



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

**ANÁLISIS Y PROPUESTA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN LOS DEPÓSITOS
PIROCLÁSTICOS DE LA CALZADA LA PAZ, CIUDAD DE GUATEMALA**

Ricky Adolfo Morales Culajay

Asesorado por el Ing. Julio Roberto Luna Aroche

Guatemala, febrero de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS Y PROPUESTA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN LOS DEPÓSITOS
PIROCLÁSTICOS DE LA CALZADA LA PAZ, CIUDAD DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

RICKY ADOLFO MORALES CULAJAY
ASESORADO POR EL ING. JULIO ROBERTO LUNA AROCHE

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, FEBRERO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

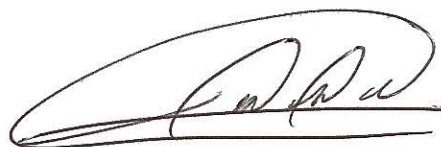
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel López Juárez
EXAMINADOR	Ing. José Mauricio Arriola Donis
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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:

**ANÁLISIS Y PROPUESTA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN LOS DEPÓSITOS
PIROCLÁSTICOS DE LA CALZADA LA PAZ, CIUDAD DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,
con fecha octubre de 2013.



Ricky Adolfo Morales Culajay



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

Guatemala, 27 de octubre de 2014.

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

Ingeniero Melini:

Por este medio me dirijo a usted para saludarlo, deseándole éxitos en sus actividades.

El motivo de la presente es para hacer de su conocimiento que he revisado el trabajo de graduación del estudiante **Ricky Adolfo Morales Culajay**, con número de carnet 200714643, titulado **ANÁLISIS Y PROPUESTA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN LOS DEPÓSITOS PIROCLÁSTICOS DE LA CALZADA LA PAZ, CIUDAD DE GUATEMALA**; después de terminada la revisión se da por aprobada dicha tesis.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Cordialmente

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Julio Roberto Luna Aroche
DIRECTOR
CENTRO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE
ENERGÍA Y MINAS -CESEM-





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,
4 de febrero de 2015

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 ANÁLISIS Y PROPUESTA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN LOS DEPÓSITOS PIROCLÁSTICOS DE LA CALZADA LA PAZ, CIUDAD DE GUATEMALA, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Ricky Adolfo Morales Culajay, quien contó con la asesoría del Ing. Julio Roberto Luna Aroche.

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

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



FACULTAD DE INGENIERÍA
ÁREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





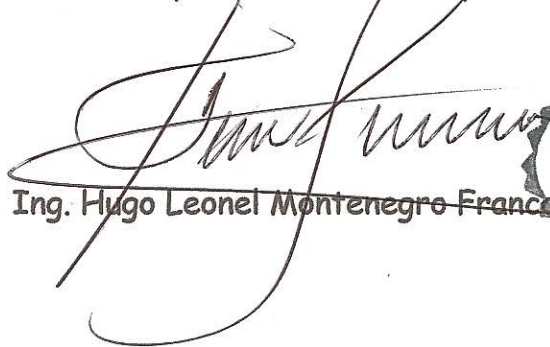
USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

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

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



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor 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 Ricky Adolfo Morales Culajay, titulado ANÁLISIS Y PROPUESTA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN LOS DEPÓSITOS PIROCLÁSTICOS DE LA CALZADA LA PAZ, CIUDAD DE GUATEMALA, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, febrero 2015

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





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: **ANÁLISIS Y PROPUESTA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN LOS DEPÓSITOS PIROCLÁSTICOS DE LA CALZADA LA PAZ, CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Ricky Adolfo Morales Culajay**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Rečinos
Decano

Guatemala, 27 de febrero de 2015

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por brindarme la sabiduría, el valor y el espíritu de lucha y por derramar bendiciones en mi vida.
- Mis padres** Luis Adolfo Morales Barrios y Marta Julia Culajay Noj, en especial por cuidar de mí y apoyarme en todas mis metas y sueños.
- Mis hermanos** Jaqueline Elizabeth y Luis Fernando Morales, por el apoyo y cariño que me han brindado
- Mi familia** De una u otra manera fueron parte de este logro.
- Mis amigos** Porque han sido parte de mi familia, mostrándome su verdadera amistad.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por darme la oportunidad de superarme académicamente.
Facultad de Ingeniería	Por ser una importante influencia en mi carrera.
Ingeniero	Julio Roberto Luna Aroche, por permitirme ser parte de esta investigación a beneficio de la Facultad de Ingeniería, y por la asesoría dada a lo largo de la realización de este trabajo.
Mis compañeros de la Facultad de Ingeniería	Que durante el transcurso de mi carrera me brindaron su apoyo en todo sentido y su desinteresada amistad, en especial a mis amigos: Romeo García, Luis Rivera, Alba García, Mario Reyes, entre muchos más.

