



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CALCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD DE LOS SUELOS EN
ARCILLAS (TALUDES) EN SUELOS PARCIALMENTE SATURADOS Y
100% SATURADOS

ZAMBRANO GOMEZ MAURICIO ANTONIO
INGENIERO CIVIL

MACHALA
2021



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CALCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD DE LOS SUELOS EN
ARCILLAS (TALUDES) EN SUELOS PARCIALMENTE
SATURADOS Y 100% SATURADOS

ZAMBRANO GOMEZ MAURICIO ANTONIO
INGENIERO CIVIL

MACHALA
2021



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

EXAMEN COMPLEXIVO

CALCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD DE LOS SUELOS EN ARCILLAS
(TALUDES) EN SUELOS PARCIALMENTE SATURADOS Y 100% SATURADOS

ZAMBRANO GOMEZ MAURICIO ANTONIO
INGENIERO CIVIL

CABRERA GORDILLO JORGE PAUL

MACHALA, 22 DE SEPTIEMBRE DE 2021

MACHALA
22 de septiembre de 2021

FACTOR DE SEGURIDAD_ZAMBRANO MAURICIO

por Mauricio Zambrano

Fecha de entrega: 25-ago-2021 11:15p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1636099844

Nombre del archivo: FACTOR_DE_SEGURIDAD_ZAMBRANO_MAUICIO.docx (2.06M)

Total de palabras: 4659

Total de caracteres: 25199

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, ZAMBRANO GOMEZ MAURICIO ANTONIO, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado CALCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD DE LOS SUELOS EN ARCILLAS (TALUDES) EN SUELOS PARCIALMENTE SATURADOS Y 100% SATURADOS, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 22 de septiembre de 2021



ZAMBRANO GOMEZ MAURICIO ANTONIO
0706969391

FACTOR DE SEGURIDAD_ZAMBRANO MAURICIO

INFORME DE ORIGINALIDAD

7%

INDICE DE SIMILITUD

6%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.ulvr.edu.ec

Fuente de Internet

1%

2

Submitted to Universidad Andina del Cusco

Trabajo del estudiante

1%

3

archive.org

Fuente de Internet

1%

4

Submitted to Universidad Técnica de Machala

Trabajo del estudiante

1%

5

repositorio.utmachala.edu.ec

Fuente de Internet

1%

6

Francisco José Colomer Mendoza. "Análisis y sistematización de la seguridad medioambiental de los vertederos controlados de residuos urbanos y asimilables. Aplicación a las balsas de lixiviados", Universitat Politecnica de Valencia, 2006

Publicación

<1%

7

repositorio.unfv.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

8

Landslide Science and Practice, 2013.

Publicación

<1 %

9

repositorio.uis.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

10

www.barnesandnoble.com

Fuente de Internet

<1 %

11

repositorio.unsm.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

12

repositorio.uta.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

13

www.combino-pharm.es

Fuente de Internet

<1 %

14

www.coursehero.com

Fuente de Internet

<1 %

15

www.hortalizas.com

Fuente de Internet

<1 %

16

F. Maselli. "Automatic mapping of soil texture through the integration of ground, satellite and ancillary data", International Journal of Remote Sensing, 2008

Publicación

<1 %

17

repositori.udl.cat

Fuente de Internet

<1 %

18

repositorio.uncp.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

19

Vicente Eduardo Capa Guachón. "Estudio experimental y numérico del comportamiento de excavaciones ejecutadas mediante la técnica de suelo claveteado (soil nailing) en suelos de la ciudad de Quito (Ecuador).", Universitat Politecnica de Valencia, 2021

Publicación

<1 %

20

mecanicadesuelos1unitec.wordpress.com

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Activo

AGRADECIMIENTO

Agradezco con todo mi corazón a mi padre celestial, por permitirme día tras día sonreír ante todos mis logros, y siempre que he caído me he levantado con su ayuda, he aprendido de mis errores y así voy mejorando todos los días, además agradezco a mis padres, amigos y conocidos que durante toda mi carrera como estudiante de ingeniería civil estuvieron siempre conmigo, apoyándome ante cualquier adversidad.

Gracias.

DEDICATORIA

Dedico de manera especial a mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes. Me formaron con reglas y con algunas libertades las cuales me permitieron seguir avanzando en mi vida, además siempre estuvieron motivándome alcanzar todos mis anhelos, como uno de ellos es el que hoy estoy culminando.

Gracias madre y padre.

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN..	7
1.1.	Objetivo.	8
2.	DESARROLLO..	9
2.1.	Marco teórico.	9
2.1.4.	Taludes.	11
2.1.4.1.	Sismoestarigrafia aplicada a taludes.	12
2.1.4.2.	Límite de equilibrio y la estabilidad de taludes.	12
2.1.4.2.1.	Índice de confianza y su vínculo con el equilibrio limite.	13
2.1.4.2.2.	Métodos usados para el análisis de taludes.	13
2.1.4.2.2.1.	Método gráfico de Hock y Bray para el cálculo de taludes parcialmente saturados y 100% saturados	14
2.2.	Metodología y resultados.	16
2.2.1.	Ubicación geográfica del talud.	16
2.2.4.	Determinación del tipo de suelo.	18
2.2.4.1.	Determinación de la densidad del talud.	19
2.2.5.	Determinación del factor de seguridad (FS)	23
2.2.5.1.	Determinación del factor de seguridad (FS) para un terreno parcialmente saturado	23
2.2.5.2.	Determinación del factor de seguridad (FS) para el talud 100% saturado.	25
2.2.5.3.	Determinación del factor de seguridad (FS) mediante el programa de diseño Geo estudio	27
2.2.5.4.	Resultados obtenidos.	29
3.	CONCLUSIONES.	31
4.	RECOMENDACIONES.	32
	BIBLIOGRAFIA..	33
	ANEXOS.	35

RESUMEN

Nuestro país se caracteriza por la presencia de varios tipos de accidentes geográficos, desde la costa hasta la región interandina, podemos encontrar taludes, los cuales presentan un desafío para las construcciones civiles de todo tipo, su estudio y la determinación de la estabilidad del mismo es el fin de este trabajo.

Caracterizar los taludes que son ricos en material arcilloso con una saturación parcial y total es la motivación que ha llevado a encontrar dos sitios que representan estas condiciones, taludes los cuales serán sometido a estudios para determinar parámetros topográficos, físicos y mecánicos que nos permitirán ingresar a un estudio a profundidad de equilibrio limite, el cual se basa en determinar la estabilidad de un talud a través de un Factor de Seguridad (Fs).

Hock y Bray a través de sus estudios determinan la relación entre la cohesión, el ángulo de fricción y la densidad de los tipos de suelo presente; todo esto para poder resumir la determinación del Factor de Seguridad (Fs) a través de ábacos para cada tipo de saturación presente en el talud, mediante las prácticas de laboratorio podemos determinar estos parámetros; además del uso de la topografía para determinar el perfil lateral y ángulo de inclinación del talud.

Nuestros resultados serán discutidos con los del programa de diseño GEOestudio, el cual permitirá obtener también el FS para ambos casos, utilizando el proceso de Morgenstern-Price podrá brindarnos resultados mediante iteraciones finitas; de esta manera se concluirá optando por el Fs más idóneo, según las normativas vigentes.

Palabras claves: Ingeniería civil, estabilidad de taludes, factor de seguridad, saturado, arcillas

ABSTRACT

Our country is characterized by the presence of various types of geographical features, from the coast to the inter-Andean region, we can find slopes, which present a challenge for civil constructions of all kinds, their study and the determination of its stability is the end of this work.

Characterizing the slopes that are rich in clay material with partial and total saturation is the motivation that has led to finding two sites that represent these conditions, slopes which will be subjected to studies to determine topographic, physical and mechanical parameters that will allow us to enter an in-depth study of limit equilibrium, which is based on determining the stability of a slope through a Safety Factor (Fs).

Hock and Bray through their studies determine the relationship between cohesion, friction angle and density of the types of soil present; All this in order to summarize the determination of the Safety Factor (Fs) through abaci for each type of saturation present in the slope, through laboratory practices we can determine these parameters; in addition to the use of topography to determine the lateral profile and angle of inclination of the slope.

Our results will be discussed with those of the GEOstudio design program, which will also allow obtaining the FS for both cases. Using the Morgenstern-Price process, it will be able to provide results through finite iterations; In this way, it will be concluded by opting for the most suitable FS, according to current regulations.

Keywords: Civil engineering, slope stability, safety factor, saturated, clays

1. INTRODUCCIÓN

Desde el desarrollo vial en nuestro país, las condiciones geográficas han generado un reto para los proyectos que se realizaran en diversos accidentes geográficos; uno de ellos son los Taludes, los cuales son recurrentes a lo largo de las vías de nuestro país.

El presente trabajo aborda diferentes generalidades de los Taludes, en especial aquellos que son ricos en material arcilloso. Talud que tiende a presentar inestabilidad, lo que vuelve necesario generar un estudio prudente que determine un factor de seguridad con el que se pueda evaluar la situación actual del mismo, teniendo en cuenta que factores de seguridad menores a 1 ($FS < 1$) presentan riesgos de rotura y deslizamiento inminente. [1]

Los datos obtenidos parten de la obtención de muestras in situ, teniendo en cuenta la metodología de prácticas en laboratorio y el uso de las herramientas necesarias; los ensayos pertinentes en el laboratorio nos permiten obtener los datos necesarios para analizar el tipo de suelo en el cual se desarrolla nuestra investigación, a pesar de ser un material rico en arcilla, también es necesario particularizar en sus características fisiológicas específicas.

