



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**DISEÑO GEOTÉCNICO PARA LA PROTECCIÓN Y ESTABILIZACIÓN DEL
TALUD EN EL PARQUE ECOLÓGICO “LAS ARDILLAS” Y VIVEROS
DENTRO DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Jacob Isaac Ramírez Bach

Asesorado por el Ing. Omar Enrique Medrano Méndez e
Ing. Julio Roberto Luna Aroche

Guatemala, julio de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO GEOTÉCNICO PARA LA PROTECCIÓN Y ESTABILIZACIÓN DEL
TALUD EN EL PARQUE ECOLÓGICO “LAS ARDILLAS” Y VIVEROS
DENTRO DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JACOB ISAAC RAMÍREZ BACH

ASESORADO POR EL ING. OMAR ENRIQUE MEDRANO MÉNDEZ
E ING. JULIO ROBERTO LUNA AROCHE

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JULIO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
EXAMINADOR	Ing. Nicolás De Jesús Guzmán Sáenz
EXAMINADOR	Ing. Claudio César Castañón Contreras
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO GEOTÉCNICO PARA LA PROTECCIÓN Y ESTABILIZACIÓN DEL
TALUD EN EL PARQUE ECOLÓGICO "LAS ARDILLAS" Y VIVEROS
DENTRO DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,
con fecha mayo de 2011.



Jacob Isaac Ramírez Bach



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Guatemala 26 de febrero de 2013

Ingeniero
Guillermo Francisco Melini Salguero
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

Ingeniero Melini:

Me dirijo a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación **"DISEÑO GEOTÉCNICO PARA LA PROTECCIÓN Y ESTABILIZACIÓN DEL TALUD EN EL PARQUE ECOLÓGICO "LAS ARDILLAS" Y VIVEROS DENTRO DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA"**, elaborado por el estudiante Jacob Isaac Ramírez Bach, ha sido finalizado a satisfacción y revisado por lo cual recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención a la presente.

Atentamente.

Ing. Civil


Omar Enrique Medrano Méndez
Colegiado No. 6842

Jefe de la Sección de Mecánica de Suelos

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



CENTRO DE ESTUDIOS SUPERIORES
DE ENERGÍA Y MINAS
- CESEM -
Tel.: 24 18 91 39

Guatemala, 11 de marzo de 2013.

Ingeniero
Guillermo Francisco Melini Salguero
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería/USAC

Ingeniero Melini:

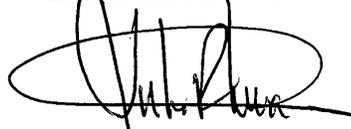
Por medio de la presente me dirijo a usted para desearle éxitos en sus labores diarias.

El motivo de la presente es para informarle que he asesorado al estudiante **JACOB ISAAC RAMÍREZ BACH**, en su trabajo de graduación que lleva por título **DISEÑO GEOTÉCNICO PARA LA PROTECCIÓN Y ESTABILIZACIÓN DEL TALUD EN EL PARQUE ECOLÓGICO "LAS ARDILLAS" Y VIVEROS DENTRO DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**.

Luego de haber propuesto correcciones y el estudiante haberlas realizado, **apruebo** este trabajo de graduación para que el mismo sea sometido a su consideración y posteriormente a una aprobación final.

Atentamente,

"ID K ENSEÑAD A TODOS"



Ing. Julio Roberto Luna Aroche
ASESOR

JULIO ROBERTO LUNA AROCHE
INGENIERO CIVIL
GEÓLOGO M. Sc.
COLEGIADO # 2,514

cc. archivo
zv/



USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
 Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,
 15 de mayo de 2013

Ingeniero
 Hugo Leonel Montenegro Franco
 Director Escuela Ingeniería Civil
 Facultad de Ingeniería
 Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **DISEÑO GEOTÉCNICO PARA LA PROTECCIÓN Y ESTABILIZACIÓN DEL TALUD EN EL PARQUE ECOLÓGICO "LAS ARDILLAS" Y VIVEROS DENTRO DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Jacob Isaac Ramírez Bach, quien contó con la asesoría del Ing. Julio Roberto Luna Aroche e Ing. Omar Enrique Medrano Méndez.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

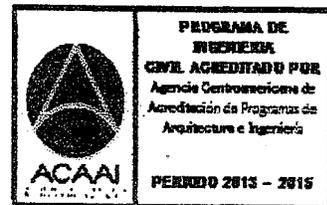
Guillermo Melini Saiguero

Ing. Civil Guillermo Francisco Melini Saiguero
 Coordinador del Área de Materiales y
 Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA
 AGCA DE MATERIALES Y
 CONSTRUCCIONES CIVILES
 USAC

Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua
 /bbdeb.





El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de los Asesores Ing. Omar Enrique Medrano Méndez e Ing. Julio Roberto Luna Aroche y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación del estudiante Jacob Isaac Ramírez Bach, titulado DISEÑO GEOTÉCNICO PARA LA PROTECCIÓN Y ESTABILIZACIÓN DEL TALUD EN EL PARQUE ECOLÓGICO "LAS ARDILLAS" Y VIVEROS DENTRO DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, julio de 2013.

Universidad de San Carlos
De Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.509-2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO GEOTÉCNICO PARA LA PROTECCIÓN Y ESTABILIZACIÓN DEL TALUD EN EL PARQUE ECOLÓGICO "LAS ARDILLAS" Y VIVEROS DENTRO DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Jacob Isaac Ramírez Bach**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

Ing. Murphy Olympo Paiz Ríos
Decano



Guatemala, julio de 2013

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por la vida, la bendición, la fuerza y la sabiduría que me ha brindado.
Mis padres	Por su apoyo espiritual, moral y económico: Oswaldo Encarnación Ramírez De León y Lidia Micaela Bach de Ramírez
Mis hermanos	Oswaldo Abimael y Gerson Jonatan Ramírez Bach.
Mis tíos y tías	En especial a Samuel Abraham Bach Carrillo
Mis primos y primas	En especial a Brenda Márquez

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por abrir las puertas a estudiantes que desean una superación en sus estudios.
Facultad de Ingeniería	Por formar profesionales en el área de la ingeniería.
Mis asesores	Ing. Omar Enrique Medrano Méndez e Ing. Julio Roberto Luna Aroche
Escuela de Ingeniería Civil	Por estar al servicio de los estudiante de ingeniería civil.
Ingenieros docentes	Por sus enseñanzas diarias para crear mejores profesionales.
Amigos y compañeros de estudio	Por estar en los momentos difíciles a lo largo de la carrera.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI

1.	FACTORES QUE PRODUCEN INESTABILIDAD Y DESLIZAMIENTOS EN UN TALUD.....	1
1.1.	Factores que influyen la estabilidad en los taludes	1
1.1.1.	Antecedentes históricos	1
1.1.2.	Geología de la región.....	2
1.1.3.	Topografía y estabilidad.....	2
1.1.4.	Efecto de la resistencia del suelo.....	3
1.1.5.	Pendiente del talud	3
1.1.6.	Pluviosidad.....	4
1.1.7.	Erosión.....	5
1.1.8.	Licuefacción debido a acciones sísmicas	6
1.2.	Tipos de deslizamientos en un talud.....	6
1.2.1.	Desprendimientos	7
1.2.2.	Derrumbes	7
1.2.3.	Avalanchas.....	7
1.2.4.	Flujo	8
1.2.5.	Repteo	8

1.3.	Tipos de desprendimientos y derrumbes en un talud	8
1.3.1.	Desprendimiento de bloques	8
1.3.2.	Volcadura de bloques	9
1.3.3.	Caídas.....	10
1.3.4.	Vuelco.....	10
1.3.5.	Derrumbe planar o rocoso	11
1.3.6.	Derrumbe rotacional	11
1.3.7.	Escurrimiento	11
1.3.8.	Flujo.....	12
2.	DESLIZAMIENTO DEL TALUD PARQUE ECOLÓGICO “LAS ARDILLAS” Y VIVEROS DENTRO DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	13
2.1.	Información y resultados del análisis actual del talud y el parque.....	13
2.2.	Mecanismo disparadores antrópicos y efectos de deslizamiento en el pie del talud.....	15
2.2.1.	Aguas servidas en el fondo del talud	17
2.2.2.	Sistema de aguas pluviales zona 11 y 12 de la ciudad capital	17
2.2.3.	Sistema de aguas pluviales de la urbanización de la universidad	18
2.2.4.	Factores de amenaza	18
2.2.5.	Análisis cuantitativo de deslizamientos del talud colindante al parque	19
2.2.6.	Distancia de talud a edificaciones.....	21
2.2.7.	Eventos de deslizamientos en áreas vulnerables del talud	21
2.3.	Fotografías aéreas del talud	22

2.4.	Prevención.....	24
3.	TOMA DE DATOS EN CAMPO SOBRE EL TALUD.....	25
3.1.	Levantamiento topográfico.....	25
3.1.1	Curvas de nivel	26
3.1.2	Perfil topográfico	26
3.2.	Ensayo geotécnico.....	28
3.3.	Ensayo al suelo del talud <i>in situ</i>	30
3.3.1	Ensayo de penetración estándar SPT.....	30
3.3.2	Perforación de pozo a cielo abierto.....	30
4.	CARACTERÍSTICAS DEL TALUD MEDIANTE ENSAYOS DE LABORATORIO	33
4.1.	Toma de muestras de suelo <i>in situ</i>	33
4.2.	Ensayo de granulometría.....	35
4.3.	Ensayo de límite líquido.....	36
4.4.	Ensayo de límite plástico	36
4.5.	Ensayo de contenido de humedad.....	36
4.6.	Gravedad específica	38
4.7.	Triaxial drenado	39
4.8.	Drenado consolidado	40
4.9.	Obtención de muestras inalteradas en campo.....	40
4.10.	Ensayo de sedimentación	42
5.	ANÁLISIS DEL PROBLEMA Y PROPUESTAS DE SOLUCIÓN.....	43
5.1.	Construir bermas	43
5.2.	Vegetación.....	46
5.3.	Recubrimiento concreto lanzado.....	48
5.4.	Método de <i>soil nailing</i>	52

5.5.	Realizar un canal de concreto en el fondo de talud que evite la erosión	57
5.6.	Propuestas para la protección y estabilización del talud después de realizados ensayos <i>in situ</i> y laboratorio.....	64
5.7.	Análisis comparativo de los métodos de Bishop Modificado, Janbú y Fellenius al talud en estudio	66
5.8.	Propuesta geotécnica adaptable para la protección del talud en estudio	108
CONCLUSIONES.....		119
RECOMENDACIONES.....		121
BIBLIOGRAFÍA.....		123
ANEXOS.....		125

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Desprendimiento de bloques	9
2.	Volcadura de bloques	9
3.	Vuelco de roca	10
4.	Fotografía aérea de zona de deslizamiento	13
5.	Ubicación analizada	14
6.	Drenaje a flor de tierra	16
7.	Flujo de río artificial al fondo del talud.....	16
8.	Aguas servidas al fondo del talud	17
9.	Talud ciudad universitaria	20
10.	Deslizamiento colonia El Carmen	22
11.	Fotografía aérea Universidad de San Carlos de Guatemala	23
12.	Perfil topográfico del talud en estudio	27
13.	Muestra inalterada emparafinada en laboratorio.....	28
14.	Colocación de equipo para el descenso del talud.....	33
15.	Descenso por el talud ciudad universitaria	34
16.	Ensayo de granulometría	35
17.	Ensayo a muestras contenido de humedad	37
18.	Ensayo de gravedad específica	38
19.	Ensayo a muestras triaxial drenado.....	39
20.	Toma de muestras en un corte del talud.....	41
21.	Muestras tomadas a diferentes alturas en el corte del talud	41
22.	Detalle de bermas para la protección de un talud.....	46
23.	Vegetación para la protección de un talud	48

24.	Vista muro de recubrimiento concreto lanzado.....	49
25.	Detalle de armado para concreto lanzado	50
26.	Aplicación del suelo enclavado en deslizamientos de tierra	54
27.	Suelo enclavado como estructura de contención	55
28.	Colocación de acero de refuerzo <i>soil nailing</i>	55
29.	Colocación de acero de refuerzo transversal, provee continuidad a la estructura, haciéndola funcionar como unidad.....	56
30.	Proceso de lanzado, provee protección contra la erosión, y es el cuerpo del muro de contención	56
31.	Sección transversal regular	59
32.	Flujo en conductos.....	61
33.	Canal artificial de secciones transversales trapecial.....	63
34.	Talud en estudio	65
35.	Perfil de terreno	66
36.	División de estratos del terreno	68
37.	Círculo de falla asumida	69
38.	Dovelas asumidas en el círculo de falla.....	70
39.	Círculo de falla asumida no.1	71
40.	Círculo de falla asumida no.2	79
41.	Círculo de falla asumida no.3	86
42.	Círculo de falla asumida no.4	94
43.	Círculo de falla asumida no.5	101
44.	Distancias recomendadas para zonas de seguridad y peligro.....	110
45.	Río de aguas servidas proveniente de las colonias cercanas a la Ciudad Universitaria zona 12.....	111
46.	Área de estudio y toma de muestras	113
47.	Propuesta de solución, tramo en estudio, estabilización con pasto y grama	114
48.	Propuesta de solución, tramo en estudio.....	115
49.	Estabilización de talud por medio de placas.....	115

50.	Anclaje a utilizar para la estabilización por medio de placas	116
51.	Estabilización por medio de placas.....	116
52.	Estabilización de talud por medio de gaviones perfil	117
53.	Estabilización de talud por medio de gaviones	117
54.	Estabilización de talud por medio de gaviones diseño.....	118
55.	Propuesta integrada de solución.....	118

TABLAS

I.	Método de prevención de la amenaza o el riesgo.....	24
II.	Muestras de suelo obtenidas del talud en estudio	34
III.	Resultados obtenidos del ensayo de granulometría	35
IV.	Resultados obtenidos del ensayo contenido de humedad	37
V.	Resultados obtenidos del ensayo de gravedad específica.....	38
VI.	Resultados obtenidos del ensayo triaxial drenado	40
VII.	Coordenadas del perfil del terreno	67
VIII.	Coordenadas de las dovelas en círculo de falla 1	72
IX.	Solución por el método de Fellenius círculo de falla 1.....	73
X.	Solución por el método de Bishop modificado círculo de falla 1.....	74
XI.	Solución por el método de Bishop modificado iteraciones 1 y 2 círculo de falla 1	75
XII.	Solución por el método de Bishop modificado iteraciones 3 y 4 círculo de falla 1	75
XIII.	Solución por el método de Janbú círculo de falla 1	76
XIV.	Solución método Janbú iteraciones 1 a 3 círculo de falla 1	77
XV.	Solución método Janbú iteraciones 4 a 6 círculo de falla 1	77
XVI.	Solución método Janbú iteraciones 7 a 9 círculo de falla 1	78
XVII.	Resultado de factor de seguridad círculo de falla 1	78
XVIII.	Coordenadas de las dovelas en círculo de falla 2.....	80
XIX.	Solución por el método de Fellenius círculo de falla 2	81

XX.	Solución por el método de Bishop modificado círculo de falla 2 ...	82
XXI.	Solución método de Bishop modificado iteraciones 1 a 3 círculo de falla 2.....	82
XXII.	Solución por el método de Janbú círculo de falla 2.....	83
XXIII.	Solución método Janbú iteraciones 1 a 3 círculo de falla 2	84
XXIV.	Solución método Janbú iteraciones 3 a 6 círculo de falla 2.....	84
XXV.	Solución método Janbú iteraciones 7 a 9 círculo de falla 2.....	86
XXVI.	Resultado de factor de seguridad círculo de falla 2.....	86
XXVI.	Coordenadas de las dovelas en círculo de falla 3	87
XXVIII.	Solución por el método de Fellenius círculo de falla 3.....	88
XXIX.	Solución por el método de Bishop modificado círculo de falla 3...	89
XXX.	Solución método de Bishop modificado iteraciones 1 a 3 círculo de falla 3.....	89
XXXI.	Solución método de Bishop modificado iteraciones 4 a 6 círculo de falla 3.....	90
XXXII.	Solución método de Bishop modificado iteraciones 7 a 8 círculo de falla 3.....	90
XXXIII.	Solución por el método de Janbu círculo de falla 3	91
XXXIV.	Solución método Janbú iteraciones 1 a 3 círculo de falla 3.....	92
XXXV.	Solución método Janbú iteraciones 4 a 6 círculo de falla 3.....	92
XXXVI.	Solución método Janbú iteraciones 7 a 8 círculo de falla 3.....	93
XXXVII.	Resultado de factor de seguridad círculo de falla 3	93
XXXVIII.	Coordenadas de las dovelas en círculo de falla 4.....	95
XXXIX.	Solución por el método de Fellenius círculo de falla 4	96
XL.	Solución por el método de Bishop modificado círculo de falla 4...	97
XLI.	Solución por el método de Bishop modificado iteraciones 1 a 3 círculo de falla 4.....	97
XLII.	Solución por el método de Janbu círculo de falla 4	98
XLIII.	Solución método Janbú iteraciones 1 y 3 círculo de falla 4	99
XLIV.	Solución método Janbú iteraciones 4 a 6 círculo de falla 4	99

XLV.	Solución método Janbú iteraciones 7 y 8 círculo de falla 4.....	100
XLVI.	Resultado de factor de seguridad círculo de falla 4	100
XLVII.	Coordenadas de las dovelas en círculo de falla 5.....	102
XLVIII.	Solución por el método de Fellenius círculo de falla 5	103
XLIX.	Solución por el método de Bishop modificado círculo de falla 5....	104
L.	Solución por el método de Bishop modificado iteraciones 1 a 3 círculo de falla 5	104
LI.	Solución por el método de Bishop modificado Iteraciones 4 y 5 círculo de falla 5	105
LII.	Solución por el método de Janbu círculo de falla 5.....	106
LIII.	Solución método Janbú iteraciones 1 a 3 círculo de falla 5	106
LIV.	Solución método Janbú iteraciones 4 a 6 círculo de falla 5.....	107
LV.	Solución método Janbú iteraciones 7 a 9 círculo de falla 5.....	107
LVI.	Resultado de factor de seguridad círculo de falla 5.....	108

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
b	Ancho de la tajada de la dovela
Φ	Ángulo de fricción interna del suelo
α	Ángulo del radio del círculo de falla con la vertical bajo el centroide en cada tajada
C'	Cohesión del suelo
fo	Factor de corrección empírico
FS	Factor de Seguridad
A	Longitud de la base de la dovela
W	Peso del elemento
Y	Peso específico total del material

GLOSARIO

Berma	Barrera elevada que separa 2 zonas, que sirve de protección a los efectos de la erosión.
Calicatas	Excavación del terreno para observarlo directamente.
Canal	Una construcción que puede ser natural o artificial destinada al transporte de todo tipo de fluidos.
CEDESYD	Centro de Estudios de Desarrollo Seguro y Desastre
CESEM	Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas
Cohesión	Es la cualidad por la cual las partículas del terreno se mantienen unidas en virtud de fuerzas internas.
Deslizamiento	Se produce cuando una gran masa de terreno se convierte en zona inestable y desliza con respecto a una zona estable, a través de una superficie o franja de terreno pequeño espesor.

Dovelas	Elemento vertical de forma trapezoidal, en el que se divide el talud para analizar las fuerzas que están involucradas en la misma.
Erosión	Desagregación, desprendimiento y arrastre de sólidos desde la superficie terrestre por la acción del agua, viento, gravedad, hielo u otro. Proceso por el cual el sustrato es resquebrajado y acarreado lejos de un área.
Flujo	Movimiento de suelo, producido por una saturación de agua.
Gaviones	Son contenedores de piedras retenidas con malla de alambre. Se colocan a pie de obra desarmados y, una vez en su sitio, se rellenan con piedras del lugar.
Estudio Geotécnico	Se puede definir como conjunto de actividades que comprenden la investigación del subsuelo, los análisis y recomendaciones para el diseño y construcción de la obra que tenga contacto con el suelo.
Licuefacción	Es un tipo de corrimiento, provocado por la inestabilidad de un talud. En ciertas circunstancias pasan de un estado sólido a un estado líquido, o adquieren la consistencia de un líquido pesado.

Litología	Describe las transiciones de material en el tiempo geológico que permiten que toda roca pueda transformarse en uno de estos 3 tipos: rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas.
Muestra inalterada	Una muestra de suelos que se ha obtenido por métodos en los que se han tomado todas las precauciones para disminuir a la alteración de la muestra.
Pendiente	Identifica el ángulo o nivel de conformación del talud natural o artificial con respecto a la horizontal; se puede medir en grados, ángulo, porcentaje o relación horizontal vertical.
Permeabilidad	Es la facultad con la que el agua pasa a través de los poros, tiene un efecto decisivo sobre el costo y las dificultades a encontrar en muchas operaciones constructivas.
Pluviosidad	Cantidad de lluvia que recibe una región o comarca en un período determinado de tiempo.
Sondeo mecánico	Son perforaciones de diámetros y profundidad variables, que permiten reconocer la naturaleza y localización de los diferentes niveles geotécnicos del terreno, extraer muestras inalteradas y realizar ensayos <i>in situ</i> a diferentes profundidades.

Suelo

Es la capa más superficial de la corteza terrestre, que resulta de la descomposición de las rocas por los cambios bruscos de temperatura y por la acción del agua, del viento y de los seres vivos.

Talud

Superficie inclinada respecto a la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las estructuras de tierra, bien sea en forma natural o como consecuencia de la intervención humana en una obra de ingeniería.

RESUMEN

El siguiente trabajo de investigación, fue realizado con el fin de evaluar el comportamiento del talud ubicado al oeste de la Ciudad Universitaria zona 12 de la ciudad de Guatemala, tomando en cuenta los diferentes cambios que se están realizando en el mismo.

El capítulo uno presenta una forma básica para la identificación de los problemas más comunes en el deslizamiento de taludes, clasificando el tipo y formas de fallas que se pueden producir, tomando en cuenta la geología de la región en estudio.

Posteriormente se encontrará en forma detallada, la evaluación del estado del talud en el parque ecológico Las Ardillas y viveros de la ciudad universitaria, analizando mecanismos naturales disparadores de deslizamientos en el talud, mecanismos disparadores antrópicos y efectos de deslizamientos en el fondo del talud, tomando en cuenta factores como profundidad y ancho del talud, aguas pluviales, y distancias a edificaciones cercanas.

El capítulo tres y cuatro presentará el análisis de campo y laboratorio, determinando las características físicas y mecánicas del talud, detallando la toma de muestras en el talud y los ensayos realizados a las mismas, concluyendo con el análisis de estabilidad de taludes por los métodos de Fellenius, Bishop Modificado y Janbú, determinando la estabilidad que presenta el talud en estudio, determinando propuestas útiles de una solución al problema de deslizamiento que presenta el talud.

OBJETIVOS

General

Realizar una guía, que demuestre de manera ordenada y concreta el procedimiento a seguir para la protección y estabilización del talud en el parque ecológico Las Ardillas y viveros dentro de la Ciudad Universitaria zona 12 de la ciudad de Guatemala.

Específicos

1. Realizar un análisis de las características del área del talud en la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el parque ecológico Las Ardillas y viveros cercanos.
2. Conocer las características topográficas del terreno, para facilitar la identificación de los deslizamientos ocurridos en el área y probabilidad de ocurrencia, estableciendo tipos de deslizamientos.
3. Identificar por medio de ensayos de laboratorio y campo; las características físicas y mecánicas del suelo, mediante las cuales se podrá predecir el comportamiento futuro del talud y forma de protegerlo.
4. Definir la estratigrafía que forma el talud, para determinar las formas de deslizamiento que se pueden producir

5. Dar a conocer distintas propuestas para una solución a la estabilización del talud, tomando en cuenta las características físicas obtenidas de los ensayos realizados en laboratorio y campo.

INTRODUCCIÓN

El deslizamiento de taludes, es un problema que ocurre constantemente en diferentes partes del país, un talud puede fallar en forma imprevista, debido a cambios topográficos, sismicidad, flujos de agua subterránea, cambios en la resistencia del suelo, estos factores puede modificar el estado natural de estabilidad del talud. La importancia del análisis de taludes, se está haciendo más importante hoy en día, ya que debido al aumento de la población se están creando construcciones civiles en laderas, muchas de ellas sin tomar en cuenta las características del suelo que presenta el terreno.

El análisis del talud en la ciudad universitaria, sirve de ejemplo para los propios estudiantes de la Facultad de Ingeniería, ya que puede ser estudiado ampliamente, debido que presenta en toda su longitud problemas varios de deslizamiento.

El problema principal a tratar en taludes con deslizamiento, es la prevención a desastres que pueden producirse, protegiendo siempre en primer lugar la vida de los que habitan cerca del deslizamiento, tomando en cuenta que lo más importante en la reducción de amenazas y riesgos es la prevención.

El presente trabajo de investigación, presenta en forma detalla el problema del talud dentro de la ciudad universitaria, desarrollando temas de gran importancia para el análisis adecuado de un talud, exponiendo aplicaciones, problemas y soluciones a la situación que aqueja actualmente el talud.

1. FACTORES QUE PRODUCEN INESTABILIDAD Y DESLIZAMIENTOS EN UN TALUD

1.1. Factores que influyen la estabilidad en los taludes

Los deslizamientos pueden producirse de distintas maneras, es decir en forma lenta o rápida, con o sin provocación aparente. Generalmente se producen como consecuencia de excavaciones o socavaciones en el pie del talud. Sin embargo existen otros casos donde la falla se produce por desintegración gradual de la estructura del suelo, aumento de las presiones intersticiales debido a filtraciones de agua.

1.1.1. Antecedentes históricos

El conocimiento de la ocurrencia de deslizamientos en el pasado en el área de interés constituye un buen punto de partida para la detección y evaluación de potenciales deslizamientos en el futuro. En general, las áreas donde estos fenómenos ya han ocurrido en el pasado son altamente susceptibles a que los mismos se repitan.

Entre las fuentes de información para conocer sobre deslizamientos en el pasado, están las reseñas de deslizamientos publicados en periódicos locales, revistas nacionales o internacionales especializadas en el tema, mapas de zonificación de casos ocurridos de inestabilidad geológica, inventarios de riesgos geológicos, entre otros.

1.1.2. Geología de la región

La geología en general representa un factor primordial en la estabilidad de un talud y existen muchos factores geológicos que ilustran el potencial del deslizamiento de taludes. En general, los deslizamientos pueden ocurrir en cualquier tipo de relieve si las condiciones están dadas. Sin embargo, la experiencia de trabajar y observar distintos tipos de terrenos ha demostrado que los deslizamientos son más comunes en ciertos tipos de geografía y menos comunes en otros.

La susceptibilidad a los deslizamientos está relacionada con las características geológicas del sitio. La litología, la geomorfología, la estructura y el estado de meteorización, entre otros, son factores determinantes en la ocurrencia de deslizamientos.

Cada formación geológica posee una susceptibilidad específica a los deslizamientos y los mapas de inventario de deslizamientos presentan densidades de número o tamaño de los movimientos que son característicos de determinadas áreas dentro de cada formación geológica. Cuando un talud está formado por varios tipos de roca, el comportamiento geotécnico del conjunto es diferente al de cada material por separado.

1.1.3. Topografía y estabilidad

Los mapas topográficos representan una excelente fuente de información para la detección de deslizamientos y, algunas veces, se puede identificar en ellos grandes áreas de deslizamiento. En los mapas topográficos, la escala y el intervalo de las curvas de nivel facilitan la identificación de los deslizamientos. Esta identificación se puede llevar a cabo mediante:

- Características topográficas evidentes, por ejemplo, pendientes empinadas (curvas de nivel con poco espaciamiento) en el escarpe de un deslizamiento, topografía con pequeñas elevaciones o montículos dentro de la masa deslizante (curvas de nivel que siguen un patrón irregular y no simétrico con depresiones poco profundas), presencia de masa separada y características de flujo en la parte baja. Resistencia nominal: 210 kilogramos por centímetro cuadrado.
- Curvas de niveles ondulados, vías locales dañadas con niveles desiguales y otros lineamientos superficiales tales como líneas de transmisión o cercas.
- Movimientos menores o irregularidades en zonas de pendientes empinadas, acantilados, bancos, áreas de concentración de drenaje.

La identificación de deslizamientos en mapas topográficos se verá ayudada por la escala y el intervalo de las curvas de nivel en el mapa.

1.1.4. Efecto de la resistencia del suelo

El suelo tiene dos comportamientos básicos ante la aplicación del esfuerzo cortante. Uno, a través de la fricción intergranular de las partículas que lo integran y la otra por medio de fuerzas que unen a las partículas entre sí. La primera se llama también condición drenada o a largo plazo y la segunda,

1.1.5. Pendiente del talud

El efecto entre el nivel de inclinación del terreno y algunos fenómenos, son procesos que necesariamente necesitan una inclinación del terreno para producirse como por ejemplo, caídas o deslizamientos. Por lo cual la pendiente del talud es decisiva, ya que los terrenos escarpados favorecen los arrastres, posibilitando que se renueve la superficie expuesta a los agentes meteóricos; sin embargo, dificultan la concentración de humedad e impiden la estabilidad necesaria para la meteorización química.

Los movimientos de translación tienen en su mayoría un carácter masivo, aunque no siempre es así. Concretamente, la caída de materiales es frecuente que se produzca individualizada o secuencialmente, no de forma masiva.

1.1.6. Pluviosidad

La pluviosidad tiene un efecto primordial en la estabilidad de los taludes ya que influencia la forma, incidencia y magnitud de los deslizamientos. En suelos residuales, generalmente no saturados, el efecto acumulativo puede llegar a saturar el terreno y activar un deslizamiento.

Con respecto a la pluviosidad hay tres aspectos importantes:

- El ciclo climático en un período de años, por ejemplo, alta precipitación anual versus baja precipitación anual.
- La acumulación de pluviosidad en un año determinado en relación con la acumulación normal.
- Intensidad de una tormenta específica.

Al realizarse un estudio sobre la ocurrencia de deslizamientos en relación con la pluviosidad y establecer el coeficiente del ciclo como parámetro fundamental que toma en cuenta la pluviosidad. El coeficiente del ciclo fue definido como la precipitación acumulada hasta el día de la falla en porcentaje del promedio de la precipitación anual.

Los resultados del estudio indican que la acumulación de precipitación causa un incremento en la saturación del terreno que eleva el nivel freático, por lo tanto, una tormenta durante la estación seca o al comienzo de la estación húmeda tendría un efecto menor en la estabilidad del talud que una tormenta de la misma intensidad el final de la estación húmeda.

1.1.7. Erosión

La erosión puede ser causada por agentes naturales y humanos. Entre los agentes naturales se pueden incluir el agua de escorrentía, aguas subterráneas, olas, corrientes y viento.

La erosión por agentes humanos incluye cualquier actividad que permite un incremento de la velocidad del agua, especialmente en taludes sin protección, como la tala de árboles u otro tipo de vegetación que ayuda a fijar el suelo y mejorar la estabilidad del talud.

La erosión puede causar la pérdida de soporte de fundación de estructuras, pavimentos, rellenos y otras obras de ingeniería. En terrenos montañosos, incrementa la incidencia de taludes inestables y puede resultar en la pérdida de vías u otras estructuras.

Existen ciertos procedimientos para controlar la erosión y sedimentación. En bancos de ríos y canales, la protección se puede proveer con estructuras de

retención, revestimiento de concreto y cascajo. En taludes, la protección consiste en:

- Sembrar vegetación de rápido crecimiento además de instalar un sistema de control del drenaje superficial.
- Instalar fajas en la dirección transversal del talud, las cuales se pueden sujetar con estacas La acumulación de pluviosidad en un año determinado en relación con la acumulación normal.
- Sellar las grietas superficiales con concreto, suelo o asfalto para prevenir la infiltración, lo cual reduce la erosión.

1.1.8. Licuefacción debido a acciones sísmicas

Se da en zonas de arenas limosas saturadas, o en arenas muy finas redondeadas (loess). Debido a la gran cantidad de agua que presentan, las presiones internas son tan elevadas que un sismo, o una carga dinámica, o la elevación del nivel freático, pueden aumentarlas, llegando a anular las tensiones efectivas. El talud en estudio no presenta este tipo de material por lo cual no sería un factor de alto riesgo a considerar.

Se presentaría licuefacción en la parte baja del talud es decir donde corre el rio de aguas pluviales, considerando que el suelo está formado en gran parte por arenas acumuladas durante los años.

1.2. Tipos de deslizamientos en un talud

La distinción entre deslizamientos rotacionales y traslacionales, es importante en lo que se refiere a los análisis de estabilidad y el diseño de

medidas de control y estabilización. Este tipo de movimientos es el que dispone de métodos de análisis y modelización.

1.2.1. Desprendimientos

Son fallas repentinas de taludes verticales o casi verticales que producen el desprendimiento de un bloque o múltiples bloques que descienden en caída libre. La volcadura de los bloques generalmente desencadena un desprendimiento.