Y para todas esas personas que de una u otra forma prestaron su ayuda y colaboración para el desarrollo del presente trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. CONCEPTOS GENERALES.....	1
1.1. Taludes.....	1
1.2. Laderas.....	1
1.3. El suelo y su origen	2
1.4. Tipos de suelos	2
1.5. Clasificación de los suelos.....	5
1.5.1. Clasificación por tamaño de partícula.....	5
1.5.2. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)	6
1.5.3. Clasificación AASHTO.....	7
1.6. Deslizamientos	9
1.6.1. Clasificación de los deslizamientos	9
1.6.2. Tipos de deslizamientos	10
1.7. Aspectos generales de deslizamientos.....	14
1.8. Causas de los deslizamientos	14
1.8.1. Incremento del esfuerzo de corte	14
1.8.2. Reducción de la resistencia del material	14
1.8.3. Impacto de los deslizamientos.....	15

1.8.3.1.	Deslizamiento de escombros	15
2.	MÉTODOS DE ANÁLISIS Y MEJORAMIENTO DE ESTABILIDAD DE TALUDES	17
2.1.	Métodos generales.....	17
2.1.1.	Método sueco.....	18
2.1.2.	Método de Taylor	21
2.1.3.	Método de Bishop	21
2.1.4.	Método de Bishop y Morgenstern.....	22
2.1.5.	Método de Spencer	23
2.1.6.	Método de Hunter y Shuster.....	24
2.1.7.	Método de análisis último	24
2.2.	Métodos prácticos para mejorar la estabilidad de taludes.....	25
2.2.1.	Empleo de materiales ligeros	25
2.2.2.	Modelado de taludes	25
2.2.3.	Empleo de materiales estabilizantes	26
2.2.4.	Diseño de drenajes	26
2.2.5.	Empleo de masas de suelo del mismo material	26
2.2.6.	Uso de zampeados	27
2.2.7.	Cunetas revestidas y contra cunetas superficiales..	27
2.2.8.	Taludes verticales	28
2.2.9.	Uso de subdrenajes	28
2.2.10.	Tipos y usos de muros de contención	29
2.2.11.	Diseño de estructuras de gravedad.....	32
3.	DESCRIPCIÓN DE TÉCNICAS COMUNES DE BIOINGENIERÍA.....	35
3.1.	Técnica de estacas vivas	35
3.2.	Técnica de bultos de ramas	36
3.3.	Técnica de capas de ramas	38

3.4.	Técnica de recorte de ramas	40
3.5.	Técnica de reparación de cárcava con vegetación.....	41
3.6.	Técnica de muro cribado	42
3.7.	Técnica de gaviones con vegetación.....	43
3.8.	Técnica de muros de roca con vegetación	44
3.9.	Técnica de vegetación sembrada entre piedras	45
4.	CASO ESPECÍFICO DE ESTUDIO Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN....	47
4.1.	Ubicación y extensión del área.....	47
4.1.1.	Clima y vegetación	50
4.1.2.	Marco tectónico	50
4.2.	Mantenimiento de taludes y laderas en la ciudad de Guatemala	51
4.3.	Análisis del problema	52
4.3.1.	Opciones para resolver el problema de inestabilidad de taludes en el área	58
4.4.	Propuestas de solución	59
	CONCLUSIONES	63
	RECOMENDACIONES	65
	BIBLIOGRAFÍA.....	67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Tipos de deslizamientos.....	13
2.	Cuña de deslizamiento.....	20
3.	Tipos básicos de estructuras de contención	31
4.	Esquema típico de muros de roca.....	32
5.	Muro de gaviones con diferentes arreglos de canastas	33
6.	Tablas de diseño de las canastas para muros de gaviones.....	34
7.	Técnicas de estacas vivas	36
8.	Técnicas de bultos de ramas	37
9.	Técnicas de capas de ramas	39
10.	Técnica de recortes de ramas.....	40
11.	Técnica de reparación de cárcava con vegetación	41
12.	Técnica de muro cribado vivo	42
13.	Técnica de gaviones con vegetación	43
14.	Técnica de muro de roca con vegetación	44
15.	Técnica de vegetación sembrada entre piedras.....	45
16.	Ubicación Calzada La Paz	48
17.	Calzada La Paz.....	48
18.	Ubicación del talud.....	49
19.	Talud vista elevación.....	49
20.	Ensayo compresión triaxial	54
21.	Ensayo de gravedad específica	55
22.	Ensayo de análisis granulométrico.....	56
23.	Ensayo límites de Atterberg	57

TABLAS

I.	Estabilidad de taludes	20
II.	Datos de laboratorio	53

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Cm	Centímetros
Cu	Coeficiente de uniformidad del suelo
E	Coeficiente sísmico
C	Cohesión del suelo
Ce	Cohesión efectiva del suelo
°C	Grados Celsius
mm	Milímetros
%	Porcentaje
Cd	Promedio del valor de cohesión del suelo

GLOSARIO

Antrópico	Relacionado con el hombre.
Cohesión	Fuerza que tiende a mantener unidas las moléculas que forman un cuerpo.
Contrafuerte	Refuerzo vertical, sobre espesor en un muro para aumentar su resistencia en determinados puntos sometidos a empujes laterales.
Cribado	Operación de someter el material pétreo machacado a la acción de una criba.
Deslizamiento	Movimiento lento o rápido de cierto volumen de tierra.
Detrito	Llamado material suelto o sedimento de rocas, estos son productos de la erosión, el transporte, la meteorización. Este material se acumula en zonas de topografía deprimida llamadas cuencas sedimentadas.
Dragado	Forma de excavación realizada bajo el agua.
Drenaje	Disposición de tubos, piedras, canaletas o zanjas para dar salida a las aguas muertas en determinados

lugares o para terrenos con excesiva humedad.

Estratos	Masa de rocas en forma de capas, aproximadamente paralelas y de un espesor sensiblemente uniforme, que constituyen los denominados planos de estratificación de los terrenos sedimentarios.
Falla	Fractura de las rocas, a lo largo de la cual ha tenido lugar un desplazamiento o corrimiento, este puede variar de unos milímetros a miles de metros.
Gavión	Especie de caja, hecha de alambre que se llena con piedras, para ser utilizada como elemento de contención.
Graben	Estructura geológica deprimida (depresión tectónica) y alargada, limitada por grandes fallas a ambos lados y rellenos con sedimentos posteriores, que muchas veces impiden la observación directa de las mismas.
Mampostería	Es el sistema de construcción que consiste en levantar muros mediante la colocación manual de elementos para diversos fines.
Mortero	Argamasa de cal o cemento mezclado con arena y agua.
Pedraplen	Relleno de piedras en seco, lanzadas a granel para construir una defensa o dique rudimentario.

