = \frac{1000 * Nf * \cos(\text{Angulo del nivel freatico})^2}{\text{Numero de dovelas}}$$

Ecuación 11

Nf: Nivel freático

Peso W: En la siguiente Ecuación 12 se busca calcular peso del bloque de la dovela este se calcula con la siguiente fórmula:

$$PW = \frac{\gamma * 1 * (B2 * B1) * \text{Ancho dovela}}{2}$$

(Ecuación 12)

γ: Peso específico del estrato

Elijiendo uno de esos 3 diferentes valores dependiendo si cumple una de esas condiciones.

α_n y Razones trigonométricas de α_n:

Este es el ángulo del talud el cual también se saca el seno, coseno, tangente y secante en el caso de Spencer, para el cálculo de este ángulo se utiliza la Ecuación 13:

$$\alpha_n = \frac{\pi}{2} - \text{Acos}\left(\frac{R - l - \frac{\text{Numero de dovela} * \text{Ancho dovela}}{2}}{R}\right) \quad (\text{Ecuación 13})$$

R: Radio de superficie de rotación

I: Distancia de acople (es la distancia disminuida que se produce de la rotación del radio R hasta llegar a la primera dovela, en nuestro caso la elegimos en función de dicho radio sobre un número de reducción que se logró ver rondaba el 1,86 quedándonos la expresión de R/1,86)

Acos: Coseno inverso

φ : ángulo del estrato

pi: Para el cálculo de este término estamos utilizando la Ecuación 14.

$$pi = \left(\frac{\text{Peso}W + \text{Sobrecarga} + \Delta T}{\cos \alpha n} - U_i * \Delta L \right) * \tan \varphi + C * \Delta L$$

(Ecuación 14)

Bishop Riguroso

Para la elaboración del método de Bishop riguroso empezamos poniendo la imagen de un talud con sus partes y describimos cada uno de los datos los cuales vamos utilizar.

En la Figura 4-4 se puede ver la hoja de Bishop Riguroso en donde nos describen los elementos para entender el programa (Propia, 2023).

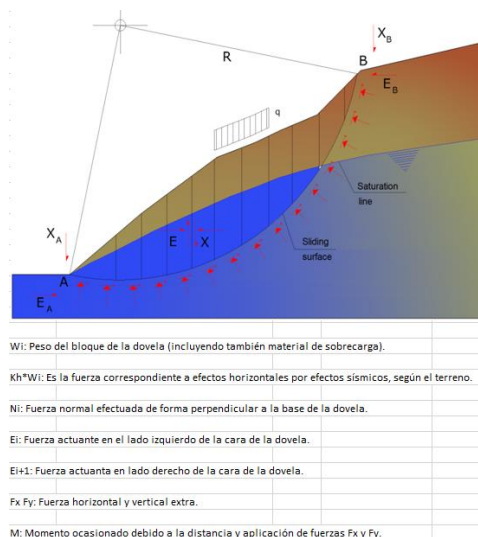


Figura 4-4 Hoja de Bishop Riguroso imágenes de explicación de nuestro programa

Fuente. (Propia, 2023)

Para el cálculo del programa empezamos con la siguiente terminología:

ΔT : Diferencia de fuerza de corte

ΔL : Ancho de faja

p_i : Para el cálculo de este término estamos utilizando la Ecuación 15.

$$p_i = \left(\frac{\text{Peso}W + \Delta T}{\cos \alpha} - U_i * \Delta L \right) * \tan \varphi + C * \Delta L$$

(Ecuación 15)

ΔT : Ancho de fuerza de corte

ΔL : Ancho de faja

C : Coeficiente del estrato

U_i : Presión de poros

a_i : Para el cálculo de a_i estamos usando la Ecuación 16.

$$a_i = \tan \alpha * \tan \varphi$$

(Ecuación 16)

mD: Para el cálculo de mD estamos usando la Ecuación 17.

$$mD = (\text{Peso}W + \text{Sobrecarga}) * \text{senan} \quad (\text{Ecuación 17})$$

Σpi = Sumatoria de pi en las dovelas

Σai = Sumatoria de ai en las dovelas

MD: Para el cálculo de MD estamos usando la Ecuación 18.

$$MD = \frac{\Sigma pi}{\Sigma ai} \quad (\text{Ecuación 18})$$

Fo: Para el cálculo de Fo estamos usando la Ecuación 19.

$$Fo = \frac{\Sigma pi}{MD} \quad (\text{Ecuación 19})$$

FmD: Para el final del factor de seguridad FmD estamos usando la Ecuación 20.

$$FmD = \frac{\Sigma pi + Ui}{1 + \Sigma ai} \quad (\text{Ecuación 20})$$

Ui: Presión de poros

F: Factor de seguridad

En la Figura 4-5 se puede ver la hoja de Bishop Riguroso en donde no se colocan los diferentes datos para que se realicen los cálculos (Propia, 2023).

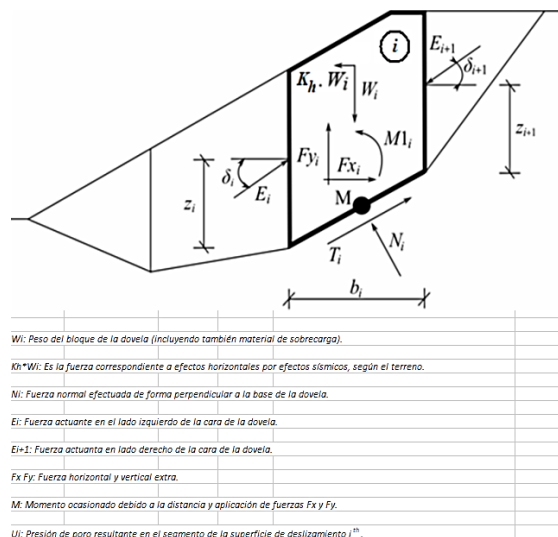


Figura 4-6 Hoja de Morgenstern-Price imagen de guía de nuestro programa

Fuente. (Propia, 2023)

Para el cálculo de Morgenstern-Price se empieza con:

Z: Factor de zona.

Fa: Factor de amplificación o reducción dinámica Fa.

Kh: Factor de aceleración horizontal

En la Ecuación 21 se busca encontrar el factor de aceleración horizontal durante el sismo con la siguiente fórmula:

$$Kh = 0,6 * 1,4 * 0,25 = 0,21 \quad (\text{Ecuación 21})$$

Función half-sine $f(x_i)$: Para hallar este término se utiliza la Ecuación 22:

$$f(x_i) = \frac{1}{2} * SEN(x_i) + ABS(SEN(x_i)) \quad (\text{Ecuación 22})$$

δ_i : Para hallar este ángulo se utiliza la Ecuación 23:

$$\delta_i = f(x_1) * \lambda \quad (\text{Ecuación 23})$$

f(x₁): Función half-sine.

λ(t): Función landa de delta t.

F_{y_i} y **F_{x_i}**: Para hallar las fuerzas extras actuantes en el eje “y” y “x” de la dovela se utilizan la Ecuación 24 y la Ecuación 25 respectivamente.

$$F_{yi} = \cos(\beta) * (\text{Peso } W + \text{Sobrecarga}) * 1\%$$

Ecuación 24

$$F_{xi} = \text{sen}(\beta) * (\text{Peso } W + \text{Sobrecarga}) * 1\%$$

Ecuación 25

Peso W: Este es el peso del bloque de la dovela

β: Angulo del talud

M_{1i}: Para hallar los momentos de Fuerzas **F_{x_i}**, **F_{y_i}** rotando alrededor del punto M, el cual es el centro del segmento de la superficie de deslizamiento se utiliza la

Ecuación 26:

$$M_{1i} = \frac{F(y_i) * \text{Ancho de dovela}}{2} + F(x_i) * \frac{B_2 + B_1}{4}$$

(Ecuación 26)

F_{y_i}: Fuerza extra actuante en el eje y de la dovela

F_{x_i}: Fuerza extra actuante en el eje x de la dovela

B₂ y B₁: Son las bases de la dovela.

E_i: Para encontrar las fuerzas ejercidas por bloques vecinos, inclinados desde el plano horizontal por el ángulo δ se utiliza la Ecuación 27:

$$E = ((PesoW + Sobrecarga) - F(yi)) * \cos\alpha - (Kh * (PesoW + Sobrecarga) - Fxi) * \sin\alpha - U_i + Inicio\ de\ E * \sin(\alpha - \delta_i) * \frac{\tan\varphi}{FS}$$

(Ecuación 27)

Fy: Fuerza extra actuante en el eje y de la dovela

φ: ángulo del estrato

α: Inclinación del talud con respecto a la horizontal

Fxi: Fuerza extra actuante en el eje x de la dovela

Kh: Factor de aceleración horizontal

U_i: Presión de los poros

FS: Factor de seguridad impuesto

Brazo z_i: Para hallar el Brazo z de la dovela se utiliza la Ecuación 28:

$$z = \left(\frac{\text{Ancho de la dovela}}{2} * ((Fuerzas\ E_i + 1) * \sin(\delta_i + 1) - \cos(\delta_i + 1) * \tan(\alpha)) \right. \\ \left. + Fuerzas\ E_1 * \sin(\delta) - \cos(\delta_i) * \tan(\tan(\alpha)) + Inicio\ de\ E \right. \\ \left. * Inicio\ de\ z * \cos(\delta_i) - M_1i + Kh * Peso\ W * \frac{Base\ 2 + Base\ 1}{4} \right) / Fuerza\ E \\ * \cos(\delta_i)$$

(Ecuación 28)

Peso W: Este es el peso del bloque de la dovela

B2 y B1: Son las bases de la dovela.

Fy: Fuerza extra actuante en el eje y de la dovela

φ: ángulo del estrato

α: Inclinación del talud con respecto a la horizontal

Fxi: Fuerza extra actuante en el eje x de la dovela

Kh: Factor de aceleración horizontal

dt: Cortes del intervalo de t

En la Figura 4-7 se puede ver la hoja de Morgenstern-Price en donde se colocan los datos para que se realicen los cálculos (Propia, 2023).

														Morgenstern - Price				
NºDovelas	Base 2	Base 1	Altura acumulada	Ancho dovela bi	Sobrecarga	Factor de aceleración horizontal durante el sismo Kh	Peso W	α_n	$\cos \alpha_n$	$\sen \alpha_n$	$\tan \alpha_n$	$\tan \varphi$	δ_i					
1	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0					
2	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0					
3	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0					
4	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0					
5	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0					
6	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0					
7	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0					
8	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0					
9	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0					
10	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0					
11	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0					
12	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0					
13	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0					
14	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0					
15	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0					
16	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0					
17	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0					
18	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0					
19	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0					
20	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0					
21	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0					
22	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0					
23	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0					
24	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0					
25	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0					
26	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0					
27	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0					
28	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0					
29	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0					
30	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0					

Figura 4-7 Hoja de cálculo de Morgenstern Price

Fuente. (Propia, 2023)

En la Figura 4-8 se puede ver la hoja de Morgenstern-Price en donde se colocan los datos para que se realicen los cálculos (Propia, 2023).

	δf =			λ =		F impuesto =						
Función half-sine f(x _i)	Fy _i	Fx _i	Mf _i	λ	U _i	Fuerzas E _i	Brazos z _i	FS	Inicio de E _i	Inicio de z _i	x _i	dx _i
0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		0	0	x _i	dx _i
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					
	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!					

Figura 4-8 Hoja de cálculo de Morgenstern Price

Fuente. (Propia, 2023)

Spencer

El tercer método a utilizar es el de Spencer, a continuación, podemos ver en las Figuras 4-9 que nos sirven de guía para la descripción de los términos (Spencer 1967).

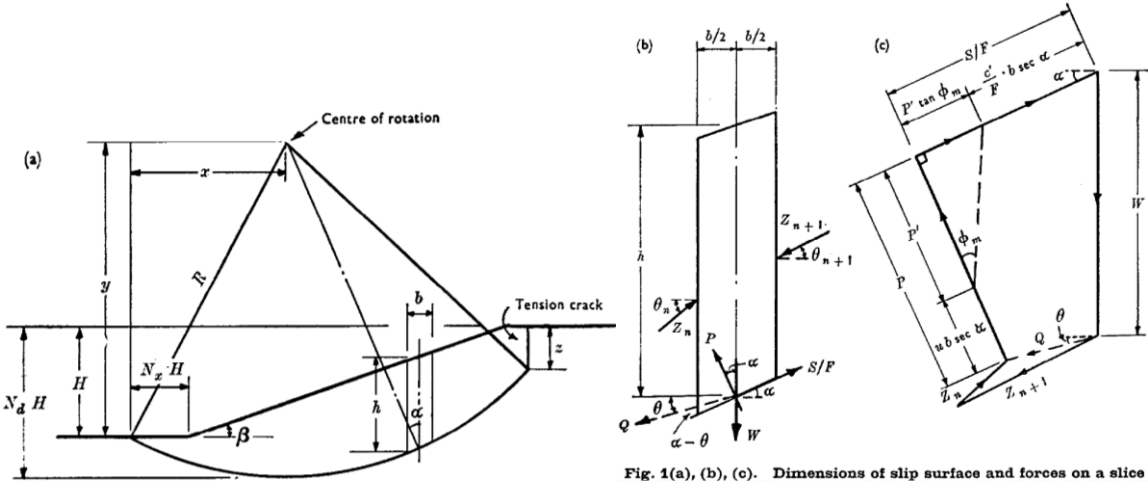


Fig. 1(a), (b), (c). Dimensions of slip surface and forces on a slice

Figura 4-9 Hoja de Spencer imagen de guía de nuestro programa

Fuente. (Spencer, 1967)

ru: coeficiente presión de poro este varía entre 0 y 0,5.