Los materiales arcillosos presente en nuestro estudio, aquellos que pasaron el tamiz 200 (más del 35%), según la clasificación AASHTO; suelen estar caracterizador por englobar una variedad de subgrupos como A-4, A-6, A-7, etc. lo que explica muchas veces la inestabilidad de taludes, considerando necesario la verificación del estudio en el software de diseño GEO ESTUDIO, el cual nos permitirá certificar los valores determinado en la determinación grafica del FS. [2]

Se concluirá con los valores de FS para determinar la estabilidad de nuestro talud, así también, se recomendará las buenas practicas que se deberán usar para aumentar el factor de seguridad obtenido del talud; emitiendo un criterio técnico del análisis del equilibrio limite y todos los parámetros que lo incluyen.

1.1. Objetivo

Determinar el factor de seguridad (FS) en suelos arcillosos de taludes parcialmente saturados y 100% saturados, mediante la utilización del método gráfico para lograr determinar la estabilidad del mismo en función de las condiciones de equilibrio.

2. DESARROLLO

2.1. Marco teórico

En el campo de la ingeniería civil la obtención de muestras en campo, poder desarrollar prácticas en los laboratorios y determinar correctamente datos específicos es de vital importancia para el correcto análisis posterior y obtención de resultados, por ello es necesario citar conceptos y metodologías que se utilizaran a lo largo del presente trabajo.

2.1.1. Tipos de suelo

El suelo tiene ciertas particularidades tanto químicas como físicas, que pueden clasificarlas; en este caso evaluamos las composiciones físicas para poder determinar qué tipos de suelos podemos identificar según propiedades como el tamaño de las partículas que lo conforman, sin embargo, en los estudios físicos del suelo también podemos agregar color o porosidad sé que están definidas por la forma y el tamaño. [3]

El talud estudiado es rico en suelo arcilloso no orgánico limoso, lo que nos indica que nuestra evaluación a través del equilibrio limite deberá ser cuidadoso, a pesar de que el material arcilloso suele usarse para sub rasantes de estructuras de pavimentos; este material suele ser inestable en taludes. [4]

2.1.1.1. Clasificación según el tamizaje

Cuando hablamos de las partículas y su tamaño, mediante el tamizaje en el laboratorio podemos definir las siguientes características:

- Grava: fracción que pasa el tamiz de 75 mm y es retenido por el tamiz n°10 (2mm)
- Arena: fracción que pasa el tamiz n°10 (2mm) y es retenido por el tamiz n°200.
- Limo y arcilla: fracción que pasa el tamiz n°200. [5]

2.1.2. Ensayo triaxial

El ensayo triaxial clásico al que someteremos la muestra obtenida in situ consiste en someter a la muestra cilíndrica, con una relación altura diámetro de dos y que esta confinada por medio de una presión hidráulica constante, a una rotura causada por una carga vertical creciente otorgada por una prensa a velocidad constante y controlada. [6]

TIPO DE ENSAYO	PROCESO DE CONSOLIDACION	PROCESO DE ROTURA	PARÁMETROS OBTENIDOS	OBSERVACIONES
UU Sin consolidación y sin drenaje.	No hay drenaje	No hay drenaje	c_u y Φ_u	No se mide la presión intersticial. El proceso de rotura es rápido.
CU Con consolidación y sin drenaje.	Hay drenaje	No hay drenaje	c_u y Φ_u	No se mide la presión intersticial. El proceso de rotura es rápido.
CUU Con consolidación, rotura sin drenaje y medida de presiones intersticiales.	Hay drenaje	No hay drenaje	c' y Φ'	Se mide la presión intersticial. Proceso de rotura con velocidad adecuada para que se equilibren las presiones intersticiales.
CD Con consolidación y con drenaje.	Hay drenaje	Hay drenaje	c_d y Φ_d	Se mide la variación de volumen del agua intersticial. Velocidad de rotura adecuada para que no se generen tensiones intersticiales durante el proceso de rotura.

Table 1 Ensayos triaxiales más frecuentes
Fuente: Mecánica científica, Madrid

2.1.3. Prueba de compresión simple

Esta prueba nos permite conseguir a través de la compresión máxima, obtener la cohesión del suelo estudiado; es necesario tener en cuenta que la muestra no debe ser alterada; para esto utilizaremos la prensa triaxial, en este caso utilizaremos la formula expresada a continuación: [7]

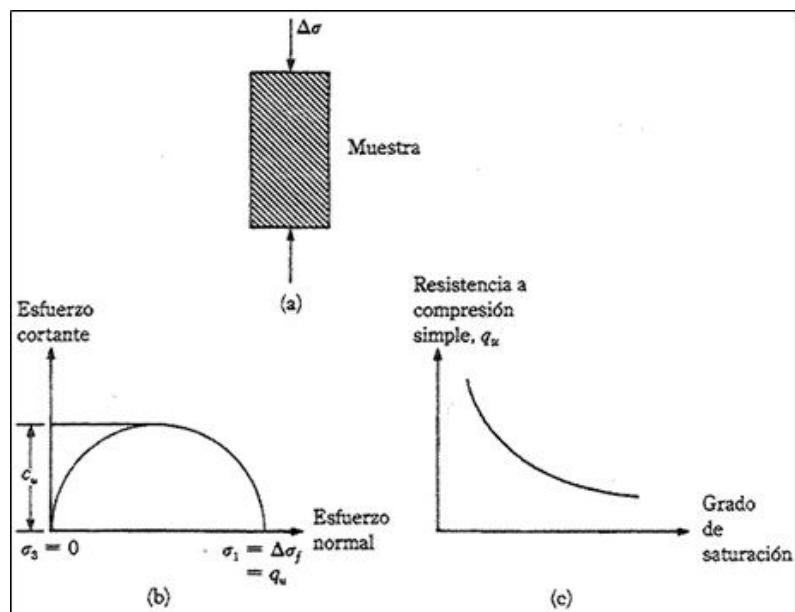


Figure 1

de los ensayos de compresión simple
Fuente: Mecánica científica, Madrid

Resultado

q = esfuerzo máximo alcanzado

c = cohesión

$c = q/2$

2.1.4. Taludes

El talud presenta un reto para el estudio de la geotecnia y en general las obras civiles, el poder estudiarlas a fondo, conocer su composición, geometría y estabilidad son de vital importancia para el desarrollo de esta investigación. Determinando que el deslizamiento en los taludes se produce cuando la masa del suelo es mayor a la resistencia a cortante de la misma. [8]

Los taludes suelen presentarse principalmente a lo largo de vías, debido a las características geográficas de cada región, sus particularidades y análisis suelen determinar si las vías necesitarán mantenimiento debido a deslizamiento o desprendimientos, debido a un exceso de humedad, por su propio peso o algún factor externo. [9]

2.1.4.1. Sismoestratigrafía aplicada a taludes

Es necesario contar con análisis sísmico cuando estamos en zonas de alto riesgo sísmico o cuando tenemos la presencia de fallas geológicas cercanas; sin duda el cinturón del pacífico reina el perfil costanero con un alto índice de sismo que pueden afectar a los accidentes geográficos y con ellos los taludes, la interpretación de un registro sismoestratigrafía y el levantamiento del mismo se vuelve vital. [10]

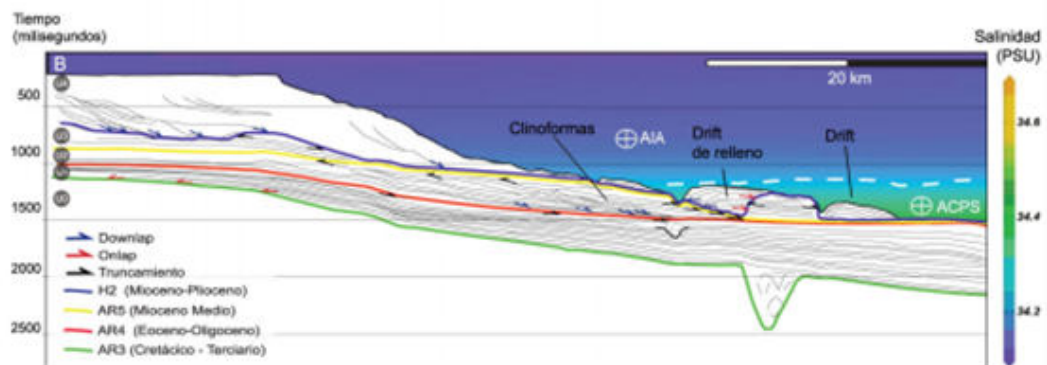


Figure 2 sismoestratigrafía a través de métodos salinos

Fuente: Mecánica científica, Madrid

La interpretación y levantamiento de estos datos permiten agregar un valor de confianza a nuestros análisis de equilibrio límite, así también incluyendo análisis de salinidad cuando están cerca de la costa.