Socavar	Excavar por debajo de alguna obra, y dejarla en falso sin apoyo sólido.
Tefra	Material ceniza que ha sido transportada por el aire, depositada, bien clasificada y estratificada, que va desde ceniza a fragmentos líticos de pocos milímetros.
Terraplén	Macizo de tierra con que se rellena un hueco del terreno, o con el que se levanta el nivel del mismo.
Zampeado	Obra de cimentación de base de losas de hormigón armado, o bien cadenas de madera y macizos de mampostería, que se hace en un terreno falso o cubierto de agua, y cubre la totalidad de la planta de la edificación que se va a levantar.

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se describe la evaluación de taludes de la Calzada La Paz. Se propone una metodología para identificar las posibles causas de fallas y deslizamientos, y proponer una solución rápida y viable para su estabilización.

Como parte de la metodología de investigación, abarca aspectos fundamentales relacionados con deslizamientos, estabilidad de taludes y laderas en depósitos de material de origen volcánico.

Los métodos analizados son estructurales y de bioingeniería, para lograr una mejor estabilidad se hace la recomendación del uso de ambos métodos, uno como complemento del otro.

Se menciona asimismo, las ventajas y desventajas de cada uno de los métodos y sistemas constructivos tomando como factor primordial el económico, que regularmente condiciona la ejecución de proyectos en países con poco presupuesto destinado a obras de prevención como Guatemala.

Se analizaron casos particulares ocurridos en la Calzada la Paz, donde se hizo una verificación y localización, análisis del problema y de resultados; localización de las causas y soluciones de acuerdo a resultados obtenidos.

OBJETIVOS

General

Aportar conocimientos para la estabilidad de taludes, presentar criterios y lineamientos generales que permitan desarrollar el método constructivo o vegetativo más adecuado para el talud ubicado en la Calzada La Paz.

Específicos

1. Encontrar un método efectivo y práctico, que pueda ser aplicado a este tipo de taludes ubicados en la Calzada La Paz, debido a que estos lugares son habitados y muchas de estas áreas no son aptas para viviendas.
2. Realizar ensayos para determinar las características de los depósitos de material piroclástico que se encuentra en la Calzada La Paz.
3. Establecer las ventajas y desventajas que tiene el depósito piroclástico al momento de ser estabilizado.
4. Proponer la forma más adecuada para estabilizar los taludes de la Calzada la Paz.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento acelerado y desordenado que ha sufrido el área metropolitana de la ciudad de Guatemala, ha sido una de las causas por la cual la población ha buscado ubicarse en las laderas como las de la Calzada La Paz, que no son aptas para la construcción de viviendas.

El trabajo de graduación tiene como finalidad el estudio de los depósitos piroclástico y los métodos de estabilización en el área de la Calzada La Paz para evitar el deslizamiento del mismo. En Guatemala existen constantes amenazas de deslizamiento, en muchos casos a causa de los seres humanos, ya que contribuyen a su propia exposición a los desastres climáticos, asimismo, la tala de árboles y arbustos que eliminan la influencia estabilizadora de los sistemas de raíces que absorben el agua y dan cohesión al suelo.

La ciudad de Guatemala posee diversos tipos de suelos y materiales, entre ellos del tipo piroclásticos, que provienen de erupciones volcánicas compuestos de ceniza, pómez, fragmento de roca y gas caliente.

Existen rocas y depósitos de material piroclástico, de los cuales se pueden mencionar dos: los que se originan de una colada piroclásticas propiamente tal y los que provienen de oleadas piroclásticas; estos son poco clasificados y masivos.

Los métodos biotécnicos pueden ser utilizados conjuntamente con otros métodos físicos, tales como: contrafuertes de roca o gaviones, rellenos y taludes reforzados, entre otros, mientras se recomienda el uso de métodos de estabilización vegetativa, en la mayoría de los proyectos se debe reconocer las limitaciones.

El proceso de estabilización involucra consideraciones y principios de diseño de estructuras de ingeniería, la finalidad principal es proponer un método efectivo, económico y práctico de estabilización de depósito piroclástico.

1. CONCEPTOS GENERALES

1.1. Taludes

Se entiende como talud, cualquier superficie inclinada respecto a la horizontal, que sea adoptada en forma permanente por las estructuras de tierra. Según como se forme el talud, se puede clasificar en:

- Naturales (laderas)
- Artificiales (cortes y rellenos)

Taludes naturales: formados por los procesos geológicos, pueden llegar a plantear problemas vitales e importantes.

Taludes artificiales: son los realizados por medio de la intervención humana; presentan desde el punto de vista de ingeniería un proceso de análisis, debido a la importancia que su construcción y magnitud pueda tener.

1.2. Laderas

Es toda superficie natural inclinada que se une con otras, caracterizadas por diferentes energías potenciales.

El paisaje del planeta Tierra sufre constantes transformaciones, debido al equilibrio entre las fuerzas internas; estos cambios pueden ser perceptibles a través del tiempo y otros tardan hasta millones de años.