En suelos, los desprendimientos son causados por socavación debido a la erosión. En algunos casos los desprendimientos son el resultado de meteorización diferencial.

1.2.2. Derrumbes

Se encuentran asociados a fallas en suelos y rocas, y de acuerdo con la forma de la superficie de fallas se subdividen en rotacional y planaras. Mezcla de suelo y pedazos de roca moviéndose a lo largo de una superficie de roca planar.

1.2.3. Avalanchas

Las avalanchas son los movimientos rápidos de escombros, de suelo o de roca y puede o no comenzar con la ruptura a lo largo de una superficie de falla. Toda la vegetación, el suelo y la roca suelta pueden ser arrastrados.

1.2.4. Flujo

Este tipo de deslizamiento se le asimila al de una avalancha, excepto que la cantidad de agua es mayor y por ello la masa fluye como lodo. La principal causa es aporte de grandes lluvias y material suelto en la superficie.

1.2.5. 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 se ven afectadas 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. El repteo es característico en materiales cohesivos y rocas blandas como lutitas y sales, en taludes moderadamente inclinados.

1.3. Tipos de desprendimientos y derrumbes en un talud

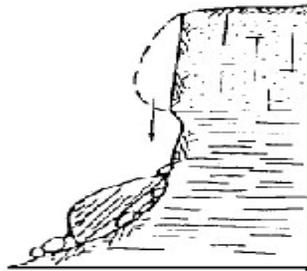
El desprendimiento se origina por el despegue de una masa de suelo o roca de una pared empinada o acantilado. El movimiento tiene lugar mediante caída libre y posterior rebote o rodadura. Es frecuente que al impactar contra la superficie del terreno, la masa caída se rompa en multitud de fragmentos.

1.3.1. Desprendimiento de bloques

Desprendimiento repentino de uno o más bloques de suelo o roca que descienden en caída libre. Estos se producen comúnmente en taludes verticales o casi verticales en suelos débiles o moderadamente fuertes y en

macizos rocosos fracturados. Generalmente antes de la falla ocurre un desplazamiento, el cual puede ser identificado por la presencia de grietas de tensión.

Figura 1. **Desprendimiento de bloques**

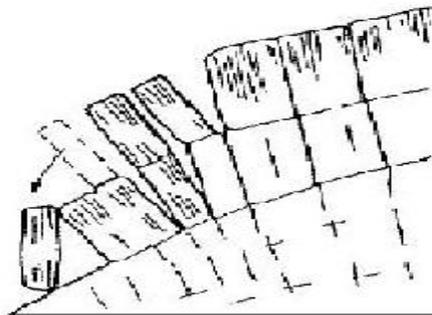


Fuente: POBLETE, Mauro. Taludes sometidos a presiones en superficie. p.17.

1.3.2. **Volcadura de bloques**

Caída de un bloque de roca con respecto a un pivote ubicado debajo de su centro de gravedad. Son relevantes desde el punto de vista de la ingeniería, porque pueden ocasionar daños a estructuras o a taludes inferiores.

Figura 2. **Volcadura de bloques**



Fuente: POBLETE, Mauro. Taludes sometidos a presiones en superficie. p.18.

1.3.3. Caídas

Una caída se inicia con el desprendimiento de suelo o roca en una ladera muy inclinada. El material desciende principalmente a través del aire por caída, rebotando o rodando, ocurre en forma rápida sin dar tiempo a prevenirlas.

1.3.4. Vuelco

Caída de un bloque de roca con respecto a un pivote ubicado debajo de su centro de gravedad. Se producen en suelos débiles a moderadamente fuertes y en macizos rocosos fracturados. Generalmente antes de la falla ocurre un desplazamiento.

Figura 3. **Vuelco de roca**



Fuente: POBLETE, Mauro. Taludes sometidos a presiones en superficie. p.19.

1.3.5. Derrumbe planar y rocoso

Los derrumbes planares, consisten en el movimiento de un bloque o bloques de suelo o roca a lo largo de una superficie de falla plana bien definida. Estos derrumbes pueden ocurrir lenta y rápidamente.

Los derrumbes planares en macizos rocoso consisten en el deslizamiento como una unidad o unidades (bloques) talud abajo a lo largo de una o más superficies planas

1.3.6. Derrumbe rotacional

Los derrumbes rotacionales tienden a ocurrir lentamente en forma de cuchara y el material comienza a fallar por rotación a lo largo de una superficie cilíndrica; aparecen grietas en la cúspide del área inestable e hinchamientos al pie de la masa deslizante. Al finalizar, la masa se desplaza sustancialmente y deja un escarpe en la cúspide.

1.3.7. Escurrimiento

Este tipo de desprendimiento es ocasionado por canales o zanjones de mayor magnitud. Cuando el flujo se hace turbulento, la energía del agua es suficiente para crear canales paralelos llamados surcos, por las que circula agua durante y después de los aguaceros, provocando dichos desprendimientos.

1.3.8. Flujo

Suelo o suelo-roca moviéndose como un fluido viscoso desplazándose usualmente hasta distancias mucho mayores de la falla. Usualmente originados por exceso de presiones de poros.

2. DESLIZAMIENTO DEL TALUD PARQUE ECOLÓGICO “LAS ARDILLAS” Y VIVEROS DENTRO DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

2.1. Información y resultados del análisis actual del talud y el parque

El diseño de mezcla es el proceso de determinación de las características requeridas del concreto y que se pueden especificar, por lo tanto, luego de haber realizado los ensayos propios de agregados, se procedió a comprobar su desempeño real fabricando mezclas de concreto.

Figura 4. Fotografía aérea de zona de deslizamiento



Fuente: Centro de Estudios de Desarrollo Seguro y Desastre (CEDESVD).

Ubicación político-administrativa

La Universidad de San Carlos de Guatemala (también conocida y llamada por sus siglas: USAC) es la universidad más grande, prestigiosa y antigua de Guatemala, siendo además la única estatal y autónoma.

Departamento: Guatemala

Municipio: Guatemala

Dirección: Colonia Santa Rosa, zona 12 Guatemala

Figura 5. **Ubicación analizada**



Fuente: Centro de Estudios de Desarrollo Seguro y Desastre (CEDESXD).

La geología de la parte investigada es típica del valle de la ciudad de Guatemala, formada especialmente por intercalaciones de estratos de tobas volcánicas de diferente origen, sedimentos lacustres y eólicos y paleosuelos.

La pendiente en el área se considera de fuerte a crítica ya que se estableció en base a los instrumentos de medición que varía entre 65 y 90 grados, con diferentes niveles de deforestación y líneas de erosión vertical y percolación de los paleosuelos en las tobas.

El barranco El Carmen, en la parte baja del parque ecológico Las Ardillas y de la zona de viveros, presenta una geomorfología muy angosta y profunda (entre 60 y 70 metros), con deslizamientos verticales que se desprende desde la superficie hasta mas o menos 20 metros mas abajo teniendo el 80 por ciento de ellos una dirección de disparo entre 50 y 54 grados noroeste, lo cual podrían ser evidencia de una falla tectónica.

2.2. Mecanismos disparadores antrópicos y efectos de deslizamiento en el pie del talud

El drenaje a flor de tierra acrecienta el caudal de la quebrada, lo que socaba las bases de los taludes con desprendimientos y derrumbes debilitando la parte alta de estos taludes lo que a su vez provoca deslizamientos masivos y avalanchas repentinas.

Figura 6. Drenajes a flor de tierra



Fuente: talud parque ecológico “Las Ardillas”.

El vertimiento del sistema de aguas pluviales de la zona 11 y 12 en época lluviosa, cubren en su totalidad el ancho del barranco.

Figura 7. Flujo del río artificial al fondo del talud



Fuente: talud parque ecológico “Las Ardillas”.

2.2.1. Aguas servidas en el fondo del talud

El vertimiento del sistema de aguas pluviales de la zona 11 y 12 en época lluviosa, cubren en su totalidad el ancho del barranco.

Figura 8. **Aguas servidas al fondo del talud**



Fuente: talud parque ecológico “Las Ardillas”.

La suma del río artificial y las aguas pluviales, forman fuertes corrientadas que saturan de agua los taludes laterales del barranco y en el fondo degradan constantemente el lecho del río.

2.2.2. Sistema de aguas pluviales zona 11 y 12 de la ciudad capital

En la profundidad del barranco corren aguas servidas formando un río artificial a flor de tierra (durante todo el año) por drenajes que proceden de la

reformita zona 11 y 12, iniciado antes del ingreso y cubriendo la colindancia oeste de la Universidad, siguiendo hacia el colegio y colonia Monte María.

2.2.3. Sistema de aguas pluviales de la urbanización de la universidad

Por precipitación torrencial corren aguas pluviales de la urbanización del campus, las que atraviesan las pendientes del parque concentradas en los senderos y sin reducción del flujo corren hacia el talud.

Esa escorrentía arrastra a su paso vegetación, matorrales y arboles pequeños o los que están a la orilla del talud, dejando como huella formas de erosión laminar en surco, lo que al tiempo se convierte en pequeños canales.

2.2.4. Factores de amenaza

Debido a las variaciones en las características y condiciones de cada evento, la clasificación y evaluación de remociones se dificultan enormemente, pero en general la amenaza debido a la inestabilidad de los taludes, dependerá principalmente de las condiciones del medio natural, de la mecánica de las remociones y del accionar del hombre.

- Susceptibilidad de erosión de los suelos

Material de base inestable en el área, por depósitos de ripio en los procesos de edificación de la USAC.

Material de base inestable, por escorrentías que corren entre el parque hacia el talud.

- Suelos

Suelos desarrollados entre 10 a 50 centímetros franco arcilloso a franco arenoso.

- Geología

Conformación de tova mixta volcánica (piedra pómez), con intercalaciones de ceniza, polvo volcánico y sedimentos lacustres.

- Vegetación

Bosque de ciprés, sembrado al azar.

- Geomorfología

Laderas con pendiente vertical encajonando en cañón la quebrada del Frutal colinda al oeste de la ciudad universitaria. Altura de taludes para 2011 entre de 60 a 40 metros de altura.

2.2.5. Análisis cuantitativo de deslizamientos del talud colindante al parque

Se amplían los deslizamientos en la boca transversal del barranco, se detalla comparativamente en los años siguientes:

01 de enero de 2002 = 23 metros

16 de mayo de 2003 = 32,50 metros

30 de octubre de 2005 = 34,70 metros

11 de septiembre de 2008 = 44,50 metros

El dato muestra que la boca del área barranco cercana a las edificaciones en 6 años se ha ampliado en 21,5 metros. La ampliación longitudinal de deslizamientos avanza en las siguientes formas:

- 01 de enero de 2002 = 21,00 metros
- 16 de mayo de 2003 = 21,50 metros
- 30 de octubre de 2005 = 22,30 metros
- 11 de septiembre de 2008 = 34,60 metros

El cálculo muestra que cada año la ampliación longitudinal del talud hacia la orilla aumentara 1,97 metros. En 6 años avanzo hacia la orilla 13,60 metros.

Figura 9. Talud ciudad universitaria



Fuente: talud parque ecológico "Las Ardillas".

2.2.6. Distancia del talud a edificaciones

El sitio de la residencia de la colonia El Carmen colindante al talud, perdió 20 metros de traspatio entre enero a marzo del 2011.

En ese mismo traspatio, a pesar de realizar prácticas agronómicas de manejo de suelo con vegetación idónea a enraizar suelos como la planta de izote, no funciona ante las posibles fallas y deslizamientos.

Frente al talud del parque Las Ardillas, se observa el talud de la colonia El Carmen la cual sufre deslizamiento al igual que del lado de la Ciudad Universitaria.

2.2.7. Eventos de deslizamiento en áreas vulnerables al talud

El sitio de la residencia de la colonia El Carmen colindante al talud, perdió 20 metros de traspatio entre enero a marzo 2011.

En ese mismo traspatio, a pesar de realizar prácticas agronómicas de manejo de suelo con vegetación idónea a enraizar suelos como la planta de izote, no funciona ante las posibles fallas y deslizamientos.

Frente al talud del parque Las Ardillas, se observa el talud de la colonia El Carmen la cual sufre deslizamiento al igual que del lado del universidad.

Figura 10. **Deslizamiento colonia El Carmen**



Fuente: talud de la colonia El Carmen.

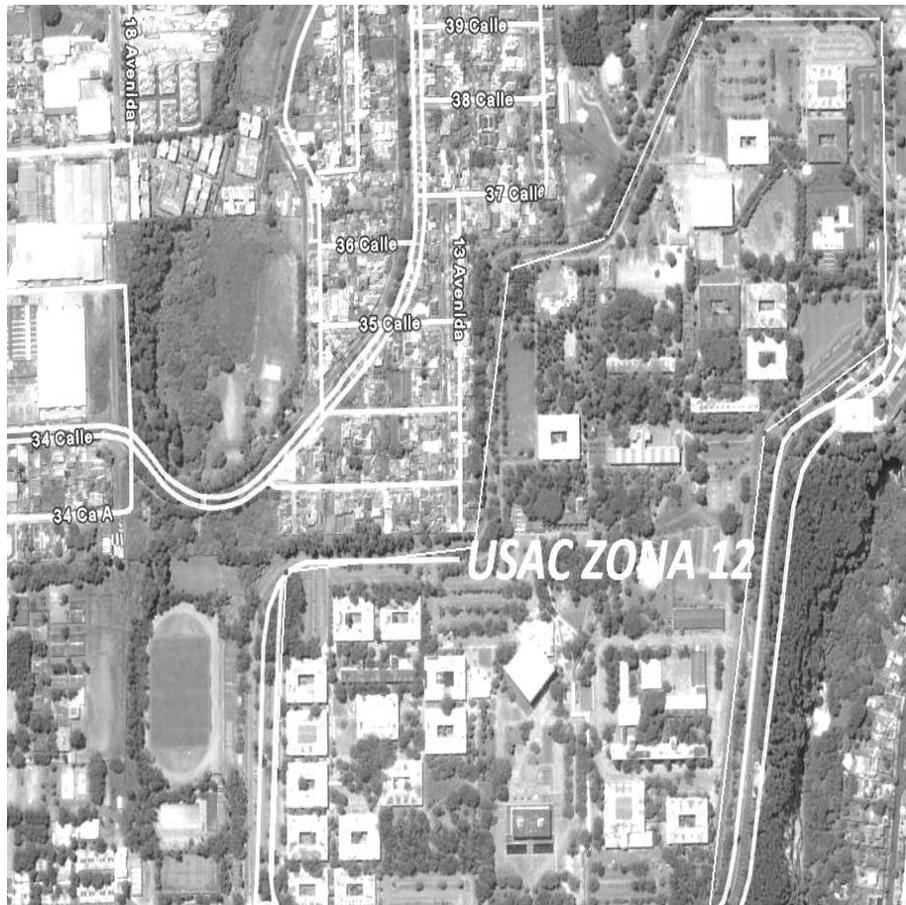
2.3. Fotografías aéreas del talud

Cuando se interpretan correctamente las fotografías aéreas, constituyen una herramienta muy importante y útil para obtener información sobre el suelo, la geología y los movimientos del terreno. Entre las ventajas del uso de fotografías aéreas en la planeación y análisis de áreas de deslizamientos, se encuentra las siguientes:

- Permiten una vista aérea tridimensional del área. Con el estereoscopio se puede observar en tres dimensiones.

- En las fotografías se puede observar mejor el drenaje y otros elementos naturales que son difíciles de reconocer adecuadamente en el terreno.
- Se localizan fácilmente los canales del drenaje de escorrentía.
- La identificación de las diferentes formas geológicas.
- Delimitar deslizamientos antiguos y recientes. La cantidad de movimiento puede analizarse por los desplazamientos de las carreteras y otros elementos fácilmente identificados.
- Observar el terreno por encima de la vegetación.

Figura 11. **Fotografía aérea Universidad de San Carlos de Guatemala**



Fuente: Centro de Estudios de Desarrollo Seguro y Desastre (CEDESUD).

2.4. Prevención

En teoría, corresponde al conjunto de medidas y acciones estructurales y no estructurales que buscan evitar la creación de una situación de riesgo, es una visión prospectiva. Las medidas se aplican a la amenaza o la vulnerabilidad. La visión actual de la prevención es realista y no teórica, pues no pretende que no se generen riesgos, sino que se creen niveles de riesgos siendo estos los más bajos posibles.

Tabla I. **Método de prevención de la amenaza o el riesgo**

Método	Ventajas	Desventajas
Disuasión con medidas limitadas	Son muy efectivas cuando la comunidad está consciente del riesgo y colabora con el estado.	El manejo de los factores socioeconómicos y sociales es difícil.
Planeación del uso de la tierra	Es una solución ideal para zonas urbanas y es fácil de implementar.	No se puede aplicar cuando ya existe el riesgo.
Códigos técnicos	Presenta herramientas precisas para el control y prevención de amenazas.	Se requiere de una entidad que los haga cumplir.
Aviso y alarma	Disminuye en forma considerable el riesgo cuando es inminente.	Generalmente, se aplica después de ocurrido el desastre.

Fuente: elaboración propia.

3. TOMA DE DATOS EN CAMPO SOBRE EL TALUD

3.1. Levantamiento topográfico

La topografía de un sitio de deslizamiento produce información básica para el análisis de los movimientos. Los planos topográficos precisos son esenciales para la elaboración de los modelos y el diseño de las obras de mitigación, remediación o estabilización.

Los reconocimientos preliminares utilizan los planos topográficos existentes o las fotografías aéreas; sin embargo, se requiere un detalle topográfico para localizar muchos elementos críticos, los cuales pueden estar ocultos por la vegetación.

Los levantamientos topográficos tienen los siguientes objetivos:

- Obtener detalles topográficos, especialmente de aquellos factores ocultos por la vegetación.
- Determinar los perfiles topográficos para los análisis de estabilidad.
- Establecer un marco de referencia sobre el cual puedan compararse los movimientos futuros del terreno.

Se deben utilizar todas las técnicas existentes para levantamientos de acuerdo a la necesidad y la disponibilidad de los equipos. Es importante identificar los cambios o movimientos que ha sufrido el relieve con el tiempo cuando los agrietamientos no son aparentes a simple vista, la detección de pequeños movimientos requiere de mucha experiencia en el manejo de la topografía. Es

conveniente además, comparar la topografía y las fotografías aéreas del sitio y de las áreas vecinas tomadas antes y después de los deslizamientos.

3.1.1. Curvas de nivel

El intervalo de las curvas de nivel facilita la identificación de los deslizamientos. Esta identificación se puede llevar a cabo mediante:

Características topográficas evidentes, por ejemplo, pendientes empinadas (curvas de nivel con poco espaciamiento) en el escarpe de un deslizamiento, topografía con pequeñas elevaciones o montículos dentro de la masa deslizante (curvas de nivel que siguen un patrón irregular y no simétrico con depresiones poco profundas), presencia de masa separada y características de flujo en la parte baja.

Curvas de nivel onduladas, vías locales dañadas con niveles desiguales y otros lineamientos superficiales tales como líneas de transmisión o cercas.

Movimientos menores o irregularidades en zonas de pendientes empinadas, acantilados, bancos, áreas de concentración de drenajes.

3.1.2. Perfil topográfico

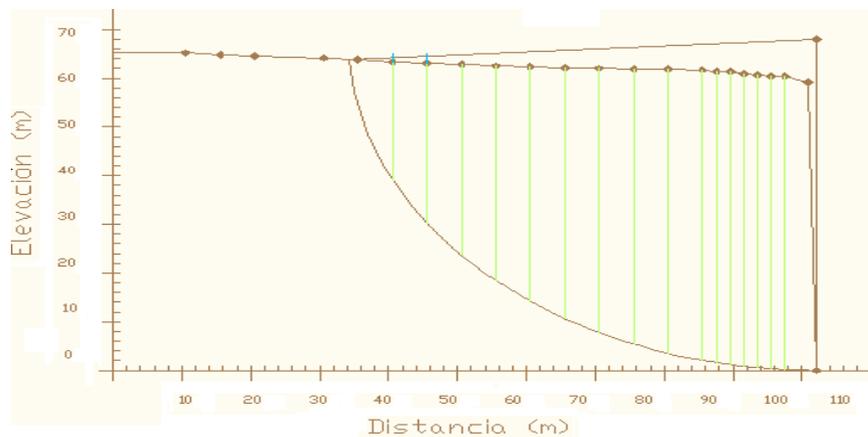
Un perfil es la sección producida por superficies topográficas por una o varias superficies verticales sucesivas. Estas superficies pueden ser planas (directriz recta) o cilíndricas (directriz curva, circular,). A la proyección horizontal de dichas superficies se les denomina alineaciones, todas las alineaciones forman la traza del perfil y a la proyección vertical se le denomina propiamente perfil.

El nombre de rasante se utiliza para definir la geometría de la obra que se realiza. Para dibujar dicha proyección vertical es preciso girar y desarrollar las superficies que lo componen de forma que las longitudes se representen siempre en datos a escala real.

El trazado de un perfil pasa simplemente por marcar en planta su trazado y levantar verticales por los puntos de intersección de este trazado con las curvas de nivel hasta interceptar los correspondientes planos de nivel. Es usual en perfiles longitudinales el representar a distinta escala (ordinariamente 10 veces de diferencia) el trazado horizontal y el vertical, ello es debido fundamentalmente al interés de obtener una representación gráfica más señalada o diferenciada.

No ocurre lo mismo cuando se trata de perfiles transversales para la determinación de volúmenes o movimiento de tierras, en éstos se utiliza la misma escala en vertical y en horizontal a fin de evitar confusiones a la hora de medir sobre ellos y calcular su superficie para hacer las cubicaciones.

Figura 12. **Perfil topográfico de talud en estudio**



Fuente: elaboración propia.

3.2. Ensayo geotécnico

Un estudio geotécnico minucioso y un programa detallado de exploración del subsuelo son necesarios para determinar la causa del deslizamiento y planificar las medidas correctivas. La superficie de falla puede determinarse con sondajes e inclinómetros más allá de la línea de falla.

Sondeos mecánicos:

- Rotación, extracción continua de testigo
- Ensayos *in situ*:
 - SPT
 - Muestras inalteradas
 - Ensayos de permeabilidad: suelos, roca
 - Piezómetro (PVC)

Figura 13. **Muestra inalterada emparafinada en laboratorio**



Fuente: laboratorio de Mecánica de Suelos CII/USAC.

Excavaciones de pequeña profundidad o media (calicatas)

- Estabilidad paredes
- Nivel de agua
- Muestras alteradas e inalteradas
- Ensayos *in situ* (*soil test* y *Vane test*)

Penetración dinámica

- DPSH
- Borros

Geofísica

- Sísmica de refracción
- Tomografía

Sondeos mecánicos

- Técnica que se emplea para hacer un agujero (sondeo) en la tierra o en una construcción, el tipo de sondeo dependerá del fin que se persiga, y en segundo lugar de la rapidez y economía.
- Perforación de pequeño diámetro que permite reconocer la naturaleza y localización de las diferentes capas del terreno, así como extraer muestras del mismo y realizar ensayos *in situ*.

Ventajas

- Obtención de muestra alterada en toda la columna
- Alcanzan grandes profundidades
- Permite reconocer el terreno bajo nivel freático
- Atraviesa capas de roca de alta resistencia
- Toma muestras inalteradas
- Ensayos *in situ*: SPT, presiómetros

- Ensayos de permeabilidad: *lefranc* (suelos), *lugeon* (roca)
- Piezómetro (PVC)

3.3. Ensayo al suelo del talud *in-situ*

Los ensayos *in situ* para taludes tienen como objetivo reconocer geológica y geotécnicamente el terreno afectado por los deslizamientos ocurridos, con el fin de obtener los parámetros necesarios para analizar su estabilidad.

3.3.1. Ensayo de penetración estándar SPT

El ensayo de penetración estándar o SPT (del inglés *standard penetration test*), es un tipo de prueba de penetración dinámica, empleada para ensayar terrenos en los que se quiere realizar un reconocimiento geotécnico.

Constituye el ensayo o prueba más utilizada en la realización de sondeos, y se realiza en el fondo de la perforación. Consiste en medir el número de golpes necesario para que se introduzca una determinada profundidad una cuchara (cilíndrica y hueca) muy robusta (diámetro exterior de 51 milímetros e interior de 35 milímetros, lo que supone una relación de áreas superior a 100), que permite tomar una muestra, naturalmente alterada, en su interior. El peso de la masa está normalizado, así como la altura de caída libre, siendo de 63'5 kilopondios y 76 centímetros respectivamente.

3.3.2. Perforación de pozo a cielo abierto

Cuando este método sea practicable debe considerársele como el más satisfactorio para conocer las condiciones del subsuelo, ya que consiste en excavar un pozo de dimensiones suficientes para que un técnico pueda

directamente bajar y examinar los diferentes estratos de suelo en su estado natural, así como darse cuenta de las condiciones precisas referentes al agua contenida en el suelo. Desgraciadamente este tipo de excavación no puede llevarse a grandes profundidades a causa, sobre todo, de la dificultad de controlar el flujo de agua bajo el nivel freático; naturalmente que el tipo de suelo de los diferentes estratos atravesados también influye grandemente en los alcances del método en sí.

La excavación se encarece mucho cuando sean necesarios ademes y haya excesivos traspaleos a causa de la profundidad.

Deben cuidarse especialmente los criterios para distinguir la naturaleza del suelo *in situ* y la misma, modificada por la excavación realizada. En efecto, una arcilla dura puede, con el tiempo, aparecer con suave y esponjosa a causa del flujo de agua hacia la trinchera de excavación; análogamente, una arena compacta puede presentarse como semifluida y suelta por el mismo motivo. Se recomienda que siempre que se haga un pozo a cielo abierto se lleve un registro completo de las condiciones del subsuelo durante la excavación, hecho por un técnico conocedor.

En estos pozos se pueden tomar muestras alteradas e inalteradas de los diferentes estratos que se hayan encontrado. Las muestras alteradas son simplemente porciones de suelo que se protegerán contra pérdidas de humedad introduciéndolas en frascos o bolsas emparafinadas. Las muestras inalteradas deberán tomarse con precauciones, generalmente labrando la muestra en una oquedad que se practique al efecto en la pared del pozo. La muestra debe protegerse contra pérdidas de humedad envolviéndola en una o más capas de manta debidamente impermeabilizada con brea y parafina.

4. CARACTERÍSTICAS DEL TALUD MEDIANTE ENSAYOS DE LABORATORIO

4.1. Toma de muestra de suelo *in-situ*

Para la toma de muestras en el talud, se descendió por medio de arneses, estos fueron otorgados por el Cuerpo de Bomberos Municipales, la gestión se hizo por medio del bombero Abel Hernández, miembro del grupo de descenso de alto riesgo de la institución en mención.

Figura 14. Colocación de equipo para el descenso del talud



Fuente: talud ubicado frente a los viveros dentro de la universidad.

Figura 15. **Descenso por el talud ciudad universitaria**



Fuente: talud ubicado frente a los viveros dentro de la universidad.

Tabla II. **Muestras de suelo obtenidas del talud en estudio**

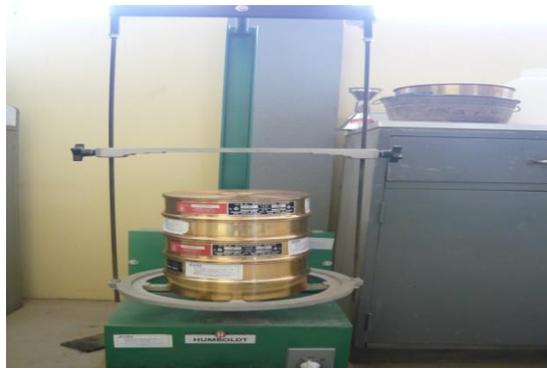
Muestra	Altura mt.	Descripción del suelo
M1	4	Limo arenoso color café
M2	15	Arena limosa con partículas de pómez color café
M3	25	Arena limosa con partículas de pómez color beige
M4	35	Limo arenoso con partículas de pómez color café
M5	40	Limo arenoso con partículas de graba color gris
M6	45	Material gravoso

Fuente: elaboración propia, según resultados de laboratorio.

4.2. Ensayo de granulometría

Se realizó un análisis granulométrico a 6 muestras tomadas obteniendo los siguientes resultados:

Figura 16. Ensayo de granulometría



Fuente: laboratorio de Mecánica de Suelos CII/USAC.

Tabla III. Resultados obtenidos del ensayo de granulometría

Muestra	% Grava	% Arena	% Finos	Descripción del suelo
M1	1,36	54,61	44,03	Limo arenoso color café
M2	24,76	70,54	4,70	Arena limosa con partículas de pómez color café
M3	4,19	70,04	25,77	Arena limosa con partículas de pómez color beige
M4	9,39	72,11	18,50	Limo arenoso con partículas de pómez color café
M5	20,56	66,24	13,20	Limo arenoso con partículas de graba color gris
M6	68,7	29,55	1,75	Material gravoso

Fuente: elaboración propia, según resultados de laboratorio.

4.3. Ensayo de límite líquido

El límite líquido está definido, como el contenido de humedad en el cual una masa de suelo se encuentra entre el estado plástico para pasar al estado líquido o semilíquido, en donde el suelo toma las propiedades y apariencias de una suspensión. Las muestras tomadas en el talud no presentaron límite líquido.

4.4. Ensayo de límite plástico

El límite plástico está definido como el contenido de humedad, en el cual una masa de suelo se encuentra entre el estado semisólido y el estado plástico; en el estado semisólido el suelo tiene la apariencia de un sólido, pero aún disminuye de volumen al estar sujeto o secado y en el estado plástico el suelo se comporta plásticamente. Las muestras tomadas en el talud no presentaron límite plástico.

4.5. Ensayo de contenido de humedad

Este ensayo tiene como propósito enseñar al estudiante la determinación de la humedad de un suelo dado. Se realizó el ensayo de humedad a 6 muestras tomadas obteniendo los siguientes resultados:

Figura 17. **Ensayo a muestras contenido de humedad**



Fuente: laboratorio de Mecánica de Suelos CII/USAC.

Tabla IV. **Resultados obtenidos del ensayo contenido de humedad**

Muestra	% Humedad	Descripción del suelo
M1	8,22	Limo arenoso color café
M2	9,76	Arena limosa con partículas de pómez color café
M3	0,98	Arena limosa con partículas de pómez color beige
M4	1,26	Limo arenoso con partículas de pómez color café
M5	4,15	Limo arenoso con partículas de graba color gris
M6	3,11	Material gravoso

Fuente: elaboración propia, según resultados de laboratorio.

4.6. Gravedad específica

El método de trabajo del laboratorio para determinar la gravedad específica es un método indirecto porque para medir el volumen del suelo se mide el volumen del agua que este desplaza. Se le realizó el ensayo a 2 muestras tomadas obteniendo los siguientes resultados:

Figura 18. **Ensayo de gravedad específica**



Fuente: laboratorio de Mecánica de Suelos CII/USAC.

Tabla V. **Resultados obtenidos del ensayo de gravedad específica**

Muestra	Gravedad específica	Descripción del suelo
M1	8,22	Limo arenoso color café
M2	9,76	Arena limosa con partículas de pómez color café

Fuente: elaboración propia, según resultados de laboratorio.

4.7. Triaxial drenado

Su principal finalidad es obtener parámetros del suelo y la relación esfuerzo deformación a través de la determinación del esfuerzo cortante. Es un ensayo complejo, pero la información que entrega es la más representativa del esfuerzo cortante que sufre una masa de suelo al ser cargada. Se realizó el ensayo de compresión triaxial a 4 muestras tomadas obteniendo los siguientes resultados:

Figura 19. **Ensayo a muestras triaxial drenado**



Fuente: laboratorio de Mecánica de Suelos CII/USAC.

Este ensaño no se pudo realizar a dos muestra tomadas del talud, ya que las características del suelo no lo permitieron.

Tabla VI. **Resultados obtenidos del ensayo triaxial drenado**

Muestra	Ángulo de fricción interna: $\phi =$	Cohesión $C_u =$	Descripción del suelo
M1	23,32	3,87	Limo arenoso color café
M3	217	3,85	Arena limosa con partículas de pómez color beige
M4	200,21	7,75	Limo arenoso con partículas de pómez color café
M5	218,26	3,91	Limo arenoso con partículas de graba color gris

Fuente: elaboración propia, según resultados de laboratorio.

4.8. Drenado consolidado

A este ensayo se lo conoce también como ensayo lento. El drenaje se permite en las 2 últimas etapas, de este modo se tiene una consolidación bajo la presión de cámara y el exceso de presión de poro se disipa durante la aplicación lenta del esfuerzo desviador. Las muestras tomadas en el talud no presentaron las propiedades mecánicas para realizarles el ensayo.

4.9. Obtención de muestras inalteradas en campo

Para que las muestras sean lo más inalteradas posible, se procedió a la excavación de huecos, con la finalidad de extraer bloques de un tamaño promedio, para obtener resultados de mayor exactitud en laboratorio.

Figura 20. **Toma de muestras en un corte del talud**



Fuente: talud ubicado frente a los viveros dentro de la universidad.