2.1.4.2. Límite de equilibrio y la estabilidad de taludes.

Cuando consideramos el análisis de taludes, estamos considerando un conjunto de procedimientos que tienen como finalidad la determinación de un índice que permite cuantificar el estado próximo de rotura de un talud, teniendo en cuenta las condiciones del mismo; a este índice se lo conoce como factor de seguridad FS. [11]

En el caso de los suelos saturados, es necesario identificar un proceso particular para determinar el FS, en sistemas que poseen drenaje se ha observado variaciones a favor del aumento del factor de seguridad y por el contrario aquellos que poseen un colchón de drenaje suelen tener variaciones en la saturación del suelo del talud. [12]

Cuando analizamos taludes también es necesario al determinar su inestabilidad, si durante el proceso de corte y anclaje no presentara deslizamiento; existen métodos para estimar la distancia de viaje y velocidad de la masa deslizante; modelos que parten del estudio de equilibrio límite, incluyendo parámetros como la resistencia ficticia del propio suelo, de esta manera también se puede precautelar la seguridad del trabajo de corte de taludes con alto riesgo de deslizamiento. [13]

2.1.4.2.1. Índice de confianza y su vínculo con el equilibrio límite

Este índice nos permite identificar la seguridad del sistema elegido para la evaluación del talud, es necesario determinar desviaciones y el número de las misma permitirán evaluar a través de valores de media y desviación estándar la confianza con el Factor de seguridad que se obtengan. [14]

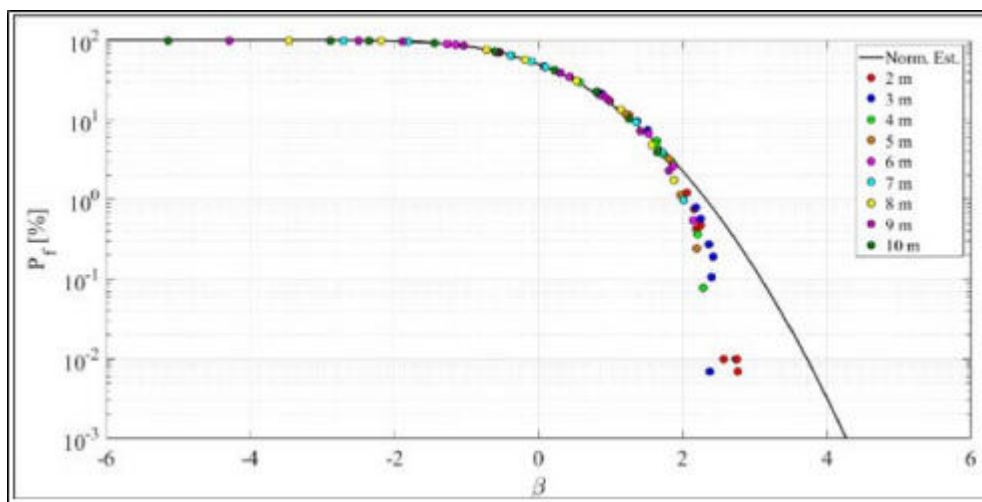


Figure 3 Índice de confianza vs probabilidad de falla

Fuente: Evaluación probabilística, W. Fernandez

Como observamos en la gráfica determinamos que la probabilidad de falla disminuye al mismo ritmo que nuestra confiabilidad supera el 1, de esto parte el análisis matemático del índice de confianza.

2.1.4.2.2. Métodos usados para el análisis de taludes.

Dentro del análisis de los taludes y su estabilidad podemos determinar varias particularidades, los taludes evaluados con métodos como el elemento finito en el cual basa su estudio en determinar la respuesta de tensión- deformación; este modelado suplanta la determinación común de un FS como valor numérico. [15]

2.1.4.2.2.1. Método gráfico de Hock y Bray para el cálculo de taludes parcialmente saturados y 100% saturados

Hock y Bray nos ayuda también con la utilización de ábacos a partir de datos obtenidos en campo, el método tiene un especial uso para taludes que presentan distintos tipos de saturación; en este caso nosotros profundizamos en el estudio de taludes 100% saturados, los cuales dentro de este método tiene una característica especial y utilización de un ábaco en específico. [16]

1. Para la utilización del método identificaremos nuestro caso de estudio para el segundo escenario, el talud 100% saturado o parcialmente saturado el cual es el grafico la condición 5. **VER ANEXO B.**
2. Calculamos un valor adimensional para ingresar a través de la curva en el ábaco correspondiente que va desde el 1 al 5. **VER ANEXO C:**
3. Se sigue el radio y ubicamos la curva con el ángulo de inclinación de nuestro talud
4. Una vez determinado el punto(coordenada), podemos obtener dos valores de FS uno en las abscisas y otro en las ordenadas, se toma el menor (asegurándonos el valor más crítico). [16]

Para la correcta utilización del ábaco se puede resumir el procedimiento con el siguiente gráfico:

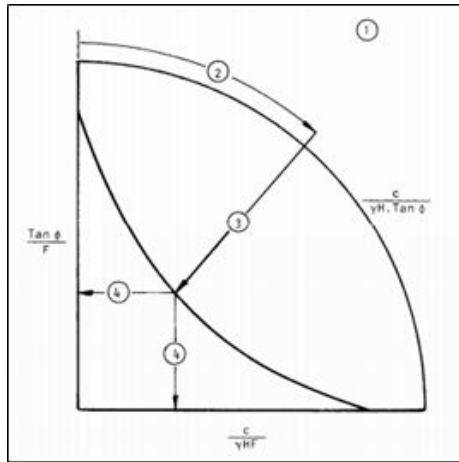


Figure 4 Secuencia de pasos para los ábacos de Hock y Bray
Fuente: Hock y Bray

2.2. Metodología y resultados.

Este estudio tiene una serie de pasos el cual parte de la obtención de muestras ‘in situ’ hasta la determinación analítica de resultados a través del uso del laboratorio de suelos, por tanto, se realizó cada uno del procedimiento de acuerdo a las metodologías estandarizadas.

El talud al presentar una vegetación parcial se ha mantenido de manera estable en ciertos puntos, sin embargo, otros lugares del mismo presentan deformación y evidencia de deslizamientos; también encontramos procesos de arado donde han permitido la filtración de agua y la aireación del suelo para un posible uso agrícola. [17]

2.2.1. Ubicación geográfica del talud

El talud se encuentra ubicado en el canto de santa rosa en la zona de Bella Rica en la Finca Altamira, a continuación, ubicaremos la referencia geográfica del lugar junto las coordenadas UTM84 que determinan la zona exacta del estudio.

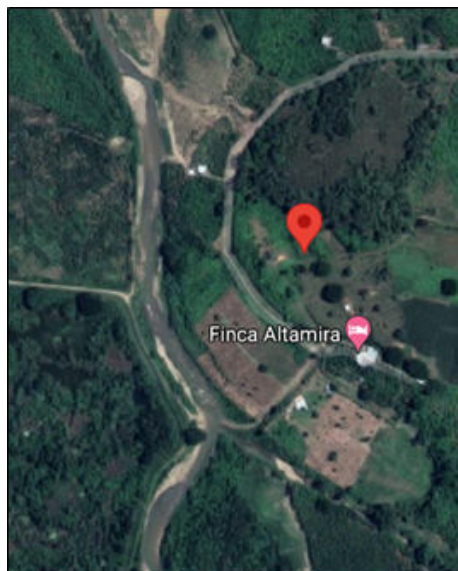


Figure 5 Ubicación del talud estudiado.

Fuente: Autor

Coordenadas UTM del sitio	
Norte	Este
9612063.2	616118.1

Table 2 Coordenadas del sitio.

Fuente: Autor

2.2.2. Determinación de la geometría del talud

La primera visita al sitio permitió determinar las características topográficas del talud, de esta manera determinamos su pendiente y el lugar donde se realizó la excavación para la obtención de las muestras. A través de este proceso se obtuvo la siguiente representación geométrica. **VER ANEXO A**

2.2.3. Obtención de muestras y ensayos de laboratorio.

In situ se realizó la obtención de muestra para ella se realizó la perforación de 1, 2 y 3m en la mitad del talud, la cual determinará las propiedades físicas del talud; se utilizó el tubo shelby a cada nivel de perforación; la perforación se realizó a 7,4 metros del pie del talud:



Figure 6 Obtención de muestras

Fuente: Autor

N.	U	MUESTRA # 1	MUESTRA #2
P	(cm)	30	30
Ds	(cm)	3,65	3,63
Dc	(cm)	3,62	3,61
Di	(cm)	3,68	3,65
H	(cm)	9,86	9,78
Wp	(gr)	183,15	171.10

2.2.4. Determinación del tipo de suelo

Para determinar el tipo de suelo realizamos primero el tamizaje por lavado, examinamos el contenido que es retenido por cada uno de los mismos; en este caso tenemos un resumen de los siguientes valores.

GRANULOMETRIA					
TAMIZ No	Milímetros	Peso Retenido	Retenido Acumulado	PORCENTAJE Retenido	Pasante
4	4,75	0,10	0,10	0,08	99,92

8	2,36				
10					
16	1,18				
30	0,6				
40	425micron.	1,32	1,42	1,14	98,86
60	250micron.				
100	150micron.				
200	75micron.	10,32	11,74	7,83	92,17
FONDO		62,00	73,74	100,00	0,00
PESO ANTES DEL LAVADO		150,00			

Table 4 granulometria

Fuente: Autor

Cuando hemos determinado la granulometria realizamos verificamos nuestro resumen de los valores de consistencia:

ENSAYOS DE CONSISTENCIA	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO			HUM. NAT.	
	1	2	3	4	5	1	2	3	1	2
PESO No.										
Recipiente No.	Z2	D54	R45	Y78	E43	F67	O98	G56	C55	H6
Peso de muestra húmeda + recip. (gms)	23,90	22,86	21,06	18,29	23,50	11,35	11,29	11,45	132,13	126,00
Peso de muestra seca + recip. (gms)	21,22	20,96	18,00	16,30	18,96	11,25	11,17	11,32	98,32	98,00
Peso del recipiente (gms)	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	10,50	10,32	10,50	10,00	10,00
Peso del agua (gms)	2,68	1,90	3,06	1,99	4,54	0,10	0,12	0,13	33,81	28,00
Peso Seco (gms)	12,22	11,96	9,00	7,30	9,96	0,75	0,85	0,82	88,32	88,00
Contenido de humedad (%)	21,93	15,89	34,00	27,26	45,58	13,33	14,12	15,85	38,28	31,82
Número de golpes	39	26	15	23	13	14,43			35,05	

Table 5 valores de consistencia.

Fuente: Autor

De esta manera nos vamos a nuestra carta de Casagrande y determinamos la clasificación del suelo mediante SUCS, obteniendo un tipo de suelo CL, el cual es un suelo Arcilloso inorgánico de baja plasticidad.

2.2.4.1. Determinación de la densidad del talud

Para poder determinar la densidad del talud utilizamos los datos preliminares que conseguimos de la muestra, de esta manera empleamos la fórmula y determinamos la densidad del talud.