1.3. El suelo y su origen

El suelo es una delgada capa sobre la corteza terrestre de material que proviene de la desintegración y/o alteraciones físicas y/o químicas de las rocas y de los residuos de la actividad de los seres vivos que sobre ella se asientan. Desde el punto de vista de la ingeniería, el suelo es el sustrato físico sobre el que se realizan las obras del que importa las propiedades físicas-químicas, especialmente las propiedades mecánicas

Las rocas de la corteza terrestre, a través de un proceso de desintegración mecánica y de descomposición química, forman los materiales sueltos que se encuentran en ella. Entre los agentes físicos que producen cambios en las rocas se tienen:

- El Sol
- El agua
- El viento
- Los glaciares

1.4. Tipos de suelos

Tomando en cuenta el origen de sus elementos, los suelos se dividen en 2 grandes grupos:

- Suelos cuyo origen se debe a la descomposición físico y/o química de las rocas (suelos inorgánicos).
- Suelo cuyo origen es principalmente orgánico.

En los suelos inorgánicos, si el producto del intemperismo de las rocas permanece en el sitio donde se formó, da origen a un suelo residual, en caso contrario forman un suelo transportado, ya sea por el agua, viento, gravedad o glaciares.

Los suelos orgánicos se caracterizan por presentar una gran cantidad de material orgánico en su composición básica, ya sea en forma de humus o de material no descompuesta o en su estado de descomposición, es tan alta con relación a la cantidad de suelo inorgánico, que las propiedades que pudieran derivar de la porción minera quedan eliminadas.

Los tipos de suelos usados comúnmente en ingeniería civil son:

- Suelos granulares: no poseen ninguna cohesión y consisten en rocas, gravas, arenas y limos.
- Gravas: son acumulaciones sueltas de fragmentos de rocas que tienen más de 2 milímetros de diámetro. Dado su origen, cuando son acarreadas por las aguas, las gravas sufren desgastes en sus aristas y como consecuencia su forma es redondeada. Es común encontrarla como material suelto en los lechos, los márgenes de los ríos, depresiones de terrenos rellenadas por el acarreo de los ríos y en muchos otros lugares a los cuales las gravas han sido retransportadas.
- Arenas: es el material de granos finos procedentes de la erosión de las rocas o de su trituración artificial, tales partículas varían entre 2 y 0,05 milímetros de diámetro. El origen y existencia de las arenas, es análoga a la de las gravas; ambas suelen encontrarse juntas en el mismo depósito. Con frecuencia la arena de río contiene proporciones relativamente

grandes de grava y arcilla. Estando limpias, las arenas son materiales que no se contraen al secarse, no son plásticas, son mucho menos compresibles que la arcilla y se comprimen casi instantáneamente al aplicarse carga en su superficie.

- Suelos cohesivos: poseen características de cohesión y plasticidad. Pueden ser granulares con parte de arcilla o limo orgánico, que les importen cohesión y plasticidad, o pueden ser arcillas o limos orgánicos sin componentes granulares.
- Limos: suelos de granos finos con poca o ninguna plasticidad, pudiendo ser limo inorgánico como el producido en canteras o limo orgánico como el que suele encontrarse en los ríos; siendo este último de características plásticas. El diámetro de las partículas de los limos está comprendido entre 0,05 y 0,005 milímetros. Los limos sueltos y saturados no son adecuados para soportar cargas por medio de zapatas. Su color varía desde gris claro a muy oscuro. La permeabilidad de los limos orgánicos es muy baja y su compresibilidad muy alta.
- Arcilla: son partículas sólidas con diámetro menor a 0,005 milímetros y cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua. Químicamente es un silicato de alúmina hidratado, aunque con frecuencia contiene también, silicatos de hierro de magnesio hidratados. La estructura de estos minerales es, generalmente cristalina y complicada, con sus átomos dispuestos en forma laminar. De hecho se puede decir que hay 2 tipos clásicos de estas láminas, uno de ellos del tipo silícico y en otro aluminico.

1.5. Clasificación de los suelos

La mecánica de los suelos ha desarrollado algunos métodos de clasificación de los mismos, debido a la variedad que existe en la naturaleza. Cada uno de estos métodos tiene, prácticamente su campo de aplicación según la necesidad y uso que los haya fundamentado.

La clasificación de los suelos puede ser:

- Según el tamaño de sus partículas.
- Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).
- Clasificación de la Asociación Americana de Funcionarios de Caminos Públicos (AASHTO).

La variedad de sistemas de clasificación de suelos, posiblemente se debe al hecho de que tanto el ingeniero civil como el geólogo y el agrónomo, analizan el suelo desde diferentes puntos de vista. Sin embargo, es importante el hecho de que cualquier clasificación que quiera abarcar las necesidades correspondientes, debe estar basada en las propiedades mecánicas de los suelos, ya que estas son fundamentales en las variadas aplicaciones de la ingeniería.

1.5.1. Clasificación por tamaño de partícula

Los resultados obtenidos de la prueba de granulometría por sedimentación, se aplican en el diagrama triangular de clasificación de suelos,

dada por la Comisión de río Mississippi y con ello se obtiene la clasificación del suelo.

Para clasificar el suelo se toma el porcentaje de arena, limo y arcilla sobre escala del lado correspondiente del triángulo, se trazan 3 rectas y su punto común de la clasificación del suelo.

La clasificación de los suelos por el tamaño de sus partículas, es la más simple de todas, pero tiene el inconveniente de que su relación con las principales características físicas del suelo es indirecta, pues el tamaño de los granos es solo uno de los diferentes factores, de los cuales dependen ciertas propiedades físicas importantes de los suelos, tales como la permeabilidad y la cohesión.

1.5.2. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Consiste en un diagrama, y este presenta la clasificación del sistema unificado. Como se puede observar, los suelos de partículas gruesas y suelos de partículas finas se distinguen mediante el tamizado del material por la malla número 200.