Figura 21. **Muestras tomadas a diferentes alturas en el corte del talud**



Fuente: talud ubicado frente a los viveros dentro de la universidad.

4.10. Ensayo de sedimentación

Establece un procedimiento para la determinación cuantitativa de la distribución de los tamaños de partículas en los materiales finos, no posible mediante el ensayo de tamices. Las muestras tomadas en el talud no presentaron las propiedades mecánicas para realizarles el ensayo.

5. ANÁLISIS DEL PROBLEMA Y PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

5.1. Construir bermas

Se denomina bermas a masas generalmente del mismo material del propio talud o de uno similar que se adosan al mismo, para darle estabilidad.

El uso de bermas tiende a incrementar la estabilidad del talud por razones un tanto similares a las expresadas para el abatimiento de taludes; de hecho en muchos casos, la construcción de bermas equivale mecánicamente a un abatimiento del talud. Así, caben el empleo de bermas muchos de los conocimientos hechos para el abatimiento en taludes. Un talud con bermas también es diferente del original y tendrá otro círculo crítico, que se deberá determinar analizando la nueva sección.

La berma tiende a hacer que la superficie de falla, se desarrolle en mayor longitud y más profunda, lo que produce efectos ya discutidos para el abatimiento. Además, el peso del material que se coloque podrá aumentar la resistencia al esfuerzo cortante del terreno de cimentación en su parte friccionante. En suelos cohesivos seguramente el efecto más interesante de la berma es descomponer el talud en dos, cada uno de menor altura, lo que repercute mucho en la estabilidad general.

No se puede dar una regla que permita fijar las dimensiones más convenientes para una berma en un caso dado. Su sección idónea habrá de calcularse por aproximaciones sucesivas, habiéndose fijado

previamente el proyectista un factor de seguridad deseable para el talud en cuestión. Una buena base para el inicio de los tanteos suele ser darle a la berma la mitad de la altura del terraplén que estabilizara y un ancho del orden del de la corona de dicho terraplén.

El escalonamiento constituye una solución similar a las bermas. El escalonamiento en suelos arcillosos lo que se busca es transformar el talud en una combinación de varios otros de altura menor, pues en este tipo de suelos, este es el factor determinante en la estabilidad. Por ello los escalones deberán tener huella suficientemente ancha para que puedan funcionar prácticamente como dos taludes independientes.

En el caso de taludes con suelos con cohesión y fricción, el escalonamiento se hace sobre todo para provocar un abatimiento del talud; recoger caídos y colectar aguas son funciones secundarias, pero a veces muy importantes, que se asignan también a los escalonamientos.

El escalonamiento queda definido por el ancho de los escalones, la distancia vertical entre ellos y por el ángulo de los taludes intermedios.

El que los taludes de los respectivos escalones sean paralelos o se construyan con inclinación variable dependerá mucho de la condición del material constitutivo del corte. Escalones de inclinación variable son convenientes cuando el material tiene una capa superior alterada, pero su condición mejora claramente con la profundidad.

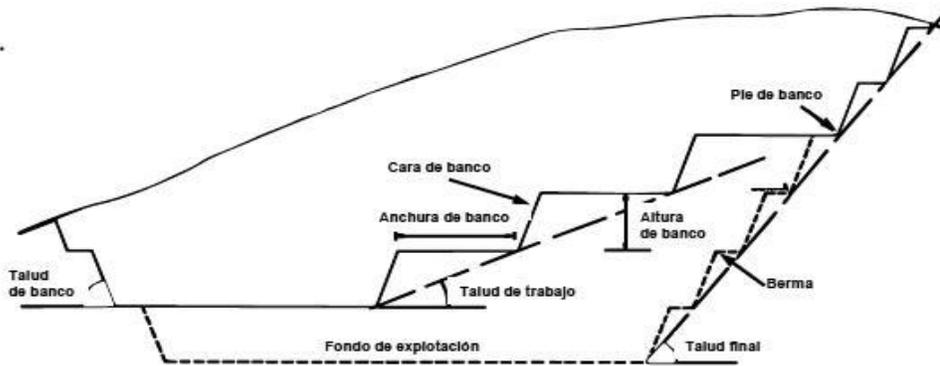
Es importante la función que pueden cumplir los escalones para proteger el corte contra la erosión del agua superficial, pues reducen la velocidad ladera abajo y el gasto de escurrimiento. Para ello es preciso que los escalones estén adecuadamente conformados; la mayor parte de las

veces basta con que el escalón tenga una ligera inclinación hacia el corte, pero en terrenos muy erosionables pudiera llegar a convenir que se invirtiera su inclinación, haciéndola hacia la parte interna, que garantice la rápida eliminación de las aguas. Si la posible infiltración del agua de lluvia fuera muy de temer, se podría llegar a la precaución extrema de impermeabilizar toda la huella de los escalones.

El escalonamiento cumple con la función de detener pequeños derrumbes y caídos que puedan llegar a presentarse en los diversos taludes. En ocasiones esta condición, además del costo, gobierna su ancho.

Tampoco existen reglas fijas para proyectar el escalonamiento de un corte y este deberá ser propuesto para cada caso particular. En el caso de suelos con cohesión y fricción, el perfil del escalonamiento debe ser tal que se llegue a una inclinación razonable para todo el corte considerando un talud simple que promedie a todos los escalones. La altura y el ancho de los escalones, aparte de la condición anterior y del costo, muchas veces se deben fijar por las consideraciones ya mencionadas de prevención contra la erosión superficial del agua y la detención de derrumbes. Es común que la huella de los escalones disminuya hacia arriba, lo mismo que el peralte.

Figura 22. **Detalle de bermas para la protección de un talud**



Fuente: Dr. Ing. Jorge E. Alva Hurtado. Soluciones Geotécnicas para estabilidad de taludes
www.docstoc.com. Consulta: 28 de octubre de 2012.

5.2. Vegetación

Se trata de un método preventivo y correctivo de fallas por erosión, los movimientos de tierra que acompañan a la construcción de cortes y terraplenes producen inevitablemente una destrucción muy indeseable de la cobertura vegetal, expuestos a vientos y agua superficial. Se acepta que la vegetación cumple dos funciones importantes; primero, disminuye el contenido de agua en la parte superficial, y en segundo, da consistencia a es aparte por el entramado mecánico de sus raíces.

Lo importante es que las plantas o el pasto toman el agua que necesitan del suelo en que crecen, se pueden plantear varios criterios para seleccionar el tipo de especies más conveniente en un caso dado; desde luego, el uso de plantas propias de la región será en principio recomendable y evitara fracasos posibles en la adaptación al ambiente de especies importadas, fracasos que son difíciles de prever para un ingeniero civil ; pero hay especies que toman demasiada agua del suelo y otras que toman

mucho menos, produciendo grados muy diferentes de abatimiento en los contenidos de agua superficiales.

En suelos arcillosos, seguramente pueden convenir más las primeras, al garantizar una corteza de suelo más resistente, pero en suelos arenosos un secado intenso en la superficie hace a los materiales más erosionables y ello no es conveniente.

Cuando se trata de arbolado en los coronamientos de los cortes o como barreras contra invasión de arena, las consideraciones anteriores no son muy válidas y el criterio debe quizás circunscribirse al uso de las especies locales que tengan mejores posibilidades de adaptación al lugar específico de se trate.

Se ha comprobado que es más efectivo para defender taludes la plantación continua de pastos plantas herbáceas, en vez de la plantación de matas o áreas aisladas. Como quiera que el costo de ambas soluciones también es diferente, la actitud del ingeniero debe quedar condicionada a la feracidad de la región; hay zonas en que la forestación se reproduce en forma casi natural e inevitable, otras en que es muy difícil el crecimiento vegetal. La plantación aislada incrementa mucho la posibilidad de infiltración y escurrimiento.

Por otra parte, en el caso de terraplenes muy altos ha dado buen resultado la plantación de arbustos en hileras, para hacer perder velocidad al agua que escurra.

Es muy importante el efecto del pasto para evitar la formación de grietas de contracción en los suelos que estarían expuestos de no existir tal cobertura.

Figura 23. **Vegetación para la protección de un talud**



Fuente: Dr. Ing. Jorge E. Alva Hurtado. Soluciones Geotécnicas para estabilidad de taludes
www.docstoc.com. Consulta: 28 de octubre de 2012.

5.3. Recubrimiento de concreto lanzado

Es un método que da una solución de refuerzo que contiene y asegura con firmeza los taludes.

Las pantallas de concreto lanzado con malla electro soldada y anclajes de concreto reforzado, actúan como una armadura de empuje.

Figura 24. **Vista muro de recubrimiento concreto lanzado**



Fuente: T.F Ryan, Manual de Concreto lanzado www.uson.mx. Consulta: 12 de noviembre de 2012.

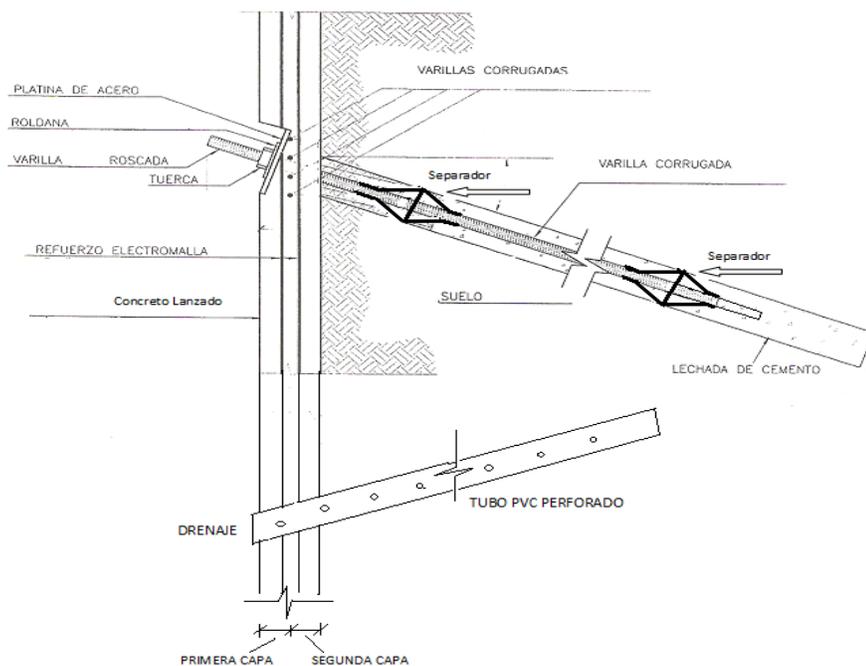
Consiste en la construcción de un muro de suelo enclavado, resultante de reforzar, en el sitio, el talud o pared del suelo natural de excavaciones, con inclusiones introducidas horizontalmente dentro del mismo; y en la colocación de un recubrimiento de concreto lanzado reforzado con electro mallas.

La inclusión consiste de una varilla de acero de diámetro y longitud variable introducida en un agujero hecho dentro del suelo, recubierta en toda su longitud y en todo el diámetro del agujero con lechada o mortero de cemento.

El concepto fundamental es el de colocar en el suelo natural inclusiones pasivas, a espaciamientos cortos, para incrementar la resistencia al corte del mismo, para restringir el desplazamiento de las paredes de la excavación y limitar la descompresión del suelo durante y después de efectuada dicha

excavación. El muro se debe construir de acuerdo con lo indicado en el informe de la investigación de suelos, estas especificaciones y con los detalles de construcción adjuntos.

Figura 25. **Detalle de armado para concreto lanzado**



Fuente: T.F Ryan, Manual de Concreto lanzado www.uson.mx. Consulta: 12 de noviembre de 2012.

Especificaciones para su uso de concreto lanzado en estabilización de un talud:

Los anclajes son de acero corrugado número y longitud como indique el diseño. La varilla de acero tiene que ser grado 60 como mínimo de acuerdo con las especificaciones AASHTO M-31, M-42, M-53. Espaciamiento en ambos sentidos, según lo indique el informe.

Normas que se tienen que usar para que se cumpla con condiciones de diseño:

- Norma COGUANOR 36011:2005 (para ensayar el acero a tensión).
- Norma ASTM C144-04 (resistencia a compresión del mortero para fundición de anclas).

Colocación y perforación:

- Se hacen agujeros en el talud de 10 centímetros de diámetro.
- Se deberán hacer con longitudes adecuadas para las inclusiones de acero el cual indicara el estudio de suelos.
- El ángulo de inclinación de las perforaciones lo indicará el estudio de suelos, usualmente es de 15 para facilitar el llenado con mortero.

Fundición:

- El agujero se llena con lechada de cemento, o de mortero, introduciendo una manguera en el agujero y retirándola lentamente hacia la superficie conforme se llena el mismo con la lechada o mortero, tratando en lo posible que no quede aire atrapado.
- La lechada o mortero de cemento hidráulico para la fundición de anclajes consistirá en la mezcla de cemento y agua y de cemento-arena fina cernida y agua, respectivamente. La bacheada se hará en una proporción que será indicada en el diseño.
- Esta lechada deberá tener, a la ruptura, una resistencia a la compresión no confinada de 3500 psi como mínimo a los 28 días de curado

Equipos para su colocación:

- *Trackdrille* o perforadora
- Montacargas en los casos que sea necesario
- Separadores de PVC (mantienen en posición adecuada la varilla de acero durante el proceso para lograr el recubrimiento especificado)
- Mano de obra

Ensayos:

Todos los anclajes son ensayados con pruebas de carga que sobrepasan la carga de servicio a la que fueron diseñados para asegurar su correcto funcionamiento.

- Ensayo a tensión en las barras de acero para el anclaje. (De acuerdo a las normas indicadas anteriormente)
- Ensayo a compresión para determinar la resistencia en el mortero. (De acuerdo a las normas indicadas anteriormente)

5.4. Método de *soil-nailing*

La utilización de inclusiones, como en el suelo enclavado (*soil-nailing*), como recurso para la estabilización de suelos y taludes se ha comenzado a popularizar en nuestro país en el transcurso de la década pasada. Esto debido a la versatilidad de aplicaciones y a las ventajas que ofrece respecto a los métodos convencionales de estabilización de suelos (muros de gravedad, muro en voladizo).

El diseño de las inclusiones se relaciona directamente con las propiedades del suelo y la interacción con él. El conocimiento de esta interacción es de gran importancia para la elaboración de un diseño que brinde seguridad y a su vez economía.

El suelo enclavado es una técnica para reforzar el suelo *in-situ*. El sistema consiste en una cubierta o revestimiento de concreto lanzado, construido regularmente de arriba hacia abajo y un arreglo de inclusiones (miembros reforzados o *nails*) perforadas o insertadas en una masa de suelo. El suelo enclavado se compone de tres elementos, el suelo *in-situ*, el refuerzo y la cubierta o revestimiento (aunque esta no siempre se utiliza).

La disposición de las inclusiones puede efectuarse para actuar durante un tiempo de servicio más o menos prolongado, por lo que cabe distinguir entre:

- Inclusiones provisionales
- Inclusiones permanentes

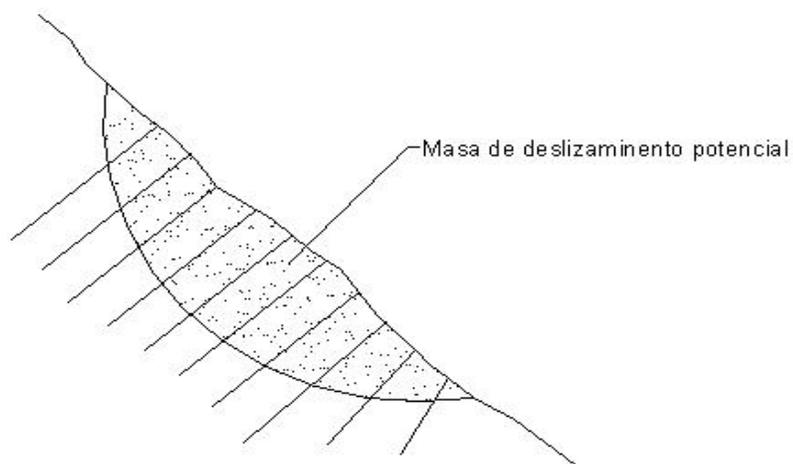
Las primeras tienen el carácter de medio auxiliar, y proporcionan las condiciones de estabilidad a la estructura durante el tiempo necesario para disponer otros elementos resistentes que los sustituyan. Las inclusiones permanentes se dimensionan, evidentemente, con mayores coeficientes de seguridad.

Soil-Nailing estabilización de taludes:

- Estabilización de taludes potencialmente inestables donde un pequeño o ningún movimiento ha ocurrido pero el factor de seguridad es inaceptable.

- Estabilización de taludes con movimiento lento (*crep*), donde el movimiento está ocurriendo a una tasa inaceptable
- Cosido de macizos rocosos fisurados con desprendimientos
- Deslizamientos de taludes en roca o terrenos sueltos

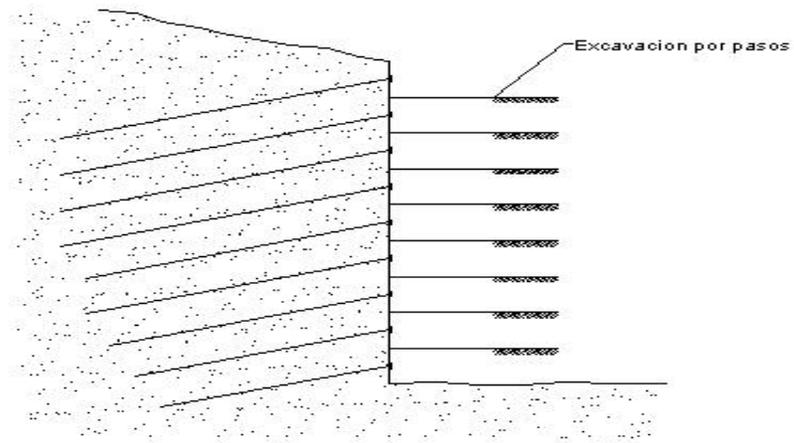
Figura 26. **Aplicación del suelo enclavado en deslizamientos de tierra**



a. Deslizamientos de tierra

Fuente: <http://www.geo-engineering.com/projects.asp>. Consulta: 16 de noviembre de 2012.

Figura 27. **Suelo enclavado como estructura de contención**



b. Estructuras de contención

Fuente: <http://www.geo-engineering.com/projects.asp>. Consulta: 16 de noviembre de 2012.

Figura 28. **Colocación de acero de refuerzo *soil-nailing***



Fuente: <http://www.geo-engineering.com/projects.asp>. Consulta: 16 de noviembre de 2012.

Figura 29. **Colocación de acero de refuerzo transversal, provee continuidad a la estructura, haciéndola funcionar como unidad**



Fuente: <http://www.geo-engineering.com/projects.asp>. Consulta: 16 de noviembre de 2012.

Figura 30. **Proceso de lanzado, provee protección contra la erosión, y es el cuerpo del muro de contención**



Fuente: <http://www.geo-engineering.com/projects.asp>. Consulta: 16 de noviembre de 2012.

5.5. Realizar un canal de concreto en el fondo de talud que evite erosión

El pie de los taludes es un área crítica de protección contra erosión. Las aguas que pueden correr a lo largo del pie de un talud pueden fácilmente erosionarlo y comprometer la estabilidad del mismo. La falla de un talud implica que una gran cantidad de sedimento podrá ser arrastrado por las aguas.

Para proteger esta área crítica será necesario implementar el uso de un canal que capte las aguas y las encaucen de manera que no dañen el talud.

Los canales como elementos de transporte de agua, son conducciones artificiales en las que el agua circula sin presión, es decir en contacto continuo con la atmósfera.

El estudio hidráulico de estas conducciones se caracteriza porque el movimiento del agua se realiza por su propio peso, es decir, sin realizar ningún gasto energético y aprovechando la fuerza de la gravedad.

El agua al circular por el interior de las conducciones artificiales tiene un rozamiento con las paredes de las mismas que:

- Provoca la erosión de las paredes
- Tiende a frenar el movimiento del agua
- Transporta partículas sólidas, debido a la energía cinética que se genera por el movimiento. Todos estos elementos que provocan que se produzca un desplazamiento del agua en los canales, son las mismas fuerzas que aparecen en la mecánica clásica:
 - Rozamiento del agua con las paredes fuerza de rozamiento

- Peso del agua fuerza de la gravedad
- Transporte de partículas en el agua fuerza tractiva
- Erosión del canal fuerza erosiva

Por tanto para el estudio hidráulico de los canales se aplicarán las ecuaciones de la mecánica clásica, distinguiendo entre los distintos tipo de movimiento de agua, según las condiciones de la misma en cada sección:

- Permanente o estacionario
- Permanente uniforme
- Permanente variado
- Variable

Las características que influyen en el estudio y diseño de un canal son:

Geométricas

- Forma de la sección transversal
- Pendiente longitudinal, definida como el cociente entre el desnivel del fondo y la longitud que hay entre estos dos puntos de distinto nivel

Constructivas

- Clase y calidad del material de las paredes. Determinan el coeficiente de rugosidad
- Presencia de singularidades (curvas, estrechamientos, ensanchamientos). Determinan los coeficientes de pérdida de carga

Hidráulicas

- Velocidad, caudal, pérdida de carga unitaria, radio hidráulica, sección mojada

Figura 31. **Sección transversal regular**



Fuente: Cadavid R. Juan Hernando. Hidráulica de Canales.ingenierocivilinfo.com. Consulta: 20 de noviembre de 2012.

Tipo de canales

Los canales pueden ser abiertos o cerrados, pero el agua tanto en unos como en otros siempre circula en continuo contacto con la atmósfera.

Canales abiertos

Son aquellos en los que la lámina de agua en contacto con la atmósfera se encuentra visible. Entre las características principales de estos canales se puede citar:

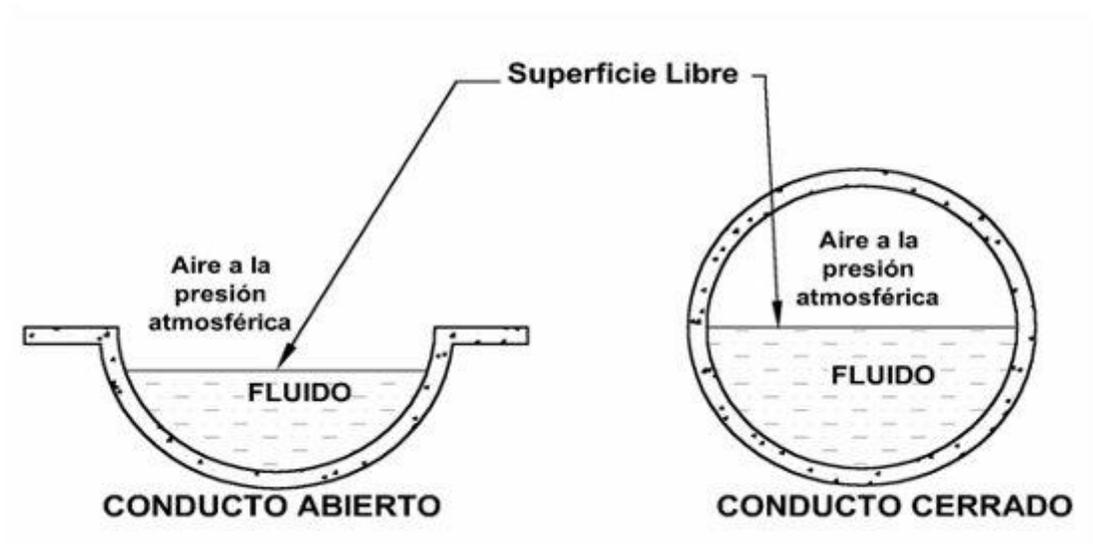
- Tienen bajo coste de limpieza
- Son rápidos de limpiar
- Necesitan un camino de servicio paralelo para limpieza
- Crean una barrera artificial que impide el acceso a distintas zonas
- Son necesarias obras singulares, como sifones, acueductos, para cruzar otros elementos lineales como carreteras, caminos, ríos, arroyos

Canales cerrados

Son aquellos en los que la lámina de agua en contacto con la atmósfera se encuentra sin visibilidad. Entre las características principales de estos canales se puede citar:

- Tienen costos elevados de limpieza
- Las secciones mínimas vienen limitadas por motivos de limpieza
- Tienen que construirse cajas para realizar la limpieza
- Para el paso de otros elementos lineales no suelen ser necesarias obras singulares
- No es necesario camino de servicio para limpieza de los mismos
- La mayor parte de estos canales son prefabricados

Figura 32. Flujo en conductos



Fuente: Cadavid R. Juan Hernando. Hidráulica de Canales.ingenierocivilinfo.com. Consulta: 20 de noviembre de 2012.

Tipo de canales según el material

- Canales de tierra, sólo en canales abiertos. Tienen un bajo costo de construcción, pero un elevado costo de explotación y grandes pérdidas de agua
- Hormigón en masa y hormigón prefabricado tanto *in situ* con prefabricado, válido para canales abiertos
- Materiales asfálticos, para canales abiertos
- Membranas plásticas, como PVC, para canales abiertos
- Tuberías de concreto en masa, hormigón armado PVC, polietileno, fibrocemento, acero, poliéster reforzado con fibra de vidrio, para canales cerrados

Tipo de canales según la sección

- Semicirculares, rectangulares, trapezoidales y parabólicas. Las secciones Semicirculares y parabólicas se suelen utilizar en canales abiertos de hormigón en masa o armado prefabricado, mientras que las rectangulares y trapezoidales en canales abiertos de cualquier tipo de material
- Circulares, ovoides y herradura. Se utilizan en canales cerrados, aunque el uso de las rectangulares no está muy extendido
- Rectangulares. Se utilizan tanto en canales abiertos como cerrados

Canales con revestimiento de concreto

El revestimiento de canales es una solución práctica y cada vez más usada en función de sus ventajas, tales como rapidez en la instalación y durabilidad. Entre las pérdidas de agua más severas que se registran en los sistemas de riego figuran las causadas por la conducción en canales carentes de revestimientos, las que son producidas fundamentalmente por infiltración. Los principales factores que intervienen para que esas infiltraciones tengan mayor o menor importancia son los que se indican a continuación:

- Las características de los suelos que atraviesa el canal, incluso su permeabilidad
- La edad del canal y la cantidad de limo que conduce el agua
- La altura del agua o tirante
- El área mojada
- La temperatura del agua
- La velocidad del agua

El revestimiento de canales, aparte de su función fundamental de eliminar las pérdidas por infiltración, ofrece otras ventajas de importancia entre las cuales cabe mencionar las siguientes:

- Prevención de la erosión
- Imposibilidad de roturas
- Eliminación de vegetación
- Aumento de la capacidad del canal, o reducción de la sección transversal.
- Disminución de los costos de mantenimiento
- Reducción de los costos de riego
- Protección de la salud pública
- Acortamiento del trazado por las mayores pendientes admisibles
- Eliminación del efecto de la salinización, tan destructivo e tierras productivas

Figura 33. **Canal artificial de secciones transversales trapecial**



Fuente: Cadavid R. Juan Hernando. Hidráulica de Canales.ingenierocivilinfo.com. Consulta: 20 de noviembre de 2012.

5.6. Propuestas para la protección y estabilización del talud después de realizados ensayos *in-situ* y laboratorio

El talud en estudio está ubicado en el campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, zona 12 ciudad de Guatemala, el tramo analizado está ubicado en cercanías de los viveros de la universidad.

Durante muchos años se ha realizado el análisis de los movimientos de los taludes o laderas, haciendo uso de las técnicas de equilibrio límite. Este sistema supone que en el caso de una falla, las fuerzas actuantes y resistentes, son iguales a lo largo de la superficie de falla y equivalentes a un factor de seguridad de 1,0.

El análisis se puede realizar estudiando directamente la totalidad de la longitud de la superficie de falla o dividiendo la masa deslizada en tajadas o dovelas. Cada día se han ido mejorando los sistemas de dovelas desarrollados por Petterson y Fellenius en 1936.

Los métodos de Bishop y Janbú, desarrollados en 1955 y 1954 respectivamente, han sido muy utilizados en los últimos 50 años y se han desarrollado métodos de análisis más precisos y complejos como los de Morgenstern y Price en 1965 y Spencer en 1967, ayudados por programas de software que permiten realizar análisis muy rigurosos. Generalmente, los métodos son de iteración y cada uno de éstos posee un cierto grado de precisión.

Análisis del talud

El siguiente análisis, tienen como finalidad determinar el factor de seguridad que presenta el talud en estudio, esto será realizado por medio de diferentes métodos de estabilización de taludes, los métodos a utilizar serán los siguientes:

- Método de Fellenius
- Método Bishop Modificado
- Método de Janbú

El talud es considerado estable, si el factor de seguridad obtenido por lo métodos mencionados es mayor que uno. La no determinación del factor de seguridad puede ser causa de probables desplazamientos en taludes estables o fallados.

Figura 34. **Talud en estudio**



Fuente: talud ubicado frente a los viveros dentro de la universidad.

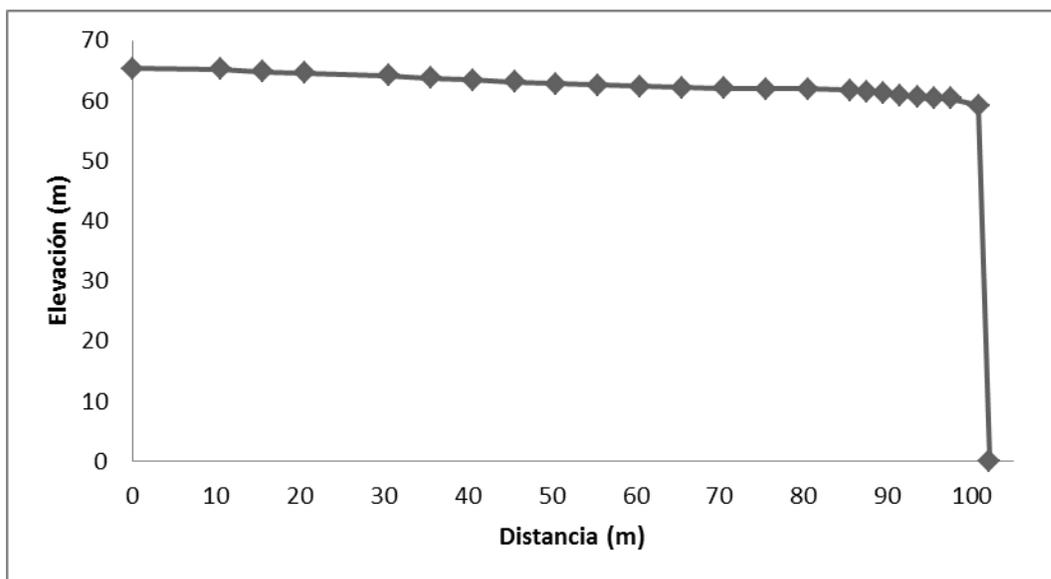
5.7. Análisis comparativo de los métodos de Bishop Modificado, Janbú y Fellenius al talud en estudio

El siguiente ejemplo tiene como finalidad presentar la situación geotécnica del talud utilizando los métodos de Fellenius, Bishop Modificado y Janbú.

Los ensayos que se realizaron a las 6 muestras inalteradas extraídas a 4,00, 15,00, 25,00, 35,00, 40,00, y 45,00 metros de profundidad fueron: límites de Atterberg, ensayo de compresión triaxial, análisis granulométrico y contenido de humedad. Los ensayos se realizaron en el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Perfil de terreno:

Figura 35. Perfil de terreno



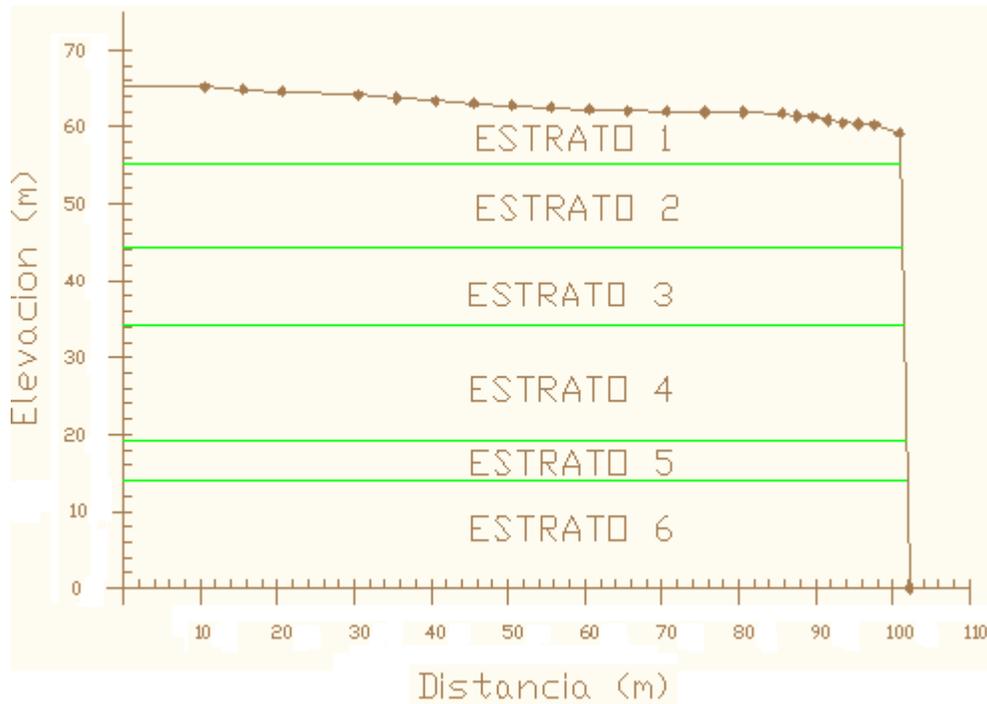
Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Coordenadas del perfil del terreno**

PUNTO	X	Y
1	0	65,35
2	10,56	65,2
3	15,56	64,82
4	20,56	64,6
5	30,56	64,15
6	35,56	63,74
7	40,56	63,37
8	45,56	63,04
9	50,56	62,76
10	55,56	62,51
11	60,56	62,3
12	65,56	62,14
13	70,56	62,01
14	75,56	61,93
15	80,56	61,89
16	85,56	61,72
17	87,56	61,39
18	89,56	61,34
19	91,56	60,91
20	93,56	60,56
21	95,56	60,39
22	97,56	60,32
23	100,86	59,2
24	102,16	0

Fuente: elaboración propia.