1. Material parcialmente saturado:

$$\text{Area Media}(A_m) = (A_s + 4A_c + A_i)/6$$

$$\text{Area Media}(A_m) = (((3.63 \text{ [m]})^2 * 0.25 * \pi) + 4((3.61 \text{ [m]})^2 * 0.25 * \pi) + (3.65 \text{ m}^2 * 0.25 * \pi))/6$$

$$\text{Area Media}(A_m) = 10.29 \text{ m}^2$$

$$\text{Densidad}(\gamma) = (\text{masa de la muestra})/(\text{volumen de la muestra})$$

$$\text{Densidad}(\gamma) = (171.10 \text{ Kg})/((10.29 \text{ m}^2)(9.78 \text{ m}))$$

$$\text{Densidad}(\gamma) = 1.7 \text{ Kg}/(\text{cm}^3)$$

2. Material 100% saturado:

$$\text{Area Media}(A_m) = (A_s + 4A_c + A_i)/6$$

$$\text{Area Media}(A_m) = (((3.65 \text{ [m]})^2 * 0.25 * \pi) + 4((3.62 \text{ [m]})^2 * 0.25 * \pi) + ((3.68 \text{ [m]})^2 * 0.25 * \pi))/6$$

$$\text{Area Media}(A_m) = 10.38 \text{ m}^2$$

$$\text{Densidad}(\gamma) = (\text{masa de la muestra})/(\text{volumen de la muestra})$$

$$\text{Densidad}(\gamma) = (184.25 \text{ Kg})/((10.38 \text{ m}^2)(9.86 \text{ m}))$$

$$\text{Densidad}(\gamma) = 1.8 \text{ Kg}/(\text{cm}^3)$$

2.2.4.2. Ensayo de compresión simple

En el ensayo de compresión simple determinamos la resistencia del suelo a la compresión simple; aquí determinaremos la curva de esfuerzo-deformación y finalmente el ángulo de fricción.

$$2D \leq H \leq 2.5D$$

ECUACIONES UTILIZADAS EN EL ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE
$A_m = \frac{A_s + 4A_c + A_i}{6}$
Deformación unitaria = deformación/Hm $\epsilon = \frac{\text{deformacion}}{\text{deformacion unitaria (Hm)}}$
$\text{Área Corregida} = \frac{A_m}{1 - \epsilon}$
$\text{Esfuerzo normal} = \frac{\text{Carga}}{\text{Área corregida}}$

Table 6 Ecuaciones utilizadas en el ensayo de compresión simple
Fuente: Autor

Donde:

Am = Área media

AS = Área superior

Ac = Área central

Ai = Área inferior

ε = Deformación unitaria

Hm = Altura inicial de la probeta

Una vez determinado diferentes puntos para formar la curva de deformación- esfuerzo, tenemos como resultado el siguiente gráfico posteriormente utilizamos el esfuerzo máximo a través de la máxima carga de la prueba de compresión simple y determinamos la cohesión de ambos tipos de suelos

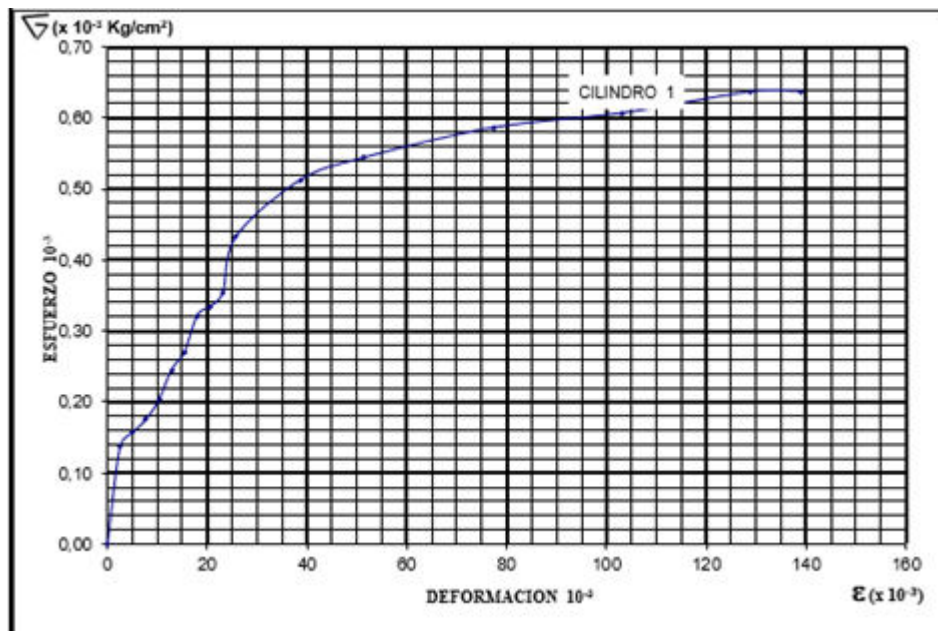


Figure 7 Grafica esfuerzo-deformación parcialmente saturadas

Fuente: Autor.

$$c = q/2$$

$$c = \frac{0.64kg}{2 \text{ cm}^2}$$

$$c = 0.32 \frac{kg}{\text{cm}^2}$$

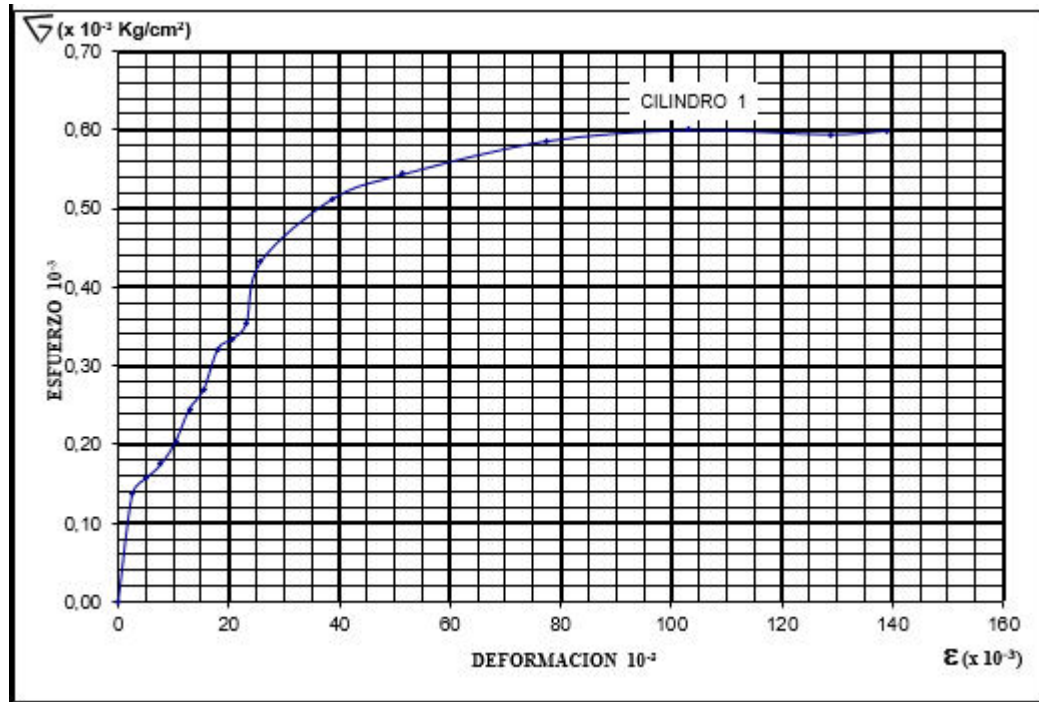


Figure 8 Grafica esfuerzo-deformación 100% saturadas

Fuente: Autor.

$$c = q/2$$

$$c = \frac{0.60kg}{cm^2} / 2$$

$$c = 0.3 \frac{kg}{cm^2}$$

Una vez determinado en la gráfica podemos determinar la cohesión presente en nuestro material, podemos ingresar al cálculo de los factores de seguridad a través del método grafico teniendo en cuenta las unidades necesarias para el análisis.

2.2.5. Determinación del factor de seguridad (FS)

2.2.5.1. Determinación del factor de seguridad (FS) para un terreno parcialmente saturado

Para determinar el caso en el cual nuestro talud estudiado presente una saturación parcial, por lo tanto recurrimos a la utilización de los datos anteriormente determinados en el laboratorio:

Angulo de fricción (φ) = 15°

Cohesión del suelo (c) = $3 \frac{T}{m^2}$

Densidad (γ) = $1.8 \frac{T}{m^3}$

Angulo del talud (β) = 40.6°

1. Utilizamos la clasificación donde determinaremos el caso de saturación total del talud brindado por Hoek y Bray, siendo este el caso número 2, lo que nos permite escoger el ábaco correspondiente a un talud seco en su superficie.
2. Posteriormente determinamos el valor de ingreso a nuestro ábaco, determinado por la siguiente ecuación:

$$\frac{c}{(\gamma \cdot H \cdot \text{tg}(\varphi))} = \frac{3 \frac{T}{m^2}}{\left(1.8 \frac{T}{m^3}\right) (10.2 m) (\text{tg}(15^\circ))} = 0.609$$