En este método se utiliza otro valor de la presión de los poros que los otros

Ui: Para hallar la presión de poros en Spencer se utiliza la Ecuación 29:

$$U_i = r_u * 1000 * h_{Nf} \quad (\text{Ecuación 29})$$

r_u: coeficiente de la presión de los pros

h_{Nf}: Altura media del Nivel freático

h: Para hallar la altura media de la dovela se utiliza la Ecuación 30:

$$h = \frac{B_2 - B_1}{2} \quad (\text{Ecuación 30})$$

F: Factor de seguridad

Q: La reacción total de la base

$\alpha - \theta$: Para el cálculo de este término se va a utilizar la Ecuación 31.

$$\alpha - \theta = (\alpha - \theta_i + 1) + \text{variacion de } \theta$$

(Ecuación 31)

Q: Para hallar la reacción total de la base se utiliza la Ecuación 32:

$$Q = \left(\frac{C * b_i}{F} * \text{Sec } \alpha + \frac{(\tan(\tan \varphi))}{F} * ((\text{Peso}W + \text{Sobrecarga}) * \cos(\alpha) - U_i * b_i * \text{Sec}(\alpha)) \right. \\ \left. - (\text{Peso}W + \text{Sobrecarga}) * \text{Sen}(\alpha) \right) / (\cos(\alpha - \theta) * (1 + \frac{\tan \varphi}{F}) * \tan(\alpha - \theta))$$

(Ecuación 32)

α : Inclinación del talud con respecto a la horizontal

b_i: Ancho de la dovela

φ : ángulo del estrato

F: Factor de seguridad

C: Coeficiente del estrato

θ: Para hallar la pendiente de la resultante de la reacción total de la base se utiliza la Ecuación 33.

$$\theta = \alpha n - \alpha - \theta \quad \text{(Ecuación 33)}$$

α: Inclinación del talud con respecto a la horizontal

Se realiza la sumatoria de 4 de estos datos los cuales son: Q, Q COS θ, Q SEN θ, Q*RCOS(α-θ), y para saber que el programa se está ejecutando correctamente la sumatoria de Q deberá llegar a 0.

En la Figura 4-10 se puede ver la hoja de Spencer en donde se colocan los datos para que se realicen los cálculos (Propia, 2023).

spencer																								
V° Dovelos	Base 2	Base 1	Altura acumulada	Ancho dovela bl	Sobrecarga	c: coeficiente presión de por	Peso W	α n	cos α n	sen α n	tan α n	tan φ	Sec α n	Ul	h: altura media	α-θ	F	Q	θ	Q COS θ	Q SEN θ	Q*RCOS(α-θ)		
1	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0015	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		
2	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0015	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		
3	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0015	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		
4	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0015	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		
5	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0015	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		
6	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0015	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		
7	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0015	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		
8	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0015	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		
9	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0015	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		
10	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0015	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		
11	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0015	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		
12	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0015	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		
13	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0015	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		
14	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0015	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		
15	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0015	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		
16	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0015	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		
17	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0015	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		
18	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0015	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		
19	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0015	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		
20	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0015	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		
21	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0015	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		
22	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0015	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		
23	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0015	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		
24	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0015	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		
25	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0015	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		
26	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0015	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		
27	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0015	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		
28	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0015	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		
29	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0015	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		
30	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0015	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		
																		Σ =	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		

Figura 4-10 Hoja de Spencer tabla de cálculo de nuestro programa

Fuente. (Propia, 2023)

4.3 Obtención de resultados para la masa de terreno de la Universidad del Azuay

Para ya la obtención de los resultados de la Universidad del Azuay se dividió en 2 con el talud inestable para poder observar cuanto es el cambio con realizado antes y después de haber hecho los diferentes posos y estos como han mejorado la estabilidad de la zona.

Cálculos con el talud inestable.

Estos cálculos son con las condiciones actuales del talud.

Presentación:

En la Presentación Figura 4-11 se debe de colocar las características básicas de la obra (Propia, 2023).

Ubicación de la obra:	Cuenca Azuay
Fecha:	1/5/2023
Institución:	Universidad del Azuay
Altura del terreno:	46m
Largo del terreno:	404m
Tipo de terreno:	Arcilloso y arenoso
Estratos:	
1°	Relleno y matriz arcillosa
2°	cillas claras, negras con precencia de lutitas
3°	Arenas limosas y arcillosas
4°	
5°	
Altura del NF:	21,89

Figura 4-11 Datos de presentación (talud inestable)

Fuente. (Propia, 2023)

La ubicación de la falla es en Cuenca, la fecha en la que se realizó la entrada de los datos en nuestro programa es el 1 de mayo del 2023, la Institución para la cual se está realizando el estudio es para la Universidad del Azuay, la altura del terreno es de 46m y el largo total del mismo es de 404m, el tipo de terreno en donde se está realizando los estudios es arcilloso y arenoso, el nivel freático es de 21,89m.

Tiene 3 tipos de estratos:

El primero es Relleno y matriz arcillosa.

El segundo es Arcillas claras, negras con presencia de lutitas.

El tercero es Arenas limosas y arcillosas.

Datos de entrada:

En los datos de entrada Figura 4-12 se coloca las características generales del talud (Propia, 2023).

Peso de sobre carga en KN=	1854,09
Factor de amplificación o reducción dinámica Fa	1,4
Factor de zona Z =	0,25
Coefficiente de presión de poro ru (varía entre 0 y 0,5) =	0,5
Distancia desde el centro al inicio del deslizamiento d =	14
Radio de superficie de rotación R =	545,65
Ángulo del talud β =	6,6
Número de dovelas =	30
Nivel freático Nf =	21,89
Largo total del deslizamiento desde la corona hasta la lengua =	404
Altura del talud H =	46
Largo desde la punta de la corona hasta el pie del talud=	390
Ángulo del nivel freático =	40

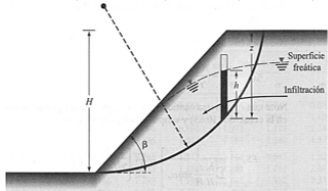


Figura 4-12 Datos de entrada (talud inestable)

Fuente. (Propia, 2023)

- Peso de sobre carga = 1854 Kn
- Factor de amplificación o reducción dinámica $F_a = 1,4$
- Factor de zona $Z = 0,25$
- Coeficiente de presión de poro r_u (varía entre 0 y 0,5) = 0,5
- Distancia desde el centro al inicio del deslizamiento $d = 14$
- Radio de superficie de rotación $R = 545,65$
- Ángulo del talud $\beta = 6,6$

- Número de dovelas = 30
- Nivel freático $N_f = 21,89\text{m}$
- Largo total del deslizamiento desde la corona hasta la lengua = 404m
- Altura del talud $H = 46\text{m}$
- Largo desde la punta de la corona hasta el pie del talud = 390m
- Ángulo del nivel freático = 40°

En los datos de entrada Figura 4-13 se coloca las características generales del talud (Propia, 2023).

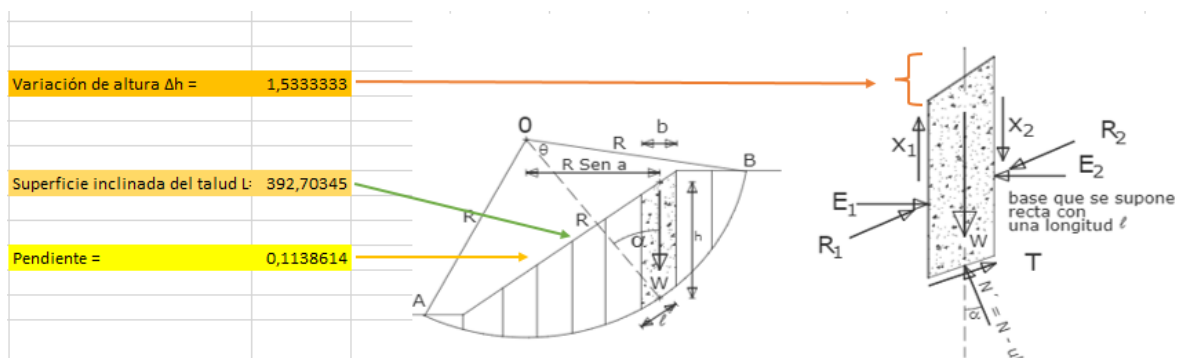


Figura 4-13 Datos del talud (inestable)

Fuente. (Propia, 2023)

- Variación de altura $\Delta h = 1,53\text{m}$
- Superficie inclinada del talud $L = 392,70\text{m}$
- Pendiente = 0,11

Características de cada estrato

En la Figura 4-14 se coloca los datos de cada tipo de estrato que hay en el talud (Propia, 2023).

Peso específico estrato 1 $\gamma_1 =$	1,59	Coefficiente estrato 1 $C_1 =$	1,17	Altura estrato 1 $H_1 =$	2	Ángulo estrato 1 $\phi_1 =$	8,4
Peso específico estrato 2 $\gamma_2 =$	1,563	Coefficiente estrato 2 $C_2 =$	0,41	Altura estrato 2 $H_2 =$	24,8	Ángulo estrato 2 $\phi_2 =$	21,38
Peso específico estrato 3 $\gamma_3 =$	1,329	Coefficiente estrato 3 $C_3 =$	0,55	Altura estrato 3 $H_3 =$	20,1	Ángulo estrato 3 $\phi_3 =$	19,34
Peso específico estrato 4 $\gamma_4 =$		Coefficiente estrato 4 $C_4 =$		Altura estrato 4 $H_4 =$		Ángulo estrato 4 $\phi_4 =$	
Peso específico estrato 5 $\gamma_5 =$		Coefficiente estrato 5 $C_5 =$		Altura estrato 5 $H_5 =$		Ángulo estrato 5 $\phi_5 =$	

Figura 4-14 Datos de los estratos (talud inestable)

Fuente. (Propia, 2023)

Primer estrato:

Relleno y matriz arcillosa:

- Peso específico estrato 1 $\gamma_1 = 1,59$
- Coeficiente estrato 1 $C_1 = 1,17$
- Altura estrato 1 $H_1 = 2\text{m}$
- Ángulo estrato 1 $\varphi_1 = 8,4^\circ$

Segundo estrato:

Arcillas claras, negras con presencia de lutitas:

- Peso específico estrato 2 $\gamma_2 = 1,563$
- Coeficiente estrato 2 $C_2 = 0,41$
- Altura estrato 2 $H_2 = 24,8\text{m}$
- Ángulo estrato 2 $\varphi_2 = 21,38^\circ$

Tercer estrato:

Arenas limosas y arcillosas:

- Peso específico estrato 3 $\gamma_3 = 1,329$
- Coeficiente estrato 3 $C_3 = 0,55$
- Altura estrato 3 $H_3 = 20,1\text{m}$
- Ángulo estrato 3 $\varphi_3 = 19,34^\circ$

En los programas se hizo una división de 30 dovelas en todo el talud.

Los 3 programas tienen varios datos que tienen en común y los cuales comparten los mismos valores tales como:

Base 1 y Base 2 de las dovelas, la disminución de la altura acumulada, el ancho de la dovela, la sobrecarga, la presión de poros, la inclinación del talud con respecto a la

horizontal y sus razones trigonométricas del mismo, la tangente del ángulo del estrato y por último el Peso W que es el peso del bloque de la dovela.

En la Figura 4-15 se puede ver los datos comunes que utilizan los 3 programas para realizar los cálculos (Propia, 2023).

V° Dovelas	Base 2	Base 1	Disminución de altura acumulada	Ancho dovela	Sobrecarga	Uí	Peso W	α n	$\cos \alpha$ n	$\sen \alpha$ n	$\tan \alpha$ n	$\tan \varphi$
1	6,556187	0	1,533333333	13,46666667	61,803	324,56039	90,7742	0,46679	0,89302	0,45003	0,50394	0,14767
2	9,597184	5,022854	3,066666667	13,46666667	61,803	324,56039	175,64	0,43934	0,90503	0,42535	0,46998	0,14767
3	13,73924	9,597184	4,6	13,46666667	61,803	324,56039	267,373	0,41224	0,91622	0,40067	0,4373	0,14767
4	17,48298	13,73924	6,133333333	13,46666667	61,803	324,56039	350,159	0,38546	0,92663	0,37599	0,40576	0,14767
5	20,78256	17,48298	7,666666667	13,46666667	61,803	324,56039	424,284	0,35896	0,93626	0,35131	0,37522	0,14767
6	23,70792	20,78256	9,2	13,46666667	61,803	324,56039	490,002	0,33273	0,94515	0,32663	0,34558	0,14767
7	26,24959	23,70792	10,73333333	13,46666667	61,803	324,56039	547,538	0,30673	0,95333	0,30195	0,31673	0,14767
8	28,41644	26,24959	12,26666667	13,46666667	61,803	324,56039	611,557	0,28095	0,96079	0,27727	0,28858	0,14767
9	42,48298	28,41644	15,33333333	13,46666667	61,803	324,56039	922,741	0,25535	0,96757	0,25259	0,26105	0,14767
10	43,92273	42,48298	3,066666667	13,46666667	61,803	324,56039	1224,69	0,22993	0,97368	0,22791	0,23406	0,14767
11	45,00835	43,92273	4,6	13,46666667	61,803	324,56039	1273,87	0,20465	0,97913	0,20323	0,20756	0,14767
12	45,745	45,00835	6,133333333	13,46666667	61,803	324,56039	1309,35	0,17951	0,98393	0,17855	0,18146	0,14767
13	46,13707	45,745	7,666666667	13,46666667	61,803	324,56039	1331,33	0,15448	0,98809	0,15387	0,15572	0,14767
14	46,18822	46,13707	9,2	13,46666667	61,803	324,56039	1339,96	0,12955	0,99162	0,12918	0,13028	0,14767
15	45,90144	46,18822	10,73333333	13,46666667	61,803	324,56039	1335,37	0,1047	0,99452	0,1045	0,10508	0,14767
16	45,27905	45,90144	12,26666667	13,46666667	61,803	324,56039	1317,67	0,07991	0,99681	0,07982	0,08008	0,14767
17	44,32273	45,27905	13,8	13,46666667	61,803	324,56039	1286,93	0,05517	0,99848	0,05514	0,05523	0,14767
18	43,03354	44,32273	15,33333333	13,46666667	61,803	324,56039	1243,2	0,03047	0,99954	0,03046	0,03048	0,14767
19	41,41192	43,03354	16,86666667	13,46666667	61,803	324,56039	1186,52	0,00578	0,99998	0,00578	0,00578	0,14767
20	39,45771	41,41192	18,4	13,46666667	61,803	324,56039	1116,89	0,0189	0,99982	0,0189	0,0189	0,14767
21	37,17015	39,45771	19,93333333	13,46666667	61,803	324,56039	1034,29	0,04359	0,99905	0,04358	0,04362	0,14767
22	34,54783	37,17015	21,46666667	13,46666667	61,803	324,56039	938,881	0,06831	0,99767	0,06826	0,06841	0,14767
23	31,58876	34,54783	23	13,46666667	61,803	324,56039	829,995	0,09307	0,99567	0,09294	0,09334	0,14767
24	28,29025	31,58876	24,53333333	13,46666667	61,803	324,56039	708,143	0,11789	0,99306	0,11762	0,11844	0,14767
25	24,64897	28,29025	26,06666667	13,46666667	61,803	324,56039	573,006	0,14278	0,98982	0,1423	0,14376	0,14767
26	20,66087	24,64897	27,6	13,46666667	61,803	324,56039	430,386	0,16776	0,98596	0,16698	0,16935	0,14767
27	16,32116	20,66087	29,13333333	13,46666667	61,803	324,56039	355,864	0,19285	0,98146	0,19166	0,19528	0,14767
28	11,62424	16,32116	30,66666667	13,46666667	61,803	324,56039	274,999	0,21806	0,97632	0,21634	0,22158	0,14767
29	6,563666	11,62424	32,2	13,46666667	61,803	324,56039	187,683	0,24341	0,97052	0,24102	0,24834	0,14767
30	1,132077	6,563666	33,73333333	13,46666667	61,803	324,56039	93,7929	0,26893	0,96406	0,2657	0,2756	0,14767
		1,132077		13,46666667				0,29462	0,95691	0,29038		