Los suelos gruesos corresponden a los retenidos en dicha malla y los finos a los que la pasan, y así un suelo se considera grueso si más del 50 por ciento de las partículas del mismo son retenidas en la malla número 200 y fino si más del 50 por ciento de sus partículas son menores de dicha malla. Los suelos se designan por el símbolo de grupo. Este consta de un prefijo y un sufijo. Los prefijos son las iniciales de los nombres ingleses de los 6 principales tipos de suelos (grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos de grano fino y turba) mientras que los sufijos indican subdivisiones de dichos grupos.

1.5.3. Clasificación AASHTO

La AASHTO adoptó este sistema de clasificación de suelos (AASHTO M 145), tras varias revisiones del sistema adoptado por el Bureau of Public Roads de Estados Unidos, en el que los suelos se agrupan en función de su comportamiento como capa de soporte o asiento del firme. Es el sistema más utilizado en la clasificación de suelos en carreteras; en esta, los suelos se clasifican en 7 grupos, según su granulometría y plasticidad, en sí, en función del porcentaje que pasa por los tamices números 200, 40 y 10, y de los límites de Atterberg de la fracción que pasa por el tamiz número 40. Estos 7 grupos se dividen en 2 grandes categorías.

- Suelos granulares (con no más del 35 por ciento que pasa por el tamiz número 200).
- Suelos limo–arcillosos (más del 35 por ciento que pasa por el tamiz número 200).

La categoría de los suelos granulares (gravas y arenas) está compuesta por los grupo A-1, A-2 y A-3 y su comportamiento en planicies es, generalmente, de bueno a excelente, salvo los subgrupos A-2-6 y A-2-7, que se comportan como los suelos arcillosos debido a la alta plasticidad de los finos que contiene, siempre que el porcentaje de estos supere el 15 por ciento. Los grupos incluidos por los suelos granulares son los siguientes:

- A-1: corresponde a una mezcla bien graduada de gravas, arenas (gruesa y fina) y finos no plásticos o muy plásticos. También se incluyen en este grupo las mezclas bien graduadas de gravas y arenas sin finos.

- A-2: este grupo comprende a todos los suelos que contienen un 35 por ciento o menos de material que pasa por el tamiz # 200 y que no pueden ser clasificados en los grupos A-1 y A-3, debido a que el porcentaje de finos y/o la plasticidad de estos, están por encima de los límites fijados para dichos grupos. Por todo esto, este grupo contiene una gran variedad de suelos granulares que estarán entre los correspondientes a los grupos A-1 y A-3 y a los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7.
- A-3: típicamente corresponde a suelos constituidos por arena fina de playa o de duna, de origen eólico, sin finos limosos o arcillosos o con una pequeña cantidad de limo no plástico. También incluyen este grupo, los depósitos fluviales de arena fina mal graduada con pequeñas cantidades de arena gruesa o grava.
- A-4, A-5, A-6 y A-7: la categoría de los suelos limo-arcillosos está compuesta por estos grupos, cuyo comportamiento en planicies va de regular a malo. En esta categoría los suelos se clasifican en los distintos grupos atendiendo únicamente a su límite líquido y a su índice de plasticidad, según las zonas del gráfico de plasticidad. De esta forma se clasifican también, los suelos del grupo A-2 en los distintos subgrupos.

Los grupos incluidos en los suelos limo-arcillosos son los siguientes:

- A-4: el suelo típico de este grupo es un suelo limoso no plástico o moderadamente plástico, que normalmente tiene un 75 por ciento o más de material que pasa por el tamiz número 200. También se incluyen los suelos constituidos por mezclas de suelo fino limosos y hasta un 64 por ciento de gravas y arenas.

- A-5: el suelo típico de este grupo es similar al descrito en el grupo A-4, salvo que suele tener carácter diatomáceo o micáceo, y pueden ser muy compresibles, como indica su elevado límite líquido.
- A-6: el suelo típico de este grupo es un suelo arcilloso plástico, que normalmente tiene un 75 por ciento o más de material que pasa por el tamiz número 200. También se incluyen en este grupo las mezclas de suelo fino arcilloso y hasta un 64 por ciento de gravas y arenas.
- A-7: el suelo típico de este grupo es similar al descrito en el grupo A-6, salvo que tiene las características de elevado límite líquido del grupo A-5, y puede ser elástico y estar sujeto a grandes cambios de volumen.

1.6. Deslizamientos

Un deslizamiento es un tipo de corrimiento o movimiento de masa de tierra, provocado por la inestabilidad de un talud. 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*. Los deslizamientos se producen cuando en la franja se alcanza la tensión tangencial máxima en todos sus puntos.

1.6.1. Clasificación de los deslizamientos

Los deslizamientos de taludes son procesos dinámicos que constituyen junto a las inundaciones, los riesgos geológicos más importantes relacionados con la geodinámica externa.

“Son movimientos gravitacionales de masa de roca y/o suelo, que se deslizan sobre una o varias superficies de rotura al superarse la resistencia al corte en estas superficies. Terzaghi (1996) define los deslizamientos de taludes como el desplazamiento de masas de roca y/o suelo, en las cuales el centro de gravedad del material removido avanza hacia abajo y hacia fuera respecto al talud, Lundgren (1986) añade que el material desplazado debe ser superficial o cercano a la superficie e incluye los desplazamientos que ocurren bajo la superficie del mar.”¹

1.6.2. Tipos de deslizamientos

El gran número de factores influyentes y la complejidad de sus tipologías y mecanismos de rotura hacen difícil su clasificación.

Los movimientos de laderas se han clasificado siguiendo varios criterios; según Lundgren son:

- El material que lo constituye
- La forma y la localización de la ruptura o la superficie de corrimiento
- El deslizamiento o distancia de viaje
- Tasa de movimiento
- Comportamiento del material durante el evento

Los deslizamientos pueden ser de varios tipos; suelen ocurrir en una gran variedad de materiales, y están controladas las diferentes tipologías por factores, como la litología y la estructura.