Figura 36. División de estratos del terreno



Fuente: elaboración propia.

Los datos a utilizar en el análisis son los siguientes:

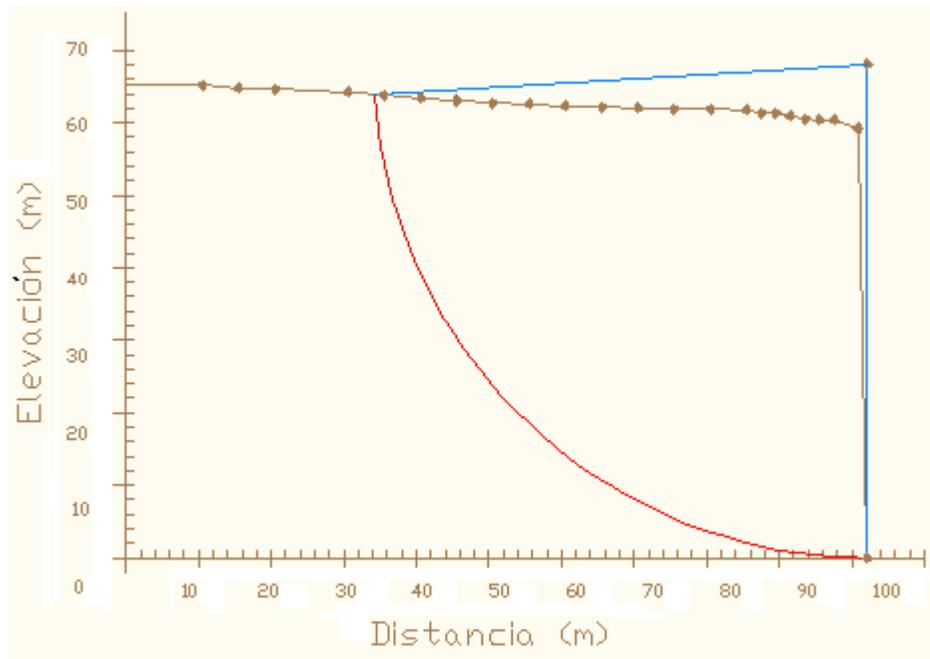
Ángulo de fricción interna de cada estrato (Φ)

La cohesión (C')

Lo primero que se debe hacer es asumir una superficie de falla en el terreno, se debe probar con distintos círculos para encontrar los puntos críticos del terreno, para este talud se trabajaron 5 diferentes círculos de falla, esto para determinar un error mínimo en el Factor de Seguridad (F.S) encontrado.

El círculo de falla que se asumió para este primer cálculo es el siguiente:

Figura 37. **Círculo de falla asumida**



Fuente: elaboración propia.

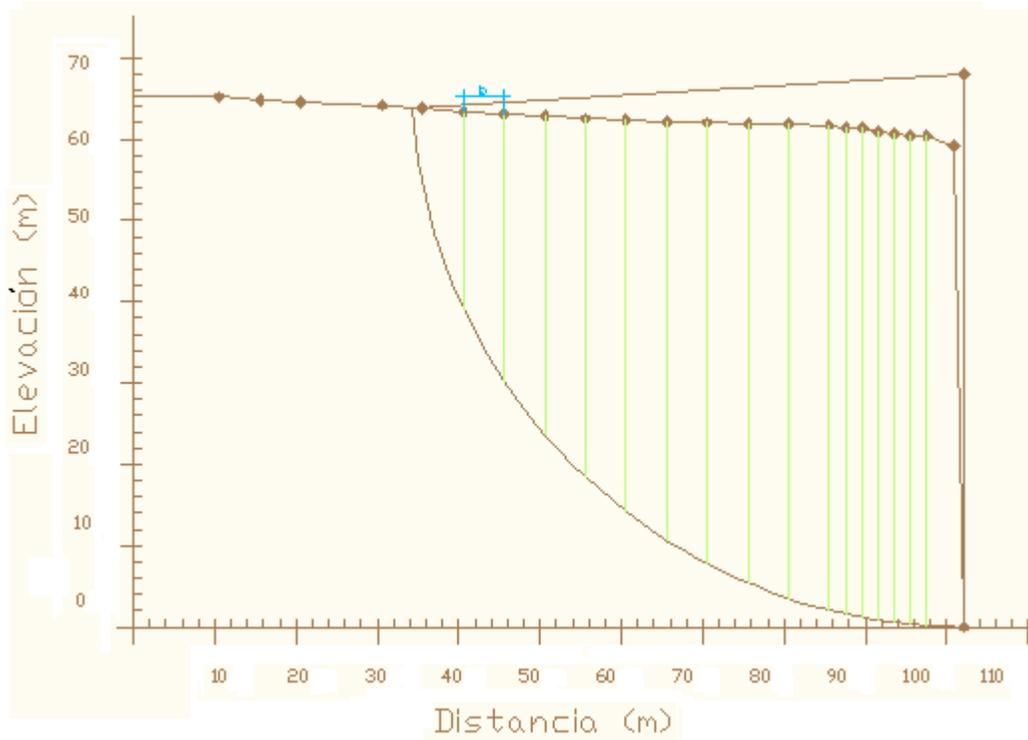
Las coordenadas del círculo de falla son los siguientes:

Centro del Círculo (102,1600, 68,0000)

Punto 1 (34,2871, 63,8444)

Punto 2 (102,1600, 0,0000)

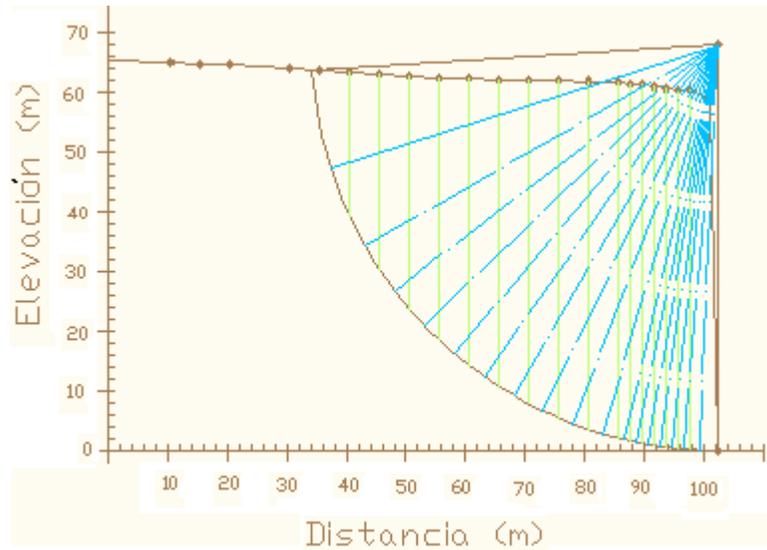
Figura 38. Dovelas asumidas en el círculo de falla



Fuente: elaboración propia.

Para determinar el número y ancho (b) de las dovelas no existe ningún tipo de fórmula ni parámetro establecido, esto va relacionado con la topografía del terreno.

Figura 39. **Círculo de falla asumida no. 1**



Fuente: elaboración propia.

Ya que se tiene definido el ancho y número de dovelas, se procede a encontrar el ángulo (α) de cada una de ellas, dibujando líneas que parten del centro del círculo de falla y finalizan con la vertical bajo el centroide en cada dovela.

Las coordenadas de las dovelas se presentan en la siguiente gráfica.

Tabla VIII. **Coordenadas de las dovelas en círculo de falla 1**

DOVELA	CENTRO DOVELA				EXTREMO DOVELA				ÁNGULO
	X	Y terreno	Y círculo	ALTURA (m)	X	Y terreno	Y círculo	ALTURA (m)	grados
1	37,37	63,60	47,35	16,25	40,56	63,37	39,20	24,17	73
2	43,06	63,21	34,37	28,84	45,56	63,04	30,31	32,73	60
3	48,06	62,90	26,80	36,10	50,56	62,76	23,72	39,05	53
4	53,06	62,63	20,95	41,68	55,56	62,51	18,47	44,03	46
5	58,06	62,40	16,23	46,06	60,56	62,3	14,20	48,09	40
6	63,06	62,22	12,36	49,85	65,56	62,14	10,69	51,45	35
7	68,06	62,07	9,16	52,91	70,56	62,01	7,79	54,22	30
8	73,06	61,97	6,54	55,43	75,56	61,93	5,42	56,51	25
9	78,06	61,91	4,41	57,50	80,56	61,89	3,52	58,37	21
10	83,06	61,69	2,73	59,07	85,56	61,72	2,06	59,66	16
11	86,56	61,72	1,81	59,91	87,56	61,39	1,58	59,80	13
12	88,56	61,35	1,37	60,00	89,56	61,34	1,17	60,16	12
13	90,56	60,34	1,00	59,92	91,56	60,91	0,83	60,08	10
14	92,56	60,04	0,68	60,23	93,56	60,56	0,55	60,01	8
15	94,56	59,96	0,42	60,02	95,56	60,39	0,32	60,07	6
16	96,56	59,91	0,23	60,14	97,56	60,32	0,15	60,16	5
17	99,21	59,74	0,06	59,75	102,16	0,00	0,00	59,20	2

Fuente: elaboración propia.

Con los datos anteriores ya establecidos, se puede comenzar al calcular el factor de seguridad (F.S) por los métodos propuestos.

Resolución por el método ordinario o de Fellenius

El método de Fellenius calcula el Factor de seguridad con la siguiente expresión:

La fórmula para el método de Fellenius es:

$$F.S = \frac{\sum [C' b \sec \alpha + (W \cos \alpha - ub \sec \alpha) \tan \phi]}{\sum W \sin \alpha}$$

α = Ángulo del radio del círculo de falla con la vertical bajo el centroide en cada tajada

W = Peso total de cada tajada

u = Presión de poros = $\gamma w h w$

b = Ancho de la tajada

C', ϕ = Parámetros de resistencia del suelo

Fellenius

Tabla IX. Solución por el método de Fellenius círculo de falla 1

DOVELA	b (m)	$\alpha(^{\circ})$	(radiane)	ϕ (radianes)	Área (m2)		W= γ ·A (kN/m)	Seca	Sena	Cosa	Tan ϕ	C'bSeca+(Wcosa-ubSeca)Tan ϕ	Wsen α
					A								
1	6,27	73	1,2741	0,4070108	75,8	93,99	3,42	0,9563	0,2924	0,4311	25,08296511	89,885	
2	5,00	60	1,0472	0,4070108	140,52	174,2	2	0,866	0,5	0,4311	53,03689066	150,9	
3	5,00	53	0,925	0,4773476	179,42	195,6	1,662	0,7986	0,6018	0,5172	79,82007626	156,19	
4	5,00	46	0,8029	0,4773476	207,7	226,4	1,44	0,7193	0,6947	0,5172	103,226067	162,85	
5	5,00	40	0,6981	0,4773476	230,27	251	1,305	0,6428	0,766	0,5172	124,2547093	161,34	
6	5,00	35	0,6109	3,7873645	248,72	305,9	1,221	0,5736	0,8192	0,7536	217,0402219	175,47	
7	5,00	30	0,5236	3,7873645	264,17	324,9	1,155	0,5	0,866	0,7536	243,1669193	162,46	
8	5,00	25	0,4363	3,7873645	276,83	340,5	1,103	0,4226	0,9063	0,7536	266,5297777	143,9	
9	5,00	21	0,3665	3,7873645	287,19	353,2	1,071	0,3584	0,9336	0,7536	285,6232867	126,59	
10	5,00	16	0,2793	3,4943237	295,02	483,8	1,04	0,2756	0,9613	0,3681	251,8351525	133,36	
11	2,00	13	0,2269	3,4943237	119,46	195,9	1,026	0,225	0,9744	0,3681	157,76525	44,071	
12	2,00	12	0,2094	3,4943237	119,96	196,7	1,022	0,2079	0,9781	0,3681	165,9182082	40,903	
13	2,00	10	0,1745	3,8093556	120,24	145,5	1,015	0,1736	0,9848	0,7886	164,6075912	25,264	
14	2,00	8	0,1396	3,8093556	120,01	145,2	1,01	0,1392	0,9903	0,7886	168,6805788	20,21	
15	2,00	6	0,1047	3,8093556	120,08	145,3	1,006	0,1045	0,9945	0,7886	172,9292441	15,188	
16	2,00	5	0,0873	0,9925687	120,23	198,4	1,004	0,0872	0,9962	1,5322	351,7952499	17,29	
17	3,34	2	0,0349	0,9925687	185,77	306,5	1,001	0,0349	0,9994	1,5322	535,2077657	10,697	
												3366,519955	1636,6
												F.S =	2,057049059

Fuente: elaboración propia.

El Factor de Seguridad por el Método de Fellenius es 2,0570.

Resolución por método de Bishop modificado

Las fórmulas del método son las siguientes:

$$F.S = \frac{\sum [cA \cos \alpha + (W - u \cos \alpha) \tan \phi] [1 / M_i(\alpha)]}{\sum W \sin \alpha} \quad M_i(\alpha) = \cos \alpha \left(1 + \frac{\tan \phi \tan \alpha}{F.S} \right)$$

Debido a que el factor de seguridad se encuentra en ambos lados de la ecuación, debe asumirse un factor de seguridad para iniciar el cálculo, el valor inicial será es el que se obtuvo con el método de Fellenius.

Tabla X. Solución por el método de Bishop modificado círculo de falla 1

DOVELA	b (m) =	$\alpha(^{\circ})$	α (radianes)	ϕ (radianes)	Área (m ²) A	W= γ *A (T/m)	Seca	Sen α	Cosa	Tan ϕ	Tan α	Wsen α	cAcos α +Wtan ϕ
	1	6,27	73	1,27409035	0,40701078	75,8	93,99	3,42030	0,95630	0,29237	0,43108	3,27085	89,88500
2	5,00	60	1,04719755	0,40701078	140,52	174,24	2,00000	0,86603	0,50000	0,43108	1,73205	150,90042	94,46378
3	5,00	53	0,9250245	0,47734755	179,42	195,57	1,66164	0,79864	0,60182	0,51724	1,32704	156,18739	120,15630
4	5,00	46	0,80285146	0,47734755	207,7	226,39	1,43956	0,71934	0,69466	0,51724	1,03553	162,85350	136,10045
5	5,00	40	0,6981317	0,47734755	230,27	250,99	1,30541	0,64279	0,76604	0,51724	0,83910	161,33603	148,82533
6	5,00	35	0,61086524	3,78736448	248,72	305,93	1,22077	0,57358	0,81915	0,75355	0,70021	175,47172	249,78147
7	5,00	30	0,52359878	3,78736448	264,17	324,93	1,15470	0,50000	0,86603	0,75355	0,57735	162,46455	264,10164
8	5,00	25	0,43633231	3,78736448	276,83	340,50	1,10338	0,42262	0,90631	0,75355	0,46631	143,90190	275,83583
9	5,00	21	0,36651914	3,78736448	287,19	353,24	1,07114	0,35837	0,93358	0,75355	0,38386	126,59122	285,43822
10	5,00	16	0,27925268	3,4943237	295,02	483,83	1,04030	0,27564	0,96126	0,36813	0,28675	133,36239	216,86169
11	2,00	13	0,2268928	3,4943237	119,46	195,91	1,02630	0,22495	0,97437	0,36813	0,23087	44,07115	87,62129
12	2,00	12	0,20943951	3,4943237	119,96	196,73	1,02234	0,20791	0,97815	0,36813	0,21256	40,90338	87,92315
13	2,00	10	0,17453293	3,80935563	120,24	145,49	1,01543	0,17365	0,98481	0,78862	0,17633	25,26414	122,55656
14	2,00	8	0,13962634	3,80935563	120,01	145,21	1,00983	0,13917	0,99027	0,78862	0,14054	20,20962	122,33709
15	2,00	6	0,10471976	3,80935563	120,08	145,30	1,00551	0,10453	0,99452	0,78862	0,10510	15,18765	122,40389
16	2,00	5	0,08726646	0,99256875	120,23	198,38	1,00382	0,08716	0,99619	1,53224	0,08749	17,28991	311,78552
17	3,34	2	0,03490659	0,99256875	185,77	306,52	1,00061	0,03490	0,99939	1,53224	0,03492	10,69741	479,85077
TOTAL SUMATORIA												1636,57738	3190,82614

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. Solución por el método de Bishop modificado iteraciones 1 y 2 círculo de falla 1

	Iteración 1		Iteración 2	
	$M_i(\alpha) = \frac{\cos\alpha(1+\tan\phi \tan\alpha)}{F.S}$	$[cA\cos\alpha + W\tan\phi][1/M_i(\alpha)]$	$M_i(\alpha) = \frac{\cos\alpha(1+\tan\phi \tan\alpha)}{F.S}$	$[cA\cos\alpha + W\tan\phi][1/M_i(\alpha)]$
0,49278	131,46390	0,49936	129,73267	
0,68149	138,61331	0,68745	137,41253	
0,80264	149,70203	0,80923	148,48302	
0,87554	155,44737	0,88148	154,40071	
0,92768	160,42796	0,93298	159,51600	
1,02927	242,67734	1,03617	241,06257	
1,04919	251,71869	1,05520	250,28495	
1,06113	259,94580	1,06621	258,70726	
1,06486	268,05142	1,06917	266,97143	
1,01059	214,58908	1,01221	214,24593	
1,01463	86,35805	1,01595	86,24576	
1,01536	86,59342	1,01658	86,48942	
1,05138	116,56716	1,05357	116,32547	
1,04362	117,22326	1,04538	117,02694	
1,03460	118,31076	1,03591	118,16058	
1,06112	293,82785	1,06325	293,23916	
1,02539	467,97032	1,02624	467,58135	
	3259,48772		3245,88577	
F.S asumido	2,05700		1,99165	
F.S calculado	1,99165		1,98334	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. Solución método de Bishop modificado iteraciones 3 y 4 círculo de falla 1

	Iteración 3		Iteración 4	
	$M_i(\alpha) = \frac{\cos\alpha(1+\tan\phi \tan\alpha)}{F.S}$	$[cA\cos\alpha + W\tan\phi][1/M_i(\alpha)]$	$M_i(\alpha) = \frac{\cos\alpha(1+\tan\phi \tan\alpha)}{F.S}$	$[cA\cos\alpha + W\tan\phi][1/M_i(\alpha)]$
0,50023	129,50771	0,50023	129,50771	
0,68823	137,25570	0,68823	137,25570	
0,81009	148,32371	0,81009	148,32371	
0,88226	154,26370	0,88226	154,26370	
0,93368	159,39649	0,93368	159,39649	
1,03708	240,85119	1,03708	240,85119	
1,05600	250,09706	1,05600	250,09706	
1,06688	258,54478	1,06688	258,54478	
1,06974	266,82963	1,06974	266,82963	
1,01242	214,20075	1,01242	214,20075	
1,01612	86,23097	1,01612	86,23097	
1,01674	86,47572	1,01674	86,47572	
1,05385	116,29367	1,05385	116,29367	
1,04561	117,00109	1,04561	117,00109	
1,03608	118,14080	1,03608	118,14080	
1,06353	293,16169	1,06353	293,16169	
1,02635	467,53009	1,02635	467,53009	
	3244,10475		3244,10475	
F.S asumido	1,98334		1,98225	
F.S calculado	1,98225		1,98225	

Fuente: elaboración propia.

El factor de seguridad converge en la cuarta iteración, dando como resultado 1,98225.

Resolución por el Método de Janbú

Las fórmulas del método son las siguientes:

$$F.S = \frac{f_o \sum [cb + (W - ub) \tan \phi] [1 / \cos \alpha M_i(\alpha)]}{\sum W \tan \alpha} \quad M_i(\alpha) = \cos \alpha \left(1 + \frac{\tan \phi \tan \alpha}{F.S} \right)$$

Tabla XIII. Solución por el método de Janbú círculo de falla 1

DOVELA	b (m)	$\alpha(^{\circ})$	α (radianes)	ϕ (radianes)	Área (m2)	W= γ *A	Seca	Sen α	Cosa	Tan ϕ	Tan α	Wtan α	cb+Wtan ϕ
					A	(T/m)							
1	6,27	73	1,27409	0,40701078	75,8	93,99	3,4203	0,956305	0,29237	0,43108	3,27085	307,43398	64,78315
2	5,00	60	1,04720	0,40701078	140,52	174,24	2	0,866025	0,50000	0,43108	1,73205	301,80085	94,46378
3	5,00	53	0,92502	0,47734755	179,42	195,57	1,66164	0,798636	0,60182	0,51724	1,32704	259,52724	120,15630
4	5,00	46	0,80285	0,47734755	207,7	226,39	1,43956	0,71934	0,69466	0,51724	1,03553	234,43681	136,10045
5	5,00	40	0,69813	0,47734755	230,27	250,99	1,30541	0,642788	0,76604	0,51724	0,83910	210,60922	148,82533
6	5,00	35	0,61087	3,78736448	248,72	305,93	1,22077	0,573576	0,81915	0,75355	0,70021	214,21141	249,78147
7	5,00	30	0,52360	3,78736448	264,17	324,93	1,1547	0,5	0,86603	0,75355	0,57735	187,59790	264,10164
8	5,00	25	0,43633	3,78736448	276,83	340,50	1,10338	0,422618	0,90631	0,75355	0,46631	158,77818	275,83583
9	5,00	21	0,36652	3,78736448	287,19	353,24	1,07114	0,358368	0,93358	0,75355	0,38386	135,59755	285,43822
10	5,00	16	0,27925	3,4943237	295,02	483,83	1,0403	0,275637	0,96126	0,36813	0,28675	138,73682	216,86169
11	2,00	13	0,22689	3,4943237	119,46	195,91	1,0263	0,224951	0,97437	0,36813	0,23087	45,23040	87,62129
12	2,00	12	0,20944	3,4943237	119,96	196,73	1,02234	0,207912	0,97815	0,36813	0,21256	41,81719	87,92315
13	2,00	10	0,17453	3,80935563	120,24	145,49	1,01543	0,173648	0,98481	0,78862	0,17633	25,65388	122,55656
14	2,00	8	0,13963	3,80935563	120,01	145,21	1,00983	0,139173	0,99027	0,78862	0,14054	20,40823	122,33709
15	2,00	6	0,10472	3,80935563	120,08	145,30	1,00551	0,104528	0,99452	0,78862	0,10510	15,27131	122,40389
16	2,00	5	0,08727	0,99256875	120,23	198,38	1,00382	0,087156	0,99619	1,53224	0,08749	17,35596	310,06552
17	3,34	2	0,03491	0,99256875	185,77	306,52	1,00061	0,034899	0,99939	1,53224	0,03492	10,70393	479,85077
TOTAL DE SUMATORIA												2325,171	3189,1061

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. Solución método Janbú iteraciones 1 a 3 círculo de falla 1

	Iteración 1		Iteración 2		Iteración 3	
$M_i(\alpha) = \frac{\cos \alpha (1 + \tan \Phi \tan \alpha)}{F.S}$	$f_0 [cb + W \tan \Phi] \frac{1}{\cos \alpha M_i(\alpha)}$	$M_i(\alpha) = \frac{\cos \alpha (1 + \tan \Phi \tan \alpha)}{F.S}$	$f_0 [cb + W \tan \Phi] \frac{1}{\cos \alpha M_i(\alpha)}$	$M_i(\alpha) = \frac{\cos \alpha (1 + \tan \Phi \tan \alpha)}{F.S}$	$f_0 [cb + W \tan \Phi] \frac{1}{\cos \alpha M_i(\alpha)}$	
0,50023	478,39237	0,51080	468,48544	0,51262	466,82250	
0,68823	296,47240	0,69781	292,40244	0,69946	291,71358	
0,81009	266,17756	0,82069	262,73971	0,82252	262,15727	
0,88226	239,83708	0,89181	237,26947	0,89345	236,83333	
0,93368	224,72357	0,94221	222,68879	0,94368	222,34249	
1,03708	317,54708	1,04817	314,18711	1,05008	313,61629	
1,05600	311,89025	1,06566	309,06068	1,06733	308,57912	
1,06688	308,09446	1,07505	305,75254	1,07646	305,35328	
1,06974	308,67833	1,07667	306,69168	1,07786	306,35252	
1,01242	240,65957	1,01503	240,04224	1,01547	239,93637	
1,01612	95,57914	1,01825	95,37969	1,01861	95,34546	
1,01674	95,48026	1,01870	95,29618	1,01904	95,26459	
1,05385	127,53471	1,05737	127,11088	1,05797	127,03825	
1,04561	127,60301	1,04842	127,26024	1,04891	127,20146	
1,03608	128,29489	1,03820	128,03350	1,03856	127,98865	
1,06353	316,07075	1,06695	315,05563	1,06754	314,88167	
1,02635	505,24029	1,02772	504,56573	1,02796	504,44988	
	4388,275712		4352,02195		4345,876708	
F.S asumido	1,98334		1,88729		1,87170	
F.S calculado	1,88729		1,87170		1,86906	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. Solución método Janbú iteraciones 4 a 6 círculo de falla 1

	Iteración 4		Iteración 5		Iteración 6	
$M_i(\alpha) = \frac{\cos \alpha (1 + \tan \Phi \tan \alpha)}{F.S}$	$f_0 [cb + W \tan \Phi] \frac{1}{\cos \alpha M_i(\alpha)}$	$M_i(\alpha) = \frac{\cos \alpha (1 + \tan \Phi \tan \alpha)}{F.S}$	$f_0 [cb + W \tan \Phi] \frac{1}{\cos \alpha M_i(\alpha)}$	$M_i(\alpha) = \frac{\cos \alpha (1 + \tan \Phi \tan \alpha)}{F.S}$	$f_0 [cb + W \tan \Phi] \frac{1}{\cos \alpha M_i(\alpha)}$	
0,51294	466,53905	0,51299	466,49061	0,51300	466,48233	
0,69974	291,59600	0,69979	291,57590	0,69980	291,57246	
0,82283	262,05784	0,82288	262,04084	0,82289	262,03794	
0,89373	236,75884	0,89378	236,74611	0,89379	236,74393	
0,94393	222,28332	0,94397	222,27321	0,94398	222,27148	
1,05040	313,51880	1,05046	313,50213	1,05047	313,49928	
1,06761	308,49685	1,06766	308,48278	1,06767	308,48038	
1,07670	305,28505	1,07674	305,27338	1,07674	305,27139	
1,07806	306,29454	1,07810	306,28463	1,07811	306,28293	
1,01555	239,91826	1,01556	239,91516	1,01557	239,91464	
1,01868	95,33961	1,01869	95,33860	1,01869	95,33843	
1,01910	95,25918	1,01911	95,25826	1,01911	95,25810	
1,05808	127,02583	1,05809	127,02371	1,05810	127,02334	
1,04899	127,19141	1,04900	127,18969	1,04901	127,18940	
1,03863	127,98097	1,03864	127,97966	1,03864	127,97943	
1,06764	314,85192	1,06766	314,84683	1,06766	314,84596	
1,02800	504,43005	1,02801	504,42666	1,02801	504,42608	
	4344,827517		4344,648166		4344,617501	
F.S asumido	1,86906		1,86861		1,86853	
F.S calculado	1,86861		1,86853		1,86852	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. Solución método Janbú iteraciones 7 a 9 círculo de falla 1

	Iteración 7		Iteración 8		Iteración 9	
	$Mi(\alpha) = \frac{\cos\alpha(1+(\tan\phi \tan\alpha)/F.S)}{\cos\alpha}$	$\frac{fo[cb+W\tan\Phi]}{1/\cos\alpha Mi(\alpha)}$	$Mi(\alpha) = \frac{\cos\alpha(1+(\tan\phi \tan\alpha)/F.S)}{\cos\alpha}$	$\frac{fo[cb+W\tan\Phi]}{1/\cos\alpha Mi(\alpha)}$	$Mi(\alpha) = \frac{\cos\alpha(1+(\tan\phi \tan\alpha)/F.S)}{\cos\alpha}$	$\frac{fo[cb+W\tan\Phi]}{1/\cos\alpha Mi(\alpha)}$
	0,51300	466,48091	0,51300	466,48067	0,51300	466,48063
	0,69980	291,57188	0,69980	291,57178	0,69980	291,57176
	0,82289	262,03744	0,82289	262,03736	0,82289	262,03734
	0,89379	236,74356	0,89379	236,74349	0,89379	236,74348
	0,94398	222,27118	0,94398	222,27113	0,94398	222,27112
	1,05047	313,49880	1,05047	313,49871	1,05047	313,49870
	1,06767	308,47997	1,06767	308,47990	1,06767	308,47988
	1,07675	305,27105	1,07675	305,27099	1,07675	305,27098
	1,07811	306,28264	1,07811	306,28259	1,07811	306,28259
	1,01557	239,91454	1,01557	239,91453	1,01557	239,91453
	1,01869	95,33840	1,01869	95,33840	1,01869	95,33840
	1,01911	95,25807	1,01911	95,25807	1,01911	95,25807
	1,05810	127,02328	1,05810	127,02327	1,05810	127,02327
	1,04901	127,18935	1,04901	127,18934	1,04901	127,18934
	1,03864	127,97940	1,03864	127,97939	1,03864	127,97939
	1,06767	314,84581	1,06767	314,84578	1,06767	314,84578
	1,02801	504,42598	1,02801	504,42597	1,02801	504,42596
		4344,612257		4344,611361		4344,611208
F.S asumido		1,86852		1,86851		1,86851
F.S calculado		1,86851		1,86851		1,86851

Fuente: elaboración propia.

El Factor de Seguridad converge en la cuarta iteración, dando como resultado 1,86851.

El Factor de Seguridad obtenido por los tres métodos, en el círculo de falla no.1 son los siguientes:

Tabla XVII. Resultado de Factor de Seguridad círculo de falla 1

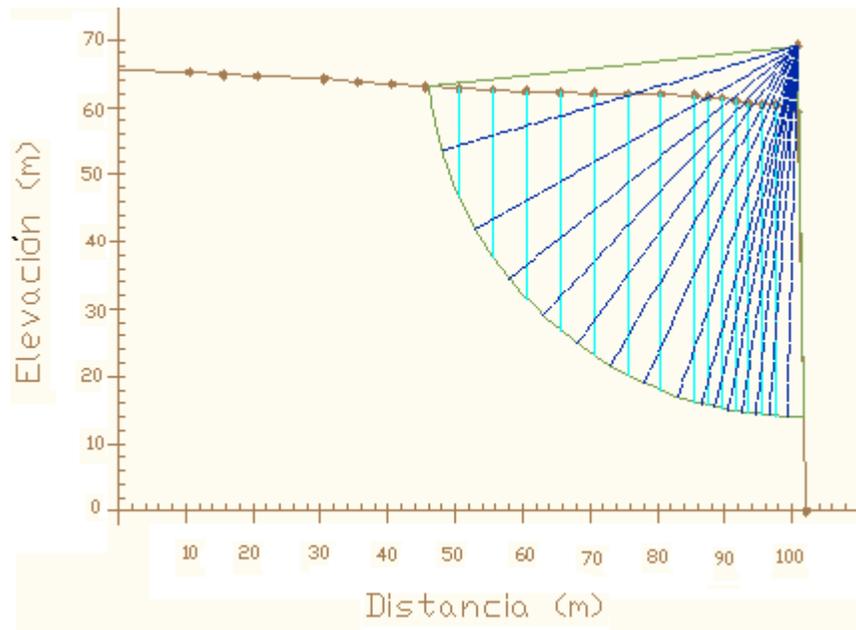
Método	Factor de seguridad obtenido
Ordinario de Fellenius	2,05704
Bishop Modificado	1,98225
Janbú	1,86851

Fuente: elaboración propia, (USAC 2012).