Figura 4-15 Datos comunes de los programas (talud inestable)

Fuente. (Propia, 2023)

N° Dovelas: 30

Bases: La base 1 siempre empieza siendo 0 mientras que la base 2 es el anterior de la base 1 y este se calcula:

$B1 = 0$

$B2 =$

$$B2 = 0,90503 * 545,65 - 0,89302 * 545,65 = 6,55$$

Y así para el cálculo de todas las bases la base 2 se convierte en la base 1 y para el cálculo de la nueva base 2 se va haciendo el mismo calculo para cada dovela solo quedando como constante la R y el $\cos \alpha$, solo cambiando el $\cos \alpha$ de cada dovela.

Disminución de la altura acumulada: aquí se formula una condición para saber que dato se debe de elegir para el programa:

$$Daa = Si (N^{\circ} de dovela * Ancho de la dovela > d ; N^{\circ} de dovela * \Delta h ; \Delta h)$$

d: Distancia desde el centro al inicio del deslizamiento.

N° de dovela: El número de dovela.

Δh : Variación de la altura.

Eligiendo uno de esos 3 diferentes valores dependiendo si cumple una de esas condiciones

Ancho dovela: Este se obtiene con la fórmula:

$$Ancho dovela = \frac{404}{30} = 13,46m$$

Es la misma para cada dovela.

F impuesto:

El F que se impuso es el 0,0003864

Sobrecarga:

$$Sobrecarga = \frac{1854,09}{30} = 61,803Kn$$

Es la misma para cada dovela.

U_i : Presión de los poros

$$U_i = \frac{1000 * 21,89 * \cos(40)^2}{30} = 324,56$$

Es la misma para cada dovela.

Peso W: Este es el peso del bloque de la dovela este se calcula con la siguiente formula:

La fórmula puede ir variando en cuanto al incremento o disminución de términos conforme se avance en el recorrido del talud, pero esta forma nos ayuda a la idea base de la que se desarrollan todas las demás.

$$W = \frac{1,59 * 1 * (6,55) * 13,46}{2}$$

α_n y Razones trigonométricas de α_n :

Este es el ángulo del talud el cual también se saca el seno, coseno, tangente y secante en el caso de Spencer, para el cálculo de este ángulo se utiliza la fórmula:

$$\alpha_n = \frac{\pi}{2} \text{Acoss}\left(\frac{545,65 - \frac{545,65}{1,86} - \frac{13,46}{2}}{545,65}\right) = 0,46$$

De la inclinación del talud con respecto a la horizontal se saca sus razones trigonométricas tales como el seno, coseno, tangente, secante.

Tangente del ángulo del estrato:

$$\alpha_n = \tan(8,4) * \frac{\pi}{180} = 0,147667153$$

Todos estos valores que vimos para su obtención el Bishop Riguroso, Morgenstern Price y Spencer son los datos que comparten, luego de esto cada uno de los métodos tienen una diferente forma de resolución.

Bishop Riguroso

F impuesto:

El factor de seguridad que nos impusimos para el cálculo de este programa es: 0,000386359.

En la Figura 4-16 se puede ver la hoja de Bishop Riguroso en donde colocamos los datos del talud (Propia, 2023).

Diferencia de fuerza de corte ΔT	Ancho de faja ΔL	p_i	a_i	mD
0,01	1	-21,525	0,07442	68,6637
0,01	1	-8,0135	0,0694	100,995
0,01	1	6,29771	0,06457	131,889
0,01	1	18,895	0,0592	154,892
0,01	1	29,9104	0,05541	170,765
0,01	1	39,4566	0,05103	180,234
0,01	1	47,6298	0,04677	183,988
0,01	1	56,7353	0,04261	186,699
0,01	1	103,502	0,03855	248,681
0,01	1	148,352	0,03456	293,199
0,01	1	154,683	0,03065	271,442
0,01	1	159,026	0,0268	244,813
0,01	1	161,444	0,02299	214,355
0,01	1	161,988	0,01924	181,087
0,01	1	160,698	0,01552	146,012
0,01	1	157,6	0,01183	110,116
0,01	1	152,711	0,00816	74,3756
0,01	1	146,04	0,0045	39,7567
0,01	1	137,584	0,00085	7,22124
0,01	1	127,33	0,00279	22,2717
0,01	1	115,255	0,00644	47,7626
0,01	1	101,328	0,0101	68,2884
0,01	1	85,5063	0,01378	82,8797
0,01	1	67,7349	0,01749	90,5575
0,01	1	47,9486	0,02123	90,3304
0,01	1	26,9597	0,02501	82,1836
0,01	1	16,0852	0,02884	80,0483
0,01	1	4,18551	0,03272	72,8623
0,01	1	-8,7955	0,03667	60,1301
0,01	1	-22,922	0,0407	41,3412

Puede no ser el mismo entre dovela y dovela

Figura 4-16 Datos Bishop Riguroso (talud inestable)

Fuente. (Propia, 2023)

Diferencia de fuerza de corte $\Delta T = 0,01$

Ancho de faja $\Delta L = 1$

p_i :

$$p_i = \left(\frac{90,7742 + 61,803 + 0,01}{0,89302} - 325,56039 * 1 \right) * 0,14767 + 1,17 * 1 = -21,25$$

Estos valores van cambiando por cada dovela debido a que se utilizan datos que tiene cada dovela.

a_i :

$$a_i = 0,50394 * 0,14767 = 0,07442$$

Estos valores van cambiando por cada dovela debido a que se utilizan datos que tiene cada dovela.

mD :

$$mD = (90,7742 + 61,803) * 0,45003 = 68,6637$$

En la Figura 4-17 se puede ver la hoja de Bishop Riguroso en donde colocamos los datos del talud y además nos da el resultado del factor de seguridad (Propia, 2023).

$\Sigma pi =$	2373,63			
$\Sigma ai =$	0,91354			
			FmD=	1,14
MD =	2598,276			
Fo =	0,91354			

Figura 4-17 Resultados Bishop riguroso (talud inestable)

Fuente. (Propia, 2023)

$\Sigma pi =$ Sumatoria de pi en las dovelas=2373,63

$\Sigma ai =$ Sumatoria de los ai de las dovelas=0,911354

MD:

$$MD = \frac{2373,63}{0,91354} = 2598,276$$

Fo:

$$Fo = \frac{2373,63}{2598,276} = 0,91354$$

FmD:

$$FmD = \frac{2373,63 + 324,56039}{1 + 0,91354} = 1,14$$

Nos entrega un factor de seguridad de 1,14 viendo de esta forma que el talud en general se encuentra en condiciones inestables.

Morgenstern Price

En la Figura 4-18 se puede ver la hoja de Morgenstern-Price en donde se colocan los datos para que se realicen los cálculos (Propia, 2023).

cos α n	sen α n	tan α n	tan φ	δi	Función half-sine f(xi)	Fyi	Fxi	Mzi	λ	Ui	Fuerzas Ei	Brazos zi	FS	Inicio de Ei	Inicio de zi	xi	dx _i
0,89301567	0,45002569	0,503939162	0,147667153	0,303092633	0,024492334	1,449838516	0,475341166	10,54135242	12,375	324,5603872	-26,4090887	-4,682617584	1,139590902	0	0	0,024494783	0,015
0,99501041	0,42534524	0,469978934	0,147667153	0,355570233		2,256288851	0,73973253	17,89587225	12,375	324,5603872	-155,951221	-8,02973335	1,139590902				
0,956912693	0,265695742	0,275601713	0,147667153	1,759570233		1,478523183	0,484745664	10,88800892	12,375	324,5603872	0,00098237		1,139590902				

Figura 4-18 Datos Morgenstern Price (talud inestable)

Fuente. (Propia, 2023)

Para el cálculo de Morgenstern-Price se empieza con los siguientes términos.

Kh: Factor de aceleración horizontal durante el sismo

$$Kh = 0,6 * 1,4 * 0,25 = 0,21$$

Función half-sine f(xi):

$$f(xi) = \frac{1}{2} * SEN(0,024494783) + ABS(Sen(0,024494783)) = 0,02449$$

δi:

$$\delta_i = 0,024492334 * 12,375 = 0,303$$

$$\lambda = 12,375$$

Fyi y Fxi:

$$F_{yi} = \cos(6,6) * (90,774 + 61,803) * 1\% = 1,4498$$

$$F_{xi} = \sen(6,6) * (90,774 + 61,803) * 1\% = 0,47534$$

Se va haciendo los cálculos por cada dovela.

M_{1i}: Momento de Fuerzas F_{xi}, F_{yi} rotando alrededor del punto M, el cual es el centro del segmento de la superficie de deslizamiento

$$M_{1i} = \frac{1,4498 * 13,46}{2} + 0,47534 * \frac{6,556 + 0}{4} = 10,54$$

Y así se va haciendo el cálculo de cada dovela para encontrar el Momento de Fuerzas F_{xi}, F_{yi} rotando alrededor del punto M de cada dovela.

Fuerzas E

E: Fuerza ejercidas por bloques vecinos, inclinados desde el plano horizontal por el ángulo δ .

$$E = ((90,774 + 61,803) - 1,4498) * 0,8930 - (0,21 * (90,774 + 61,803) - 0,4753) * 0,45 - 324,560387 + 0 * \text{sen}(0,4667 - 0,303) * \frac{0,1476}{1,1395} = -26,409$$

Y así se va haciendo el cálculo de cada dovela para encontrar las fuerzas E_i de cada dovela.

Brazo z_i:

$$z = \left(\frac{13,466}{2}\right) * ((-26,409 + 1) * \text{sen}(0,555) - \text{cos}(0,55) * \text{tan}(0,5039) + 0) * \text{sen}(0,303) - \text{cos}(0,303) * \text{tan}(0,5039) + 0 * 0 * \text{cos}(0,303) - 10,5413 + 0,21 * 90,774 * \frac{6,55 + 0}{4} / -26,409 * \text{cos}(0,303) = -4,6826$$

Se va haciendo el cálculo del brazo z_i en cada dovela.

Inicio de E_i:

$$E = 0$$

Inicio de z_i:

$$z = 0$$

dx_i:

$$dxi = 0,015$$

x_i :

$$xi1 = 0,02449$$

$$xi2 = 0,02449 + 0,015 = 0,03949$$

Para saber si el programa está en lo correcto de debe de fijar en la última dovela en el valor de las fuerzas el cual debe de ser 0 o con desviación de $\pm 0,5$ y el valor que nos da es 0,00099 diciéndonos que el programa se encuentra bien y el valor del factor de seguridad es de 1,14.

Spencer

En la Figura 4-19 se puede ver la hoja de Spencer en donde se colocan los datos para que se realicen los cálculos (Propia, 2023).

h: altura media	$\alpha-\theta$	F	Q	θ	Q COS θ	Q SEN θ	Q*R COS($\alpha-\theta$)
3,278093565	16,734426	1,14	5186,4597	-16,267633	-4395,1655	2753,5223	-1465504,698
7,310018707	15,804819		7098,4184	-15,365476	-6686,158	-2383,8696	-3855098,466
11,66821373	14,875212		19525,035	-14,462969	-6249,3607	-18497,905	-7168361,55
15,60134255	13,945605		-46866,177	-13,560145	-25566,912	39278,131	-4868807,45
19,12299848	13,015998		-18853,983	-12,657033	-18776,549	1707,0136	-9265172,875
22,24523964	12,086391		-25116,243	-11,75366	-17268,246	-18238,239	-12156111,19
24,9787574	11,156784		-707724,81	-10,850052	102626,77	-700244,36	-61985186,99
27,33301729	10,227177		31825,219	-9,9462307	-27595,533	15853,425	-12068688,11
35,44971067	9,2975703		33110,953	-9,0422191	-30717,443	-12360,172	-17921010,1
43,20285424	8,3679632		103203,03	-8,1380376	-28922,788	-99067,342	-27686060,3
44,46554036	7,4383562		-76562,185	-7,2337056	-44502,522	62300,03	-16867631,94
45,37667402	6,5087492		-40425,783	-6,3292416	-40382,915	1861,2047	-21499550,19
45,94103162	5,5791422		-60246,284	-5,4246635	-39374,378	-45599,046	-25057121,98
46,16264314	4,6495351		212849,68	-4,5199881	-40700,267	208922,17	-7295129,437
46,04483215	3,7199281		44735,252	-3,615232	-39810,535	20405,002	-20440116,51
45,59024816	2,7903211		44836,067	-2,7104112	-40732,338	-18738,985	-22970879,88
44,80089179	1,8607141		243010,04	-1,8055412	-56522,892	-236345,18	-37906361,93
43,67813358	0,9311107		-54572,839	-0,9006375	-33895,761	42769,991	-17775666,88
42,22272665	0,0015		-36920,11	0,0042848	-36919,771	-158,19433	-20145435,17
40,43481371	0,9311107		-50489,261	-0,9122106	-30899,376	39929,865	-16445548,73
38,31392829	1,8607141		207639,4	-1,8171249	-50631,835	-201371,64	-32389008,83
35,85899052	2,7903211		35223,749	-2,7220126	-32168,444	-14349,344	-18046197,16
33,06829709	3,7199281		32078,01	-3,6268584	-28374,637	14962,577	-14656858,44
29,93950544	4,6495351		137774,55	-4,5316468	-24766,315	135530,28	-4722033,017
26,46961154	5,5791422		-34625,165	-5,436362	-22934,546	-25940,482	-14401004,03
22,65492106	6,5087492		-20119,239	-6,3409878	-20085,638	1162,2953	-10699968,14
18,49101303	7,4383562		-31717,862	-7,2455075	-18130,442	26025,177	-6987851,925
13,97269527	8,3679632		33231,205	-8,1499036	-9690,9453	-31786,767	-8914865,462
9,093950453	9,2975703		8453,9876	-9,054158	-7879,9871	-3061,9782	-4575645,993
3,847871406	10,227177		4458,8879	-9,9582518	-3839,3064	2267,4672	-1690889,482
			I =	0,01	-685794,24	-812415,35	-481927766,9

Figura 4-19 Datos Spencer (talud inestable)

Fuente. (Propia, 2023)

Tiene una variación de $\theta = 0,9296$

Y nos imponemos un factor de seguridad de 1,14

r_u : coeficiente presión de poro este varía entre 0 y 0,5 dependiendo del suelo y para el de la zona se va a usar 0,5.