¹ CRESPO VILLALAZ, Carlos, *Vías de comunicación*. p. 180.

Los tipos de deslizamientos incluyen: caídas de rocas, deslizamiento transnacional y rotacional, deslizamiento o flujo de detritos, flujo de lodo, falla de rellenos, entre otros. (Ver figura 1).

Los deslizamientos rotacionales localizados que ocurren en suelos ricos en arcilla, así como los someros de detritos en suelos granulares, son las formas más comunes de deslizamientos que afectan los taludes; los conceptos de los diferentes tipos de movimientos se muestran en la figura 1.

- Caídas: la masa en movimiento viaja, la mayor parte de la distancia, a través del aire. El material se deposita a cotas más bajas o al pie del talud.
- Volcamiento (*toppling*): son debidos a la fuerza que causan un movimiento de volteo, alrededor de un punto bajo del centro de gravedad de la unidad.
- Deslizamientos rotacionales o translacionales.
 - Deslizamientos rotacionales: la rotura profunda o superficial ocurre a través de superficies curvas, que pueden ser o no circulares, que depende de la uniformidad del material. Generalmente es un movimiento asociado a suelos cohesivos o a macizos rocosos muy fracturados y sin estructura.
 - Deslizamiento translacional: la rotura ocurre a favor de planos de debilidad con dirección más o menos paralela a la superficie del talud, y a una inclinación menor o igual que la cara del talud. Casi siempre el movimiento es estructuralmente controlado por superficies de debilidad, tales como fallas, juntas, planos de estratos y también por las variaciones en el esfuerzo de corte; entre las distintas capas

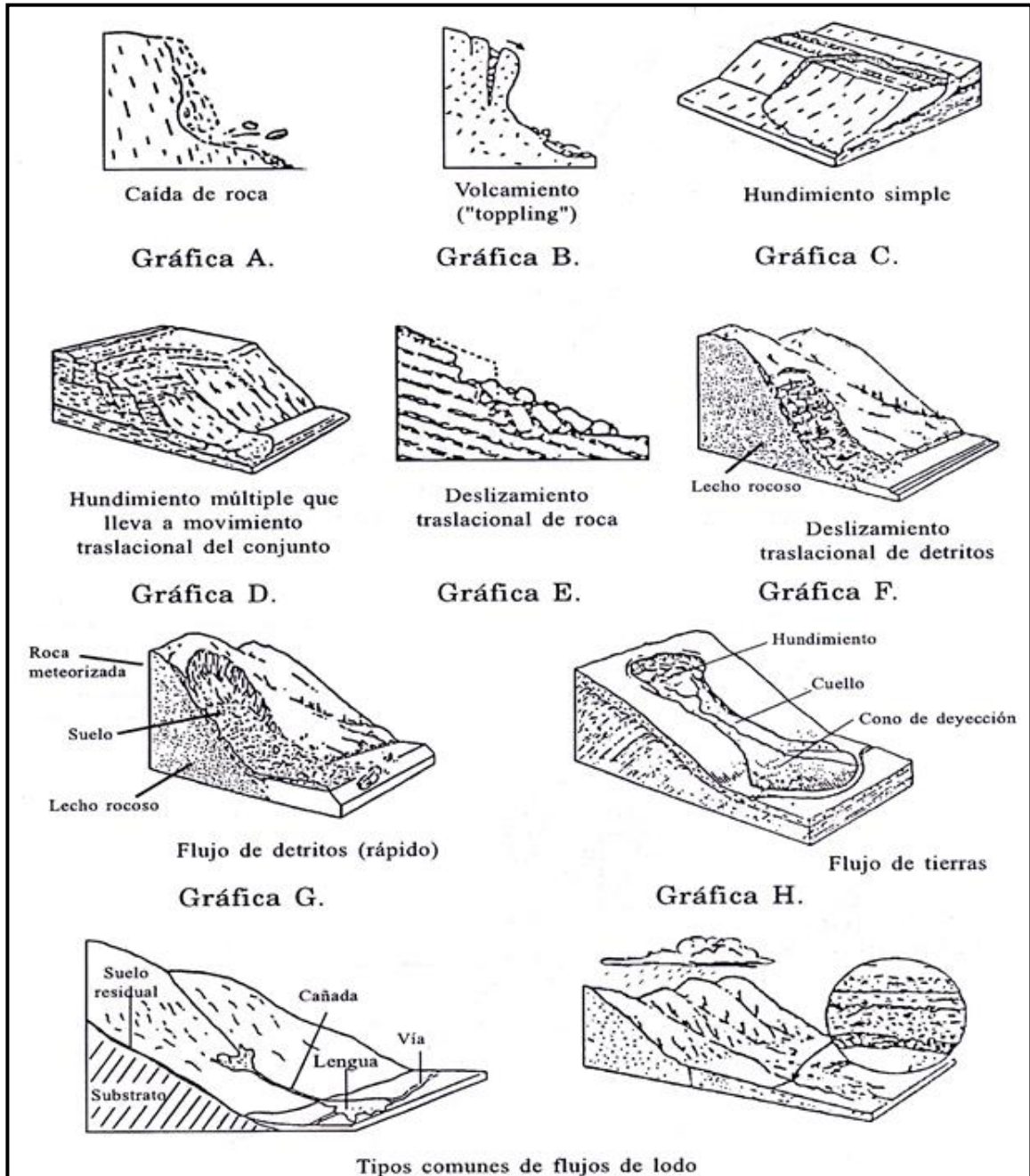
de depósitos estratificados o, por el contrario, entre rocas firme y detritos sobre ella.