Según el factor de seguridad obtenido del círculo de falla no. 1 el talud es estable

El procedimiento será el mismo para el círculo de falla no.2, las coordenadas del perfil del terreno siguen siendo las mismas, lo que varía es la ubicación del centro de falla y por consiguiente el número de las dovelas.

Figura 40. **Círculo de falla asumida no. 2**



Fuente: elaboración propia.

Las coordenadas del círculo de falla son los siguientes:

Centro del círculo (100,8600, 69,1100)

Punto 1 (46,1425, 63,0074)

Punto 2 (101,8598, 14,0291)

Las coordenadas de las dovelas son las siguientes:

Tabla XVIII. **Coordenadas de las dovelas en círculo de falla 2**

DOVELA	CENTRO DOVELA				EXTREMO DOVELA				ÁNGULO
	X	Y terreno	Y círculo	ALTURA (m)	X	Y terreno	Y círculo	ALTURA (m)	grados
1	48,06	62,90	53,51	9,39	50,56	62,76	46,72	16,04	75
2	53,06	62,63	41,79	20,84	55,56	62,51	37,82	24,69	61
3	58,06	62,40	34,48	27,92	60,56	62,3	31,60	30,70	52
4	63,06	62,22	29,08	33,14	65,56	62,14	26,85	35,29	44
5	68,06	62,08	24,89	37,19	70,56	62,01	23,14	38,87	38
6	73,06	61,97	21,58	40,39	75,56	61,93	20,21	41,72	31
7	78,06	61,91	18,99	42,92	80,56	61,89	17,93	43,96	25
8	83,06	61,80	17,00	44,80	85,56	61,72	16,21	45,51	20
9	86,56	61,62	15,94	45,68	87,56	61,39	15,68	45,71	16
10	88,56	61,34	15,44	45,90	89,56	61,34	15,22	46,12	14
11	90,56	61,05	15,02	46,03	91,56	60,91	14,84	46,07	12
12	92,56	60,67	14,68	45,99	93,56	60,56	14,53	46,03	10
13	94,56	60,44	14,41	46,03	95,56	60,39	14,30	46,09	8
14	96,56	60,34	14,21	46,13	97,56	60,32	14,21	46,11	6
15	99,21	59,20	14,07	45,13	102,16	14,14	14,14	0,00	3

Fuente: elaboración propia.

Con los datos anteriores ya establecidos, se puede comenzar al calcular el Factor de Seguridad (FS) por los métodos propuestos.

Resolución por el método Ordinario o de Fellenius

El método de Fellenius calcula el Factor de Seguridad con la siguiente expresión:

La fórmula para el método de Fellenius es:

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

α = Ángulo del radio del círculo de falla con la vertical bajo el centroide en cada tajada

W = Peso total de cada tajada

u = Presión de poros = $\gamma_w h_w$

b = Ancho de la tajada

C', ϕ = Parámetros de resistencia del suelo

Fellenius

Tabla XIX. **Solución por el método de Fellenius círculo de falla 2**

DOVELA	CENTRO DOVELA				EXTREMO DOVELA				ÁNGULO
	X	Y terreno	Y círculo	ALTURA (m)	X	Y terreno	Y círculo	ALTURA (m)	grados
1	48,06	62,90	53,51	9,39	50,56	62,76	46,72	16,04	75
2	53,06	62,63	41,79	20,84	55,56	62,51	37,82	24,69	61
3	58,06	62,40	34,48	27,92	60,56	62,3	31,60	30,70	52
4	63,06	62,22	29,08	33,14	65,56	62,14	26,85	35,29	44
5	68,06	62,08	24,89	37,19	70,56	62,01	23,14	38,87	38
6	73,06	61,97	21,58	40,39	75,56	61,93	20,21	41,72	31
7	78,06	61,91	18,99	42,92	80,56	61,89	17,93	43,96	25
8	83,06	61,80	17,00	44,80	85,56	61,72	16,21	45,51	20
9	86,56	61,62	15,94	45,68	87,56	61,39	15,68	45,71	16
10	88,56	61,34	15,44	45,90	89,56	61,34	15,22	46,12	14
11	90,56	61,05	15,02	46,03	91,56	60,91	14,84	46,07	12
12	92,56	60,67	14,68	45,99	93,56	60,56	14,53	46,03	10
13	94,56	60,44	14,41	46,03	95,56	60,39	14,30	46,09	8
14	96,56	60,34	14,21	46,13	97,56	60,32	14,21	46,11	6
15	99,21	59,20	14,07	45,13	102,16	14,14	14,14	0,00	3

Fuente: elaboración propia, (USAC 2012).

El Factor de Seguridad por el Método de Fellenius es 1,65822.

Resolución por método de Bishop Modificado

Las fórmulas del método son las siguientes:

$$F.S = \frac{\sum [cA \cos \alpha + (W - u \cos \alpha) \tan \phi] [1 / M_i(\alpha)]}{\sum W \sin \alpha} \quad M_i(\alpha) = \cos \alpha \left(1 + \frac{\tan \phi \tan \alpha}{F.S} \right)$$

Debido a que el factor de seguridad se encuentra en ambos lados de la ecuación, debe asumir un factor de seguridad para iniciar el cálculo, el valor inicial será es el que se obtuvo con el método de Fellenius.

Tabla XX. Solución por el método de Bishop modificado círculo de falla 2

DOVELA	b (m) =	α (°)	α (radianes)	ϕ (radianes)	Área (m ²)	W= γ *A	Sec α	Sen α	Cos α	Tan ϕ	Tan α	Wsen α	cAcos α +Wtan ϕ
	Acos α				A	(T/m)							
1	4,42	75	1,308997	0,4070108	35,41	43,91	3,86370	0,96593	0,25882	0,43108	3,73205	42,41226	36,03352
2	5,00	61	1,064651	0,4070108	101,8	126,23	2,06267	0,87462	0,48481	0,43108	1,80405	110,40499	73,76633
3	5,00	52	0,907571	0,4773476	138,47	150,93	1,62427	0,78801	0,61566	0,51724	1,27994	118,93628	97,06885
4	5,00	44	0,767945	0,4773476	164,95	179,80	1,39016	0,69466	0,71934	0,51724	0,96569	124,89645	111,99817
5	5,00	38	0,663225	0,4773476	185,29	201,97	1,26902	0,61566	0,78801	0,51724	0,78129	124,34275	123,46578
6	5,00	31	0,541052	3,7873645	201,47	247,81	1,16663	0,51504	0,85717	0,75355	0,60086	127,63061	205,98680
7	5,00	25	0,436332	3,7873645	214,19	263,45	1,10338	0,42262	0,90631	0,75355	0,46631	111,34034	217,77660
8	5,00	20	0,349066	3,7873645	223,65	275,09	1,06418	0,34202	0,93969	0,75355	0,36397	94,08615	226,54481
9	2,00	16	0,279253	3,7873645	91,2	112,18	1,04030	0,27564	0,96126	0,75355	0,28675	30,91990	92,23068
10	2,00	14	0,244346	3,4943237	91,82	150,58	1,03061	0,24192	0,97030	0,36813	0,24933	36,42976	70,93426
11	2,00	12	0,20944	3,4943237	92,18	151,18	1,02234	0,20791	0,97815	0,36813	0,21256	31,43109	71,15160
12	2,00	10	0,174533	3,4943237	92,09	151,03	1,01543	0,17365	0,98481	0,36813	0,17633	26,22567	71,09727
13	2,00	8	0,139626	3,8093556	92,11	111,45	1,00983	0,13917	0,99027	0,78862	0,14054	15,51127	95,71409
14	2,00	6	0,10472	3,8093556	92,25	111,62	1,00551	0,10453	0,99452	0,78862	0,10510	11,66773	95,84768
15	4,29	3	0,05236	3,8093556	173,02	209,35	1,00137	0,05234	0,99863	0,78862	0,05241	10,95675	181,87470
TOTAL SUMATORIA												1017,19200	1771,49112

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. Solución método de Bishop modificado iteraciones 1 a 3 de círculo falla 2

DOVELA	b (m) =	α (°)	α (radianes)	ϕ (radianes)	Área (m ²)	W= γ *A	Sec α	Sen α	Cos α	Tan ϕ	Tan α	Wsen α	cAcos α +Wtan ϕ
	Acos α				A	(T/m)							
1	4,42	75	1,308997	0,4070108	35,41	43,91	3,86370	0,96593	0,25882	0,43108	3,73205	42,41226	36,03352
2	5,00	61	1,064651	0,4070108	101,8	126,23	2,06267	0,87462	0,48481	0,43108	1,80405	110,40499	73,76633
3	5,00	52	0,907571	0,4773476	138,47	150,93	1,62427	0,78801	0,61566	0,51724	1,27994	118,93628	97,06885
4	5,00	44	0,767945	0,4773476	164,95	179,80	1,39016	0,69466	0,71934	0,51724	0,96569	124,89645	111,99817
5	5,00	38	0,663225	0,4773476	185,29	201,97	1,26902	0,61566	0,78801	0,51724	0,78129	124,34275	123,46578
6	5,00	31	0,541052	3,7873645	201,47	247,81	1,16663	0,51504	0,85717	0,75355	0,60086	127,63061	205,98680
7	5,00	25	0,436332	3,7873645	214,19	263,45	1,10338	0,42262	0,90631	0,75355	0,46631	111,34034	217,77660
8	5,00	20	0,349066	3,7873645	223,65	275,09	1,06418	0,34202	0,93969	0,75355	0,36397	94,08615	226,54481
9	2,00	16	0,279253	3,7873645	91,2	112,18	1,04030	0,27564	0,96126	0,75355	0,28675	30,91990	92,23068
10	2,00	14	0,244346	3,4943237	91,82	150,58	1,03061	0,24192	0,97030	0,36813	0,24933	36,42976	70,93426
11	2,00	12	0,20944	3,4943237	92,18	151,18	1,02234	0,20791	0,97815	0,36813	0,21256	31,43109	71,15160
12	2,00	10	0,174533	3,4943237	92,09	151,03	1,01543	0,17365	0,98481	0,36813	0,17633	26,22567	71,09727
13	2,00	8	0,139626	3,8093556	92,11	111,45	1,00983	0,13917	0,99027	0,78862	0,14054	15,51127	95,71409
14	2,00	6	0,10472	3,8093556	92,25	111,62	1,00551	0,10453	0,99452	0,78862	0,10510	11,66773	95,84768
15	4,29	3	0,05236	3,8093556	173,02	209,35	1,00137	0,05234	0,99863	0,78862	0,05241	10,95675	181,87470
TOTAL SUMATORIA												1017,19200	1771,49112

Fuente: elaboración propia.

El Factor de Seguridad converge en la cuarta iteración, dando como resultado 1,75140.

Resolución por el método de Janbú

Las fórmulas del método son las siguientes:

$$F.S = \frac{f_o \sum [cb + (W - ub) \tan \phi] [1 / \cos \alpha M_i(\alpha)]}{\sum W \tan \alpha} \quad M_i(\alpha) = \cos \alpha \left(1 + \frac{\tan \phi \tan \alpha}{F.S} \right)$$

Janbú

Tabla XXII. Solución por el método de Janbú círculo de falla 2

SOLUCIÓN POR JANBÚ	DOVELA	b (m)	α(°)	α (radianes)	φ (radianes)	Área (m2) A	W=y*A (T/m)	Seca	Sena	Cosa	Tanφ	Tana	Wtanα	cb+ Wtanφ
	1	4,42	75	1,30900	0,407010782	35,41	43,91	3,8637	0,965926	0,25882	0,43108	3,73205	163,86838	36,03352
	2	5,00	61	1,06465	0,407010782	101,8	126,23	2,06267	0,87462	0,48481	0,43108	1,80405	227,72856	73,76633
	3	5,00	52	0,90757	0,47734755	138,47	150,93	1,62427	0,788011	0,61566	0,51724	1,27994	193,18453	97,41885
	4	5,00	44	0,76794	0,47734755	164,95	179,80	1,39016	0,694658	0,71934	0,51724	0,96569	173,62650	112,34817
	5	5,00	38	0,66323	0,47734755	185,29	201,97	1,26902	0,615661	0,78801	0,51724	0,78129	157,79321	123,81578
	6	5,00	31	0,54105	3,787364477	201,47	247,81	1,16663	0,515038	0,85717	0,75355	0,60086	148,89813	206,08680
	7	5,00	25	0,43633	3,787364477	214,19	263,45	1,10338	0,422618	0,90631	0,75355	0,46631	122,85048	217,87660
	8	5,00	20	0,34907	3,787364477	223,65	275,09	1,06418	0,34202	0,93969	0,75355	0,36397	100,12439	226,64481
	9	2,00	16	0,27925	3,787364477	91,2	112,18	1,0403	0,275637	0,96126	0,75355	0,28675	32,16595	92,27068
	10	2,00	14	0,24435	3,494323695	91,82	150,58	1,03061	0,241922	0,97030	0,36813	0,24933	37,54501	63,17426
	11	2,00	12	0,20944	3,494323695	92,18	151,18	1,02234	0,207912	0,97815	0,36813	0,21256	32,13328	63,39160
	12	2,00	10	0,17453	3,494323695	92,09	151,03	1,01543	0,173648	0,98481	0,36813	0,17633	26,63024	63,33727
	13	2,00	8	0,13963	3,809355625	92,11	111,45	1,00983	0,139173	0,99027	0,78862	0,14054	15,66371	95,63409
	14	2,00	6	0,10472	3,809355625	92,25	111,62	1,00551	0,104528	0,99452	0,78862	0,10510	11,73200	95,76768
	15	4,29	3	0,05236	3,809355625	173,02	209,35	1,00137	0,052336	0,99863	0,78862	0,05241	10,97179	181,70310
TOTAL SUMATORIA													1454,91615	1749,26952

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. Solución método Janbú iteraciones 1 a 3 círculo de falla 2

	Iteración 1		Iteración 2		Iteración 3	
	Mi(α)= Cosa(1+(tanΦt ana)/F.S)	fo[cb+WtanΦ][1/cosaMi(α)]	Mi(α)= Cosa(1+(tanΦt ana)/F.S)	fo[cb+WtanΦ][1/cosaMi(α)]	Mi(α)= Cosa(1+(tanΦt ana)/F.S)	fo[cb+WtanΦ][1/cosaMi(α)]
0,46878	320,75078	0,49468	303,95793	0,50000	300,72100	
0,67492	243,47690	0,69837	235,30121	0,70319	233,68791	
0,82118	208,10616	0,84653	201,87395	0,85175	200,63861	
0,90051	187,31186	0,92286	182,77590	0,92746	181,87042	
0,94858	178,89282	0,96839	175,23389	0,97246	174,50010	
1,05286	246,62448	1,07700	241,09675	1,08197	239,99084	
1,06689	243,35476	1,08670	238,91900	1,09077	238,02699	
1,06965	243,52453	1,08568	239,92885	1,08897	239,20271	
1,06599	97,25031	1,07891	96,08583	1,08157	95,84987	
1,01520	69,26400	1,02074	68,88813	1,02188	68,81136	
1,01674	68,84003	1,02150	68,51922	1,02248	68,45363	
1,01704	68,29571	1,02102	68,02975	1,02183	67,97533	
1,04561	99,75027	1,05244	99,10326	1,05384	98,97127	
1,03609	100,37650	1,04121	99,88222	1,04227	99,78121	
1,01944	192,76124	1,02201	192,27706	1,02254	192,17781	
	2568,58034		2511,87294		2500,65906	
F.S asumido	1,98322		1,76545		1,72647	
F.S calculado	1,76545		1,72647		1,71877	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. Solución método Janbú iteraciones 3 a 6 círculo de falla 2

	Iteración 4		Iteración 5		Iteración 6	
	Mi(α)= Cosa(1+(tanΦt ana)/F.S)	fo[cb+WtanΦ][1/cosaMi(α)]	Mi(α)= Cosa(1+(tanΦt ana)/F.S)	fo[cb+WtanΦ][1/cosaMi(α)]	Mi(α)= Cosa(1+(tanΦt ana)/F.S)	fo[cb+WtanΦ][1/cosaMi(α)]
0,50108	300,07192	0,50130	299,94073	0,50135	299,91418	
0,70417	233,36291	0,70437	233,29717	0,70441	233,28386	
0,85280	200,38954	0,85302	200,33914	0,85306	200,32894	
0,92839	181,68759	0,92858	181,65059	0,92862	181,64309	
0,97329	174,35180	0,97346	174,32178	0,97349	174,31570	
1,08297	239,76745	1,08318	239,72223	1,08322	239,71307	
1,09160	237,84662	1,09176	237,81010	1,09180	237,80271	
1,08964	239,05575	1,08978	239,02600	1,08981	239,01997	
1,08211	95,80208	1,08222	95,79240	1,08224	95,79044	
1,02211	68,79579	1,02216	68,79263	1,02217	68,79199	
1,02268	68,44032	1,02272	68,43763	1,02273	68,43708	
1,02200	67,96429	1,02203	67,96205	1,02204	67,96160	
1,05412	98,94451	1,05418	98,93908	1,05419	98,93799	
1,04248	99,76071	1,04253	99,75656	1,04253	99,75572	
1,02264	192,15767	1,02266	192,15359	1,02267	192,15276	
	2498,39894		2497,94168		2497,84910	
F.S asumido	1,71877		1,71721		1,71690	
F.S calculado	1,71721		1,71690		1,71683	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. Solución método Janbú iteraciones 7 a 9 círculo de falla 2

	Iteración 7		Iteración 8		Iteración 9	
	$Mi(\alpha) = \frac{Cosa(1+(\tan\Phi) \tan\alpha)}{F.S}$	$fo[cb+W \tan\Phi][1/cosaMi(\alpha)]$	$Mi(\alpha) = \frac{Cosa(1+(\tan\Phi) \tan\alpha)}{F.S}$	$fo[cb+W \tan\Phi][1/cosaMi(\alpha)]$	$Mi(\alpha) = \frac{Cosa(1+(\tan\Phi) \tan\alpha)}{F.S}$	$fo[cb+W \tan\Phi][1/cosaMi(\alpha)]$
	0,50135	299,90880	0,50136	299,90771	0,50136	299,90749
	0,70442	233,28116	0,70442	233,28062	0,70442	233,28051
	0,85307	200,32687	0,85307	200,32645	0,85307	200,32637
	0,92863	181,64158	0,92863	181,64127	0,92863	181,64121
	0,97350	174,31447	0,97350	174,31422	0,97350	174,31417
	1,08323	239,71122	1,08323	239,71084	1,08323	239,71077
	1,09180	237,80121	1,09181	237,80091	1,09181	237,80085
	1,08981	239,01875	1,08981	239,01850	1,08981	239,01845
	1,08224	95,79005	1,08225	95,78997	1,08225	95,78995
	1,02217	68,79186	1,02217	68,79184	1,02217	68,79183
	1,02273	68,43697	1,02273	68,43695	1,02273	68,43694
	1,02204	67,96151	1,02204	67,96149	1,02204	67,96148
	1,05420	98,93776	1,05420	98,93772	1,05420	98,93771
	1,04254	99,75555	1,04254	99,75552	1,04254	99,75551
	1,02267	192,15259	1,02267	192,15256	1,02267	192,15255
		2497,83036		2497,82656		2497,82579
F.S asumido	1,71683		1,71682		1,71682	
F.S calculado	1,71682		1,71682		1,71682	

Fuente: elaboración propia.

El Factor de Seguridad converge en la cuarta iteración, dando como resultado 1,71682.

El Factor de Seguridad obtenido por los tres métodos, en el círculo de falla no.2 son los siguientes:

Tabla XXVI. Resultado de Factor de Seguridad círculo de falla 2

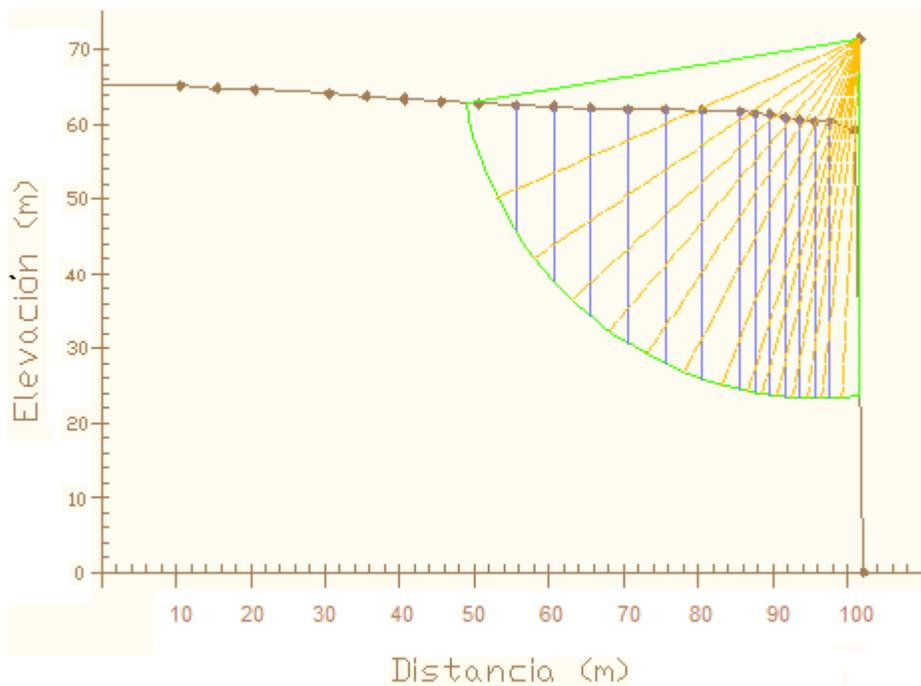
Método	Factor de seguridad obtenido
Ordinario de Fellenius	1,65822
Bishop Modificado	1,75140
Janbú	1,71682

Fuente: elaboración propia.

Según el Factor de Seguridad obtenido del círculo de falla no. 2 el talud es estable.

El procedimiento será el mismo para el círculo de falla no.3, las coordenadas del perfil del terreno siguen siendo las mismas, lo que varía es la ubicación del centro de falla y por consiguiente el número de las dovelas.

Figura 41. **Círculo de falla asumida no. 3**



Fuente: elaboración propia.

Las coordenadas del círculo de falla son los siguientes:

Centro del círculo (101,6130, 71,4073)

Punto 1 (48,8649, 62,8549)

Punto 2 (101.6130, 23,5404)

Tabla XXVII. **Coordenadas de las dovelas en círculo de falla 3**

DOVELA	CENTRO DOVELA				EXTREMO DOVELA				ÁNGULO
	X	Y terreno	Y círculo	ALTURA (m)	X	Y terreno	Y círculo	ALTURA (m)	grados
1	53,06	62,63	50,11	12,52	55,56	62,51	45,65	16,86	66
2	58,06	62,40	42,07	20,33	60,56	62,3	39,08	23,22	56
3	63,06	62,22	36,51	25,71	65,56	62,14	34,29	27,85	48
4	68,06	62,08	32,36	29,72	70,56	62,01	30,67	31,34	41
5	73,06	61,97	29,20	32,77	75,56	61,93	27,91	34,02	34
6	78,06	61,91	26,81	35,10	80,56	61,89	25,87	36,02	28
7	83,06	61,80	25,08	36,72	85,56	61,72	24,44	37,28	22
8	86,56	61,62	24,23	37,39	87,56	61,39	24,03	37,36	18
9	88,56	61,34	23,86	37,48	89,56	61,34	23,71	37,63	15
10	90,56	61,05	23,58	37,47	91,56	60,91	23,47	37,44	13
11	92,56	60,67	23,38	37,29	93,56	60,56	23,31	37,25	11
12	94,56	60,44	23,31	37,13	95,56	60,39	23,24	37,15	8
13	96,56	60,34	23,24	37,10	97,56	60,32	23,26	37,06	6
14	99,21	59,69	23,32	36,37	102,16	23,54	23,54	0,00	3

Fuente: elaboración propia.

Con los datos anteriores ya establecidos, se puede comenzar al calcular el Factor de Seguridad (F.S) por los métodos propuestos.

Resolución por el método ordinario o de Fellenius

El método de Fellenius calcula el Factor de Seguridad con la siguiente expresión:

La fórmula para el método de Fellenius es:

$$F.S = \frac{\sum [C' b \sec \alpha + (W \cos \alpha - ub \sec \alpha) \tan \phi]}{\sum W \sin \alpha}$$

α = Ángulo del radio del círculo de falla con la vertical bajo el centroide en cada tajada

W = Peso total de cada tajada

u = Presión de poros = $\gamma w h$

b = Ancho de la tajada

C' , ϕ = Parámetros de resistencia del suelo

Fellenius

Tabla XXVIII. Solución por el método de Fellenius círculo de falla 3

DOVELA	b (m)	α (°)	α (radianes)	ϕ (radianes)	Área (m ²) A	W= γ *A (kN/m)	Seca	Sena	Cosa	Tan ϕ	C'bSeca+(Wcosa-ubSeca)Tan ϕ	Wsen α
1	6,70	66	1,1519173	0,4070108	56,41	69,9484	2,458593	0,913545	0,406737	0,431082	76,01339587	63,90104
2	5,00	56	0,9773844	0,4070108	100,07	124,0868	1,788292	0,829038	0,559193	0,431082	64,51555247	102,8726
3	5,00	48	0,837758	0,4773476	127,52	138,9968	1,494477	0,743145	0,669131	0,517244	76,50238576	103,2948
4	5,00	41	0,715585	0,4773476	147,86	161,1674	1,325013	0,656059	0,75471	0,517244	88,09001948	105,7353
5	5,00	34	0,5934119	0,4773476	163,23	177,9207	1,206218	0,559193	0,829038	0,517244	99,21317322	99,49199
6	5,00	28	0,4886922	3,7873645	174,96	215,2008	1,13257	0,469472	0,882948	0,753554	164,9855534	101,0307
7	5,00	22	0,3839724	3,7873645	183,22	225,3606	1,078535	0,374607	0,927184	0,753554	178,2174474	84,42157
8	2,00	18	0,3141593	3,7873645	74,62	91,7826	1,051462	0,309017	0,951057	0,753554	73,87432358	28,36238
9	2,00	15	0,2617994	3,7873645	74,98	92,2254	1,035276	0,258819	0,965926	0,753554	75,10040344	23,86969
10	2,00	13	0,2268928	3,4943237	75,06	123,0984	1,026304	0,224951	0,97437	0,368127	60,06206015	27,69111
11	2,00	11	0,1919862	3,4943237	74,67	122,4588	1,018717	0,190809	0,981627	0,368127	60,04218952	23,36624
12	2,00	8	0,1396263	3,4943237	74,38	121,9832	1,009828	0,139173	0,990268	0,368127	60,120565	16,97678
13	2,00	6	0,1047198	3,8093556	74,2	89,782	1,005508	0,104528	0,994522	0,788619	78,27903757	9,384774
14	3,30	3	0,0523599	3,8093556	133,51	161,5471	1,001372	0,052336	0,99863	0,788619	140,1453003	8,454722
											1295,161407	798,8537
											F.S =	1,621274917

Fuente: elaboración propia.

El Factor de Seguridad por el método de fellenius es 1,62127.

Resolución por método de Bishop Modificado

Las fórmula del método son las siguientes:

$$F.S = \frac{\sum [cA \cos \alpha + (W - u \cos \alpha) \tan \phi] [1 / M_i(\alpha)]}{\sum W \sin \alpha} \quad M_i(\alpha) = \cos \alpha \left(1 + \frac{\tan \phi \tan \alpha}{F.S} \right)$$

Debido a que el Factor de Seguridad se encuentra en ambos lados de la ecuación, debe asumir un factor de seguridad para iniciar el cálculo, el valor inicial será es el que se obtuvo con el método de Fellenius.

Tabla XXIX. Solución por el método de Bishop modificado círculo de falla 3

DOVELA	b (m)	α (°)	α (radianes)	ϕ (radianes)	Área (m ²) A	W= γ *A (kN/m)	Seca	Sena	Cosa	Tan ϕ	C'bSeca+(Wcosa-ubSeca)Tan ϕ	Wsen α
1	6,70	66	1,1519173	0,4070108	56,41	69,9484	2,458593	0,913545	0,406737	0,431082	76,01339587	63,90104
2	5,00	56	0,9773844	0,4070108	100,07	124,0868	1,788292	0,829038	0,559193	0,431082	64,51555247	102,8726
3	5,00	48	0,837758	0,4773476	127,52	138,9968	1,494477	0,743145	0,669131	0,517244	76,50238576	103,2948
4	5,00	41	0,715585	0,4773476	147,86	161,1674	1,325013	0,656059	0,75471	0,517244	88,09001948	105,7353
5	5,00	34	0,5934119	0,4773476	163,23	177,9207	1,206218	0,559193	0,829038	0,517244	99,21317322	99,49199
6	5,00	28	0,4886922	3,7873645	174,96	215,2008	1,13257	0,469472	0,882948	0,753554	164,9855534	101,0307
7	5,00	22	0,3839724	3,7873645	183,22	225,3606	1,078535	0,374607	0,927184	0,753554	178,2174474	84,42157
8	2,00	18	0,3141593	3,7873645	74,62	91,7826	1,051462	0,309017	0,951057	0,753554	73,87432358	28,36238
9	2,00	15	0,2617994	3,7873645	74,98	92,2254	1,035276	0,258819	0,965926	0,753554	75,10040344	23,86969
10	2,00	13	0,2268928	3,4943237	75,06	123,0984	1,026304	0,224951	0,97437	0,368127	60,06206015	27,69111
11	2,00	11	0,1919862	3,4943237	74,67	122,4588	1,018717	0,190809	0,981627	0,368127	60,04218952	23,36624
12	2,00	8	0,1396263	3,4943237	74,38	121,9832	1,009828	0,139173	0,990268	0,368127	60,120565	16,97678
13	2,00	6	0,1047198	3,8093556	74,2	89,782	1,005508	0,104528	0,994522	0,788619	78,27903757	9,384774
14	3,30	3	0,0523599	3,8093556	133,51	161,5471	1,001372	0,052336	0,99863	0,788619	140,1453003	8,454722
											1295,161407	798,8537
											F.S = 1,621274917	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. Solución método de Bishop modificado iteraciones 1 a 3 círculo de falla 3

Mi(α)= Cosa(1+(tan ϕ t ana)/F.S)	Iteración 1		Iteración 2		Iteración 3	
	[cAcosa+Wtan Φ]/[1/Mi(α)]	Mi(α)= Cosa(1+(tan Φ tana)/F.S)	[cAcosa+Wtan Φ]/[1/Mi(α)]	Mi(α)= Cosa(1+(tan Φ tana)/F.S)	[cAcosa+Wtan Φ]/[1/Mi(α)]	Mi(α)= Cosa(1+(tan Φ tana)/F.S)
0,64964	86,32858	0,63740	87,98679	0,63553	88,24571	
0,77963	93,43140	0,76852	94,78216	0,76852	94,78216	
0,90622	100,30154	0,89427	101,64188	0,89427	101,64188	
0,96402	106,18385	0,95347	107,35874	0,95347	107,35874	
1,00744	110,20850	0,99845	111,20104	0,99845	111,20104	
1,10115	164,75032	1,09016	166,41246	1,09016	166,41246	
1,10130	171,68056	1,09252	173,05963	1,09252	173,05963	
1,09468	70,21487	1,08745	70,68230	1,08745	70,68230	
1,08622	71,06906	1,08016	71,46801	1,08016	71,46801	
1,02545	59,30659	1,02287	59,45586	1,02287	59,45586	
1,02495	59,10552	1,02277	59,23172	1,02277	59,23172	
1,02187	59,11254	1,02028	59,20482	1,02028	59,20482	
1,04537	75,21174	1,04280	75,39657	1,04280	75,39657	
1,02409	137,00225	1,02280	137,17412	1,02280	137,17412	
	1363,90730		1375,05610		1375,31502	
F.S asumido	1,62127	1,70733	1,70733	1,72129	1,72129	
F.S calculado	1,70733	1,72129	1,72129	1,72161	1,72161	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. Solución método de Bishop modificado iteraciones 4 a 6 círculo de falla 3

	Iteración 4		Iteración 5		Iteración 6	
	Mi(α)= Cosa(1+(tanΦ tana)/F.S)	[cAcosa+WtanΦ][1/Mi(α)]	Mi(α)= Cosa(1+(tanΦt ana)/F.S)	[cAcosa+WtanΦ][1/Mi(α)]	Mi(α)= Cosa(1+(tanΦ tana)/F.S)	[cAcosa+WtanΦ][1/Mi(α)]
0,63548	88,25169	0,63523	88,28646	0,63519	88,29179	
0,76678	94,99678	0,76655	95,02492	0,76652	95,02924	
0,89240	101,85458	0,89216	101,88246	0,89212	101,88674	
0,95182	107,54469	0,95160	107,56906	0,95157	107,57280	
0,99704	111,35777	0,99686	111,37830	0,99683	111,38145	
1,08844	166,67523	1,08821	166,70966	1,08818	166,71494	
1,09115	173,27714	1,09097	173,30562	1,09094	173,31000	
1,08631	70,75591	1,08617	70,76555	1,08614	70,76703	
1,07921	71,53075	1,07909	71,53897	1,07907	71,54023	
1,02247	59,47925	1,02242	59,48231	1,02241	59,48278	
1,02243	59,25148	1,02238	59,25407	1,02238	59,25447	
1,02003	59,21927	1,01999	59,22116	1,01999	59,22145	
1,04240	75,42554	1,04235	75,42933	1,04234	75,42991	
1,02260	137,20102	1,02258	137,20454	1,02257	137,20508	
	1376,82111		1377,05241		1377,08789	
F.S asumido	1,72161		1,72350		1,72379	
F.S calculado	1,72350		1,72379		1,72383	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. Solución método de Bishop modificado iteraciones 7 a 8 círculo de falla 3

	Iteración 7		Iteración 8	
	Mi(α)= Cosa(1+(tanΦt ana)/F.S)	[cAcosa+WtanΦ][1/Mi(α)]	Mi(α)= Cosa(1+(tanΦ tana)/F.S)	[cAcosa+WtanΦ][1/Mi(α)]
0,63519	88,29261	0,63519	88,29274	
0,76651	95,02990	0,76651	95,03001	
0,89212	101,88739	0,89211	101,88749	
0,95156	107,57337	0,95156	107,57346	
0,99683	111,38193	0,99683	111,38200	
1,08817	166,71575	1,08817	166,71588	
1,09094	173,31067	1,09094	173,31077	
1,08614	70,76726	1,08614	70,76729	
1,07907	71,54042	1,07907	71,54045	
1,02241	59,48285	1,02241	59,48286	
1,02237	59,25453	1,02237	59,25454	
1,01999	59,22149	1,01999	59,22150	
1,04234	75,43000	1,04234	75,43001	
1,02257	137,20516	1,02257	137,20517	
	1377,09334		1377,09417	
F.S asumido	1,72383		1,72384	
F.S calculado	1,72384		1,72384	

Fuente: elaboración propia.