$\alpha - \theta$:

$$\alpha - \theta = (15,804) + 0,9296 = 16,73$$

Q:

$$Q = \left(\frac{1,17 * 13,466}{1,14} * 1,119 + \frac{\tan(0,1476)}{1,14} * ((90,774225 + 61,803) * 0,89301 - U_i * 13,466 * 1,1198) - (P_{90,774225 + 61,803} * 0,45002) / (\cos(16,734) * (1 + \frac{0,1476}{1,14}) * \tan(16,734)) \right) = 5186,4597$$

θ : Pendiente de la resultante de la reacción total de la base

$$\theta = 0,4667 - 16,734 = -16,2676$$

Q COS θ :

$$Q \cos \theta = 5186,4596 * \cos(-16,2676) = -4395,1655$$

$$Sum = -685794,24$$

Q SEN θ :

$$Q \sin \theta = 5186,4596 * \sin(-16,2676) = 2753,5223$$

$$Sum = -812415,35$$

Q*RCOS($\alpha - \theta$):

$$Q * R \cos(\alpha - \theta) = 5186,4596 * 545,65 * \cos(-16,2676) = -1465504,698$$

$$Sum = -481927766,9$$

A la final para saber si el programa está bien realizado se debe de ver la sumatoria de Q se acerca a cero dando que nuestro programa como resultado 0,01 aproximándose bastante a 0, siendo así que 1,14 es la respuesta.

Cálculos con el talud estable

En este se da con condiciones ideales ya con el talud estable para saber cómo ha bajado el nivel freático en cada dovela y cuál es el factor de estabilidad en condiciones estables.

Presentación:

En la Presentación Figura 4-20 se debe de colocar las características básicas de la obra (Propia, 2023).

Ubicación de la obra:	Cuenca Azuay
Fecha:	1/5/2023
Institución:	Universidad del Azuay
Altura del terreno:	46m
Largo del terreno:	404m
Tipo de terreno:	Arcilloso y arenoso
Estratos:	
1°	Relleno y matriz arcillosa
2°	arcillas claras, negras con presencia de lutitas
3°	Arenas limosas y arcillosas
4°	
5°	
Altura del NF:	13,5

Figura 4-20 Datos de presentación (talud estable)

Fuente. (Propia, 2023)

La ubicación de la falla es en Cuenca, la fecha en la que se realizó la entrada de los datos en nuestro programa es el 1 de mayo del 2023, la Institución para la cual se está realizando el estudio es para la Universidad del Azuay, la altura del terreno es de 46m y el largo total del mismo es de 404m, el tipo de terreno en donde se está realizando los estudios es arcilloso y arenoso, el nivel freático es de 13,5m.

Tiene 3 tipos de estratos:

El primero es Relleno y matriz arcillosa.

El segundo es Arcillas claras, negras con presencia de lutitas.

El tercero es Arenas limosas y arcillosas.

Datos de entrada

En los datos de entrada Figura 4-21 se coloca las características generales del talud (Propia, 2023).

Peso de sobre carga en Kf	1854,09
Factor de amplificación o reducción dinámi	1,4
Factor de zona Z	0,25
Coefficiente de presión de poro ru (varía entre 0 y 0,5) =	0,5
Distancia desde el centro al inicio del deslizamiento d =	14
Radio de superficie de rotación R =	545,65
Ángulo del talud β =	6,6
Número de dovelas =	30
Nivel freático Nf =	13,5
Largo total del deslizamiento desde la corona hasta la leng	404
Altura del talud H =	46
Largo desde la punta de la corona hasta el pie del talud=	390
Ángulo del nivel freático =	40

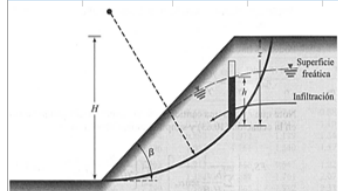


Figura 4-21 Datos de entrada (talud estable)

Fuente. (Propia, 2023)

Peso de sobre carga= 1854,09

Factor de amplificación o reducción dinámica $F_a = 1,4$

Factor de zona $Z = 0,25$

Coefficiente de presión de poro r_u (varía entre 0 y 0,5) = 0,5

Distancia desde el centro al inicio del deslizamiento $d = 14$

Radio de superficie de rotación $R = 545,65$

Ángulo del talud $\beta = 6,6$

Número de dovelas = 30

Nivel freático $N_f = 13,5\text{m}$

Largo total del deslizamiento desde la corona hasta la lengua = 404m

Altura del talud $H = 46\text{m}$

Largo desde la punta de la corona hasta el pie del talud= 390m

Ángulo del nivel freático = 40°

En los datos de entrada Figura 4-22 se coloca las características generales del talud (Propia, 2023).

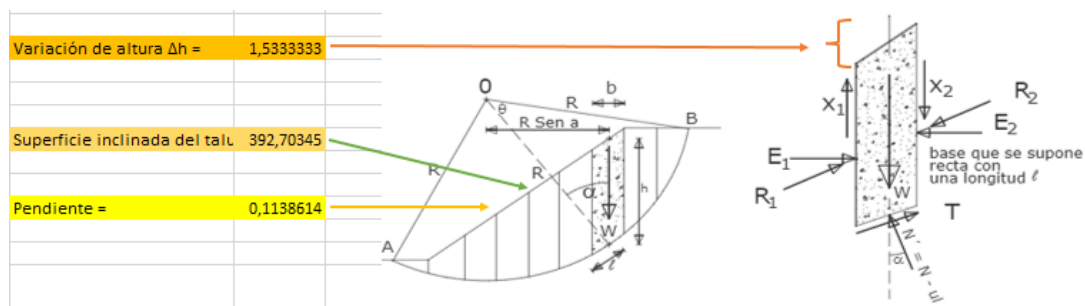


Figura 4-22 Datos del talud (talud estable)

Fuente. (Propia, 2023)

Variación de altura $\Delta h = 1,53\text{m}$

Superficie inclinada del talud $L = 392,70\text{m}$

Pendiente = 0,11

Características de cada estrato

En la Figura 4-23 se coloca los datos de cada tipo de estrato que hay en el talud (Propia, 2023).

Peso específico estrato 1 $\gamma_1 =$	1,59	Coefficiente estrato 1 $C_1 =$	1,17	Altura estrato 1 $H_1 =$	2	Ángulo estrato 1 $\phi_1 =$	8,4
Peso específico estrato 2 $\gamma_2 =$	1,563	Coefficiente estrato 2 $C_2 =$	0,41	Altura estrato 2 $H_2 =$	24,8	Ángulo estrato 2 $\phi_2 =$	21,38
Peso específico estrato 3 $\gamma_3 =$	1,328	Coefficiente estrato 3 $C_3 =$	0,55	Altura estrato 3 $H_3 =$	20,1	Ángulo estrato 3 $\phi_3 =$	19,34
Peso específico estrato 4 $\gamma_4 =$		Coefficiente estrato 4 $C_4 =$		Altura estrato 4 $H_4 =$		Ángulo estrato 4 $\phi_4 =$	
Peso específico estrato 5 $\gamma_5 =$		Coefficiente estrato 5 $C_5 =$		Altura estrato 5 $H_5 =$		Ángulo estrato 5 $\phi_5 =$	

Figura 4-23 Datos de los estratos (talud estable)

Fuente. (Propia, 2023)

Primer estrato:

Relleno y matriz arcillosa:

Peso específico estrato 1 $\gamma_1 = 1,59$

Coefficiente estrato 1 $C_1 = 1,17$

$$\text{Altura estrato 1 } H_1 = 2\text{m}$$

$$\text{Ángulo estrato 1 } \varphi_1 = 8,4^\circ$$

Segundo estrato:

Arcillas claras, negras con presencia de lutitas.

$$\text{Peso específico estrato 2 } \gamma_2 = 1,563$$

$$\text{Coeficiente estrato 2 } C_2 = 0,41$$

$$\text{Altura estrato 2 } H_2 = 24,8\text{m}$$

$$\text{Ángulo estrato 2 } \varphi_2 = 21,38^\circ$$

Tercer estrato:

Arenas limosas y arcillosas:

$$\text{Peso específico estrato 3 } \gamma_3 = 1,329$$

$$\text{Coeficiente estrato 3 } C_3 = 0,55$$

$$\text{Altura estrato 3 } H_3 = 20,1\text{m}$$

$$\text{Ángulo estrato 3 } \varphi_3 = 19,34^\circ$$

En los programas se hizo una división de 30 dovelas en todo el talud.

Los 3 programas tienen varios datos que tiene en común y los cuales comparten los mismos valores tales como:

Base 1 y Base 2 de las dovelas, la disminución de la altura acumulada, el ancho de la dovela, la sobrecarga, la presión de poros, la inclinación del talud con respecto a la horizontal y sus razones trigonométricas del mismo, la tangente del ángulo del estrato y por último el Peso W que es el peso del bloque de la dovela.

En la Figura 4-24 se puede ver los datos comunes que utilizan los 3 programas para realizar los cálculos (Propia, 2023).

N° Dovelas	Base 2	Base 1	Disminución de altura acumulada	Ancho dovela	Sobrecarga	UI	Peso W	α_n	$\cos \alpha_n$	$\sin \alpha_n$	$\tan \alpha_n$	$\tan \varphi$
1	6,5561871	0	1,533333333	13,46666667	61,803	200,1628701	90,77422	0,466794	0,893016	0,450026	0,503939	0,147667
2	9,5971836	5,0228538	3,066666667	13,46666667	61,803	200,1628701	175,6398	0,439344	0,905031	0,425346	0,469979	0,147667
3	13,739244	9,5971836	4,6	13,46666667	61,803	200,1628701	267,3728	0,412243	0,916224	0,400665	0,437301	0,147667
4	17,463441	13,739244	6,133333333	13,46666667	61,803	200,1628701	350,1589	0,38546	0,926626	0,375985	0,405758	0,147667
5	20,782556	17,463441	7,666666667	13,46666667	61,803	200,1628701	424,2841	0,358965	0,936261	0,351305	0,375222	0,147667
6	23,707924	20,782556	9,2	13,46666667	61,803	200,1628701	490,0023	0,332731	0,945154	0,326625	0,345579	0,147667
7	26,249591	23,707924	10,73333333	13,46666667	61,803	200,1628701	547,5385	0,306733	0,953325	0,301945	0,316729	0,147667
8	28,416443	26,249591	12,26666667	13,46666667	61,803	200,1628701	611,5568	0,280947	0,960793	0,277265	0,288579	0,147667
9	42,482978	28,416443	1,533333333	13,46666667	61,803	200,1628701	922,7409	0,255351	0,967575	0,252585	0,26105	0,147667
10	43,92273	42,482978	3,066666667	13,46666667	61,803	200,1628701	1224,692	0,22926	0,973683	0,227905	0,234065	0,147667
11	45,00835	43,92273	4,6	13,46666667	61,803	200,1628701	1273,868	0,204651	0,979132	0,203225	0,207556	0,147667
12	45,744998	45,00835	6,133333333	13,46666667	61,803	200,1628701	1309,352	0,179508	0,983932	0,178545	0,181461	0,147667
13	46,137065	45,744998	7,666666667	13,46666667	61,803	200,1628701	1331,332	0,154479	0,988092	0,153865	0,155719	0,147667
14	46,188221	46,137065	9,2	13,46666667	61,803	200,1628701	1339,962	0,129547	0,991621	0,129185	0,130277	0,147667
15	45,901443	46,188221	10,73333333	13,46666667	61,803	200,1628701	1335,374	0,104696	0,994524	0,104505	0,10508	0,147667
16	45,279053	45,901443	12,26666667	13,46666667	61,803	200,1628701	1317,67	0,07991	0,996809	0,079825	0,08008	0,147667
17	44,322731	45,279053	13,8	13,46666667	61,803	200,1628701	1286,928	0,055173	0,998478	0,055145	0,055229	0,147667
18	43,033536	44,322731	15,33333333	13,46666667	61,803	200,1628701	1243,202	0,03047	0,999536	0,030465	0,030479	0,147667
19	41,411917	43,033536	16,86666667	13,46666667	61,803	200,1628701	1186,52	0,005785	0,999983	0,005785	0,005785	0,147667
20	39,457711	41,411917	18,4	13,46666667	61,803	200,1628701	1116,889	0,018896	0,999821	0,018895	0,018899	0,147667
21	37,170146	39,457711	19,93333333	13,46666667	61,803	200,1628701	1034,29	0,043589	0,99905	0,043575	0,043617	0,147667
22	34,547835	37,170146	21,46666667	13,46666667	61,803	200,1628701	938,6805	0,068308	0,997668	0,068255	0,068415	0,147667
23	31,588759	34,547835	23	13,46666667	61,803	200,1628701	829,9953	0,09307	0,995672	0,092935	0,093339	0,147667
24	28,290252	31,588759	24,53333333	13,46666667	61,803	200,1628701	708,1426	0,117888	0,993059	0,117615	0,118438	0,147667
25	24,648971	28,290252	26,06666667	13,46666667	61,803	200,1628701	573,0055	0,14278	0,989824	0,142296	0,143758	0,147667
26	20,660871	24,648971	27,6	13,46666667	61,803	200,1628701	430,3865	0,167761	0,985961	0,166976	0,169353	0,147667
27	16,321155	20,660871	29,13333333	13,46666667	61,803	200,1628701	355,8642	0,192849	0,981462	0,191656	0,195276	0,147667
28	11,624235	16,321155	30,66666667	13,46666667	61,803	200,1628701	274,9989	0,21806	0,976319	0,216336	0,221583	0,147667
29	6,5636657	11,624235	32,2	13,46666667	61,803	200,1628701	187,6831	0,243412	0,970521	0,241016	0,248336	0,147667
30	1,1320771	6,5636657	33,73333333	13,46666667	61,803	200,1628701	93,79292	0,268926	0,964057	0,265696	0,275602	0,147667
		1,1320771		13,46666667				0,29462	0,956913	0,290376		

Figura 4-24 Datos comunes de los programas (talud estable)

Fuente. (Propia, 2023)

N° Dovelas: 30

Bases: La base 1 siempre empieza siendo 0 mientras que la base 2 es el anterior de la base 1 y este se calcula:

B1= 0

B2=

$$B2 = 0,90503 * 545,65 - 0,89302 * 545,65 = 6,55$$

Y así para el cálculo de todas las bases la base 2 se convierte en la base 1 y para el cálculo de la nueva base 2 se va haciendo el mismo calculo para cada dovela solo quedando como constante la R y el $\cos \alpha$, solo cambiando el $\cos \alpha$ de cada dovela.