- Apertura lateral: movimientos de extensión lateral dentro de una masa de roca fracturada.
 - Sin una superficie basal o zona de flujo plástico bien definida (predominante en capa de roca).
 - La extensión de roca o suelo resulta de licuefacción o flujo plástico y material subyacente.

- Fluencias (flujos): son movimientos de masas, más o menos rápidos, característicos de materiales sin cohesión.

- Movimiento complejo: es una combinación de dos o más de los principales movimientos.

Figura 1. Tipos de deslizamientos



Fuente: KELLER, Gabriell. *Mecánica de suelos*. p. 335.

1.7. Aspectos generales de deslizamientos

Un deslizamiento se define como un movimiento de una masa de roca y tierra pendiente abajo, bajo la acción de la gravedad, cuando el esfuerzo de corte excede el esfuerzo de resistencia del material.

1.8. Causas de los deslizamientos

La ocurrencia de los deslizamientos es consecuencia de un complejo campo de esfuerzos (estrés es una fuerza por unidad de área) que está activo en una masa de roca o de suelo en la pendiente. Básicamente, los dos parámetros más determinantes son:

1.8.1. Incremento del esfuerzo de corte

El incremento en el esfuerzo de corte puede ser producido, principalmente por las siguientes razones:

- Remoción del soporte lateral o de base: erosión, deslizamientos previos, cortes de carreteras y canteras.
- Incremento de carga: peso de la lluvia/nieve, rellenos, vegetación.
- Incremento de presiones laterales: cristalización, expansión de la arcilla.
- Inclinación regional: movimientos geológicos.

1.8.2. Reducción de la resistencia del material

- Disminución de la resistencia del material: motorización, cambios en el

estado de consistencia.

- Cambios en las fuerzas intergranulares: presión de los poros de agua, disolución.
- Cambios en la estructura: disminución de la resistencia en el plano de falla, fracturamiento debido a descargas.

1.8.3. Impacto de los deslizamientos

La actividad de deslizamientos en la ciudad de Guatemala ha aumentado debido a:

- Incremento de urbanización y desarrollo en áreas propensas a deslizamientos.
- Deforestación continua de áreas propensas a deslizamientos.
- Incremento de la precipitación regional causada por los cambios de los patrones climáticos.

1.8.3.1. Deslizamiento de escombros

En los deslizamientos de escombros, una masa de suelo o mezcla de suelo y fragmentos de roca se mueven como una unidad a lo largo de superficies planas con alta inclinación. Estos deslizamientos ocurren de manera progresiva y pueden convertirse en avalanchas o flujos. Las principales causas de deslizamientos de escombros son el incremento de las fuerzas de filtración y la inclinación del talud. La ocurrencia de este tipo de deslizamiento es común en suelos residuales y depósitos coluviales que reposan sobre una superficie de roca.

2. MÉTODOS DE ANÁLISIS Y MEJORAMIENTO DE ESTABILIDAD DE TALUDES

2.1. Métodos generales

Los métodos para la estabilización de taludes se basan en los siguientes fundamentos: se considera que la rotura está en el punto de ocurrencia a lo largo de una superficie supuesta o conocida; se compara la resistencia al corte necesaria para mantener una condición de equilibrio límite, con una resistencia del corte disponible en el suelo; se da el factor promedio de seguridad a lo largo de la superficie de rotura.

Los deslizamientos en taludes pueden ocurrir despacio o repentinamente, con o sin provocación aparente, algunas veces por socavado debajo de la base de un talud existente o por una desintegración gradual de la estructura del suelo, por un incremento de presión en los poros de agua, o cuando el suelo es un tanto permeable.

Se puede decir que existen dos tipos de problemas en el análisis de la estabilidad de taludes, la corta y larga.

La estabilidad corta es aplicable después de hacer un corte es un talud, ya que al realizar excavaciones se inducen fuerzas para liberar el estado de falta de desagüe. Teóricamente existe la posibilidad de analizar la estabilidad de un talud recientemente cortado, a través de fuerzas efectivas o totales. De cualquier manera, nace la dificultad de determinar exactamente la distribución de la presión ejercida en los poros bajo estas condiciones.

La estabilidad larga se encuentra siempre en los taludes naturales, y es la que se utiliza para las consideraciones de análisis de presas, diques, terraplenes. En este caso, la presión en los poros puede ser asumida en estado de equilibrio y es determinada para actuar en forma impermeable (es decir, para sostener filtraciones); de esta manera el exceso de presión en los poros no está incluido.

2.1.1. Método sueco

Comprende todos los procedimientos de análisis de estabilidad, respecto a falla por rotación, en los que se considera que la superficie de falla es un cilindro, cuya traza con el plano en el que se calcula es un arco de circunferencia. Existen varios procedimientos para aplicar este método a los distintos tipos de suelo, a fin de ver si un talud dado tiene garantizada su estabilidad.

Este método supone que la superficie de deslizamiento de la cuña es cilíndrica y que la rotación se produce alrededor del centro del cilindro.

Para determinar si el talud es o no estable, se siguen los siguientes pasos:

- Se escoge un centro de rotación aproximado y se hace uso de los datos mostrados en la tabla I que presentan el resultado de las investigaciones de Fellenius, para cuando \emptyset sea igual a cero.
- La cuña de deslizamiento abc se divide en un número conveniente de elementos verticales, como se muestra en la figura 2.