El Factor de Seguridad converge en la octava iteración, dando como resultado 1.72384.

Resolución por el método de Janbú

Las fórmulas del método son las siguientes:

$$F.S = \frac{f_o \sum [cb + (W - ub) \tan \phi] [1 / \cos \alpha M_i(\alpha)]}{\sum W \tan \alpha} \quad M_i(\alpha) = \cos \alpha \left(1 + \frac{\tan \phi \tan \alpha}{F.S} \right)$$

Janbú

Tabla XXXIII. Solución por el método de Janbu círculo de falla 3

DOVELA	b (m)	α(°)	α (radianes)	φ (radianes)	Área (m ²) A	W=γ*A (T/m)	Secα	Senα	Cosα	Tanφ	Tanα	Wtanα	cb+ WtanΦ
1	6,70	66	1,1519173	0,4070108	56,41	69,948	2,458593	0,913545	0,406737	0,431082	2,24604	157,10668	56,08249
2	5,00	56	0,9773844	0,4070108	100,07	124,09	1,788292	0,829038	0,559193	0,431082	1,48256	183,96625	72,84157
3	5,00	48	0,837758	0,4773476	127,52	139	1,494477	0,743145	0,669131	0,517244	1,11061	154,37159	91,24528
4	5,00	41	0,715585	0,4773476	147,86	161,17	1,325013	0,656059	0,75471	0,517244	0,86929	140,10068	102,71289
5	5,00	34	0,5934119	0,4773476	163,23	177,92	1,206218	0,559193	0,829038	0,517244	0,67451	120,00903	111,37844
6	5,00	28	0,4886922	3,7873645	174,96	215,2	1,13257	0,469472	0,882948	0,753554	0,53171	114,42430	181,51543
7	5,00	22	0,3839724	3,7873645	183,22	225,36	1,078535	0,374607	0,927184	0,753554	0,40403	91,05159	189,17139
8	2,00	18	0,3141593	3,7873645	74,62	91,783	1,051462	0,309017	0,951057	0,753554	0,32492	29,82197	76,90315
9	2,00	15	0,2617994	3,7873645	74,98	92,225	1,035276	0,258819	0,965926	0,753554	0,26795	24,71172	77,23682
10	2,00	13	0,2268928	3,4943237	75,06	123,1	1,026304	0,224951	0,97437	0,368127	0,23087	28,41950	53,05579
11	2,00	11	0,1919862	3,4943237	74,67	122,46	1,018717	0,190809	0,981627	0,368127	0,19438	23,80358	52,82033
12	2,00	8	0,1396263	3,4943237	74,38	121,98	1,009828	0,139173	0,990268	0,368127	0,14054	17,14362	52,64525
13	2,00	6	0,1047198	3,8093556	74,2	89,782	1,005508	0,104528	0,994522	0,788619	0,10510	9,43647	78,54383
14	3,30	3	0,0523599	3,8093556	133,51	161,55	1,001372	0,052336	0,99863	0,788619	0,05241	8,46632	140,17019
TOTAL SUMATORIA												1102,83330	1336,32287

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. Solución método Janbú iteraciones 1 a 3 círculo de falla 3

	Iteración 1		Iteración 2		Iteración 3	
	Mi(α)= Cosa(1+(tanΦt ana)/F.S)	fo[cb+WtanΦ][1/cosaMi(α)]	Mi(α)= Cosa(1+(tanΦ tana)/F.S)	fo[cb+WtanΦ][1/cosaMi(α)]	Mi(α)= Cosa(1+(tanΦ tana)/F.S)	fo[cb+WtanΦ][1/cosaMi(α)]
0,63519	234,44216	0,64147	232,14772	0,64262	231,72938	
0,76651	183,53677	0,77221	182,18267	0,77326	181,93508	
0,89211	165,08325	0,89824	163,95708	0,89937	163,75102	
0,95156	154,46554	0,95697	153,59237	0,95797	153,43238	
0,99683	145,55650	1,00144	144,88632	1,00229	144,76337	
1,08817	204,03528	1,09381	202,98329	1,09485	202,79042	
1,09094	201,98225	1,09544	201,15251	1,09627	201,00020	
1,08614	80,40370	1,08985	80,12984	1,09054	80,07953	
1,07907	80,03072	1,08217	79,80079	1,08275	79,75852	
1,02241	57,51858	1,02373	57,44441	1,02397	57,43075	
1,02237	56,84186	1,02349	56,77968	1,02370	56,76822	
1,01999	56,29047	1,02081	56,24544	1,02096	56,23714	
1,04234	81,82980	1,04366	81,72677	1,04390	81,70779	
1,02257	148,24535	1,02323	148,15002	1,02335	148,13245	
	1850,26224		1841,17890		1839,51626	
F.S asumido	1,72384	1,67774	1,66950	1,66950	1,66799	
F.S calculado	1,67774	1,66950	1,66799	1,66799	1,66799	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. Solución método Janbú iteraciones 4 a 6 círculo de falla 3

	Iteración 4		Iteración 5		Iteración 6	
	Mi(α)= Cosa(1+(tanΦ tana)/F.S)	fo[cb+WtanΦ][1/cosaMi(α)]	Mi(α)= Cosa(1+(tanΦ tana)/F.S)	fo[cb+WtanΦ][1/cosaMi(α)]	Mi(α)= Cosa(1+(tanΦ tana)/F.S)	fo[cb+WtanΦ][1/cosaMi(α)]
0,64284	231,65253	0,64288	231,63839	0,64288	231,63578	
0,77345	181,88957	0,77349	181,88119	0,77349	181,87965	
0,89958	163,71314	0,89962	163,70617	0,89963	163,70489	
0,95815	153,40296	0,95819	153,39755	0,95819	153,39656	
1,00244	144,74076	1,00247	144,73660	1,00248	144,73583	
1,09504	202,75495	1,09508	202,74843	1,09508	202,74722	
1,09642	200,97218	1,09645	200,96703	1,09645	200,96608	
1,09066	80,07027	1,09069	80,06857	1,09069	80,06826	
1,08285	79,75074	1,08287	79,74931	1,08288	79,74905	
1,02402	57,42824	1,02403	57,42777	1,02403	57,42769	
1,02374	56,76611	1,02375	56,76572	1,02375	56,76565	
1,02098	56,23561	1,02099	56,23533	1,02099	56,23528	
1,04394	81,70430	1,04395	81,70366	1,04395	81,70354	
1,02337	148,12922	1,02338	148,12862	1,02338	148,12851	
	1839,21058		1839,15434		1839,14399	
F.S asumido	1,66799	1,66771	1,66766	1,66766	1,66766	
F.S calculado	1,66771	1,66766	1,66766	1,66766	1,66766	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. Solución método Janbú iteraciones 7 a 8 círculo de falla 3

	Iteración 7		Iteración 8	
	$M_i(\alpha) = \frac{\cos\alpha(1+\tan\Phi \tan\alpha)}{F.S}$	$fo[cb+W\tan\Phi][\frac{1}{\cos\alpha M_i(\alpha)}]$	$M_i(\alpha) = \frac{\cos\alpha(1+\tan\Phi \tan\alpha)}{F.S}$	$fo[cb+W\tan\Phi][\frac{1}{\cos\alpha M_i(\alpha)}]$
	0,64288	231,63530	0,64288	231,63522
	0,77350	181,87937	0,77350	181,87932
	0,89963	163,70465	0,89963	163,70461
	0,95819	153,39637	0,95819	153,39634
	1,00248	144,73569	1,00248	144,73566
	1,09509	202,74700	1,09509	202,74696
	1,09646	200,96591	1,09646	200,96587
	1,09069	80,06820	1,09069	80,06819
	1,08288	79,74900	1,08288	79,74899
	1,02403	57,42767	1,02403	57,42767
	1,02375	56,76564	1,02375	56,76564
	1,02099	56,23527	1,02099	56,23527
	1,04395	81,70352	1,04395	81,70351
	1,02338	148,12849	1,02338	148,12849
		1839,14208		1839,14173
F.S asumido	1,66765		1,66765	
F.S calculado	1,66765		1,66765	

Fuente: elaboración propia.

El Factor de Seguridad converge en la cuarta iteración, dando como resultado 1,66765.

El Factor de Seguridad obtenido por los tres métodos, en el círculo de falla no.3 son los siguientes:

Tabla XXXVII. Resultado de Factor de Seguridad círculo de falla 3

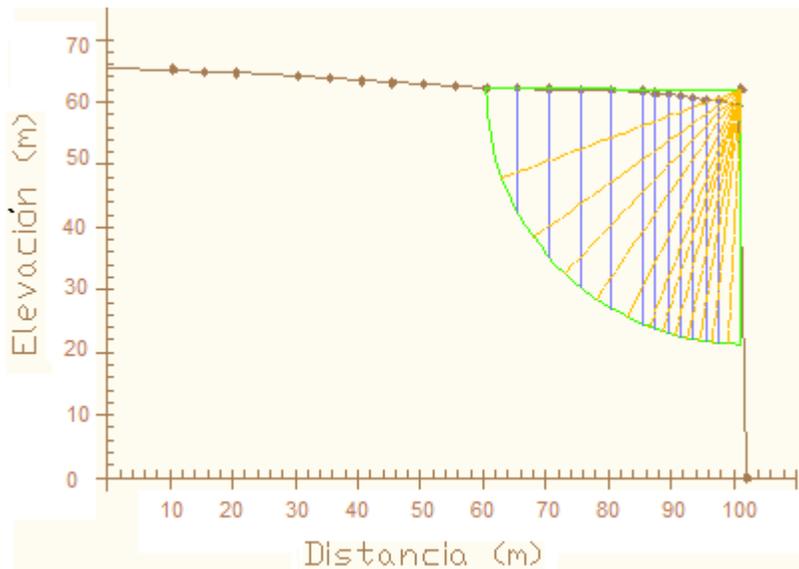
Método	Factor de seguridad obtenido
Ordinario de Fellenius	1,62127
Bishop Modificado	1,72384
Janbú	1,66765

Fuente: elaboración propia.

Según el Factor de Seguridad obtenido del círculo de falla no. 3 el talud es estable.

El procedimiento será el mismo para el círculo de falla No.4, las coordenadas del perfil del terreno siguen siendo las mismas, lo que varía es la ubicación del centro de falla y por consiguiente el número de las dovelas.

Figura 42. **Círculo de falla asumida no. 4**



Fuente: elaboración propia.

Las coordenadas del círculo de falla son los siguientes:

Centro del círculo (101,2201, 62,0000)

Punto 1 (60,5269, 62,3014)

Punto 2 (101,2201, 21,3057)

Tabla XXXVIII. **Coordenadas de las dovelas en círculo de falla 4**

DOVELA	CENTRO DOVELA				EXTREMO DOVELA				ÁNGULO
	X	Y terreno	Y círculo	ALTURA (m)	X	Y terreno	Y círculo	ALTURA (m)	grados
1	63,06	62,22	47,86	14,36	65,56	62,14	42,39	19,75	70
2	68,06	62,08	38,41	23,67	70,56	62,01	35,24	26,77	55
3	73,06	61,97	32,62	29,35	75,56	61,93	30,41	31,52	44
4	78,06	61,91	28,54	33,37	80,56	61,89	26,94	34,95	35
5	83,06	61,80	25,58	36,22	85,56	61,72	24,43	37,29	27
6	86,56	61,39	24,03	37,36	87,56	61,39	23,66	37,73	21
7	88,56	61,34	23,32	38,02	89,56	61,34	23,01	38,33	18
8	90,56	60,91	22,72	38,19	91,56	60,91	22,46	38,45	15
9	92,56	60,56	22,23	38,33	93,56	60,56	22,03	38,53	12
10	94,56	60,39	21,85	38,54	95,56	60,39	21,70	38,69	9
11	96,56	60,34	21,57	38,77	97,56	60,32	21,47	38,85	7
12	99,21	59,20	21,35	37,85	102,16	21,3	21,30	0,00	3

Fuente: elaboración propia.

Con los datos anteriores ya establecidos, se puede comenzar al calcular el Factor de Seguridad (F.S) por los métodos propuestos.

Resolución por el método ordinario o de Fellenius

El método de Fellenius calcula el Factor de Seguridad con la siguiente expresión:

La fórmula para el método de Fellenius es:

$$F.S = \frac{\sum [C' b \sec \alpha + (W \cos \alpha - u b \sec \alpha) \tan \phi]}{\sum W \sin \alpha}$$

α = Ángulo del radio del círculo de falla con la vertical bajo el centroide en cada tajada

W = Peso total de cada tajada

u = Presión de poros = $\gamma w h w$

b = Ancho de la tajada

C' , ϕ = Parámetros de resistencia del suelo

Fellenius

Tabla XXXIX. Solución por el método de Fellenius círculo de falla 4

SOLUCIÓN POR FELLENIUS	DOVELA	b (m)	α (°)	α (radianes)	ϕ (radianes)	Área (m ²)	$W=\gamma \cdot A$	Seca	Sen α	Cosa	Tan ϕ	$C'bSeca+(Wcosa-ubSeca)Tan\phi$	$Wsen\alpha$
	A	(kN/m)											
1	5,00	70	1,2217305	0,4070108	49,23	61,0452	2,923804	0,939693	0,34202	0,431082		65,57603988	57,3637
2	5,00	55	0,9599311	0,4070108	116,2	144,088	1,743447	0,819152	0,573576	0,431082		69,3626676	118,03
3	5,00	44	0,7679449	0,4773476	145,58	158,682	1,390164	0,694658	0,71934	0,517244		85,45467471	110,23
4	5,00	35	0,6108652	0,4773476	166,06	181,005	1,220775	0,573576	0,819152	0,517244		99,88699194	103,82
5	5,00	27	0,4712389	0,4773476	180,57	196,821	1,122326	0,45399	0,891007	0,517244		112,0328162	89,355
6	2,00	21	0,3665191	3,7873645	75,07	92,3361	1,071145	0,358368	0,93358	0,753554		73,20656857	33,0903
7	2,00	18	0,3141593	3,7873645	76,05	93,5415	1,051462	0,309017	0,951057	0,753554		75,13487882	28,9059
8	2,00	15	0,2617994	3,7873645	76,76	94,4148	1,035276	0,258819	0,965926	0,753554		76,69401804	24,4363
9	2,00	12	0,2094395	3,7873645	76,98	94,6854	1,022341	0,207912	0,978148	0,753554		77,66340817	19,6862
10	2,00	9	0,1570796	3,7873645	77,21	126,624	1,012465	0,156434	0,987688	0,753554		109,9367809	19,8084
11	2,00	7	0,122173	3,7873645	77,53	127,149	1,00751	0,121869	0,992546	0,753554		110,7160154	15,4956
12	3,66	3	0,0523599	3,7873645	140,41	230,272	1,001372	0,052336	0,99863	0,753554		201,6888194	12,0515
												1157,35368	632,273
												F.S =	1,83046109

Fuente: elaboración propia.

El Factor de Seguridad por el método de Fellenius es 1,83046.

Resolución por método de Bishop Modificado

Las fórmulas del método son las siguientes:

$$F.S = \frac{\sum [cA \cos \alpha + (W - u \cos \alpha) \tan \phi] [1 / M_i(\alpha)]}{\sum W \sin \alpha} \quad M_i(\alpha) = \cos \alpha \left(1 + \frac{\tan \phi \tan \alpha}{F.S} \right)$$

Debido a que el Factor de Seguridad se encuentra en ambos lados de la ecuación, debe asumir un factor de seguridad para iniciar el cálculo, el valor inicial será el que se obtuvo con el método de Fellenius.

Tabla XL. Solución por el método de Bishop modificado círculo de falla 4

SOLUCIÓN POR FELLENIUS	DOVELA	b (m)	$\alpha(^{\circ})$	α (radianes)	ϕ (radianes)	Área (m ²) A	W= γ *A (kN/m)	Seca	Sen α	Cos α	Tan ϕ	C'bSec α +(Wcos α -ubSec α)Tan ϕ	Wsen α
	1	5,00	70	1,2217305	0,4070108	49,23	61,0452	2,923804	0,939693	0,34202	0,431082		65,57603988
2	5,00	55	0,9599311	0,4070108	116,2	144,088	1,743447	0,819152	0,573576	0,431082		69,3626676	118,03
3	5,00	44	0,7679449	0,4773476	145,58	158,682	1,390164	0,694658	0,71934	0,517244		85,45467471	110,23
4	5,00	35	0,6108652	0,4773476	166,06	181,005	1,220775	0,573576	0,819152	0,517244		99,88699194	103,82
5	5,00	27	0,4712389	0,4773476	180,57	196,821	1,122326	0,45399	0,891007	0,517244		112,0328162	89,355
6	2,00	21	0,3665191	3,7873645	75,07	92,3361	1,071145	0,358368	0,93358	0,753554		73,20656857	33,0903
7	2,00	18	0,3141593	3,7873645	76,05	93,5415	1,051462	0,309017	0,951057	0,753554		75,13487882	28,9059
8	2,00	15	0,2617994	3,7873645	76,76	94,4148	1,035276	0,258819	0,965926	0,753554		76,69401804	24,4363
9	2,00	12	0,2094395	3,7873645	76,98	94,6854	1,022341	0,207912	0,978148	0,753554		77,66340817	19,6862
10	2,00	9	0,1570796	3,7873645	77,21	126,624	1,012465	0,156434	0,987688	0,753554		109,9367809	19,8084
11	2,00	7	0,122173	3,7873645	77,53	127,149	1,00751	0,121869	0,992546	0,753554		110,7160154	15,4956
12	3,66	3	0,0523599	3,7873645	140,41	230,272	1,001372	0,052336	0,99863	0,753554		201,6888194	12,0515
												1157,35368	632,273
												F.S =	1,830464109

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLI. Solución por el método de Bishop modificado iteraciones 1 a 3 círculo de falla 4

	Iteración 1		Iteración 2		Iteración 3	
	Mi(α)= Cos α (1+(tan ϕ tana)/F.S)	[cAcos α +Wtan ϕ]/[1/Mi(α)]	Mi(α)= Cos α (1+(tan ϕ tana)/F.S)	[cAcos α +Wtan ϕ]/[1/Mi(α)]	Mi(α)= Cos α (1+(tan ϕ tana)/F.S)	[cAcos α +Wtan ϕ]/[1/Mi(α)]
	0,56332	81,06466	0,58429	78,15527	0,58758	78,15527
	0,76649	106,28151	0,78477	103,80583	0,78763	103,80583
	0,91563	110,39075	0,93423	108,19290	0,93715	108,19290
	0,98123	114,77830	0,99659	113,00947	0,99899	113,00947
	1,01929	118,51808	1,03145	117,12129	1,03335	117,12129
	1,08111	71,48224	1,09509	70,56971	1,09728	70,56971
	1,07827	72,51294	1,09033	71,71124	1,09221	71,71124
	1,07247	73,51842	1,08257	72,83277	1,08415	72,83277
	1,06374	74,31385	1,07185	73,75153	1,07312	73,75153
	1,01915	60,94673	1,02213	60,76897	1,02260	60,76897
	1,01706	61,26214	1,01938	61,12257	1,01974	61,12257
	1,00915	112,10805	1,01015	111,99736	1,01031	111,99736
		1057,17767		1043,03890		1043,03890
F.S asumido	1,83046		1,67203		1,64966	
F.S calculado	1,67203		1,64966		1,64966	

Fuente: elaboración propia.

El Factor de Seguridad converge en la tercera iteración, dando como resultado 1,64966.

Resolución por el método de Janbú

Las fórmulas del método son las siguientes:

$$F.S = \frac{f_o \sum [cb + (W - ub) \tan \phi] [1 / \cos \alpha M_i(\alpha)]}{\sum W \tan \alpha} \quad M_i(\alpha) = \cos \alpha \left(1 + \frac{\tan \phi \tan \alpha}{F.S} \right)$$

Tabla XLII. Solución por el método de Janbu círculo de falla 4

DOVELA	b (m)	$\alpha(^{\circ})$	α (radianes)	ϕ (radianes)	Área (m2) A	W= γ *A (T/m)	Sec α	Sen α	Cos α	Tan ϕ	Tan α	Wtan α	cb+ Wtan ϕ
1	5,00	70	1,22173	0,4070108	49,23	61,05	2,923804	0,939693	0,34202	0,43108	2,74748	167,72031	45,66548
2	5,00	55	0,95993	0,4070108	116,2	144,09	1,743447	0,819152	0,57358	0,43108	1,42815	205,77899	81,46373
3	5,00	44	0,76794	0,4773476	145,58	158,68	1,390164	0,694658	0,71934	0,51724	0,96569	153,23762	101,07744
4	5,00	35	0,61087	0,4773476	166,06	181,01	1,220775	0,573576	0,81915	0,51724	0,70021	126,74135	112,62398
5	5,00	27	0,47124	0,4773476	180,57	196,82	1,122326	0,45399	0,89101	0,51724	0,50953	100,28546	120,80466
6	2,00	21	0,36652	3,7873645	75,07	92,34	1,071145	0,358368	0,93358	0,75355	0,38386	35,44451	77,28024
7	2,00	18	0,31416	3,7873645	76,05	93,54	1,051462	0,309017	0,95106	0,75355	0,32492	30,39348	78,18858
8	2,00	15	0,26180	3,7873645	76,76	94,41	1,035276	0,258819	0,96593	0,75355	0,26795	25,29837	78,84665
9	2,00	12	0,20944	3,7873645	76,98	94,69	1,022341	0,207912	0,97815	0,75355	0,21256	20,12600	79,05057
10	2,00	9	0,15708	3,4943237	77,21	126,62	1,012465	0,156434	0,98769	0,36813	0,15838	20,05533	62,11380
11	2,00	7	0,12217	3,4943237	77,53	127,15	1,00751	0,121869	0,99255	0,36813	0,12278	15,61196	62,30699
12	3,66	3	0,05236	3,4943237	140,41	230,27	1,001372	0,052336	0,99863	0,36813	0,05241	12,06807	113,13438
TOTAL SUMATORIA												912,76144	1012,55651

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIII. Solución método Janbú iteraciones 1 y 3 círculo de falla 4

	Iteración 1		Iteración 2		Iteración 3	
	$M_i(\alpha) = \frac{\cos\alpha(1+\tan\Phi \tan\alpha)}{F.S}$	$f_o[cb+W\tan\Phi][\frac{1}{\cos\alpha M_i(\alpha)}]$	$M_i(\alpha) = \frac{\cos\alpha(1+\tan\Phi \tan\alpha)}{F.S}$	$f_o[cb+W\tan\Phi][\frac{1}{\cos\alpha M_i(\alpha)}]$	$M_i(\alpha) = \frac{\cos\alpha(1+\tan\Phi \tan\alpha)}{F.S}$	$f_o[cb+W\tan\Phi][\frac{1}{\cos\alpha M_i(\alpha)}]$
0,58758	245,41222	0,59323	243,07310	0,59434	242,61819	
0,78763	194,74791	0,79256	193,53676	0,79353	193,30027	
0,93715	161,93339	0,94216	161,07138	0,94315	160,90288	
0,99899	148,63709	1,00314	148,02348	1,00395	147,90337	
1,03335	141,70261	1,03663	141,25456	1,03728	141,16675	
1,09728	81,47474	1,10105	81,19581	1,10179	81,14116	
1,09221	81,29304	1,09546	81,05183	1,09610	81,00455	
1,08415	81,31542	1,08687	81,11175	1,08741	81,07180	
1,07312	81,33473	1,07531	81,16932	1,07574	81,13686	
1,02260	66,41825	1,02340	66,36608	1,02356	66,35582	
1,01974	66,48439	1,02037	66,44359	1,02049	66,43557	
1,01031	121,10441	1,01058	121,07219	1,01063	121,06585	
	1471,85821		1465,36984		1464,10308	
F.S asumido	1,64966	1,61253	1,60542	1,60542	1,60404	
F.S calculado	1,61253	1,60542	1,60404	1,60404	1,60404	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIV. Solución método Janbú iteraciones 4 a 6 círculo de falla 4

	Iteración 4		Iteración 5		Iteración 6	
	$M_i(\alpha) = \frac{\cos\alpha(1+\tan\Phi \tan\alpha)}{F.S}$	$f_o[cb+W\tan\Phi][\frac{1}{\cos\alpha M_i(\alpha)}]$	$M_i(\alpha) = \frac{\cos\alpha(1+\tan\Phi \tan\alpha)}{F.S}$	$f_o[cb+W\tan\Phi][\frac{1}{\cos\alpha M_i(\alpha)}]$	$M_i(\alpha) = \frac{\cos\alpha(1+\tan\Phi \tan\alpha)}{F.S}$	$f_o[cb+W\tan\Phi][\frac{1}{\cos\alpha M_i(\alpha)}]$
0,59456	242,52911	0,59460	242,51164	0,59461	242,50821	
0,79372	193,25393	0,79376	193,24484	0,79377	193,24305	
0,94334	160,86985	0,94338	160,86338	0,94339	160,86211	
1,00411	147,87982	1,00414	147,87520	1,00415	147,87429	
1,03740	141,14953	1,03743	141,14615	1,03743	141,14549	
1,10194	81,13045	1,10197	81,12834	1,10197	81,12793	
1,09623	80,99528	1,09625	80,99346	1,09626	80,99310	
1,08752	81,06397	1,08754	81,06243	1,08754	81,06213	
1,07582	81,13049	1,07584	81,12924	1,07584	81,12899	
1,02359	66,35381	1,02360	66,35342	1,02360	66,35334	
1,02052	66,43400	1,02052	66,43369	1,02052	66,43363	
1,01064	121,06461	1,01064	121,06436	1,01064	121,06431	
	1463,85483		1463,80614		1463,79659	
F.S asumido	1,60404	1,60376	1,60371	1,60371	1,60371	
F.S calculado	1,60376	1,60371	1,60371	1,60371	1,60370	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLV. Solución método Janbú iteraciones 7 y 8 círculo de falla 4

	Iteración 7		Iteración 8	
	$M_i(\alpha) = \frac{\cos\alpha(1+\tan\Phi \tan\alpha)}{F.S}$	$f_o[cb+W\tan\Phi][\frac{1}{\cos\alpha M_i(\alpha)}]$	$M_i(\alpha) = \frac{\cos\alpha(1+\tan\Phi \tan\alpha)}{F.S}$	$f_o[cb+W\tan\Phi][\frac{1}{\cos\alpha M_i(\alpha)}]$
	0,59461	242,50754	0,59461	242,50741
	0,79377	193,24270	0,79377	193,24264
	0,94339	160,86186	0,94339	160,86181
	1,00415	147,87412	1,00415	147,87408
	1,03743	141,14536	1,03743	141,14534
	1,10197	81,12785	1,10197	81,12783
	1,09626	80,99303	1,09626	80,99302
	1,08754	81,06207	1,08754	81,06206
	1,07584	81,12895	1,07584	81,12894
	1,02360	66,35332	1,02360	66,35332
	1,02052	66,43362	1,02052	66,43361
	1,01064	121,06430	1,01064	121,06430
		1463,79472		1463,79435
F.S asumido	1,60370		1,60370	
F.S calculado	1,60370		1,60370	

Fuente: elaboración propia.

El Factor de Seguridad converge en la octava iteración, dando como resultado 1,60370.

El Factor de Seguridad obtenido por los tres métodos, en el círculo de falla no.4 son los siguientes:

Tabla XLVI. Resultado de Factor de Seguridad círculo de falla 4

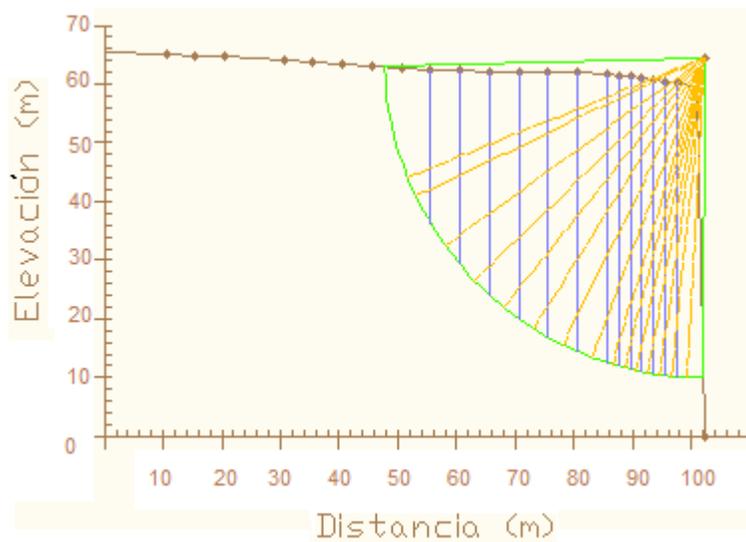
Método	Factor de seguridad obtenido
Ordinario de Fellenius	1,83046
Bishop Modificado	1,64966
Janbú	1,60370

Fuente: elaboración propia.

Según el Factor de Seguridad obtenido del círculo de falla no. 4 el talud es estable.

El procedimiento será el mismo para el círculo de falla no.5, las coordenadas del perfil del terreno siguen siendo las mismas, lo que varía es la ubicación del centro de falla y por consiguiente el número de las dovelas.

Figura 43. **Círculo de falla asumida no. 5**



Fuente: elaboración propia.

Las coordenadas del círculo de falla son los siguientes:

Centro del círculo (102,1600, 64,4535)

Punto 1 (47,7281, 62,9186)

Punto 2 (101,9403, 10,0004)

Tabla XLVII. **Coordenadas de las dovelas en círculo de falla 5**

DOVELA	CENTRO DOVELA				EXTREMO DOVELA				ÁNGULO
	X	Y terreno	Y círculo	ALTURA (m)	X	Y terreno	Y círculo	ALTURA (m)	grados
1	51,64	62,70	44,12	18,58	55,56	62,51	36,28	26,23	68
2	58,06	62,40	32,51	29,89	60,56	62,3	29,31	32,99	54
3	63,06	62,22	26,55	35,67	65,56	62,14	24,13	38,01	46
4	68,06	62,08	21,99	40,09	70,56	62,01	20,10	41,91	39
5	73,06	61,97	18,42	43,55	75,56	61,93	16,93	45,00	32
6	78,06	61,91	15,62	46,29	80,56	61,89	14,46	47,43	26
7	83,06	61,80	13,45	48,35	85,56	61,72	12,59	49,13	20
8	86,56	61,62	12,28	49,34	87,56	61,39	11,99	49,40	15
9	88,56	61,34	11,72	49,62	89,56	61,34	11,47	49,87	13
10	90,56	61,05	11,25	49,80	91,56	60,91	11,04	49,87	11
11	92,56	60,67	10,85	49,82	93,56	60,56	10,68	49,88	9
12	94,56	60,44	10,53	49,91	95,56	60,39	10,40	49,99	7
13	96,56	60,34	10,28	50,06	97,56	60,32	10,19	50,13	4
14	99,21	59,20	10,08	49,12	102,16	10,00	10,00	0,00	2

Fuente: elaboración propia.