Disminución de la altura acumulada:

Aquí se formula una condición para saber que dato se debe de elegir para el programa

$$Daa = Si (N^{\circ} de dovela * Ancho de la dovela > d ; N^{\circ} de dovela * \Delta h ; \Delta h)$$

d= Distancia desde el centro al inicio del deslizamiento

N° de dovela: El número de dovela.

Δh: Variación de la altura.

Eligiendo uno de esos 3 diferentes valores dependiendo si cumple una de esas condiciones

Ancho de la dovela:

$$\text{Ancho dovela} = \frac{404}{30} = 13,46m$$

Es la misma para cada dovela.

F impuesto: el F que se impuso es el 0,0003864

Sobrecarga:

$$\text{Sobrecarga} = \frac{1854,09}{30} = 61,803Kn$$

Ui:

$$U_i = \frac{1000 * 13,5 * \cos(40)^2}{30} = 200,16$$

αn y Razones trigonométricas de αn: Este es el ángulo del talud el cual también se saca el seno, coseno, tangente y secante en el caso de Spencer:

$$\alpha_n = \frac{\pi}{2} \text{Acos}\left(\frac{545,65 - \frac{545,65}{1,86} - \frac{13,46}{2}}{545,65}\right) = 0,46$$

De la inclinación del talud con respecto a la horizontal se saca sus razones trigonométricas tales como el seno, coseno, tangente, secante.

Tangente del ángulo del estrato:

$$\alpha_n = \tan(8,4) * \frac{\pi}{180} = 0,147667153$$

Todos estos valores que vimos para su obtención el Bishop Riguroso, Morgenstern Price y Spencer son los datos que comparten, luego de esto cada uno de los métodos tienen una diferente forma de resolución.

Bishop Riguroso

F impuesto

El factor de seguridad que nos impusimos para el cálculo de este programa es: 0,0004392.

En la Figura 4-25 se puede ver la hoja de Bishop Riguroso en donde colocamos los datos del talud (Propia, 2023).

Diferencia de fuerza de corte ΔT	Ancho de faja ΔL	p_i	a_i	mD
0,01	1	-3,156	0,07442	68,6637
0,01	1	10,3559	0,0694	100,995
0,01	1	24,6671	0,06457	131,889
0,01	1	37,2644	0,05992	154,892
0,01	1	48,2798	0,05541	170,765
0,01	1	57,826	0,05103	180,234
0,01	1	65,9992	0,04677	183,988
0,01	1	75,1047	0,04261	186,699
0,01	1	121,871	0,03855	248,681
0,01	1	166,722	0,03456	293,199
0,01	1	173,052	0,03065	271,442
0,01	1	177,395	0,0268	244,813
0,01	1	179,814	0,02299	214,355
0,01	1	180,358	0,01924	181,087
0,01	1	179,067	0,01552	146,012
0,01	1	175,969	0,01183	110,116
0,01	1	171,081	0,00816	74,3756
0,01	1	164,41	0,0045	39,7567
0,01	1	155,953	0,00085	7,22124
0,01	1	145,699	0,00279	22,2717
0,01	1	133,625	0,00644	47,7626
0,01	1	119,698	0,0101	68,2884
0,01	1	103,876	0,01378	82,8797
0,01	1	86,1043	0,01749	90,5575
0,01	1	66,3181	0,02123	90,3304
0,01	1	45,3291	0,02501	82,1836
0,01	1	34,4547	0,02884	80,0483
0,01	1	22,5549	0,03272	72,8623
0,01	1	9,57395	0,03667	60,1301
0,01	1	-4,5529	0,0407	41,3412

Figura 4-25 Datos Bishop rigurosos (Talud estable)

Fuente. (Propia, 2023)

Diferencia de fuerza de corte $\Delta T = 0,01$

Ancho de faja $\Delta L = 1$

p_i :

$$p_i = \left(\frac{90,7742 + 61,803 + 0,01}{0,89302} - 325,56039 * 1 \right) * 0,14767 + 1,17 * 1 = -3,156$$

a_i :

$$a_i = 0,50394 * 0,14767 = 0,07442$$

Tanto en p_i como en a_i los valores van cambiando por cada dovela debido a que se utilizan datos que tiene cada dovela.

mD:

$$mD = (90,7742 + 61,803) * 0,45003 = 68,6637$$

En la Figura 4-26 se puede ver la hoja de Bishop Riguroso en donde colocamos los datos del talud y además nos da el resultado del factor de seguridad (Propia, 2023).

$\Sigma p_i =$	2924,713			
$\Sigma a_i =$	0,91354			
			FmD=	1,5
MD =	3201,515			
Fo =	0,91354			

Figura 4-26 Resultados Bishop Riguroso (talud estable)

Fuente. (Propia, 2023)

Σp_i :

Sumatoria de p_i de las dovelas = 2924,713

Σa_i :

Sumatoria de a_i de las dovelas = 0,911354

MD:

$$MD = \frac{2924,713}{0,91354} = 3201,515$$

Fo:

$$Fo = \frac{2924,713}{3201,515} = 0,91354$$

FmD:

$$FmD = \frac{2924,73 + 200,16287}{1 + 0,91354} = 1,52$$

$$\delta_i = 0,024492334 * 12,375 = 0,303$$

λ :

$$\lambda = 12,375$$

Fy_i y Fx_i:

$$Fy_i = \cos(6,6) * (90,774 + 61,803) * 1\% = 1,4498$$

$$Fx_i = \sin(6,6) * (90,774 + 61,803) * 1\% = 0,47534$$

Se va haciendo los cálculos por cada dovela.

M1_i:

$$M1_i = \frac{1,4498 * 13,46}{2} + 0,47534 * \frac{6,556 + 0}{4} = 10,54$$

Se fue haciendo el cálculo de cada dovela para encontrar el Momento de Fuerzas Fx_i, Fy_i rotando alrededor del punto M de cada dovela.

Fuerzas E_i

$$E = ((90,774 + 61,803) - 1,4498) * 0,8930 - (0,21 * (90,774 + 61,803) - 0,4753) * 0,45 \\ - 200,16287 + 0 * \sin(0,4667 - 0,303) * \frac{0,1476}{1,515} = -7,7358$$

Brazos z_i:

$$z = \left(\frac{13,466}{2} * ((-115,55211) * \sin(0,555) - \cos(0,55) * \tan(0,5039) + 0) * \sin(0,303) \right. \\ \left. - \cos(0,303) * \tan(0,5039) + 0 * 0 * \cos(0,303) - 10,54 + 0,21 * 90,774 \right. \\ \left. * \frac{6,55 + 0}{4}\right) / -14,277 * \cos(0,303) = -14,277$$

Inicio de E_i:

$$E = 0$$

Inicio de z_i:

$$z = 0$$

$dx_i:$

$$dxi = 0,015$$

$x_i:$

$$x1 = 0,02449$$

$$x2 = 0,02449 + 0,015 = 0,03949$$

Para saber si el programa está en lo correcto de debe de fijar en la última dovela en el valor de las fuerzas el cual debe de ser 0 o con desviación de $\pm 0,5$ y el valor que nos da es 0,00099 diciéndonos que el programa se encuentra bien y el valor del factor de seguridad es de 1,52.

Spencer

En la Figura 4-28 se puede ver la hoja de Spencer en donde se colocan los datos para que se realicen los cálculos (Propia, 2023).

altura media NF	$\alpha-\theta$	F	Q	θ	Q COS θ	Q SEN θ	Q'R COS($\alpha-\theta$)	Progresión de altura del talud	Altura media h
0	16,647343	64,784234	-16,180549	-57,689519	29,489128	-20866,43331		44,46666667	3,278093565
0	15,722574	67,988249	-15,28323	-61,947404	-28,016444	-37093,82878		42,93333333	7,310018707
0	14,797805	168,90906	-14,385562	-41,525984	-163,72497	-56554,47377		41,4	11,66821373
0	13,873036	-296,82717	-13,487576	-179,5392	236,37269	-42284,01323		39,86666667	15,60134255
0	12,948267	-118,60777	-12,589302	-118,57659	2,7195486	-60056,00429		38,33333333	19,1299848
0	12,023498	-145,77198	-11,690767	-93,371788	-111,94275	-68104,7864		36,8	22,24523964
3,212090733	11,098728	-468359,79	-10,791996	94690,678	-458687,88	-26315408,15		35,26666667	24,9787574
7,099683956	10,173959	6312,5816	-9,8930128	5633,2243	2848,988	-2521234,062		33,73333333	27,3301729
16,74971067	9,2491904	12096,321	-8,9938392	-10990,403	-5052,9223	-6498870,761		32,2	35,44971067
26,03618758	8,3244214	49379,45	-8,0944957	-11738,458	-47860,973	-12188349,99		30,66666667	43,20285424
28,83220703	7,3996523	-37535,67	-7,1950017	-22983,493	29676,347	-8988435,411		29,13333333	44,46554036
31,27667402	6,4748833	-21316,175	-6,2953757	-21314,591	259,84628	-11418112,56		27,6	45,37667402
33,37436496	5,5501142	-33400,727	-5,3956355	-21086,351	-25903,173	-13543493,93		26,06666667	45,94103162
35,1293098	4,6253452	128036,27	-4,4957982	-27515,166	125044,8	-6073462,862		24,53333333	46,16264314
36,54483215	3,7005762	27259,696	-3,5958801	-24494,853	11962,157	-12610311,98		23	46,04483215
37,62358149	2,7758071	28004,518	-2,69588972	-25268,787	-12072,341	-14269743,22		21,46666667	45,59024816
38,36755846	1,8510381	140607,17	-1,7958652	-31379,8	-137060,88	-21220466,32		19,93333333	44,80089179
38,77813358	0,926269	-37975,463	-0,8957995	-23730,67	29647,784	-12449791,38		18,4	43,67813358
38,85605999	0,0015	-25814,619	0,0042848	-25814,382	-110,60982	-14085731,15		16,86666667	42,22272665
38,60148038	0,916369	-37783,603	-0,9073726	-23267,821	29769,266	-12386892,41		15,33333333	40,43481371
38,31392829	1,8510381	140320,43	-1,8074489	-32898,104	-136409,45	-21177190,98		13,8	38,31392829
35,85899052	2,7758071	26661,196	-2,7074986	-24188,409	-11213,396	-13585251,91		12,26666667	35,85899052
33,06829709	3,7005762	24622,912	-3,6075064	-21998,391	11061,581	-11390537,71		10,73333333	33,06829709
29,93950544	4,6253452	108835,1	-4,5074569	-22148,021	106557,71	-5162646,316		9,2	29,93950544
26,46961154	5,5501142	-26391,282	-5,4073341	-16899,48	-20270,849	-10701268,86		7,66666667	26,46961154
22,65492106	6,4748833	-15359,253	-6,3071219	-15354,853	367,6132	-8227258,333		6,1333333333	22,65492106
18,49101303	7,3996523	-23911,109	-7,2068036	-14416,904	19076,006	-5725845,811		4,6	18,49101303
13,97269527	8,3244214	26224,194	-8,1063617	-6548,4255	-25393,434	-6486063,899		3,066666667	13,97269527
9,093950453	9,2491904	6493,4757	-9,0057781	-5951,7661	-2641,8512	-3488685,538		1,5333333333	9,093950453
3,847871406	10,173959	3353,8083	-9,9050339	-2974,4144	1549,4801	-1340015,236		0	3,847871406
		Σ	0		-344438,74	-514891,28	-262141028,3		

Figura 4-28 Datos Spencer (talud estable)

Fuente. (Propia, 2023)

Tiene una variación de $\theta = 0,9247$

Y nos imponemos un factor de seguridad de 1,5

r_u : coeficiente presión de poro este varía entre 0 y 0,5 dependiendo del suelo y para el de la zona se va a usar 0,5

U_i :

$$U_i = 0,5 * 1000 * hNf$$

La altura h_{nf} varía según se haga el recorrido de las dovelas a lo largo del talud

h : altura media

$$h = \frac{6,55 - 0}{2} = 3,2780$$

$\alpha - \theta$:

$$\alpha - \theta = (15,72) + 0,9247 = 16,47$$

Q :

$$Q = \left(\frac{1,17 * 13,466}{1,14} * 1,119 + \frac{\tan(0,1476)}{1,14} * ((90,774225 + 61,803) * 0,89301 - 0 * 13,466 * 1,1198) - (P90,774225 + 61,803) * 0,45002 \right) / (\cos(16,647) * (1 + \frac{0,1476}{1,14}) * \tan(16,734)) = 64,784$$

θ : Pendiente de la resultante de la reacción total de la base

$$\theta = 0,4667 - 16,647 = -16,180$$

$Q \cos \theta$:

$$Q \cos \theta = 5186,4596 * \cos(-16,180) = -57,683$$

$$Sum = -344438,74$$

$Q \sin \theta$:

$$Q \operatorname{Sen} \theta = 5186,4596 * \operatorname{sen}(-16,180) = 29,489128$$

$$\operatorname{Sum} = -514891,28$$

$Q * R \operatorname{COS}(\alpha - \theta)$:

$$Q * R \operatorname{cos}(\alpha - \theta) = 64,784 * 545,65 * \operatorname{cos}(-16,180) = -20866,433$$

$$\operatorname{Sum} = -26141028,3$$

A la final para saber si el programa está bien realizado se debe de ver la sumatoria de Q se acerca a cero dando que nuestro programa como resultado 0, siendo así que 1,52 es el Fs mínimo necesario para el cumplimiento de la estabilidad.