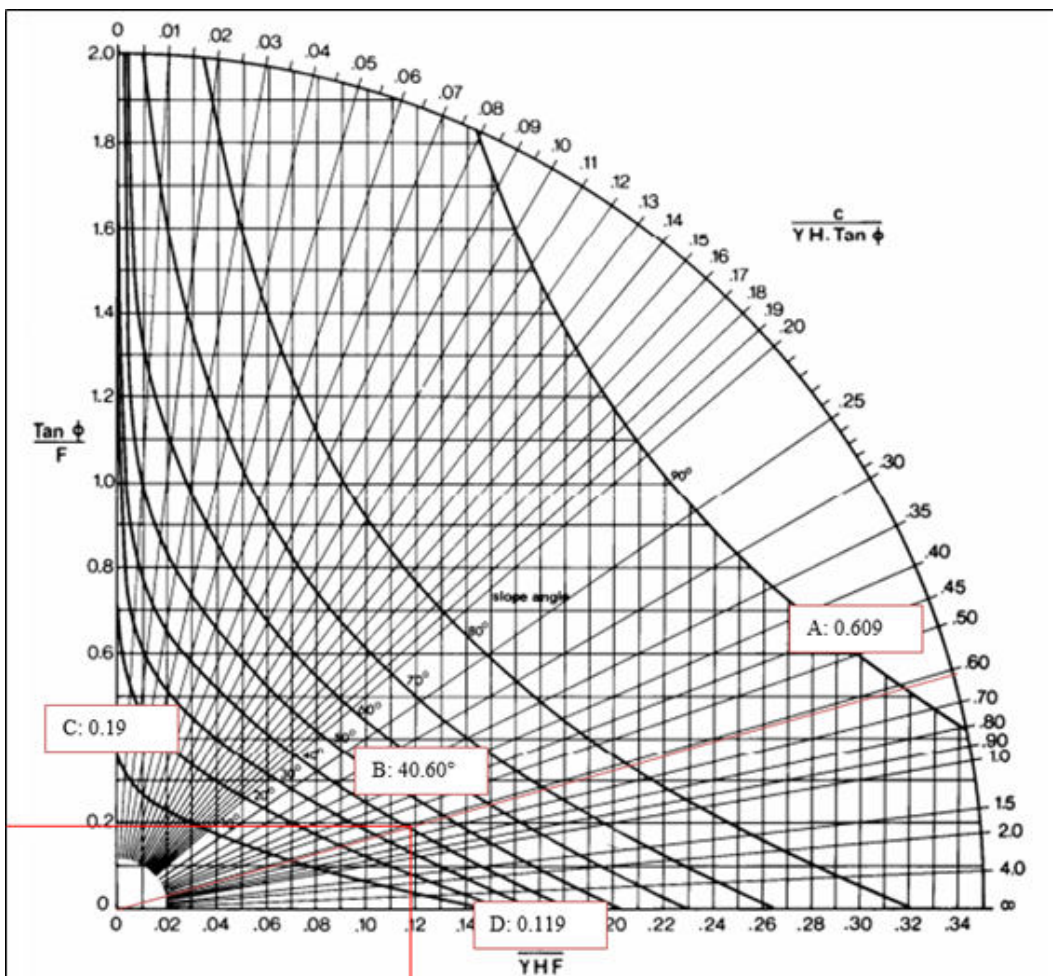


Figure 9 Utilizacion del abaco de Hock y Bray

Fuente: Hock y Bray

3. Teniendo en cuenta el valor adimensional como punto de partida A: 0.609 determinamos la recta que parte del origen, localizamos la curva del ángulo del talud (40.60°) este es nuestro punto B, realizamos una interpolación y determinamos así el punto coordenado, el valor C y D (0.119,0.19) donde determinaremos el FS, con ambos valores eligiendo el menor de ambos.
4. Valor para la abscisa 0.119 a través de la siguiente expresión y así determinar el FS:

$$\frac{c}{(\gamma \cdot H \cdot FS)} = 0.119$$
$$\frac{c}{(\gamma \cdot H \cdot 0.119)} = FS$$
$$FS = \frac{3 \frac{T}{m^2}}{\left(1.8 \frac{T}{m^3}\right) (10.2m)(0.119)} = 1.373$$

5. Valor para las ordenadas determinado por el punto ubicado en el punto 0.19 y así determinamos el FS

$$\frac{tg(\varphi)}{FS} = 0.19$$
$$FS = \frac{tg(15^\circ)}{0.19} = 1.41$$

1. De ambos puntos determinamos dos FS y elegimos el menor de ambos valores (valor crítico), de esta manera obtenemos que nuestro FS es 1.04.

2.2.5.2. Determinación del factor de seguridad (FS) para el talud 100% saturado

Para determinar el caso en el cual nuestro talud estudiado presente una saturación del 100%, recurrimos a la utilización de los datos anterior determinados en el laboratorio:

$$\text{Angulo de fricción } (\varphi) = 10^\circ$$

$$\text{Cohesión del suelo } (c) = 3.2 \frac{T}{m^2}$$

$$\text{Densidad } (\gamma) = 1.7 \frac{T}{m^3}$$

$$\text{Angulo del talud } (\beta) = 42.48^\circ$$

- Utilizamos la clasificación donde determinaremos el caso de saturación total del talud brindado por Hoek y Bray, siendo este el caso número 5, lo que nos permite escoger el ábaco correspondiente a un 100% de saturación.
- Posteriormente determinamos el valor de ingreso a nuestro ábaco, determinado por la siguiente ecuación:

$$\frac{c}{(\gamma \cdot H \cdot \text{tg } (\varphi))} = \frac{3.2 \frac{T}{m^2}}{\left(1.7 \frac{T}{m^3}\right) (11.7m) (\text{tg}(10^\circ))} = 0.912$$

- Teniendo en cuenta el valor adimensional como punto de partida A : 0.912 determinamos la recta que parte del origen, localizamos la curva del ángulo del talud (42.48°) este es nuestro punto B, realizamos una interpolación y determinamos así el punto coordenado el valor C y D (0.152,0.155) donde determinaremos el FS, con ambos valores eligiendo el menor de ambos.

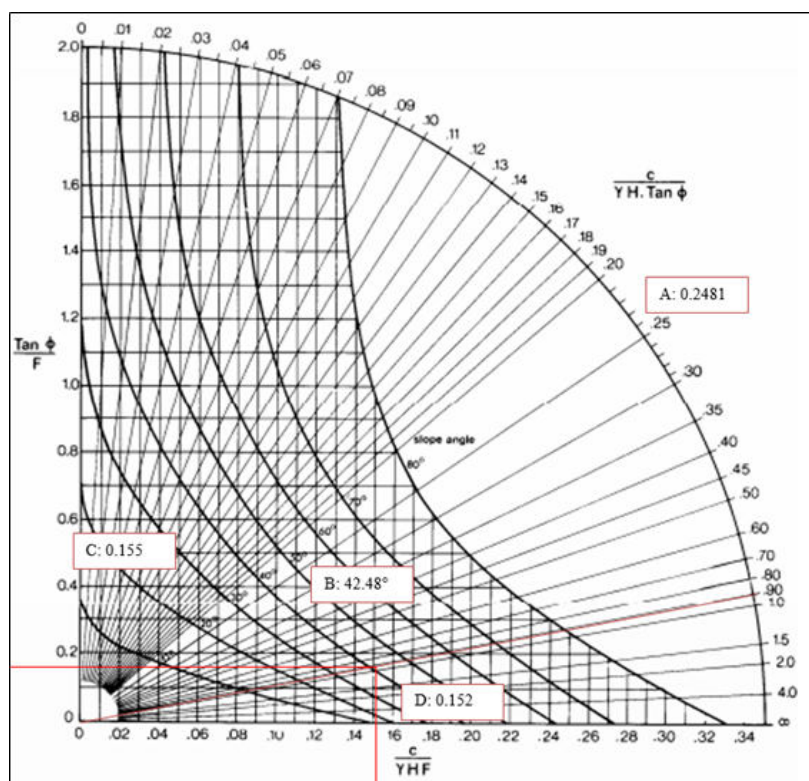


Figure 10 Utilización del ábaco de Hock y Bray

Fuente: Hock y Bray

10. Valor para la abscisa 0.152 a través de la siguiente expresión y así determinar el FS:

$$\frac{c}{(\gamma \cdot H \cdot FS)} = 0.152$$
$$\frac{c}{(\gamma \cdot H \cdot 0.101)} = FS$$
$$FS = \frac{3.2 \frac{T}{m^2}}{\left(\left(1.7 \frac{T}{m^3}\right) (11.7m) (0.152)\right)} = 1.04$$

11. Valor para las ordenadas determinado por el punto ubicado en el punto 0.78 y así determinamos el FS.

$$\frac{tg(\varphi)}{FS} = 0.155$$
$$FS = \frac{tg(10^\circ)}{0.155} = 1.14$$

12. De ambos puntos determinamos dos FS elegimos el menor de ambos valores (valor crítico), de esta manera obtenemos que nuestro FS es 1.04.

2.2.5.3. Determinación del factor de seguridad (FS) mediante el programa de diseño Geo estudio

Hemos considerado prudente utilizar un programa de diseño que nos permite verificar la precisión de los métodos antes planteados, el programa elegido es Geo Estudio, con el cual podemos verificar el FS en taludes a través de datos topográficos, la ubicación de la línea piezométrica y las propiedades físicas del talud.

TALUD PARCIALMENTE SATURADO

$$\text{Angulo de fricción } (\varphi) = 15^\circ$$

$$\text{Cohesión del suelo } (c) = 3 \frac{T}{m^2} = 30 \text{ PA}$$

$$\text{Densidad } (\gamma) = 1.8 \frac{T}{m^3} = 17.65 \frac{KN}{m^2}$$

TALUD 100% SATURADO

$$\text{Angulo de fricción } (\varphi) = 10^\circ$$

$$\text{Cohesión del suelo } (c) = 3.2 \frac{T}{m^2} = 32 \text{ PA}$$

$$\text{Densidad } (\gamma) = 1.7 \frac{T}{m^3} = 16.67 \frac{KN}{m^2}$$

Dentro del programa ingresamos el perfil del talud, tenemos la opción de correr el análisis y utilizar el método Morgenstern-Price, el programa realizara una serie de iteraciones en el que determinara el menor valor para FS, tenemos en cuenta que este sería el cual deberíamos utilizar para determinar el riesgo de deslizamiento.