Con los datos anteriores ya establecidos, se puede comenzar al calcular el factor de seguridad (F.S) por los métodos propuestos.

Resolución por el método ordinario o de Fellenius

El método de Fellenius calcula el Factor de Seguridad con la siguiente expresión:

La fórmula para el método de Fellenius es:

$$F.S = \frac{\sum [C' b \sec \alpha + (W \cos \alpha - ub \sec \alpha) \tan \phi]}{\sum W \sin \alpha}$$

α = Ángulo del radio del círculo de falla con la vertical bajo el centroide en cada tajada

W = Peso total de cada tajada

u = Presión de poros = $\gamma_w h_w$

b = Ancho de la tajada

C', ϕ = Parámetros de resistencia del suelo

Fellenius

Tabla XLVIII. Solución por el método de Fellenius círculo de falla 5

DOVELA	b (m)	α (°)	α (radianes)	ϕ (radianes)	Área (m ²)		W= γ *A (kN/m)	Seca	Sena	Cosa	Tan ϕ	C'bSeca+(Wcosa-ubSeca)Tan ϕ	Wsen α
					A								
1	7,83	68	1,1868239	0,4070108	102,7	127,348	2,669467	0,927184	0,374607	0,431082		101,4553961	118,075
2	5,00	54	0,9424778	0,4070108	147,92	183,4208	1,701302	0,809017	0,587785	0,431082		79,396007	148,3905
3	5,00	46	0,8028515	0,4773476	177,34	193,3006	1,439557	0,71934	0,694658	0,517244		96,80601902	139,0488
4	5,00	39	0,6806784	0,4773476	199,77	217,7493	1,28676	0,62932	0,777146	0,517244		111,9780291	137,0341
5	5,00	32	0,5585054	0,4773476	217,23	236,7807	1,179178	0,529919	0,848048	0,517244		126,2677459	125,4747
6	5,00	26	0,4537856	3,7873645	230,93	284,0439	1,112602	0,438371	0,898794	0,753554		213,7976502	124,5167
7	5,00	20	0,3490659	3,7873645	241,37	296,8851	1,064178	0,34202	0,939693	0,753554		230,7124869	101,5407
8	2,00	15	0,2617994	3,7873645	98,52	121,1796	1,035276	0,258819	0,965926	0,753554		96,17550889	31,36359
9	2,00	13	0,2268928	3,7873645	99,25	122,0775	1,026304	0,224951	0,97437	0,753554		97,53678732	27,46146
10	2,00	11	0,1919862	3,4943237	99,73	163,5572	1,018717	0,190809	0,981627	0,368127		74,8936311	31,20819
11	2,00	9	0,1570796	3,4943237	99,74	163,5736	1,012465	0,156434	0,987688	0,368127		75,16763545	25,58855
12	2,00	7	0,122173	3,4943237	99,86	163,7704	1,00751	0,121869	0,992546	0,368127		75,45525248	19,95859
13	2,00	4	0,0698132	3,8093556	100,11	121,1331	1,002442	0,069756	0,997564	0,788619		103,1343161	8,449818
14	3,30	2	0,0349066	3,8093556	189,12	228,8352	1,00061	0,034899	0,999391	0,788619		193,2648263	7,986233
												1676,041292	1046,097
												F.S =	1,602185569

Fuente: elaboración propia.

El Factor de Seguridad por el método de Fellenius es 1,60218.

Resolución por método de Bishop Modificado

Las fórmulas del método son las siguientes:

$$F.S = \frac{\sum [cA \cos \alpha + (W - u \cos \alpha) \tan \phi] [1 / M_i(\alpha)]}{\sum W \sin \alpha} \quad M_i(\alpha) = \cos \alpha \left(1 + \frac{\tan \phi \tan \alpha}{F.S} \right)$$

Debido a que el Factor de Seguridad se encuentra en ambos lados de la ecuación, debe asumir un factor de seguridad para iniciar el cálculo, el valor inicial será el que se obtuvo con el método de Fellenius.

Bishop Modificado

Tabla XLIX. Solución por el método de Bishop modificado círculo de falla 5

DOVELA	b (m) =	$\alpha(^{\circ})$	α (radianes)	ϕ (radianes)	Área (m ²)	W= γ *A	Seca	Sen α	Cos α	Tan ϕ	Tan α	Wsen α	cAcos α +Wtan ϕ
	Acos α				A	(T/m)							
1	7,83	68	1,1868239	0,40701078	102,7	127,35	2,66947	0,92718	0,37461	0,43108	2,47509	118,07501	85,19952
2	5,00	54	0,9424778	0,40701078	147,92	183,42	1,70130	0,80902	0,58779	0,43108	1,37638	148,39054	98,41939
3	5,00	46	0,8028515	0,47734755	177,34	193,30	1,43956	0,71934	0,69466	0,51724	1,03553	139,04882	118,98360
4	5,00	39	0,6806784	0,47734755	199,77	217,75	1,28676	0,62932	0,77715	0,51724	0,80978	137,03407	131,62955
5	5,00	32	0,5585054	0,47734755	217,23	236,78	1,17918	0,52992	0,84805	0,51724	0,62487	125,47465	141,47343
6	5,00	26	0,4537856	3,78736448	230,93	284,04	1,11260	0,43837	0,89879	0,75355	0,48773	124,51665	233,29243
7	5,00	20	0,3490659	3,78736448	241,37	296,89	1,06418	0,34202	0,93969	0,75355	0,36397	101,54068	242,96897
8	2,00	15	0,2617994	3,78736448	98,52	121,18	1,03528	0,25882	0,96593	0,75355	0,26795	31,36359	99,01538
9	2,00	13	0,2268928	3,78736448	99,25	122,08	1,02630	0,22495	0,97437	0,75355	0,23087	27,46146	99,69199
10	2,00	11	0,1919862	3,4943237	99,73	163,56	1,01872	0,19081	0,98163	0,36813	0,19438	31,20819	75,70974
11	2,00	9	0,1570796	3,4943237	99,74	163,57	1,01247	0,15643	0,98769	0,36813	0,15838	25,58855	75,71578
12	2,00	7	0,122173	3,4943237	99,86	163,77	1,00751	0,12187	0,99255	0,36813	0,12278	19,95859	75,78823
13	2,00	4	0,0698132	3,80935563	100,11	121,13	1,00244	0,06976	0,99756	0,78862	0,06993	8,44982	103,34792
14	3,30	2	0,0349066	3,80935563	189,12	228,84	1,00061	0,03490	0,99939	0,78862	0,03492	7,98623	193,36690
TOTAL SUMATORIA												1046,09686	1774,60283

Fuente: elaboración propia.

Tabla L. Solución por el método de Bishop modificado iteraciones 1 a 3 círculo de falla 5

	Iteración 1		Iteración 2		Iteración 3	
	Mi(α)= Cosa(1+(tan ϕ tana)/F.S)	[cAcos α +Wtan ϕ]/[1/Mi(α)]	Mi(α)= Cosa(1+(tan ϕ tana)/F.S)	[cAcos α +Wtan ϕ]/[1/Mi(α)]	Mi(α)= Cosa(1+(tan ϕ tana)/F.S)	[cAcos α +Wtan ϕ]/[1/Mi(α)]
	0,62407	136,52162	0,60848	140,02136	0,60621	140,54545
	0,80546	122,19055	0,79185	124,29077	0,78987	124,60230
	0,92689	128,36897	0,91237	130,41198	0,91025	130,71460
	0,98031	134,27290	0,96761	136,03571	0,96576	136,29600
	1,01913	138,81846	1,00843	140,29098	1,00687	140,50778
	1,10497	211,12960	1,09208	213,62191	1,09021	213,98936
	1,10055	220,76958	1,09050	222,80584	1,08903	223,10518
	1,08766	91,03557	1,08004	91,67713	1,07894	91,77120
	1,08017	92,29279	1,07356	92,86151	1,07259	92,94482
	1,02547	73,82942	1,02273	74,02731	1,02233	74,05618
	1,02363	73,96781	1,02138	74,13056	1,02106	74,15430
	1,02055	74,26233	1,01880	74,38995	1,01854	74,40855
	1,03190	100,15312	1,02975	100,36192	1,02944	100,39236
	1,01657	190,21524	1,01549	190,41643	1,01534	190,44573
		1787,82796		1805,34335		1807,93382
F.S asumido	1,60219		1,70905		1,72579	
F.S calculado	1,70905		1,72579		1,72827	

Fuente: elaboración propia.

Tabla LI. Solución por el método de Bishop modificado iteraciones 4 y 5 círculo de falla 5

	Iteración 4		Iteración 5	
	Mi(α)= Cosa(1+(tanΦ tana)/F.S)	[cAcosa+WtanΦ][1/Mi(α)]	Mi(α)= Cosa(1+(tanΦ tana)/F.S)	[cAcosa+WtanΦ][1/Mi(α)]
	0,60587	140,62243	0,60587	140,62243
	0,78958	124,64800	0,78958	124,64800
	0,90995	130,75897	0,90995	130,75897
	0,96549	136,33415	0,96549	136,33415
	1,00664	140,53954	1,00664	140,53954
	1,08993	214,04321	1,08993	214,04321
	1,08882	223,14902	1,08882	223,14902
	1,07878	91,78498	1,07878	91,78498
	1,07245	92,95701	1,07245	92,95701
	1,02227	74,06041	1,02227	74,06041
	1,02101	74,15777	1,02101	74,15777
	1,01850	74,41127	1,01850	74,41127
	1,02939	100,39682	1,02939	100,39682
	1,01532	190,45002	1,01532	190,45002
		1808,31360		1808,31360
F.S asumido		1,72827		1,72863
F.S calculado		1,72863		1,72863

Fuente: elaboración propia.

El Factor de Seguridad converge en la quinta iteración, dando como resultado 1,72863.

Resolución por el método de Janbú

Las fórmulas del método son las siguientes:

$$F.S = \frac{f_o \sum [cb + (W - ub) \tan \phi] [1 / \cos \alpha M_i(\alpha)]}{\sum W \tan \alpha} \quad M_i(\alpha) = \cos \alpha \left(1 + \frac{\tan \phi \tan \alpha}{F.S} \right)$$

Tabla LII. Solución por el método de Janbu círculo de falla 5

DOVELA	b (m)	$\alpha(^{\circ})$	α (radianes)	ϕ (radianes)	Área (m ²) A	W= γ *A (T/m)	Sec α	Sen α	Cos α	Tan ϕ	Tan α	Wtan α	cb+ Wtan ϕ
1	7,83	68	1,1868239	0,4070108	102,7	127,35	2,669467	0,927184	0,37461	0,43108	2,47509	315,19736	85,19952
2	5,00	54	0,9424778	0,4070108	147,92	183,42	1,701302	0,809017	0,58779	0,43108	1,37638	252,45707	98,41939
3	5,00	46	0,8028515	0,4773476	177,34	193,30	1,439557	0,71934	0,69466	0,51724	1,03553	200,16863	119,33360
4	5,00	39	0,6806784	0,4773476	199,77	217,75	1,28676	0,62932	0,77715	0,51724	0,80978	176,32991	131,97955
5	5,00	32	0,5585054	0,4773476	217,23	236,78	1,179178	0,529919	0,84805	0,51724	0,62487	147,95700	141,82343
6	5,00	26	0,4537856	3,7873645	230,93	284,04	1,112602	0,438371	0,89879	0,75355	0,48773	138,53747	233,39243
7	5,00	20	0,3490659	3,7873645	241,37	296,89	1,064178	0,34202	0,93969	0,75355	0,36397	108,05734	243,06897
8	2,00	15	0,2617994	3,7873645	98,52	121,18	1,035276	0,258819	0,96593	0,75355	0,26795	32,46998	99,05538
9	2,00	13	0,2268928	3,7873645	99,25	122,08	1,026304	0,224951	0,97437	0,75355	0,23087	28,18381	99,73199
10	2,00	11	0,1919862	3,4943237	99,73	163,56	1,018717	0,190809	0,98163	0,36813	0,19438	31,79230	67,94974
11	2,00	9	0,1570796	3,4943237	99,74	163,57	1,012465	0,156434	0,98769	0,36813	0,15838	25,90751	67,95578
12	2,00	7	0,122173	3,4943237	99,86	163,77	1,00751	0,121869	0,99255	0,36813	0,12278	20,10848	68,02823
13	2,00	4	0,0698132	3,8093556	100,11	121,13	1,002442	0,069756	0,99756	0,78862	0,06993	8,47045	103,26792
14	3,30	2	0,0349066	3,8093556	189,12	228,84	1,00061	0,034899	0,99939	0,78862	0,03492	7,99110	193,23490
TOTAL SUMATORIA												1493,62841	1752,44083

Fuente: elaboración propia.

Tabla LIII. Solución método Janbú iteraciones 1 a 3 círculo de falla 5

	Iteración 1		Iteración 2		Iteración 3	
	Mi(α)= Cos $\alpha(1+(\tan\phi \tan\alpha)/F.S)$	fo[cb+Wtan ϕ]/[1/cos α Mi(α)]	Mi(α)= Cos $\alpha(1+(\tan\phi \tan\alpha)/F.S)$	fo[cb+Wtan ϕ]/[1/cos α Mi(α)]	Mi(α)= Cos $\alpha(1+(\tan\phi \tan\alpha)/F.S)$	fo[cb+Wtan ϕ]/[1/cos α Mi(α)]
	0,60583	405,45042	0,61726	397,94255	0,61940	396,56644
	0,78954	229,04124	0,79951	226,18414	0,80138	225,65664
	0,90990	203,90186	0,92054	201,54505	0,92253	201,10944
	0,96545	189,97518	0,97476	188,16098	0,97651	187,82486
	1,00661	179,42762	1,01445	178,04123	1,01592	177,78381
	1,08989	257,31621	1,09934	255,10509	1,10111	254,69496
	1,08879	256,58078	1,09616	254,85560	1,09754	254,53488
	1,07875	102,66834	1,08433	102,14025	1,08537	102,04190
	1,07243	103,07766	1,07728	102,61383	1,07819	102,52738
	1,02226	73,13124	1,02427	72,98783	1,02465	72,96101
	1,02100	72,77856	1,02265	72,66136	1,02296	72,63944
	1,01850	72,67775	1,01978	72,58632	1,02002	72,56921
	1,02939	108,60990	1,03096	108,44417	1,03126	108,41317
	1,01531	205,67158	1,01610	205,51227	1,01625	205,48244
		2460,30834		2438,78067		2434,80558
F.S asumido	1,72863		1,64720		1,63279	
F.S calculado	1,64720		1,63279		1,63013	

Fuente: elaboración propia.

Tabla LIV. Solución método Janbú iteraciones 4 a 6 círculo de falla 5

	Iteración 4		Iteración 5		Iteración 6	
	Mi(α)= Cosa(1+(tanΦt ana)/F.S)	fo[cb+WtanΦ][1/cosaMi(α)]	Mi(α)= Cosa(1+(tanΦt ana)/F.S)	fo[cb+WtanΦ][1/cosaMi(α)]	Mi(α)= Cosa(1+(tanΦt ana)/F.S)	fo[cb+WtanΦ][1/cosaMi(α)]
	0,61980	396,31073	0,61987	396,26309	0,61989	396,25421
	0,80173	225,55849	0,80179	225,54020	0,80180	225,53679
	0,92291	201,02837	0,92298	201,01326	0,92299	201,01044
	0,97683	187,76227	0,97689	187,75061	0,97690	187,74844
	1,01619	177,73587	1,01624	177,72693	1,01625	177,72526
	1,10144	254,61858	1,10150	254,60435	1,10151	254,60170
	1,09780	254,47513	1,09785	254,46400	1,09785	254,46192
	1,08557	102,02357	1,08561	102,02015	1,08561	102,01951
	1,07836	102,51126	1,07839	102,50826	1,07839	102,50770
	1,02472	72,95601	1,02473	72,95508	1,02473	72,95491
	1,02302	72,63535	1,02303	72,63459	1,02303	72,63445
	1,02007	72,56602	1,02008	72,56542	1,02008	72,56531
	1,03131	108,40739	1,03132	108,40631	1,03132	108,40611
	1,01627	205,47688	1,01628	205,47584	1,01628	205,47565
		2434,06592		2433,92809		2433,90240
F.S asumido	1,63013		1,62963		1,62954	
F.S calculado	1,62963		1,62954		1,62952	

Fuente: elaboración propia.

Tabla LV. Solución método Janbú iteraciones 7 a 9 círculo de falla 5

	Iteración 7		Iteración 8		Iteración 9	
	Mi(α)= Cosa(1+(tanΦt ana)/F.S)	fo[cb+WtanΦ][1/cosaMi(α)]	Mi(α)= Cosa(1+(tanΦt ana)/F.S)	fo[cb+WtanΦ][1/cosaMi(α)]	Mi(α)= Cosa(1+(tanΦt ana)/F.S)	fo[cb+WtanΦ][1/cosaMi(α)]
	0,61989	396,25256	0,61989	396,25225	0,61989	396,25219
	0,80181	225,53616	0,80181	225,53604	0,80181	225,53601
	0,92299	201,00992	0,92299	201,00982	0,92299	201,00980
	0,97691	187,74803	0,97691	187,74796	0,97691	187,74794
	1,01626	177,72495	1,01626	177,72489	1,01626	177,72488
	1,10151	254,60120	1,10151	254,60111	1,10151	254,60109
	1,09786	254,46153	1,09786	254,46146	1,09786	254,46145
	1,08561	102,01939	1,08561	102,01937	1,08561	102,01937
	1,07840	102,50759	1,07840	102,50757	1,07840	102,50757
	1,02473	72,95487	1,02473	72,95487	1,02473	72,95487
	1,02303	72,63442	1,02303	72,63442	1,02303	72,63442
	1,02008	72,56529	1,02008	72,56529	1,02008	72,56529
	1,03132	108,40607	1,03132	108,40607	1,03132	108,40607
	1,01628	205,47561	1,01628	205,47560	1,01628	205,47560
		2433,89762		2433,89672		2433,89656
F.S asumido	1,62952		1,62952		1,62952	
F.S calculado	1,62952		1,62952		1,62952	

Fuente: elaboración propia.

El Factor de Seguridad converge en la novena iteración, dando como resultado 1,62952.

El Factor de Seguridad obtenido por los tres métodos, en el círculo de falla no.5 son los siguientes:

Tabla LVI. **Resultado de Factor de Seguridad círculo de falla 5**

Método	Factor de seguridad obtenido
Ordinario de Fellenius	1,60218
Bishop Modificado	1,72863
Janbú	1,62952

Fuente: elaboración propia.

Según el Factor de Seguridad obtenido del círculo de falla no. 5 el talud es estable.

5.8. Propuesta geotécnica adaptables para la protección de talud en estudio

Luego de analizar los resultados y evaluar la información recopilada en este capítulo, se procederá a plantear el problema específico que ocurre en la ciudad universitaria, se propondrán varias opciones como posibles soluciones a la problemática existente, las cuales deberán ser analizadas a profundidad para poder luego llevar a la práctica alguna de ellas.

Análisis del problema

El problema se ha analizado tomando en cuenta los factores que producen los deslizamientos, y son los siguientes.

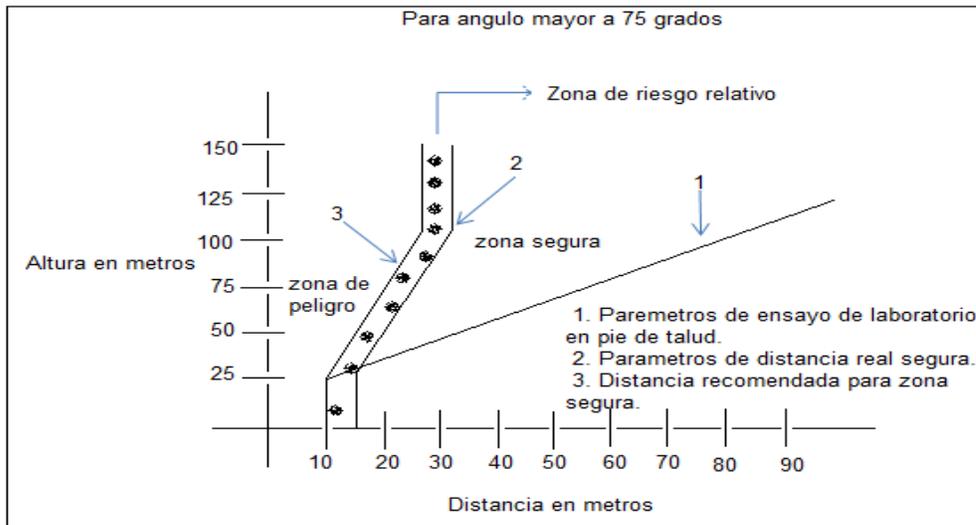
- Factores condicionantes: geología, topografía, vegetación
- Factores activadores: sismicidad, precipitación pluvial
- Otros factores: clima, factores antrópicos

Distancias recomendadas a guardar

Como parte de las propuestas de solución, se recomienda dejar una distancia entre el talud y la construcción que se realizará, esta distancia dependerá de las características propias del talud de que se trate, esto se hace con el fin de proteger las construcciones y que éstas no vayan a afectar la estabilidad de los taludes, debido a que ocasionan un peso extra al terreno.

La situación actual que presenta es un tanto compleja, debido a que actualmente ya existen construcciones dentro de área permitida, por lo cual es un poco tarde para que se atiendan las recomendaciones concernientes a las distancias que se deberían haber guardado en el momento de realizar las edificaciones.

Figura 44. Distancias recomendadas para zonas de seguridad y peligro



Fuente: Ing. Federico Koose. Estudio de deslizamientos de taludes de barrancos en la ciudad de Guatemala. P.71

Tratamiento del lecho del río

Siendo el río de aguas servidas uno de los factores de la problemática actual, debido a que es éste uno de los causantes de estar produciéndose los deslizamientos, deben tomarse medidas urgentes con el propósito de frenar los daños. Como parte de las soluciones sugeridas, se debe de reencauzar el río y así evitar que dañe directamente los taludes, el recorrido del mismo debe ser longitudinal y evitar las curvas que actualmente tiene, donde forma las vueltas y socava el pie de los taludes.

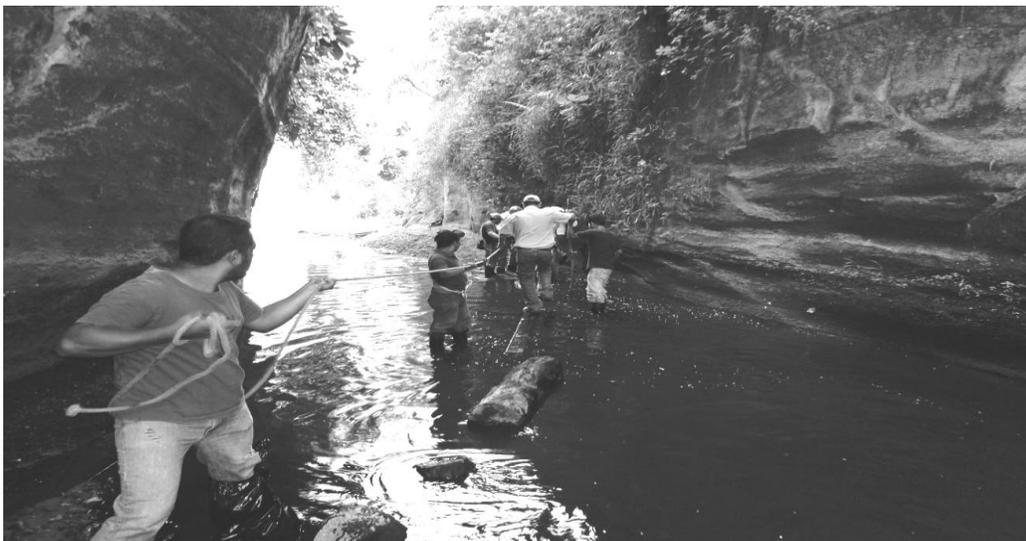
Se sugiere la protección del pie de los taludes que representen mayor peligro, lo cual puede hacerse colocando gaviones para que el agua no erosione los taludes, evitando así el deslizamiento de los mismos.

Drenajes

Se debe velar porque exista una adecuada red de drenajes, tanto para las aguas servidas como para las pluviales, el desfogue de las mismas debe evitarse que sea sobre el talud, ya que esto ocasionaría la erosión del mismo, trayendo como consecuencia un mayor peligro de deslizamientos, se deben de colocar disipadores de energía en donde sea necesario.

Como referencia se puede anotar que las aguas que recorren el barranco aledaño, son aguas servidas las cuales provienen en su mayoría de otras colonias, situadas también en la zona 12, llegan a través de un sistema de drenajes, pero que al entrar al barranco, lo recorren como un pequeño río, el cual en época de invierno aumenta el caudal, contribuyendo en esta forma al socavamiento de los taludes (ver figura 45).

Figura 45. **Río de aguas servidas proveniente de las colonias cercanas a la ciudad universitaria zona 12**



Fuente: pie del talud parque ecológico Las Ardillas.

Escorrentía

La escorrentía superficial es una de las principales causas del deslizamiento de los taludes, como medida de prevención debe evaluarse la susceptibilidad de los mismos a la escorrentía y aquellos que sean más propensos a deslizarse deben dárseles un tratamiento de estabilización.

Como parte de la estabilización se puede hacer una red de zanjeo para recoger las aguas de escorrentía y que éstas desfoguen a una distancia prudencial de los taludes. Otra opción es la de impermeabilizar la parte alta de los taludes para que la escorrentía no erosione los mismos, se debe canalizar el agua y colocar disipadores de energía.

- Propuesta de solución para el talud en el área en estudio

El talud se determinó sobre la base de la visita de campo realizada, la situación presentada en el área de estudio se puede apreciar en la figura 46, se observa como el deslizamiento es amplio, se debe de realizar un trabajo de estabilización del talud para evitar que el mismo siga deslizándose y el daño sea mayor y pueda llegar al taller de carpintería cercano al mismo. Por lo que el tratamiento del talud debe hacerse para evitar que el daño se traslade a las construcciones más lejanas y sea mucho mayor.

Figura 46. **Área de estudio y toma de muestras**

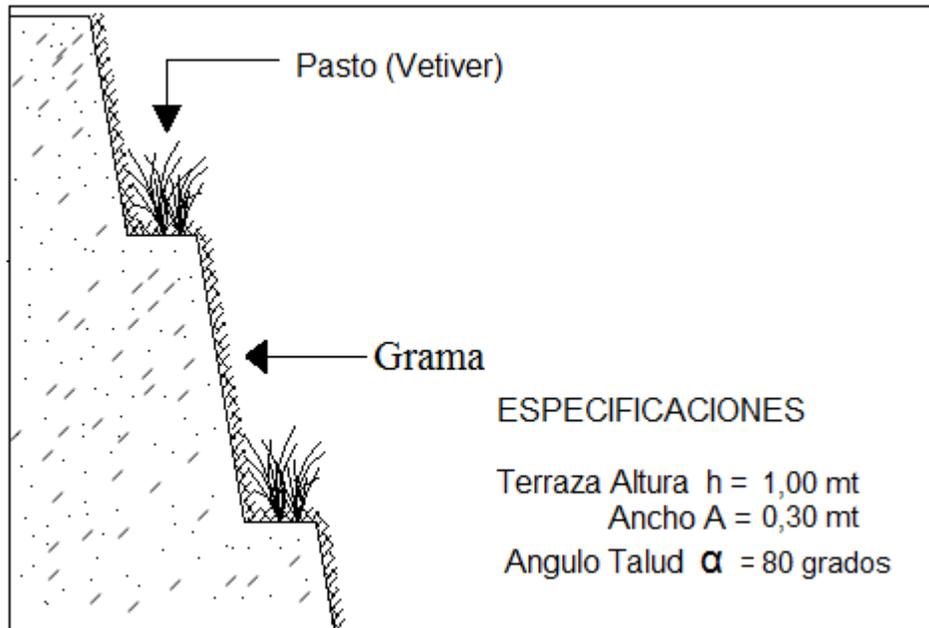


Fuente: talud ubicado frente a viveros dentro de la universidad.

Para evitar el avance del deslizamiento se hace la siguiente propuesta

- Se propone dividir en tres tramos el talud para estabilizarlo, un primer tramo en donde se trabajará por medio de terrazas, en las cuales se sembrará un pasto que estabilice el suelo (se propone el pasto denominado Vetiver) de esta forma se evitará la erosión del talud y permitirá la infiltración de agua en el terreno, completándose este tramo con la siembra de grama en el talud.

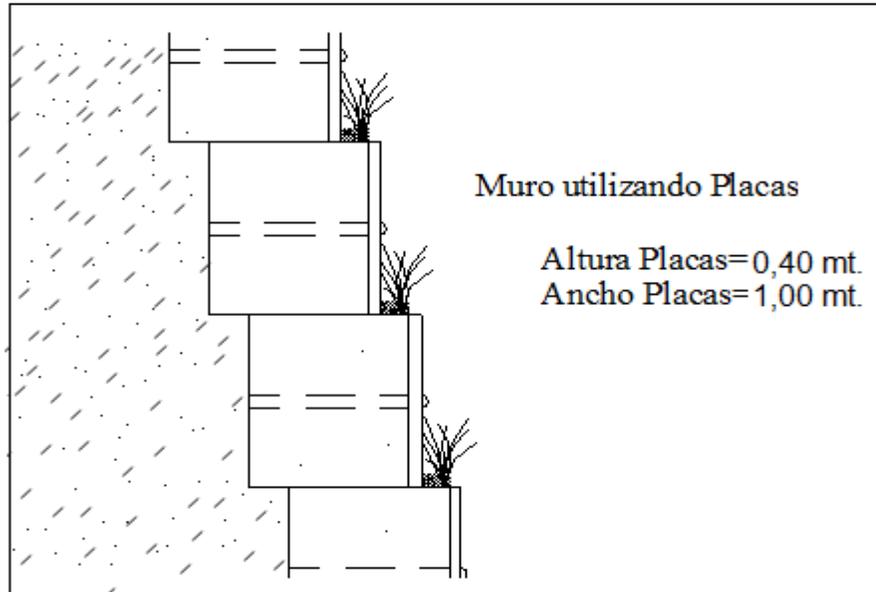
Figura 47. **Propuesta de solución, tramo en estudio, estabilización con pasto y grama**



Fuente: elaboración propia.

- Un segundo tramo en el cual se estabilizará el terreno por medio de placas. Dichas placas permitirán drenar el agua que se hubiese infiltrado en el terreno y la siembra de pasto en la superficie, logrando de esa forma una mayor estabilidad en el talud.

Figura 48. **Propuesta de solución, tramo en estudio**



Fuente: elaboración propia.

Figura 49. **Estabilización de talud por medio de placas**



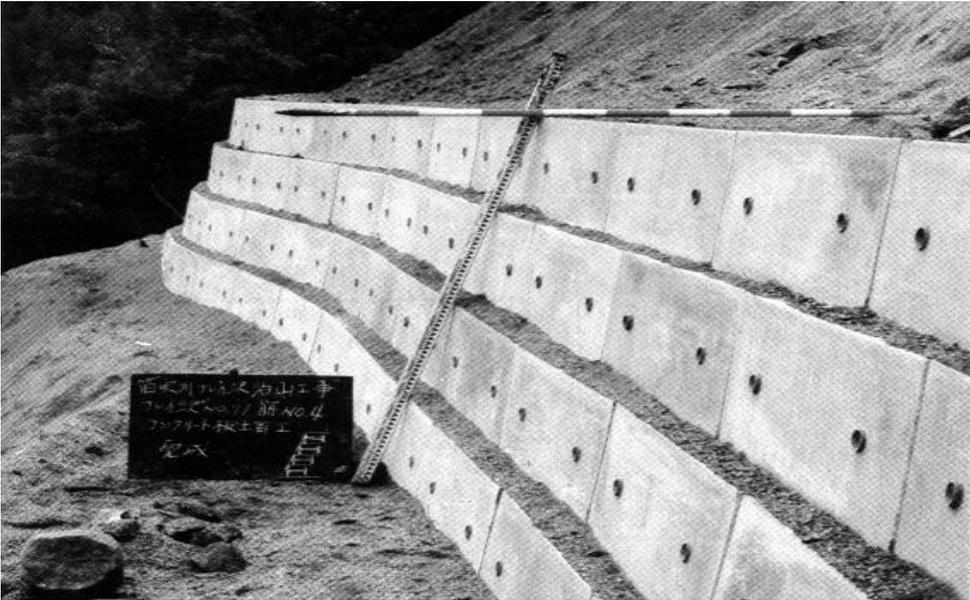
Fuente: estabilización de taludes www.geobruigg.com. Consulta: 21 de enero de 2013.

Figura 50. Anclaje a utilizar para la estabilización por medio de placas



Fuente: estabilización de taludes www.geobruigg.com. Consulta: 21 de enero de 2013.