5 CAPÍTULO 5. SOLUCIONES, EVALUACIÓN DE FACTIBILIDAD Y EFICACIA

5.1 Drenajes

Los drenajes es un método de estabilización muy efectivo, el mismo es generalmente más económico que otros métodos, este reduce el peso de la masa y aumenta la resistencia del talud debido a que disminuye la presión de los poros.

El objetivo principal de estos métodos es disminuir la presión de poros y de esa forma, aumentar la resistencia al corte, eliminar las fuerzas hidrostáticas desestabilizantes y mejorar el factor de seguridad de las superficies de falla por debajo del nivel de agua. (Suarez, 2009, pág. 47).

Algunos de los tipos de obra de drenaje artificial son:

5.1.1 Zanjas de corona.

Como su nombre lo indica se dan en la parte alta del talud, se emplean para conducir e interceptar el agua de lluvia y así no pase por el talud.

Se deben impermeabilizar las zanjas y darles una pendiente correcta para que la misma se un rápido drenaje del agua captada.

En la Figura 5-1 se puede ver los detalles de una zanja de corona (Jaime Suarez, 2009).

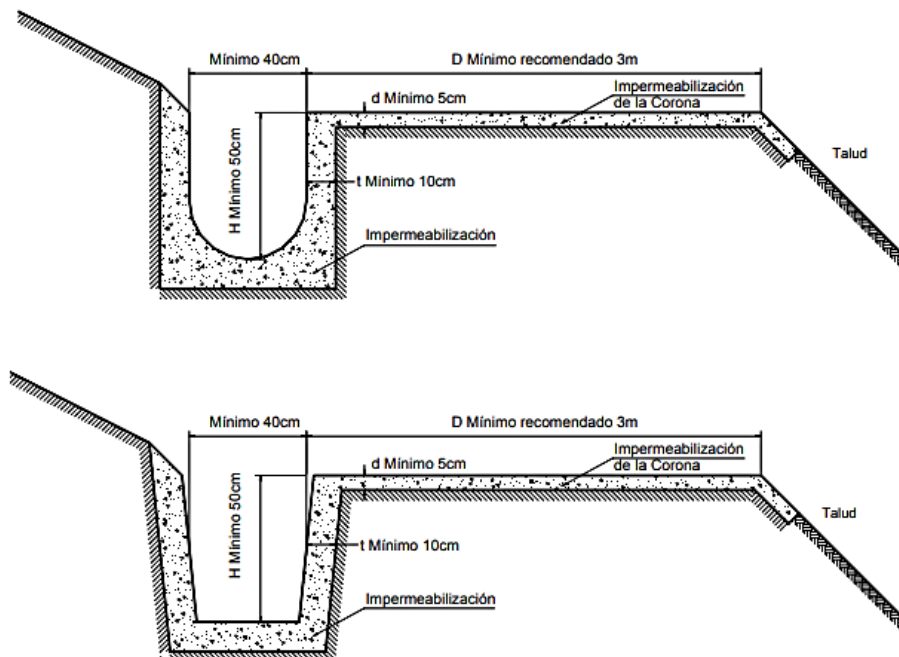


Figura 5-1 Detalle de zanjas de la corona

Fuente. (Jaime Suarez, 2009)

5.1.2 Drenes Franceses.

Son zanjas que no tienen mucha profundidad, las cuales se utilizan para atrapar las aguas de escorrentía, se les rellena con material granular y reduce los problemas de la erosión, pero no se recomienda en deslizamientos profundos debido a que tienen poco efecto.

En la Figura 5-2 se puede ver el esquema de un dren francés (Cornforth, 2005).

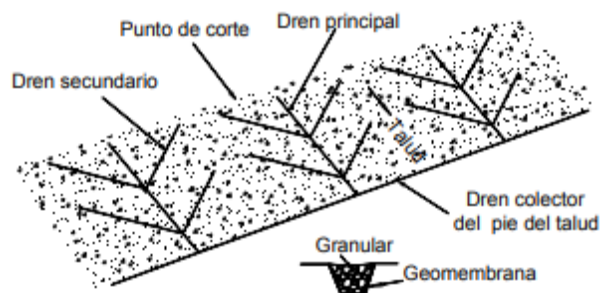


Figura 5-2 Esquema de un dren francés

Fuente. (Cornforth, 2005)

5.1.3 Trinchos o Cortacorrientes.

Son canales transversales al talud (espaciados a intervalos) para recolectar el agua de escorrentía y evitar la formación de corrientes a lo largo de la pendiente principal. La construcción de canales transversales a un talud permite que el agua de escorrentía sea interceptada, impide que su velocidad aumente y la lleva a un lugar seguro. (Suarez, 2009, pág. 53).

Se deben de realizar canales recolectores a los lados del talud para que puedan desembocar las aguas recolectadas, además se deben proteger de la erosión ya sea con vegetación o con suelo-cemento.

En la Figura 5-3 se puede ver los detalles, y las partes de un cortacorriente (Jaime Suarez, 2009).

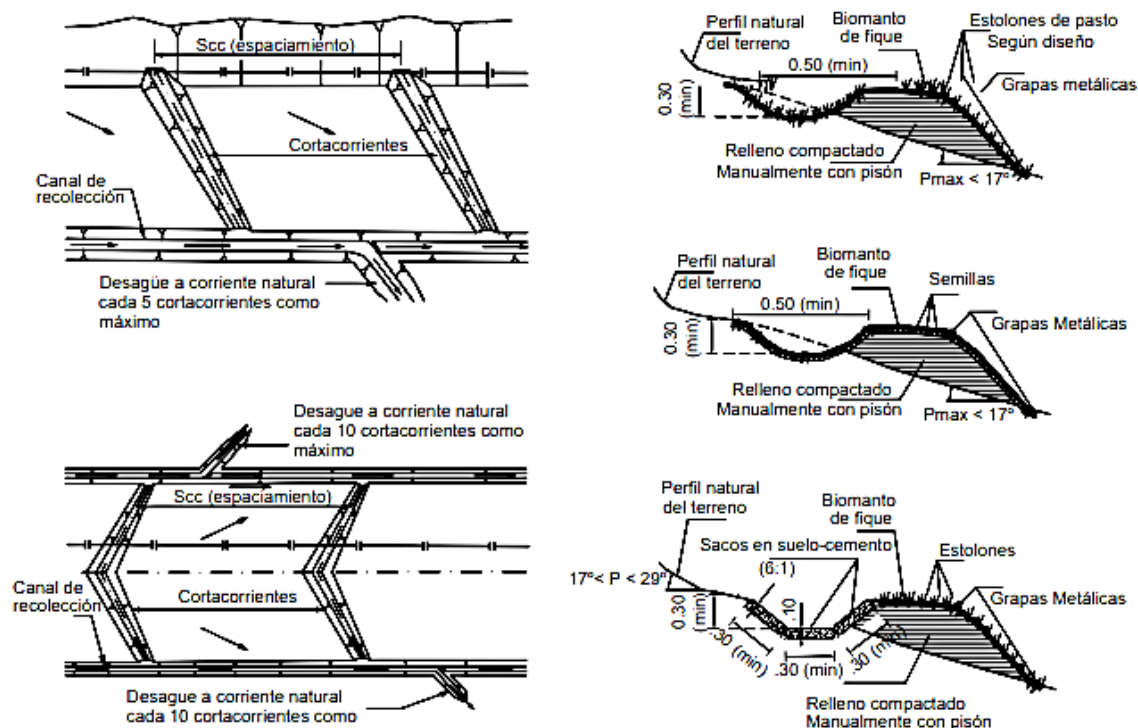


Figura 5-3 Cortacorrientes

Fuente. (Suarez, 2009)

5.1.4 Sellado de grietas con arcilla o mortero

Por las grietas se puede dar la infiltración del agua la cual estas aceleran los movimientos de la tierra, las mismas se pueden sellar o impermeabilizarse ya sea con concreto, suelo compactado, etc.

5.2 Subdrenajes

El drenaje subterráneo busca disminuir o no dejar que aumente la presión de los poros para que así la resistencia del suelo sea mayor, estos son de gran complejidad por la no homogeneidad de los taludes lo que ocasiona que el movimiento de las aguas dentro de los taludes sea irregular, para eso se deben de dar monitoreos con la ayuda de piezómetros y la medición de caudales en los subdrenes, algunos métodos de subdrenaje son:

En la Figura 5-4 se puede ver cómo es un sistema de subdrenaje y sus partes (Jaime Suarez, 2009).

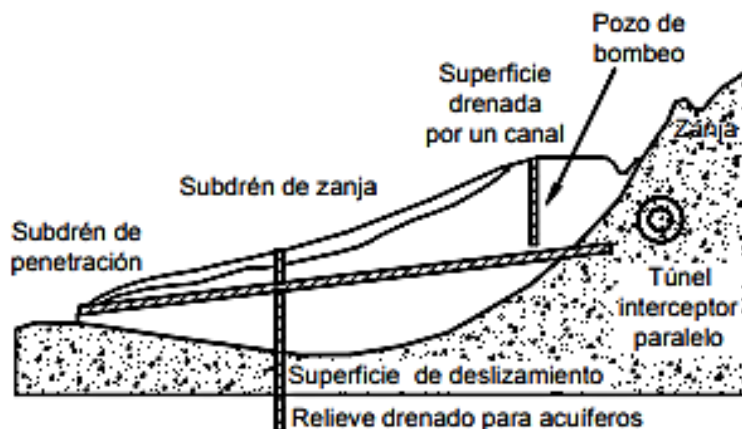


Figura 5-4 Sistema de subdrenaje

Fuente. (Suarez, 2009)

5.2.1 Cortinas impermeables subterráneas.

La función de estas es que el agua no logre tener contacto con la zona de inestabilidad potencial del talud, son zanjas profundas y se rellenan de diferentes materiales tales como arcilla, asfalto, cortinas de inyecciones, etc.

En la Figura 5-5 se puede ver cómo funciona una cortina impermeable y como hace que el talud sea estable (Jaime Suarez, 2009).

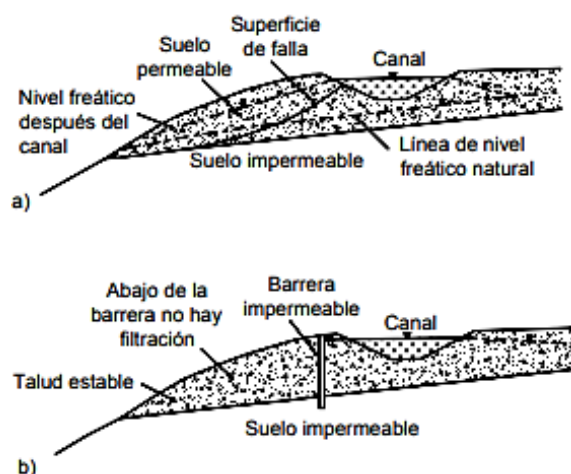


Figura 5-5 Cortina impermeable

Fuente. (Suarez, 2009)

Existen diferentes tipos de las cortinas impermeables como las que se muestran a continuación.

Zanjas de Slurry

Son muros hechos de concreto realizados en formas de paneles en series, luego de su colocación se coloca el refuerzo y se funde el concreto, generalmente tienen un ancho de 2 a 5 metros con un espesor de 60 centímetros, sin embargo, la profundidad del mismo varía según la necesidad del proyecto.

Geomembranas

Son telas impermeables las cuales están elaboradas con geo sintéticos, se pueden elaborar con polietileno de alta densidad o PVC, para su construcción se realiza excavando zanjas, se da la colocación de la geomembrana y se le vuelve a rellenar.

Cortinas de inyecciones

Lo que se busca con esta cortina es impedir el paso del agua a través de las diferentes cortinas para que no pueda llegar al deslizamiento.

Para la construcción de estos se perforan líneas de hechos poco espaciados, los cuales se deben de colocar productos impermeabilizantes tales como polímeros, lechada de cemento u otros productos de baja plasticidad, los cuales se deben colocar a presión.

5.2.2 Cortinas de Columnas de Suelo con Cemento

Se realizan con la mezcla del suelo con el cemento para formar una pared impermeable, los suelos que son idóneos para este tipo de cortina son las gravas, arena y limos, se debe evitar hacer este tipo de cortina cuando los suelos son demasiado duros.

5.2.3 Subdrenes de zanja

Son excavaciones que tienen como objetivo captar y transportar el agua subterránea, estos son muy eficaces para deslizamientos poco profundos y que presenten niveles freáticos superficiales.

En la Figura 5-6 se puede la colocación de un subdren de corona con sus partes (Jaime Suarez, 2009).