Para nuestra primera suposición verificamos un talud parcialmente saturado (condiciones normales), el cual nos da un FS de 1.397.

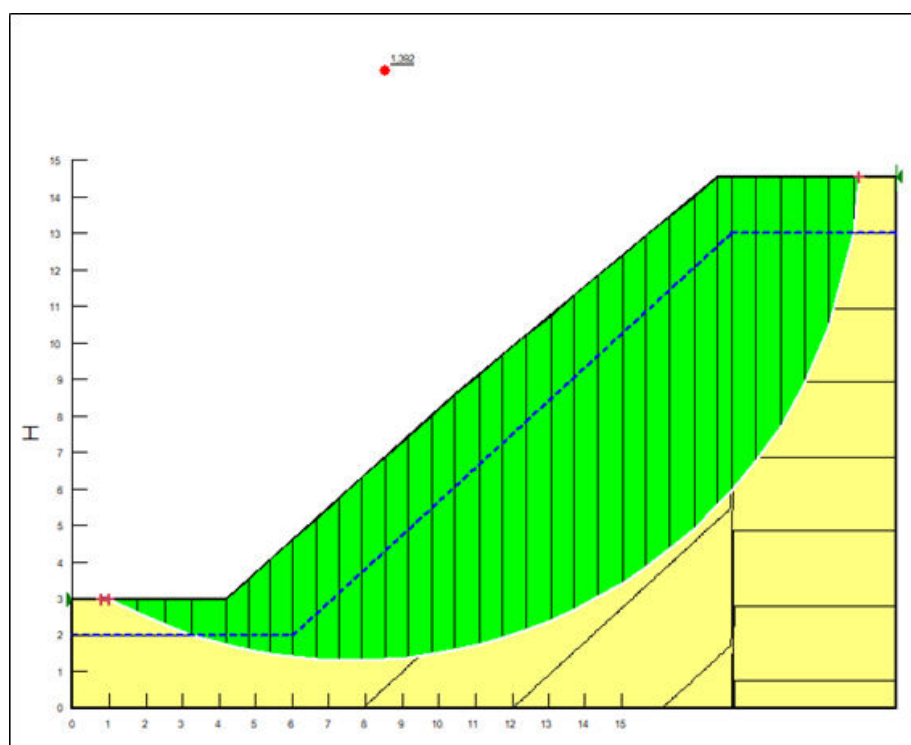


Figure 11 Análisis de Geo estudio de talud parcialmente saturado
Fuente: Autor

Para nuestro segundo análisis la línea piezométrica coincidirá con el perfil de talud, simulando una saturación del 100%, volvemos a ingresar los datos de estudio; corremos el análisis del programa y determinamos un FS de 1.246.

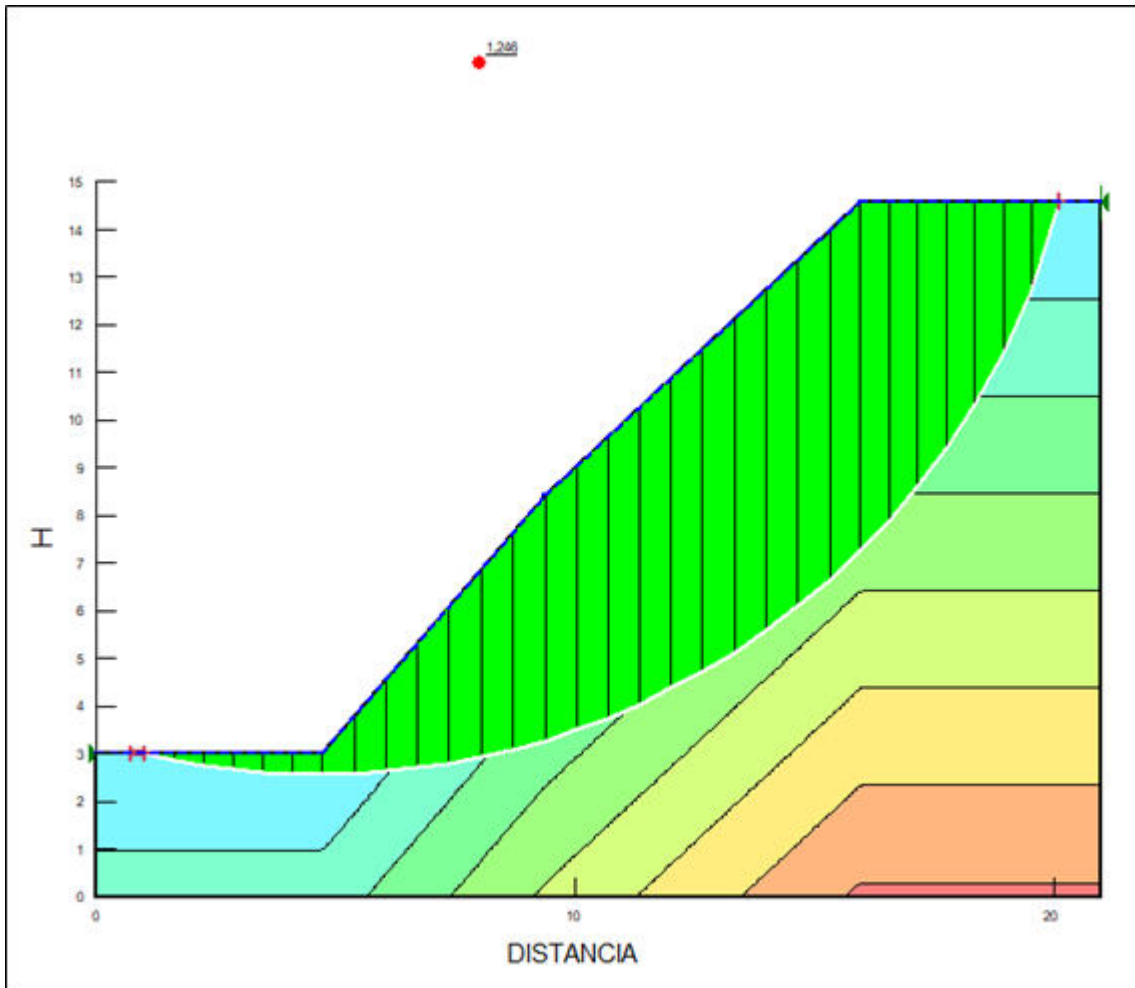


Figure 12 Análisis Geo estudio de talud saturado
Fuente: Autor

2.2.5.4. Resultados obtenidos

A través del método gráfico, la utilización de los ábacos y mediante el programa de diseño ya análisis de taludes Geo estudio podemos construir la siguiente tabla, donde compararemos los FS:

METODO	TALUD PARCIALMENTE SATURADO	TALUD TOTALMENTE SATURADO
METODO GRAFICO	1.373	1.04
GEO ESTUDIO	1.392	1.246

Table 7 FS obtenidos por ambos métodos

Fuente: Autor

3. CONCLUSIONES

Determinamos a través del método gráfico de Hock y Bray un factor de seguridad FS de 1.373 para suelos parcialmente saturados y de 1.04 para suelos completamente saturados, determinando así que ambos taludes estudiado podrían presentar riesgo de desplazamiento, también comparamos estos valores con el software de diseño GEO estudio, determinando así un valor mucho más conservador.

4. RECOMENDACIONES

- Al considerar la utilización del método gráfico de Hock y Bray tener en cuenta que es un método muy conservador respecto otros métodos, incluso al software de diseño que brindan resultado por iteraciones finitas.
- Podemos agregar estudios probabilísticos para añadir confiabilidad cuando tengamos que elegir los métodos diferentes, en este estudio hemos determinado según la relación de menor factor de seguridad; sin embargo, herramientas aplicables entre índice confiabilidad y la probabilidad de la falla son métodos que permiten asegurar una mayor elección del FS. [14]
- Utilización de nuevas tecnologías para el mejoramiento del talud, para evitar el deslizamiento; así también tener en cuenta el terrazado como solución para aumentar el FS de ambos taludes.