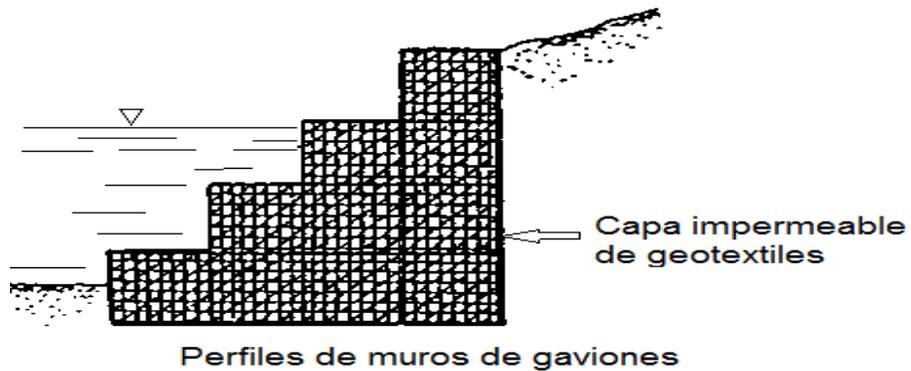
Figura 51. Estabilización por medio de placas



Fuente: estabilización de taludes www.geobruigg.com. Consulta: 21 de enero de 2013.

- El tercero y último tramo estará formado por gaviones, estos son la protección principal contra la erosión causada por el río en el pie del talud; además, el diseño de los gaviones evita la presión ejercida por el agua sobre los taludes, ya que la misma se filtra a través de los mismos, con lo cual se evitará este tipo de presión.

Figura 52. **Estabilización de talud por medio de gaviones perfil**



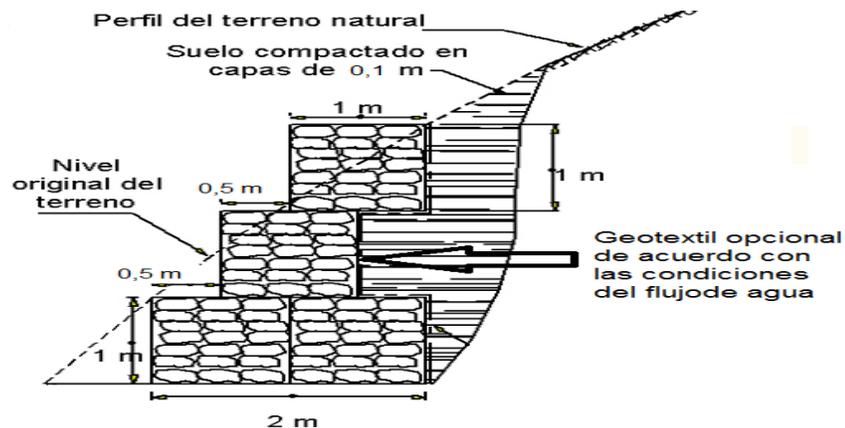
Fuente: elaboración propia.

Figura 53. **Estabilización de talud por medio de gaviones**



Fuente: José Camacho. www.muroltalud.com. Consulta: 25 de enero de 2013.

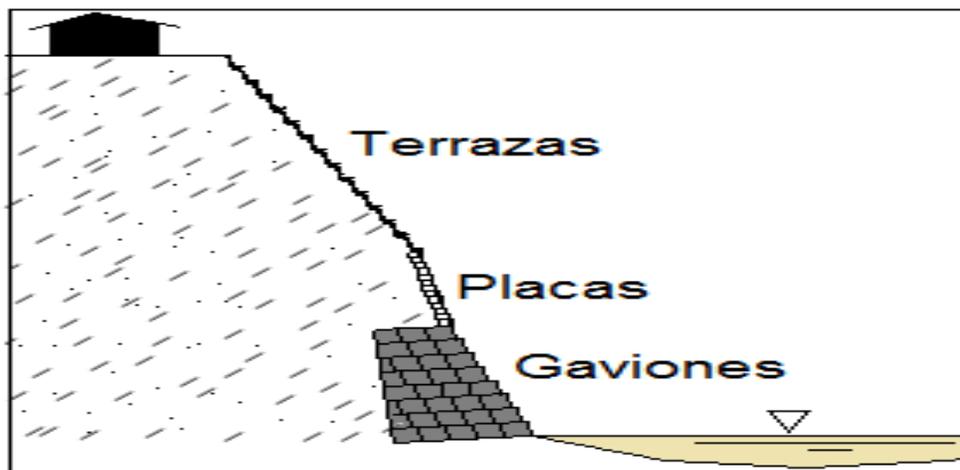
Figura 54. **Estabilización de talud por medio de gaviones diseño**



Fuente: elaboración propia.

La propuesta integrada se puede observar en la figura 55, en ella se puede ver la ubicación de cada tramo y la forma final como quedará el talud ya estabilizado.

Figura 55. **Propuesta integrada de solución**



Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. El talud en las orillas presenta árboles que producen peso y movimiento por causa del viento, induciendo deslizamientos de tierra en diferentes sectores del talud provocando desprendimiento de bloques.
2. El caudal que fluye en el barraco de la Ciudad Universitaria tiene una gran incidencia en los deslizamientos del terreno, ya que en el mismo existen meandros que ocasionan la erosión en las paredes de los taludes, además, en la época de invierno el nivel del mismo crece, con lo cual se incrementa grandemente la erosión.
3. El talud presenta pendientes muy altas en algunas áreas, esto producido por erosión eólica en la parte alta y erosión por agua en la parte baja.
4. Los materiales que constituyen el subsuelo del área en estudio obtenido por ensayos de laboratorio son en su mayoría, material pómez color beige y café, limo arenoso color café así como material arenoso con partículas de grava color gris.
5. Los ensayos de laboratorio realizados a los diferentes estratos de suelo, permitieron determinar el ángulo de fricción interna (Φ), la cohesión (C') y el peso específico del terreno (γ). Estos factores necesarios para el uso de los métodos de equilibrio límite.

6. El Factor de Seguridad obtenido por métodos de equilibrio límite de taludes presentan un talud estable. Este valor fue obtenido por medio de los métodos de Fellenius, Bishop Modificado y Janbú.

7. Las propuestas de solución presentadas en el capítulo 5 pueden utilizarse de manera adecuada, ya que algunas no presentan alto costo de inversión.

RECOMENDACIONES

1. Es necesario realizar estudios sobre los acuíferos o brotes de agua que presenta el talud y determinar si son fugas de drenaje o acuíferos naturales.
2. Para la protección en la parte baja del talud es necesario realizar un canal de concreto que controle la trayectoria del río y los daños que esto origina, así como colocar gaviones a todo lo largo para evitar mayor erosión al fondo del talud.
3. Un estudio hidrológico a las crecidas o caudales que circulan por el río de aguas servidas es de gran importancia; ya que con el invierno las aguas pluviales que corren al fondo del talud aumentan de nivel produciendo mayor daño.
4. Utilizar métodos de estabilización más rigurosos para determinar con más exactitud el factor de seguridad del talud, serían de gran apoyo, entre estos métodos están el de Sarma, Spencer, Janbú Riguroso.
5. Es vital encauzar el río de aguas servidas, las cuales provocan erosión en la parte baja del talud, produciendo más deslizamientos de bloques en la parte alta del mismo y causando mayor daño, esto beneficiará en gran parte el problema que se presenta.

6. El método de *soil nailing* y concreto lanzado son métodos constructivos muy versátiles en su aplicación, es necesario la implementación en área donde el talud presenta erosión eólica.
7. La colocación de bermas pueden ser utilizadas en partes específicas del talud, donde la topografía del terreno o la pendiente lo permita. La vegetación es parte fundamental para la estabilización del talud, por lo cual es necesario un estudio agronómico para el éxito del sistema de plantación a utilizar.
8. Se recomienda crear áreas seguras paralelas al talud, identificando áreas de riesgo no habitables, ya que en algunas zonas las edificaciones están muy cercanas a la orilla, esto podría evitar accidentes posteriores.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALVARADO MORALES, Diego Bernabé. *Procedimientos de investigación y comparación de los métodos de bishop modificado, janbu y fellenius para el cálculo de estabilidad de taludes*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2009. 125 p.
2. BRAJA, M. Das. *Fundamentos de ingeniería geotécnica*: México: Thomson Learning, 2001. 594 p.
3. CADAVI, R., Juan Hernando. *Hidráulica de canales y fundamentos*. Colombia: Universidad de Eafit, 2006. 369 p.
4. CAMACHO, José. *Estabilización de taludes por gaviones*. [en línea] [http:// www.murotalud.com](http://www.murotalud.com). [Consulta: 25 de enero de 2013.]
5. CHANQUIN GOMEZ, Eddy Rolando. *Diversas aplicaciones de gaviones para la protección y estabilización de taludes*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 113 p.
6. LAMBE, T.W; WHITMAN, R.V. *Mecánica de suelos*. México: Limusa, 1972. 582 p.
7. MUELAS RODRÍGUEZ, Ángel. *Manual Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. España: Rueda, 2002. 69 p.

8. PANTOJA PRERA, José Julio. *Protección de Taludes Utilizando el método de Soil Nailing*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008. 83 p.
9. ROMERO, Juan José. *Excavaciones a cielo abierto con taludes sin apuntalar*. [en línea] www.geo-engineering.com/projects.asp. [Consulta: 12 de octubre de 2012.]
10. SALAS, José Antonio; JUSTO ALPAÑEZ, José Luis; SERRANO GONZÁLEZ, Alcibíades Ángel. *Mecánica de Suelos y de las Rocas, Geotecnia y Cimientos*. España: Rueda, 1981. 1188 p.
11. T., Ryan. *Hidráulica de canales abiertos y cerrados*. [en línea] [http:// www.uson.mx](http://www.uson.mx). [Consulta: 20 de noviembre de 2012.]
12. TERZAGHI, Karl; PECK, Ralph Brazelton. *Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica*. España: El Ateneo, 1986. 722 p.
13. Universidad Nacional de Ingeniería. Departamento Académico de Mecánica de Suelos. *Geología Aplicada*. Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, 2002. 35 p.

ANEXOS

Resultados de laboratorio de las 6 muestras obtenidas del talud



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 15961

INFORME No.: 0372 S:S

O.T.: 28,814

INTERESADO: Jacob Isaac Ramírez Bach

PROYECTO: Trabajo de graduación "Diseño Geotécnico para la Protección y Estabilización del talud parque Ecológico las Ardillas y Viveros dentro de la Universidad de San Carlos de Guatemala

ASUNTO: CONTENIDO DE HUMEDAD

Norma: AASHTO T-265, ASTM D-2216

UBICACIÓN: Ciudad Universitaria zona 12

FECHA: 01 DE SEPTIEMBRE DEL 2011

RESULTADO DEL ENSAYO:

MUESTRA No	DESCRIPCION DEL SUELO	Contenido de Humedad
M1	limo arenoso color café	8.22%
M3	Arena limosa con partículas de pómez color beige	0.98%
M4	Limo arenoso con partículas de pómez color café	1.26%
M5	Limo arenoso con partículas de grava color gris	4.15%

Atentamente,

Vo. Bo.

OBSERVACIONES : Muestra proporcionada por el interesado.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Omar E. Medrano Méndez





**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



Nº 15954

ANALISIS GRANULOMETRICO

INFORME No. 0371 S.S.

Interesado: Jacob Isaac Ramírez Bach.

O.T.: 28,814

Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices.

Norma: A.A.S.H.T.O. T-27,

Proyecto: Trabajo de Graduacion "Diseño Geotecnico para la proteccion y estabilizacion del talud en el Parque Ecologico las Ardillas y viveros dentro de la universidad San Carlos de Guatemala"

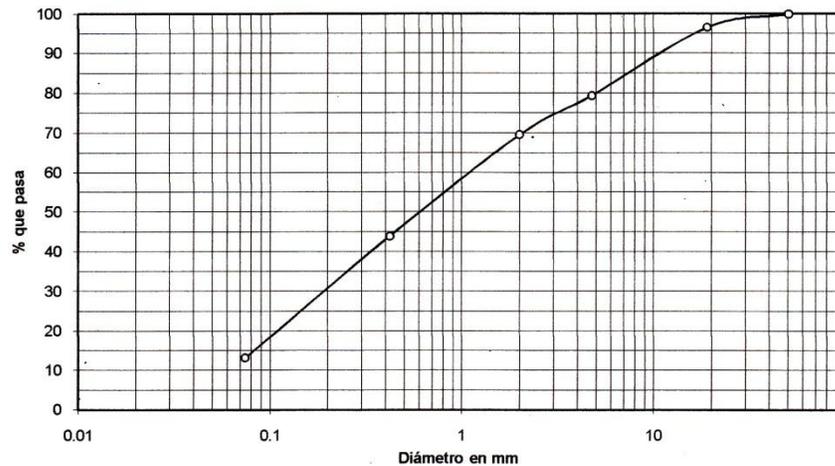
Fecha: 01 de septiembre del 2011

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
2"	50.8	100.00
3/4"	19.00	96.58
4	4.76	79.44
10	2.00	69.57
40	0.42	43.93
200	0.074	13.20

% de Grava: 20.56

% de Arena: 66.23

% de Finos: 13.20



Descripción del suelo: material gravoso

Clasificación: S.C.U.: SP P.R.A.: A-3

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Inga, Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC



Omar E. Medrano Méndez
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



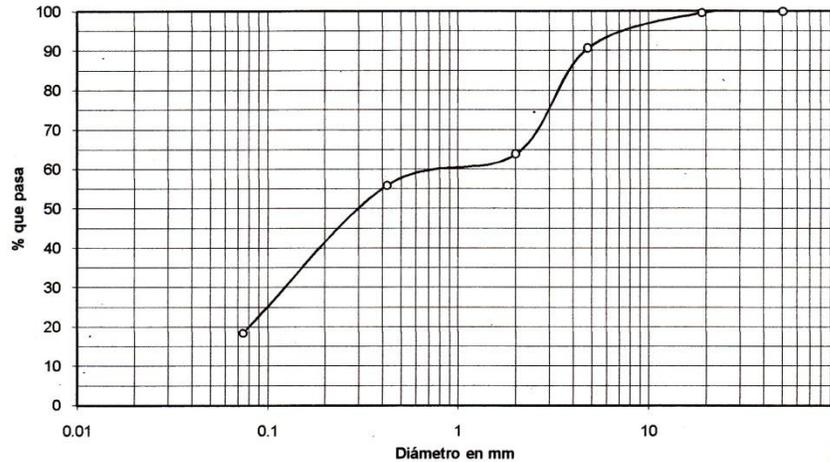
Nº 15956

**ANÁLISIS GRANULOMETRICO
INFORME No. 0369 S.S.**

Interesado: Jacob Isaac Ramirez Bach. O.T.: 28,814
 Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices.
 Norma: A.A.S.H.T.O. T-27,
 Proyecto: Trabajo de Graduacion "Diseño Geotecnico para la proteccion
 y estabilizacion del talud en el Parque Ecologico las Ardillas
 y viveros dentro de la universidad San Carlos de Guatemala"
 Fecha: 01 de septiembre del 2011

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
2"	50.8	100.00
3/4"	19.00	99.62
4	4.76	90.61
10	2.00	63.83
40	0.42	55.87
200	0.074	18.50

% de Grava: 9.39
 % de Arena: 72.11
 % de Finos: 18.50



Descripción del suelo: Limo Arenoso color Café
 Clasificación: S.C.U.: SP P.R.A.: A-3
 Observaciones: Muestra tomada por el interesado.



Atentamente,
 Inga. Telma Maricela Cano Morales
 DIRECTORA CII/USAC



Omar E. Medrano Méndez
 Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
 Jefe Sección Mecánica de Suelos



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



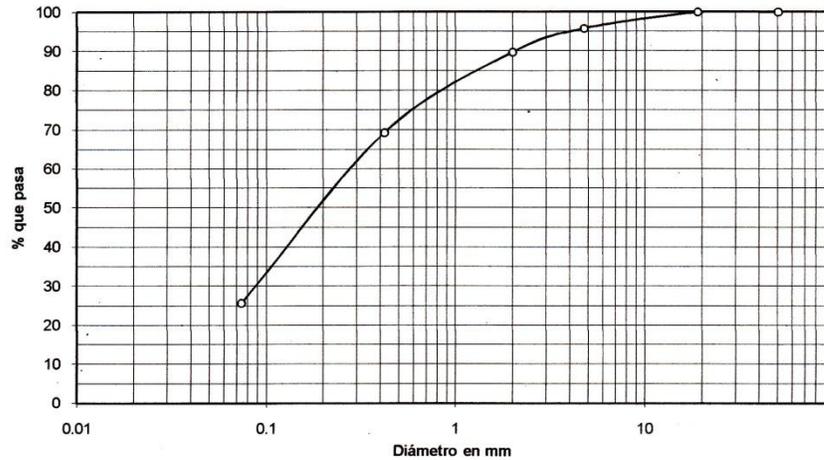
Nº 15957

**ANALISIS GRANULOMETRICO
INFORME No. 0368 S.S.**

Interesado: Jacob Isaac Ramirez Bach. O.T.: 28,814
 Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices.
 Norma: A.A.S.H.T.O. T-27,
 Proyecto: Trabajo de Graduacion "Diseño Geotecnico para la proteccion
 y estabilizacion del talud en el Parque Ecologico las Ardillas
 y viveros dentro de la universidad San Carlos de Guatemala"
 Fecha: 01 de septiembre del 2011

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
2"	50.8	100.00
3/4"	19.00	99.99
4	4.76	95.81
10	2.00	89.73
40	0.42	69.27
200	0.074	25.77

% de Grava: 4.19
 % de Arena: 70.04
 % de Finos: 25.77



Descripción del suelo: Arena limosa con partícula de pómez color beige
 Clasificación: S.C.U.: SP P.R.A.: A-3
 Observaciones: Muestra tomada por el interesado.
 Atentamente,

Inga. Telma Maricela Cano Morales
 DIRECTORA CII/USA



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
 Jefe Sección Mecánica de Suelos





**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



Nº 15958

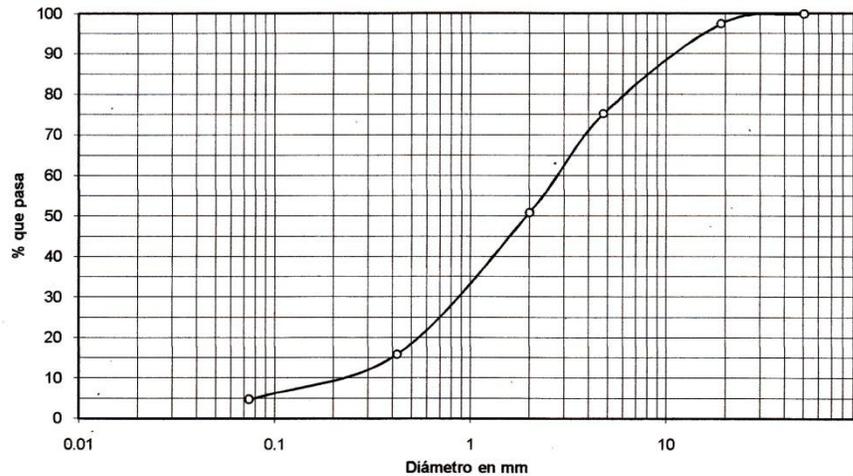
**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
INFORME No. 0367 S.S.**

Interesado: Jacob Isaac Ramírez Bach.
 Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices.
 Norma: A.A.S.H.T.O. T-27,
 Proyecto: Trabajo de Graduación.
 Fecha: 01 de septiembre del 2011

O.T.: 28,814

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
2"	50.8	100.00
3/4"	19.00	97.53
4	4.76	75.24
10	2.00	50.92
40	0.42	15.88
200	0.074	4.70

% de Grava: 24.76
 % de Arena: 70.54
 % de Finos: 4.70



Descripción del suelo: Arena limosa con partículas de pomez.
 Clasificación: S.C.U.: SP P.R.A.: A-3
 Observaciones: Muestra tomada por el interesado.



Inga. Telma Maricela Cano Morales
 DIRECTORA CII/USAC



Atentamente,

Omar E. Medrano Méndez
 Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
 Jefe Sección Mecánica de Suelos



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



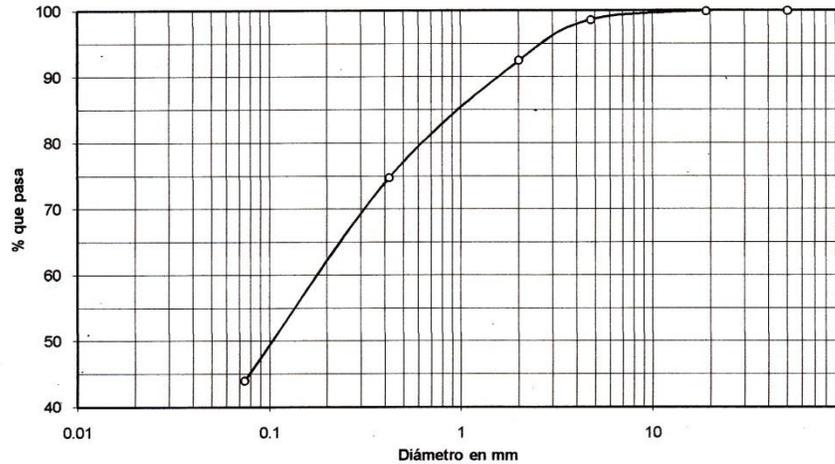
Nº 15953

**ANÁLISIS GRANULOMETRICO
INFORME No. 0366 S.S.**

Interesado: Jacob Isaac Ramírez Bach. O.T.: 28,814
 Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices.
 Norma: A.A.S.H.T.O. T-27,
 Proyecto: Trabajo de Graduación "Diseño Geotecnico para la proteccion
 y estabilizacion del talud en el Parque Ecologico las Ardillas
 y viveros dentro de la universidad San Carlos de Guatemala"
 Fecha: 01 de septiembre del 2011

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
2"	50.8	100.00
3/4"	19.00	99.96
4	4.76	98.64
10	2.00	92.50
40	0.42	74.77
200	0.074	44.03

% de Grava: 1.36
 % de Arena: 54.61
 % de Finos: 44.03



Descripción del suelo: Limo Arenoso color Café
 Clasificación: S.C.U.: SP P.R.A.: A-3
 Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
 DIRECTORA CII/USAC



Atentamente,

Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
 Jefe Sección Mecánica de Suelos

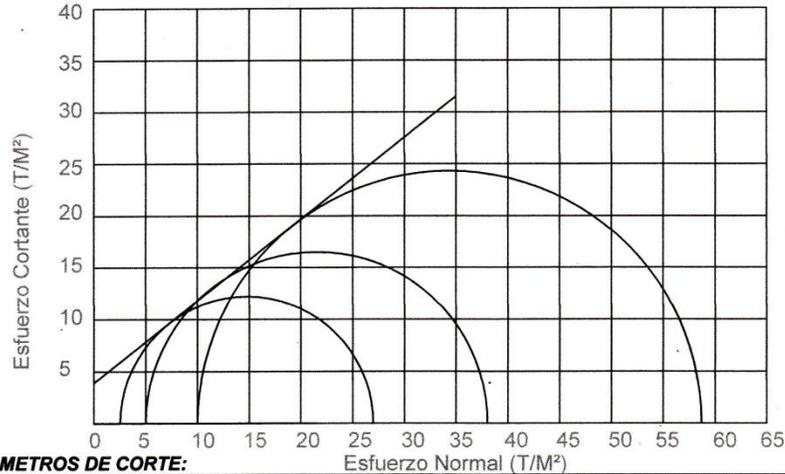




ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL, DIAGRAMA DE MOHR

INFORME No.: 0365 S.S. O.T.: 28,814

INTERESADO: Jacob Isaac Ramírez Bach
PROYECTO: Trabajo de Graduación "Diseño Geotécnico para la Protección y Estabilización del Talud en el parque Ecológico las Ardillas y Viveros dentro de la Universidad Carlos de Guatemala"
Ubicación: Ciudad universitaria zona 12
Fecha: 01 de septiembre del 2011
pozo: 5 Profundidad: 40 Muestra: 5



PARAMETROS DE CORTE:

ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA : $\phi =$	218.26	COHESIÓN: $C_u =$	3.91
---------------------------------------	--------	-------------------	------

TIPO DE ENSAYO: No consolidado y no drenado.
DESCRIPCION DEL SUELO: Limo arenoso con partículas de graba color gris
DIMENSION Y TIPO DE LA PROBETA: 2.5" X 5.0"

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

PROBETA No.	5	5	5
PRESION LATERAL (T/m ²)	5	10	20
DESVIADOR EN ROTURA q (T/m ²)	49.05	66.05	97.37
PRESION INTERSTICIAL u (T/m ²)	x	x	x
DEFORMACION EN ROTURA E_r (%)	2.5	3.5	4.5
DENSIDAD SECA (T/m ³)	1.21	1.21	1.21
DENSIDAD HUMEDA (T/m ³)	1.26	1.26	1.26
HUMEDAD (%H)	4.2	4.2	4.2

Atentamente,
Vo. Bo.
Inga. Telma Marcela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos





ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL, DIAGRAMA DE MOHR

INFORME No.: 0364 S.S. O.T.: 28,814

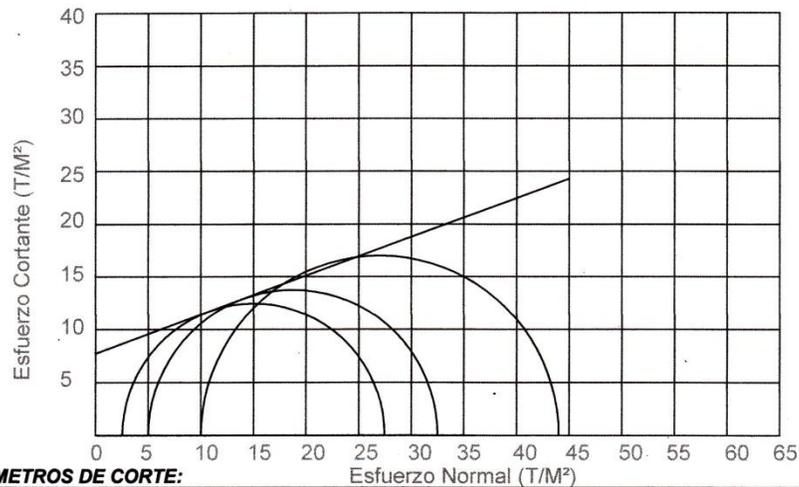
INTERESADO: Jacob Isaac Ramírez Bach

PROYECTO: Trabajo de Graduación " Diseño Geotécnico para la Protección y Estabilización del Talud en el parque Ecológico las Ardillas y Viveros dentro de la Universidad Carlos de Guatemala"

Ubicación: Ciudad universitaria zona 12

Fecha: 01 de septiembre del 2011

pozo: 4 Profundidad: 35 Muestra: 4



PARAMETROS DE CORTE:

ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA : $\phi =$	200.21	COHESIÓN: $C_u =$	7.75
---------------------------------------	--------	-------------------	------

TIPO DE ENSAYO: No consolidado y no drenado.

DESCRIPCION DEL SUELO: Limo arenoso con partículas de pómez Color Café

DIMENSION Y TIPO DE LA PROBETA: 2.5" X 5.0"

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

PROBETA No.	1	1	1
PRESION LATERAL (T/m ²)	5	10	20
DESVIADOR EN ROTURA q (T/m ²)	49.36	55.02	125.69
PRESION INTERSTICIAL u (T/m ²)	x	x	x
DEFORMACION EN ROTURA E_r (%)	2.0	3.0	5.0
DENSIDAD SECA (T/m ³)	1.64	1.64	1.64
DENSIDAD HUMEDA (T/m ³)	1.66	1.66	1.66
HUMEDAD (%H)	1.3	1.3	1.3



Atentamente,

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC



Omar Enrique Médrano Méndez
Ing. Omar Enrique Médrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos



ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL, DIAGRAMA DE MOHR

INFORME No.: 0363 S.S. O.T.: 28,814

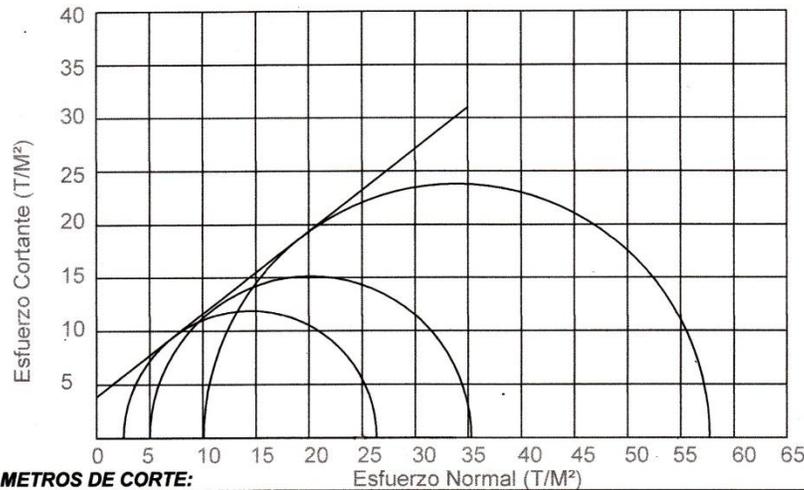
INTERESADO: Jacob Isaac Ramírez Bach

PROYECTO: Trabajo de Graduación " Diseño Geotécnico para la Protección y Estabilización del Talud en el parque Ecológico las Ardillas y Viveros dentro de la Universidad Carlos de Guatemala"

Ubicación: Ciudad universitaria zona 12

Fecha: 01 de septiembre del 2011

pozo: 3 Profundidad: 25 Muestra: 3



PARAMETROS DE CORTE:

ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA : $\phi = 217$ COHESIÓN: $C_u = 3.85$

TIPO DE ENSAYO: No consolidado y no drenado.

DESCRIPCION DEL SUELO: Arena Limosa con partículas de Pómez Beige.

DIMENSION Y TIPO DE LA PROBETA: 2.5" X 5.0"

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

PROBETA No.	1	1	1
PRESION LATERAL (T/m ²)	5	10	20
DESVIADOR EN ROTURA q(T/m ²)	47.80	60.56	95.57
PRESION INTERSTICIAL u(T/m ²)	x	x	x
DEFORMACION EN ROTURA Er (%)	4.0	5.0	9.5
DENSIDAD SECA (T/m ³)	1.23	1.23	1.23
DENSIDAD HUMEDA (T/m ³)	1.25	1.25	1.25
HUMEDAD (%H)	1.0	1.0	1.0

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC



Atentamente,

Ing. Omar Enrique Médrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos





ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL, DIAGRAMA DE MOHR

INFORME No.: 0362 S.S. O.T.: 28,814

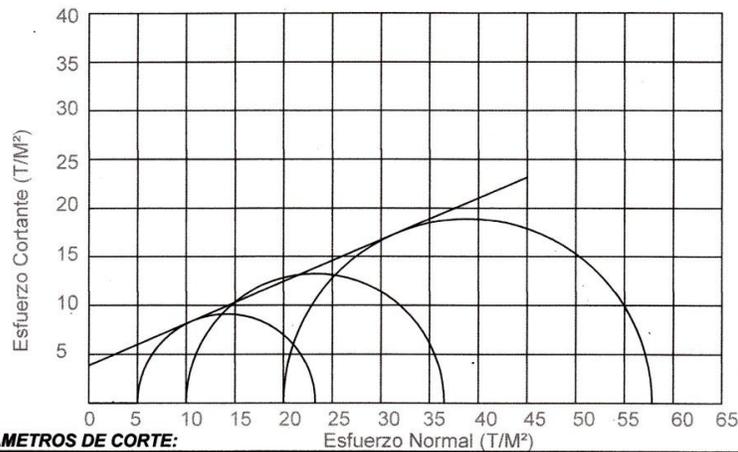
INTERESADO: Jacob Isaac Ramírez Bach

PROYECTO: Trabajo de Graduación "Diseño Geotécnico para la Protección y Estabilización del Talud en el parque Ecológico las Ardillas y Viveros dentro de la Universidad Carlos de Guatemala"

Ubicación: Ciudad universitaria zona 12

Fecha: 01 de septiembre del 2011

pozo: 1 Profundidad: 4 m Muestra: 1



PARAMETROS DE CORTE:

ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA : $\phi = 23.32$ COHESIÓN: $C_u = 3.87$

TIPO DE ENSAYO: No consolidado y no drenado.

DESCRIPCION DEL SUELO: Limo arenoso color café

DIMENSION Y TIPO DE LA PROBETA: 2.5" X 5.0"

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

PROBETA No.	1	1	1
PRESION LATERAL (T/m ²)	5	10	20
DESVIADOR EN ROTURA q (T/m ²)	18.25	27.05	37.78
PRESION INTERSTICIAL u (T/m ²)	x	x	x
DEFORMACION EN ROTURA E_r (%)	2.5	5.0	8.0
DENSIDAD SECA (T/m ³)	1.24	1.24	1.24
DENSIDAD HUMEDA (T/m ³)	1.35	1.35	1.35
HUMEDAD (%)	8.2	8.2	8.2

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC



Atentamente,

Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos