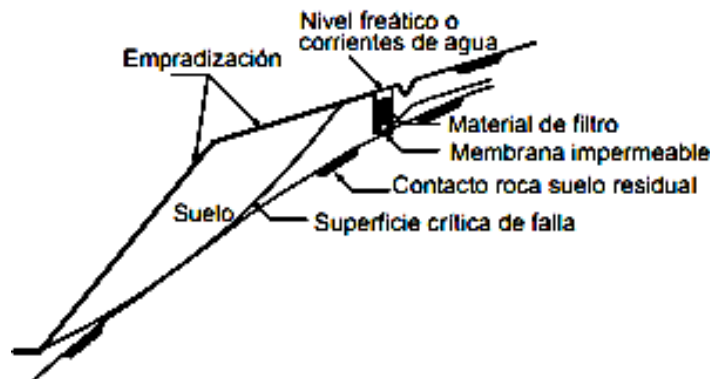


Figura 5-6 Colocación de un subdrén de corona

Fuente. (Suarez, 2009)

Existen diferentes tipos de los subdrenes de zanjas que nos ayudarían a abordar el problema, entre ellos los siguientes.

Zanjas Abiertas

Son zanjas profundas las cuales deben de ser más profundas que el nivel freático, las cuales hacen que se dé un afloramiento de agua subterránea en las paredes de la zanja.

Subdrenes Contrafuerte

Se colocan a lo largo de la línea de mayor pendiente o también se le puede colocar en la dirección del deslizamiento, estos subdrenes buscan mejorar la resistencia de la zona de superficie de falla y además bajar el nivel freático, con ayuda de material granular.

Subdrenes Interceptores

Se colocan en sentido transversal del talud, generalmente van colocadas en la parte alta del talud donde las fuerzas actuantes y donde hay más riesgo de desestabilización., estos buscan captar el agua antes de que lleguen al talud.

Subdrenes “Espina de Pescado”

Se da la construcción de varios subdrenes los cuales ayudan al agua a llegar a un dren central para así lograr cubrir una mayor área.

Subdrenes de penetración

Es una tubería perforada que se debe colocar dentro de una masa de suelo, haciendo una perforación profunda con una pequeña pendiente, el fin del mismo es abatir el nivel freático hasta que la estabilidad del talud sea el deseado, son rápidos y simples de instalar y se consigue aumentar rápidamente el factor de seguridad, los tubos utilizados para la instalación del mismo pueden ser de polietileno, PVC o metálicos.

5.2.4 Galerías de drenaje

El objetivo del mismo es disminuir las presiones de los poros y también ayudar a controlar las corrientes de agua que se encuentran dentro del talud, mejora la estabilidad de los taludes y generalmente se utilizan cuando son grandes deslizamientos.

Generalmente para la construcción del túnel se le colocan travesaños y apoyos de madera para que el mismo no colapse, la pantalla de concreto se lo debe colocar sobre un sistema de drenaje para que la salida del agua sea más fácil.

5.3 Galerías de infiltración

La función principal de las galerías es para la captación y conducción del agua subterráneas, ayudando a que pueda cumplir con diferentes funciones ya sea llevando agua a comunidades las cuales no cuentan con llegada de agua o también como para sacar el agua para la estabilización de un talud para bajar el nivel piezométrico del talud.

Para la construcción de las mismas se debe de hacer con una gran planificación para que tenga un buen funcionamiento, todo dependerá del lugar donde se desea de hacer este tipo de galería, como el tipo de material donde se lo desea excavar, dureza del suelo, profundidad a que se encuentran las aguas subterráneas.

5.3.1 Clasificación de las galerías

Según sus características constructivas

Galerías

Excavaciones horizontales, la parte superior de la galería se encuentra en la zona húmeda, se dan para paso de equipos y de personas encargadas del mantenimiento.

Zanjas

Excavaciones a cielo abierto, se realizan cuando el agua subterránea no se encuentra a gran profundidad.

Drenes

Perforaciones horizontales las cuales se instalan tuberías en el interior, se instalan en las zonas húmedas del acuífero.

Captaciones mixtas

Se combinan los drenes y las galerías con las captaciones verticales, se realizan cuando las aguas subterráneas están a gran profundidad.

Criterios de diseño para galerías filtrantes

Para realizar el diseño de la mismo se necesita diferentes datos, en donde engloba la geomorfología, la morfología del río, primeramente, se debe de dar un análisis granulométrico del suelo.

Se debe de realizar un sondeo geo eléctrico en donde se quiere determinar la profundidad de la roca en las aguas subterráneas, identificar los estratos y las profundidades de cada uno en las aguas subterráneas, con esto se conocerá el límite del emplazamiento vertical de la galería.

Se realiza la instalación de piezómetros, es una de las más importantes puesto que esto va a hacer que se vea en donde está ubicado el nivel freático.

En la Figura 5-7 el montaje de los piezómetros para realizar una galería filtrante (PRONAR, 2004).

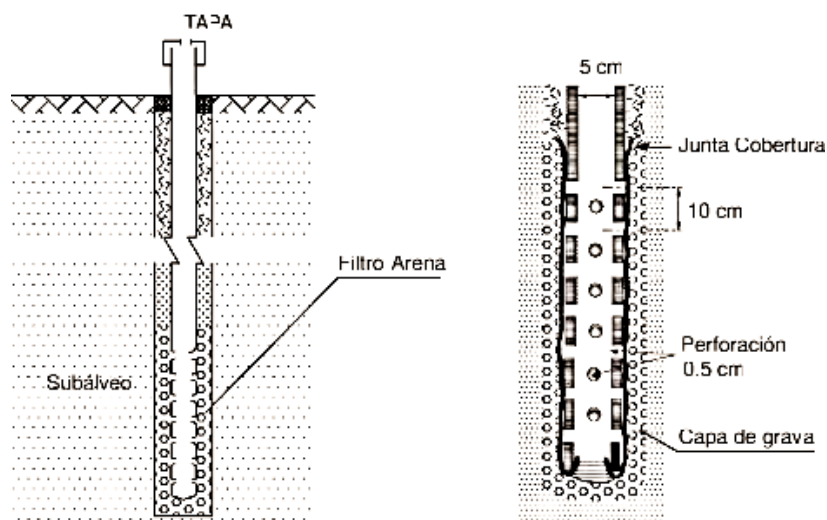


Figura 5-7 Montaje de piezómetros. Galerías filtrantes

Fuente. (PRONAR, 2004)

Se debe de saber la dirección del flujo subterráneo para poder orientar a la galería y nos dé un mayor rendimiento, se debe de realizar pruebas de bombeo para conocer la conductividad hidráulica.

5.4 Pozos de agua

5.4.1 Pozos verticales de drenaje

Son excavaciones verticales de varios metros los cuales intentan aliviar las presiones de los poros en mantos profundos los cuales no se puede usar los drenes de zanjas debido a que no llegan a esos lugares, a veces se puede colocar mallas o entibados para evitar la caída de las paredes.

En la Figura 5-8 se ve como es un pozo vertical de drenaje con subdrenes de penetración en el terraplén de una carretera (FHWA, 1988).

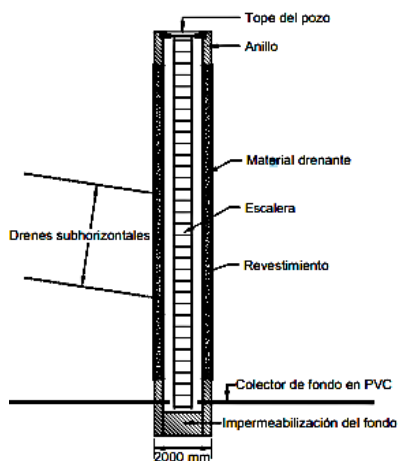


Figura 5-8 Pozos verticales de drenaje con subdrenes de penetración en el terraplén de una carretera

Fuente. (FHWA, 1988)

5.4.2 Pozos verticales con subdrenes de penetración

Para la construcción de este tipo de pozo, primeramente, se da la construcción del pozo vertical para después se coloque grupos de drenes horizontales en forma radial dentro de este.

En la Figura 5-9 se ve como es un pozo vertical de drenaje con subdrenes de penetración en el terraplén de una vía y sus partes. (FHWA, 1988).

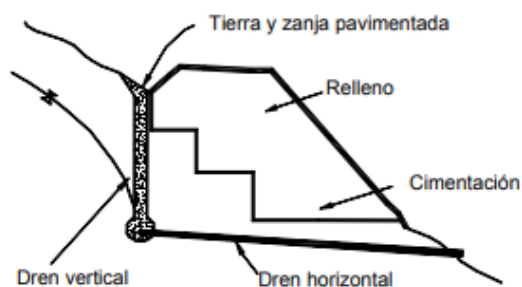


Figura 5-9 Pozos verticales de drenaje con subdrenes de penetración en el terraplén de una vía

Fuente. (FHWA, 1988)

5.4.3 Pozos interconectados

Son grupos de pozos verticales los cuales por la parte inferior del mismo se da la construcción de los pozos horizontales.

En la Figura 5-10 se ve como es un pozo vertical con drenes horizontales con sus debidas partes. (Cornforth, 2005).

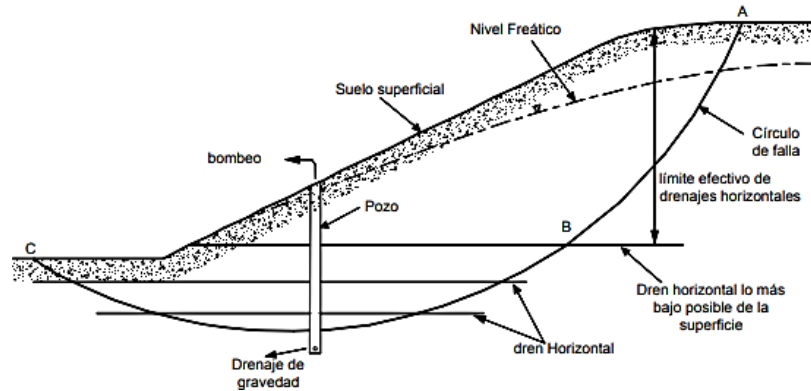


Figura 5-10 Principio de un sistema de pozo vertical con drenes horizontales para la estabilización de los deslizamientos

Fuente. (Cornforth, 2005)

En la Figura 5-11 se ve como es la combinación de pozos verticales y subdrenes horizontales (Suarez, 2009).

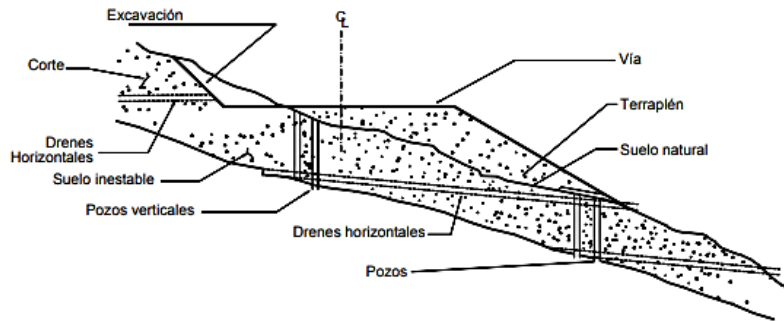


Figura 5-11 *Combinación de pozos verticales y subdrenes horizontales*

Fuente. (Suarez, 2009)

5.4.4 Pozos de alivio

“Los pozos de alivio se instalan para bajar las presiones de agua en condiciones artesianas. Las cabezas artesianas se desarrollan cuando un estrato permeable se encuentra cubierto por un estrato impermeable que atrapa las presiones e impide su disipación.” (Suarez, 2009, pág. 103).

Se utilizan para reducir las presiones interinas, se colocan la línea de pozos de alivio a determinadas distancias para lograr reducir esas presiones, pero también se pueden construir con una pendiente para que sea más eficiente.

En la Figura 5-12 se ve como un pozo de alivio y como reduce las presiones artesianas. (Cornforth, 2005).

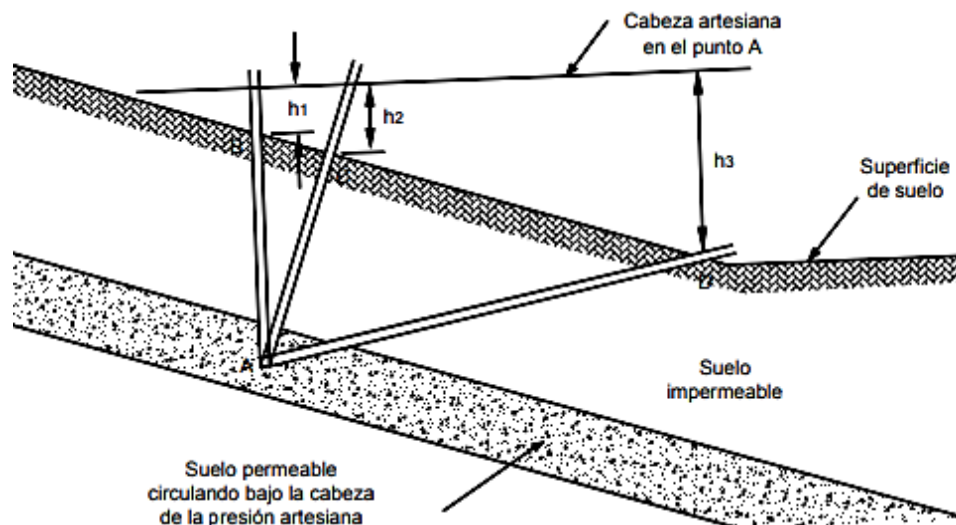


Figura 5-12 Reducción de presiones artesianas con el uso de pozos de alivio inclinados

Fuente. (Cornforth, 2005)

El espaciamiento entre puntos varía normalmente, entre 1 y 3 metros. El bombeo genera un vacío parcial en los pozos y el agua sube para ser posteriormente extraída. Los sistemas de pozos de bombeo son fáciles de instalar y el número de pozos puede aumentarse o disminuirse de acuerdo con las condiciones encontradas en el sitio, en el momento de su construcción. (Suarez, 2009, pág. 104).

En la Figura 5-13 se ve cómo se da el uso de puntos de bombeo como complemento de los pozos de bombeo profundos en excavaciones. (Powers, 1992).