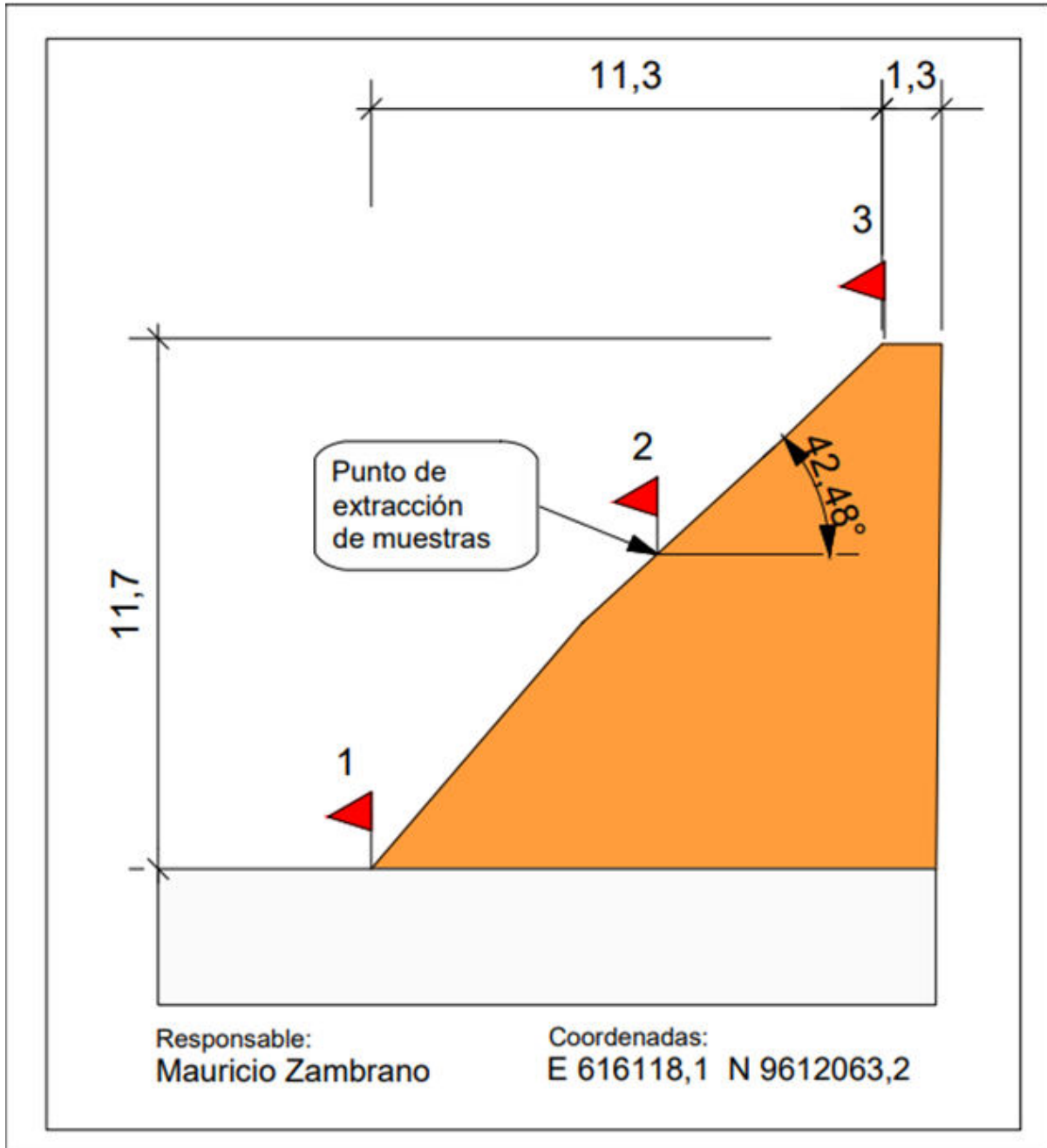
5. BIBLIOGRAFIA

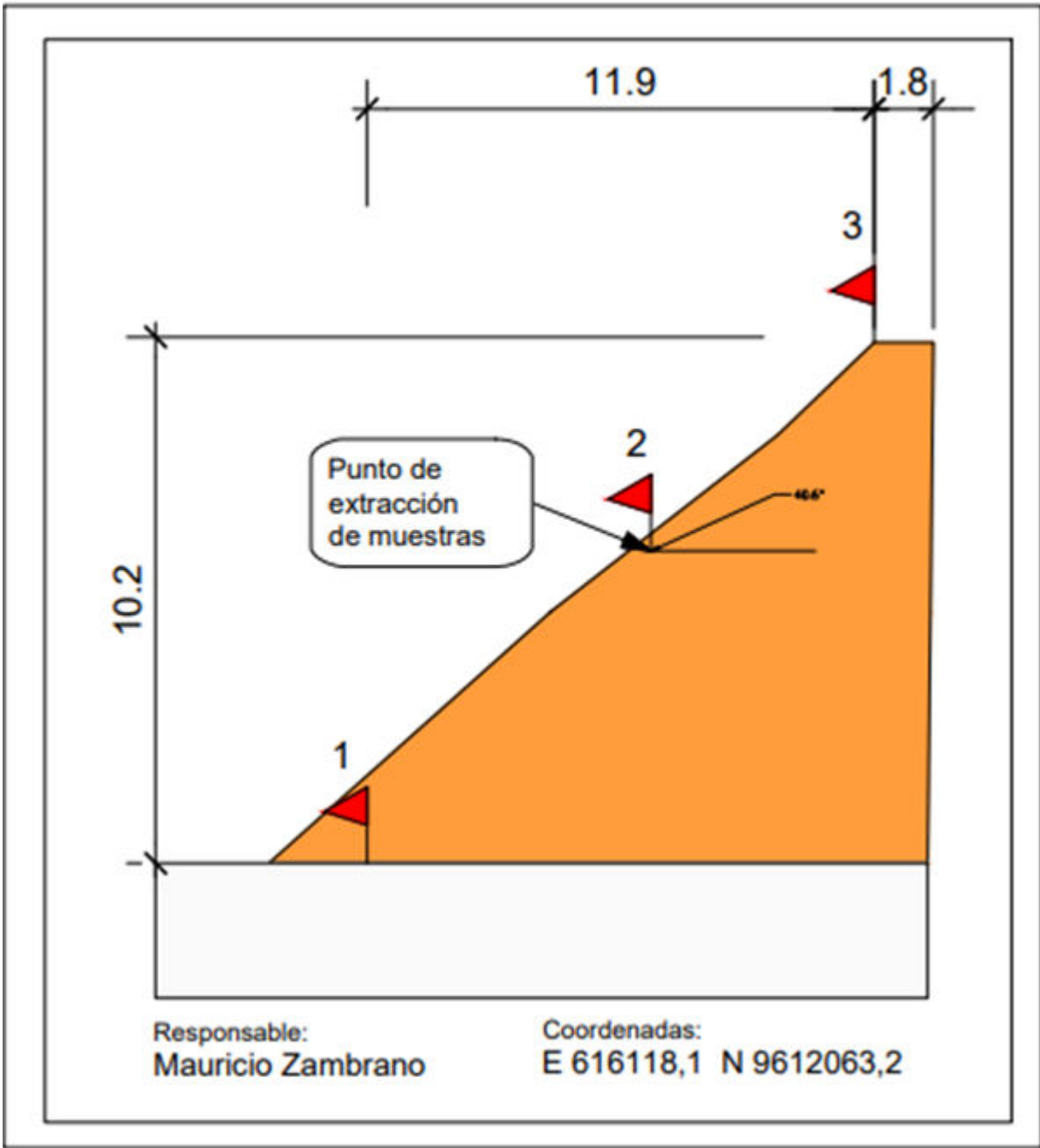
- [1] R. R. A. C. A. Tomás y J. P. J. A. M. R. J.L. Pastor, «Evaluation of the stability of rocky slopes using 3D point clouds obtained from an unmanned aerial vehicle,» *REVISTA DE TELEDETECCIÓN*, pp. 1-15, 2020.
- [2] B. M. DAS, *Fundamentos de INGENIERIA GEOTECNICA*, México, D.F: Cengage Learning Editores, S.A., 2015.
- [3] J. H. Camacho-Tamayo, N. M. Forero-Cabrera y L. Ramírez-López, «EVALUACIÓN DE TEXTURA DEL SUELO CON ESPECTROSCOPIA,» *Colombia Forestal*, vol. 20, n° 1, pp. 5-18, 2016.
- [4] M. Á. Ospina-García, S. B. Chaves-Pabón y L. M. Jiménez-Sicachá, «Mejoramiento de subrasantes de tipo arcilloso mediante la adición de escoria de acero,» *Revista de Investigación*, vol. 11, n° 1, pp. 185 - 196, 2020.
- [5] U. d. L. P. d. G. Canaria, «Clasificación del suelo,» Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Madrid, 2021.
- [6] C. MADRID, «APARATOS PARA ENSAYOS DE MATERIALES – INSTRUMENTACIÓN CIENTÍFICA,» *Mecánica Científica*, Madrid, 2015.
- [7] A. M. Lozano, «Apuntes y manuales de laboratorio de mecánica de suelos,» “Material de estudio 2013” Universidad Autónoma de Guerrero, Mexico, 2013.
- [8] Y. Glez Haramboure, I. Flores Berenguer y J. García Tristán, «Efecto de desembalse en la estabilidad de presas de tierra: dos casos de estudio en Cuba,» *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, vol. 42, n° 1, pp. 42 - 53, 2021.
- [9] C.-N.-A. d. J.-I.-R. Elezar, «Colapso por humedecimiento en los terraplenes de la autopista Páztcuaro-Uruapan,» *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, vol. 17, n° 2, pp. 201-210, 2016.
- [10] 2. A. A. T. 1. F. D. E. 1. R. A. V. 3. José I. Isola 1, «SISMOESTRATIGRAFÍA Y EVOLUCIÓN CENOZOICA DE UN SECTOR DE LAS TERRAZAS NÁGERA Y PERITO MORENO, MARGEN CONTINENTAL PATAGÓNICO,» *LATIN AMERICAN JOURNAL OF SEDIMENTOLOGY AND BASIN ANALYSIS*, vol. 24, n° 1, pp. 45-59, 2017.

- [11] H. V. Mucuta-Lito, M. Cartaya-Pires y R. L. Watson-Quesada, «Evaluación de estabilidad en taludes del yacimiento Castellano mediante el cálculo del factor de seguridad,» *Minería y Geología*, vol. 36, nº 4, pp. 441 - 450, 2020.
- [12] I. Flores Berenguer, I. Castro Martínez, J. García Tristán y Y. González Haramboure, «Influencia de la permeabilidad del suelo no saturado en los taludes de presas de tierra,» *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, vol. 40, nº 3, pp. 86 - 100, 2019.
- [13] A. F. Prieto, L. C. Cantor y C. E. Rodríguez, «Modelo de bloque deslizando para analizar el comportamiento cinemático de deslizamientos en suelos a partir de las fuerzas resultantes de un modelo de equilibrio límite,» *Departamento de Ingeniería Civil*, nº 27, pp. 64 - 77, 2020.
- [14] S. V. W. Fernández, «Evaluación probabilística de la estabilidad de taludes en suelos residuales de granito completamente descompuesto,» *Revista Ingeniería de Construcción RIC*, vol. 33, nº 1, pp. 05-14, 2018.
- [15] D. Gurruchaga R. y F. Viscarra A., «SLOPE STABILITY ANALYSIS BY FINITE ELEMENTS: A CASE STUDY IN LA PAZ-BOLIVIA,» *Investigación & Desarrollo*, vol. 20, nº 1, pp. 99 - 111, 2020.
- [16] E. A. P. d. Agreda, Estabilidad de taludes, Catalunya: Universitat Politècnica de Catalunya, 2005.
- [17] E. López-Bravo, E. Tijssens, O. González-Cueto, M. Herrera-Suárez, J. D. Lorenzo-Rojas y H. Ramon, «Simulation of Clay Soil De-Compaction Using Discrete Element Method,» *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 28, nº 1, p. 01, 2019.
- [18] L. M. G. JULIETH TATIANA HERNÁNDEZ RAMÍREZ, «ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO DE UN TALUD EN LA VEREDA LA HELENA DE IBAGUÉ- TOLIMA,» UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA, IBAGUÉ - TOLIMA, 2020.

6. ANEXOS

ANEXO A





ANEXO B



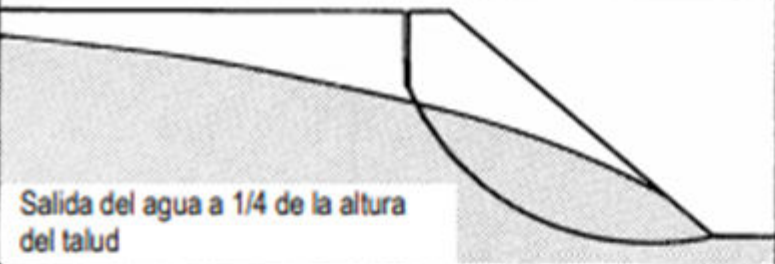


Condiciones del flujo de agua subterránea	Ábaco
 <p>Talud seco - completamente drenado</p>	1
 <p>Salida del agua a 1/8 de la altura del talud</p>	2
 <p>Salida del agua a 1/4 de la altura del talud</p>	3
 <p>Salida del agua a 1/2 de la altura del talud</p>	4
 <p>Talud completamente saturado con recarga superficial continuada</p>	5

Figura 17 Casos de situación del nivel freático resultos en los ábacos (Hoek and Bray, 1981)

ANEXO C

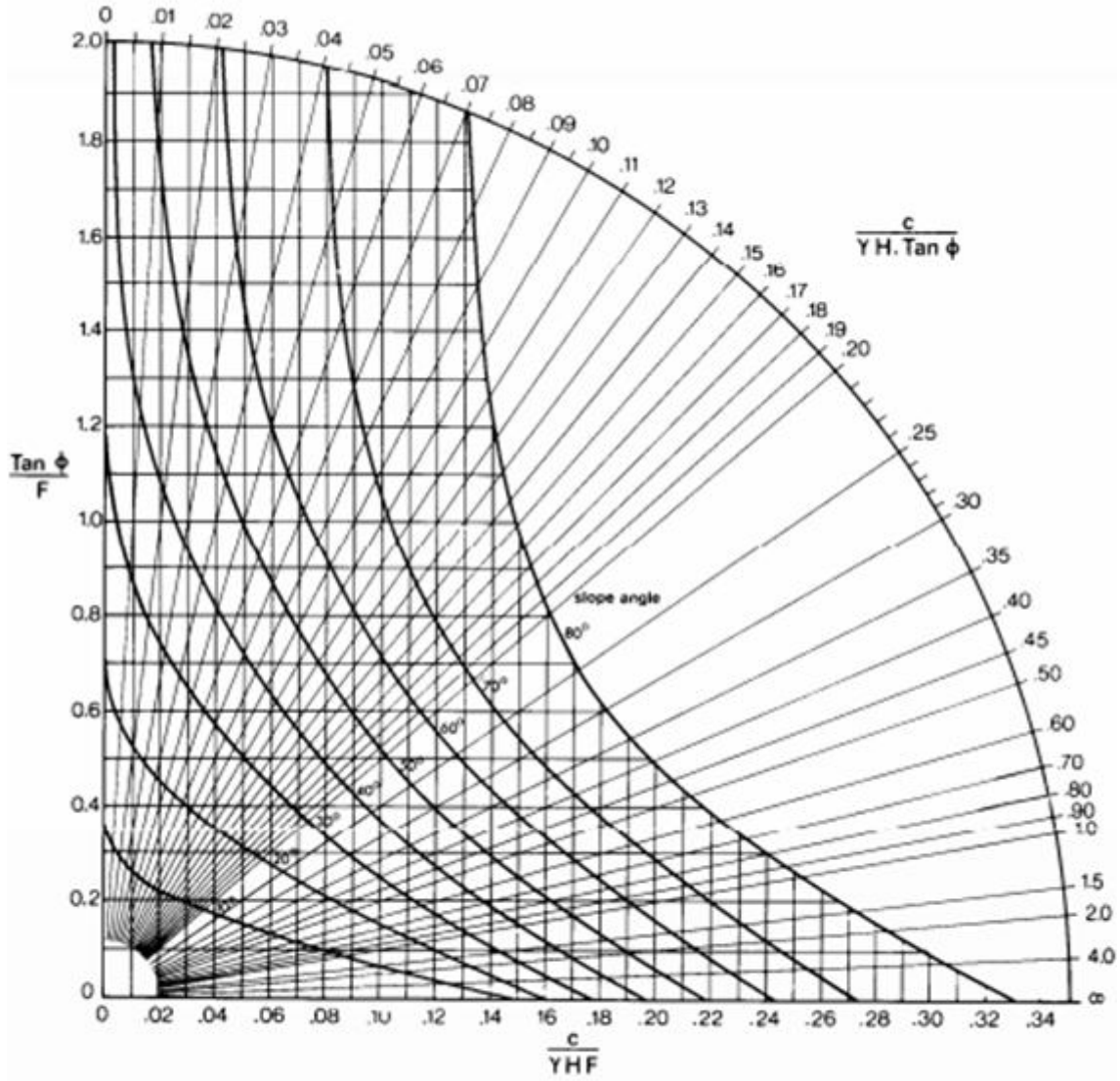


Figura 22 Ábaco N° 5 de Hoek y Bray

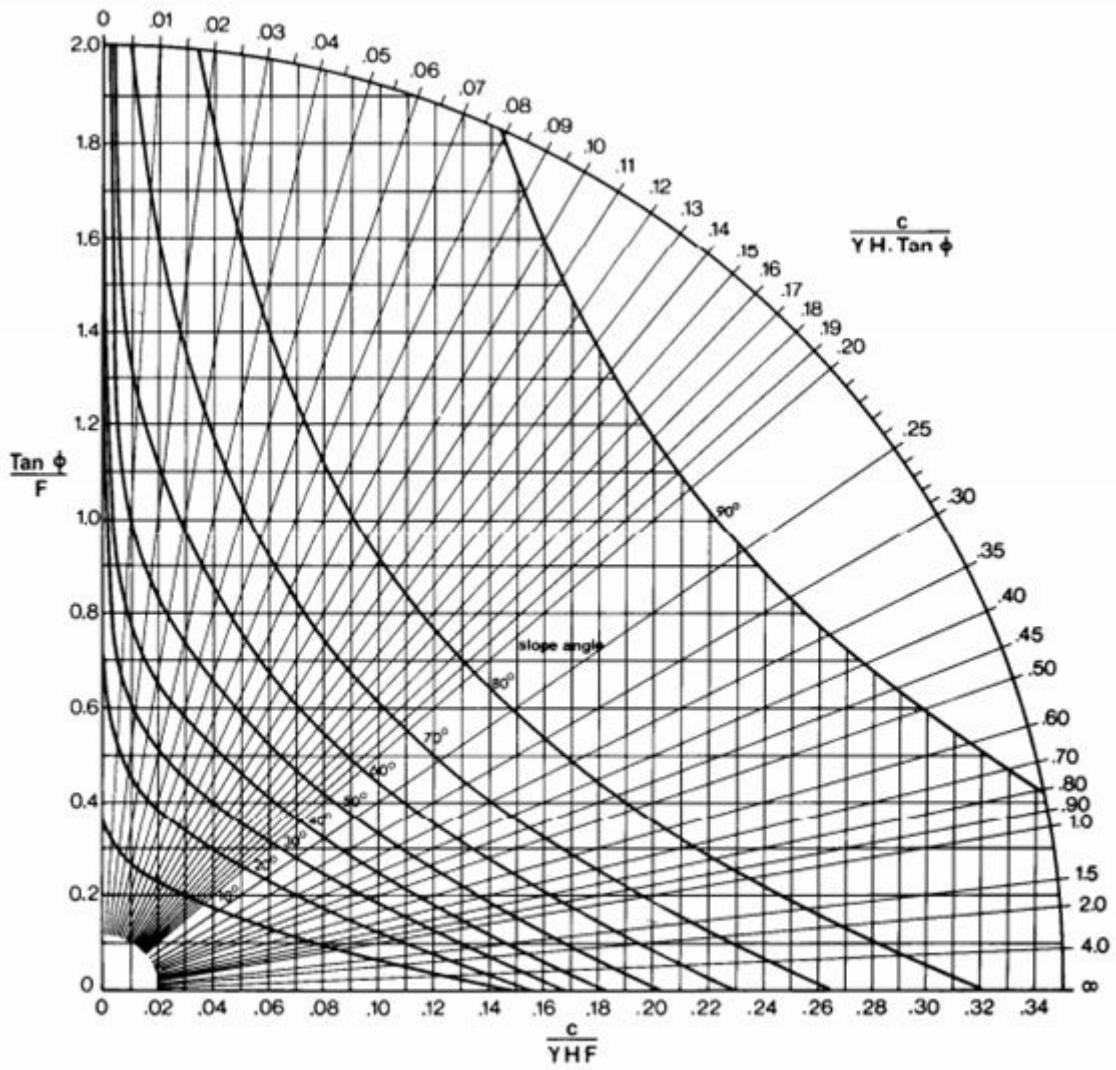


Figura 19 Ábaco N° 2 de Hoek y Bray