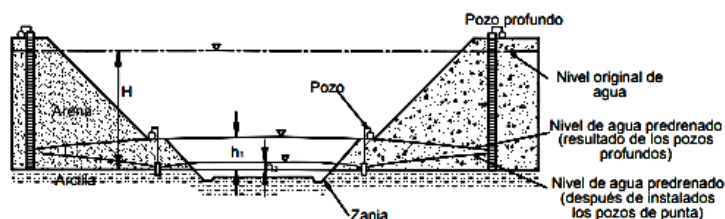


Figura 5-13 Uso de puntos de bombeo como complemento de los pozos de bombeo profundos en excavaciones

Fuente. (Powers, 1992)

6 RESULTADOS

Se eligió los pozos de absorción agua, debido a que es de una más fácil instalación que las demás y además no es tan costoso como otras, esta nos da mejores resultados costo-beneficio, puesto que va a ayudar mucho a que la captación de agua sea mejor, haciendo que no se infiltre el agua por completo en el talud y así reduciendo su desplazamiento, en el caso de los drenajes su costo es muy excesivo puesto que va a cumplir la misma función que el pozo de agua, su mantenimiento puesto que siempre hay que comprobar que no existan obstrucciones por lo que se descartó esta idea para ayudar a reducir el desplazamiento del área de la Universidad del Azuay, en los subdrenes hay alguno tipos de los mismos como los de zanja que no ayudarían debido a que no están realizadas para captar agua en lugares tan profundos u otros que pueden ser usados para tal profundidad pero debido a su costo de instalación no sale rentable, las galerías de infiltración es un método el cual se tomó mucho en cuenta debido a que ayuda mucho a la captación de agua, lo que va a permitir poder llevar esa agua a un lugar donde no afecte al talud, pero es mucho más costoso que los pozos de agua y además para la realización del mismo se necesita muchos más estudios por su alta complejidad.

Se sugiere comenzar con la instalación de al menos 4 pozos de agua en diferentes lugares de la zona para que se dé una mayor captación de agua los cuales van a estar en diferentes ubicaciones de la Universidad ayudando a ser una mejor captación de agua y así ayudando a que sea menor el deslizamiento el cual se trata.

6.1.1 Ubicación de pozos

Pozo 1

El primer pozo se encuentra encima del Parque libre Aventura, este tiene una profundidad de 35m, que empieza la altitud del pozo en los 2532msnm y el fin del pozo es a los 2496.98msnm.

En la Figura 6-1 se ve el dibujo en AutoCAD de Pozo 1. (Propia, 2023).

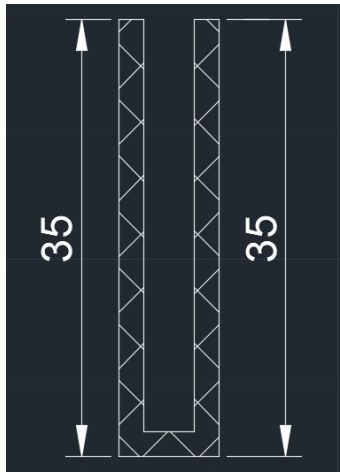


Figura 6-1 Pozo 1 de 35m

Fuente. (Propia, 2023)

Pozo 2

El segundo pozo se ubica en el parqueadero privado que se encuentra encima de la facultad de ciencia y tecnología de la Universidad, este tiene una profundidad de 15.5m, empezando a una altitud de 2534.40msnm, hasta el final del pozo que se encuentra a las 2518,18msnm.

En la Figura 6-2 se ve el dibujo en AutoCAD de Pozo 2. (Propia, 2023).

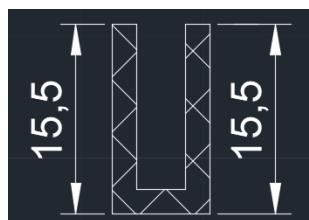


Figura 6-2 Pozo 2 de 15.5m

Fuente. (Propia, 2023)

Pozo 3

El pozo 3 se encuentra en el área de diseño y arquitectura de la Universidad, con una profundidad de 8m, se encuentra una altitud de 2516.03msnm, hasta el final del pozo que se encuentra a las 2507,96msnm.

En la Figura 6-3 se ve el dibujo en AutoCAD de Pozo 3. (Propia, 2023).



Figura 6-3 Pozo 3 de 8m

Fuente. (Propia, 2023)

Pozo 4

La ubicación del cuarto pozo se encuentra encima de la autopista a lado de la calle Hernán Malo, con una profundidad de 17m, se encuentra una altitud de 2553msnm, hasta el final del pozo que se encuentra a las 2535,90msnm.

En la Figura 6-4 se ve el dibujo en AutoCAD de Pozo 4. (Propia, 2023).

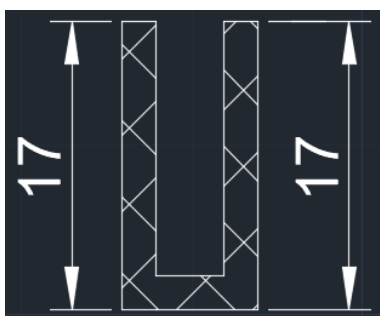


Figura 6-4 Pozo 3 de 17m

Fuente. (Propia, 2023)

En la Figura 6-5 se muestran las ubicaciones más pertinentes donde el dren del agua infiltrada en los estratos pueda darse de la mejor manera (Universidad del Azuay, 2022).



Figura 6-5 *Ubicación de los diferentes pozos*

Fuente. (Universidad del Azuay, 2022)

7 CONCLUSIONES

Lo que se buscó en el programa es una solución para bajar el Nf del talud para que así este esté en condiciones estables, el programa en condiciones de inestabilidad nos dio el valor del factor de seguridad de 1,14, con las alturas del Nf demasiado altas, así afectando al talud por la infiltración del agua, la solución que se vio con más viabilidad fue la de la construcción de 4 pozos ubicados en diferentes partes de la UDA y también en las afueras de la misma, ubicando en las zonas donde se encuentra más vulnerable el talud tales como, encima del Parque libre Aventura, en el parqueadero privado que se encuentra encima de la facultad de ciencia y tecnología de la Universidad, son encima de la autopista a lado de la calle Hernán Malo, en el área de diseño y arquitectura de la Universidad, son encima de la autopista a lado de la calle Hernán Malo, con una profundidad de 35m, 15,5m, 8m y 17m respectivamente, se eligió estas profundidades para que los diferentes materiales que se encuentran en la zona no se saturen, luego se realizó el programa con condiciones estables para saber cómo sería que en realidad debería ser la altura del Nf en condiciones de estabilidad.

En la Figura 7-1 para evidenciar como cambian las alturas del Nivel freático en cada dovela durante condiciones estables e inestables (Propia, 2023).

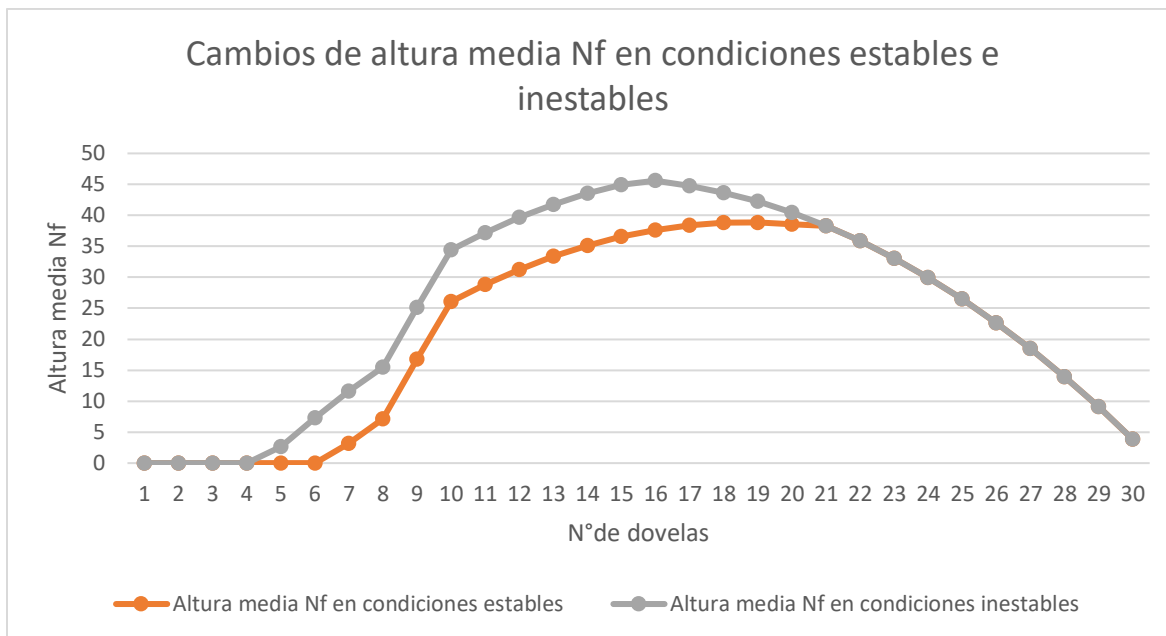


Figura 7-1 Comparación del incremento de llenado de agua en las dovelas durante condiciones estables e inestables a causa de la disminución del Nf

Fuente. (Propia, 2023)

Como se puede evidenciar la altura media de Nf en condiciones estables, es mucho más baja en las primeras dovelas, volviendo a adaptarse a la altura media Nf en condiciones inestables, lo que quiere decir que la filtración de agua en el talud va a ser mucho menor puesto que en las primeras partes del talud va a haber menos afectación por parte del agua haciendo que el talud se estabilice.

8 LISTA DE REFERENCIAS

Arteaga, H., Coreas, L., & Alvarado, B. (2004). *APLICACIONES DEL CONCRETO LANZADO EN ESTABILIZACIÓN DE TALUDES ANCLADOS Y REVESTIMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES* [Tesis de licenciatura, Universidad de el Salvador]. Repositorio Universitario.

Badillo, J., & Rodriguez, R. (2005). *Mecánica de suelos*. Limusa.

Barrera, M., & Garnica, P. (2002). *INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA DE SUELOS NO SATURADOS EN VÍAS TERRESTRES*. SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES.

Braja, M. (2001). *FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTÉCNICA*. THOMSOM LEARNING.

Castañón, P. (2011). *Cálculo del factor de erosión de la lluvia en las estaciones Papaloapan y Cd. Alemán de la cuenca del Papaloapan* [Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio institucional.

Chambre d'agriculture Indre. (2006). *Les grands types des sols*. N/A: Chambre d'agriculture d'Indre.

CONSTRUCCIÓN, N. E. (2014). *CARGAS SÍSMICAS DISEÑO SISMO RESISTENTE*. NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN.

Cruden, D., & Varnes, D. (1996). *Landslide Types and Processes*. National Academy Press.

Data, C. (2021). *Clima Cuenca*. Obtenido de Climate Data: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-del-azuay/cuenca-875185/#climate-table>

Domínguez, M. (2018). *Análisis de taludes por el método Bishop [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]*. Repositorio Institucional.

Espinoza , M. (2003). *Aplicaciones computacionales en geotecnia de carreteras*. Instituto Panamericano de Carreteras.

ETAPA EP. (06 de 2017). *APÉNDICE 6 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES*.
 Obtenido de ETAPA:
https://www.etapa.net.ec/Portals/0/Documentos/licitacion%20publica%20planta%20guangarcuc%20ho/ANEXO%204/FASE%202/APENDICE%206/Ap%C3%A9ndice%206_An%C3%A1lisis%20Estabilidad%20de%20Taludes.pdf?ver=2021-08-04-171053-287

Hernández, W., Ticay, S., & Rubio , J. (2007). *Guía para la gestión local de riesgo por DESLIZAMIENTOS*. Proyecto Sistema de Monitoreo de Deslizamientos (SIMDE/GTZ).

Mongestern, & Price. (1965). The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces. *Geotechnique*, 15(1).

Organización Panamericana de la Salud. (1997). *Vulnerabilidad de los Sistemas de Agua Potable Frente a Deslizamientos*. CEPIS. Obtenido de Disaster-info.

Pacurucu, N., Acosta, E., & Morocho, V. (2018). MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESLIZAMIENTOS USANDO PP GIS Y TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN. *GEOESPACIAL*, 15(3), 54-65.

PROAGRO, P. (2004). *Galerías Filtrantes*. PROAGRO.

Ramírez, P., & Alejano, L. (2004). *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes*. Universidad Politécnica de Madrid.

Ruellan, A. (2010). Le sol: un milieu original. En A. Ruellan, *Des sols et des hommes Un lien menacé* (págs. 15-25). Marseille: IRD Éditions.

Salud, O. P. (2002). *MANUAL DE DISEÑO DE GALERÍAS FILTRANTES*. Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación.

Sánchez, D., & Merchan, J. (2013). *EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES EN UN SECTOR DE LA CANTERA DE MATERIALES PÉTREOS "LAS VICTORIAS"* [Tesis de licenciatura, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://docplayer.es/25126180-Universidad-de-cuenca-facultad-de-ingenieria-escuela-de-ingenieria-civil.html>

Sedan, O., Bertil, D., & Thierry, W. (2006). *Développer la connaissance des risques naturels pour mieux les prévenir*. Infoterre.

Sobrecases, S., Valiente, R., & Díaz, A. (2015). Estabilidad de Taludes: Conceptos Básicos, Parámetros de Diseño y Métodos de Cálculo. *CIVILIZATE*, 1(7), 1-5.

Spencer, E. (1967). A Method of Analysis of the Stability of Embankments. *Geotechnique*, 17(1).

Suarez, J. (2009). *Deslizamientos*. Universidad Industrial de Santander UIS.

Tarbut, E., & Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la tierra*. Pearson Prentice Hall.

Terzaghi, K. (1943). *THEORETICAL SOIL MECHANICS*. John Wiley & Sons, Inc.

Terzaghi, K., & Peck, R. (1973). *Mecánica de suelos en la ingeniería práctica*. EL ATENEÓ.

Universidad del Azuay. (2023). *SISTEMA DE REGISTRO DE DESLIZAMIENTOS*. Obtenido de IERSE: <https://gis.uazuay.edu.ec/proyectos/deslizamientos/#12/-2.9556/-78.9035>

Vallejo, G. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Prentice Hall.

Weatherspark. (2023). *Datos históricos meteorológicos en Cuenca*. Obtenido de Weatherspark: <https://es.weatherspark.com/h/r/19348/Datos-hist%C3%B3ricos-meteorol%C3%B3gicos-en-Cuenca-Ecuador>