- Determinar el peso de cada segmento de suelo que actúa en el centro de gravedad de cada elemento; se supone para ello que la sección que se está estudiando representa una rebanada del corte con un grueso igual a la unidad. Se supondrá que cada uno de estos pesos actúa sobre la base de su segmento correspondiente, en donde se le descompone vectorialmente en una componente normal (FN) y otra tangencial (Ft), en relación con la superficie de deslizamiento.
- Si el suelo de todo el talud es de propiedades homogéneas, se calcula el valor total de la resistencia por cohesión, multiplicando la cohesión unitaria por la longitud de la superficie de deslizamiento abc. Si existen varios estratos distintos, entonces se calcula para cada elemento la resistencia de cohesión, multiplicando la cohesión unitaria al nivel de la base del elemento por el área de dicha base.

“La componente tangencial (Wt) es la que tiende a producir el deslizamiento. La componente normal (Fn) se opone a este deslizamiento, porque aumenta la resistencia debida a la fricción a lo largo de la superficie de deslizamiento; esta última es una de las fuerzas que contrarresta la tendencia al deslizamiento.”²

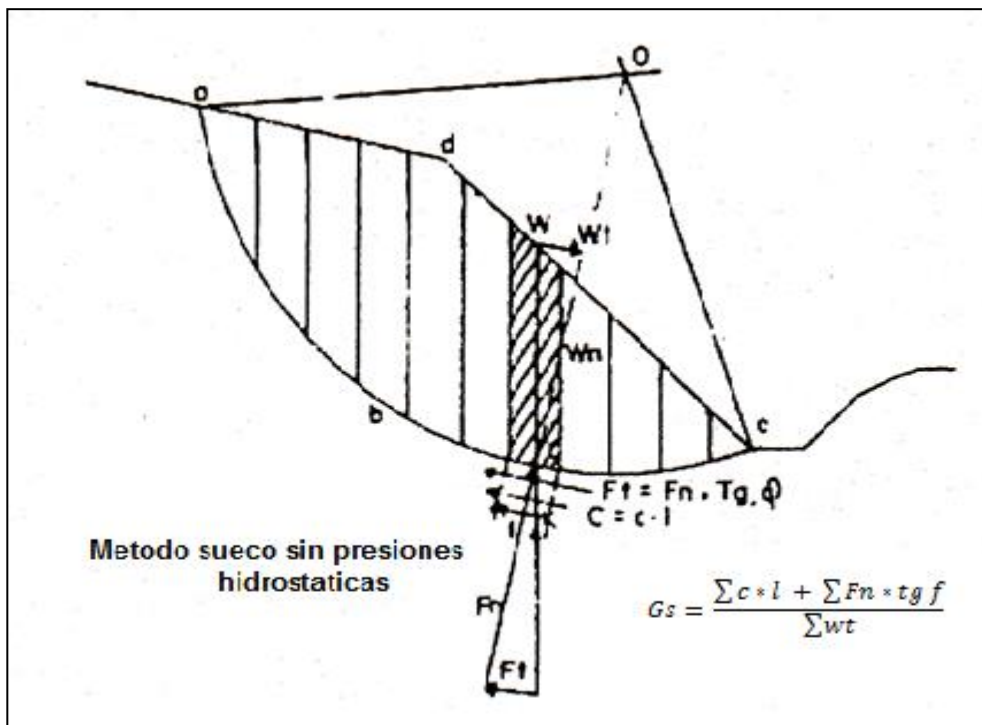
² CRESPO VILLALAZ, Carlos, *Vías de comunicación*. p. 180.

Tabla I. Estabilidad de taludes

Talud	Ángulo β	Ángulo α	Ángulo δ
0.58:1	60°	40°	29°
1:1	45°	37°	28°
1.5:1	33°47'	35°	26°
2:1	26°34'	35°	25°
3:1	18°26'	35°	25°
5:1	11°19'	37°	25°

Fuente: CRESPO VILLALAZ, Carlos, *Vías de comunicación*. p. 180.

Figura 2. Cuña de deslizamiento



Fuente: CRESPO VILLALAZ, Carlos, *Vías de comunicación*. p. 180.

2.1.2. Método de Taylor

Está basado en el método del círculo de fricción, en el que existe una superficie de falla circular y el radio del mismo es designado por R ; el radio del círculo de fricción es $R \sin\theta$. Entonces habrá alguna línea tangente al círculo de fricción y deberá intersectar al arco de falla circular en ángulo oblicuo θ .

Es por esta razón que un vector representa una presión íntergranular oblicua, a un elemento de la superficie de falla, entonces este deberá ser tangente al círculo de fricción. En términos generales, el análisis está basado en las fuerzas totales y asumen que la cohesión es constante en toda la profundidad.

Para dar el valor de ϕ , la altura crítica del talud es dado por la ecuación.

$$H_c = N_s c / \gamma$$

Donde:

H_c = altura crítica

c = cohesión

γ = peso unitario del suelo

N_s = factor de estabilidad

El factor de estabilidad N_s puede considerarse como un número, el cual depende del ángulo β de la pendiente del talud y el ángulo de fricción θ .

2.1.3. Método de Bishop

Si el talud está formado por material de diversos tipos y con diferentes valores en su cohesión, y si la presión en los poros es conocida o puede estar

estimada, el método más utilizado para estos casos es el de Bishop, el cual se fundamenta, principalmente en el uso de análisis por tajadas.

En este método, la masa del suelo es dividida en un infinito número de tajadas verticales, luego se analiza las fuerzas actuantes sobre cada tajada, usando para ello el análisis del equilibrio límite. El equilibrio de la masa completa es determinado por la integración de las fuerzas sobre todas las tajadas

Haciendo la consideración sobre una tajada unitaria se observa que actúa el peso de la tajada, la superficie de carga actuante sobre la tajada, la normal y la fuerza de corte que actúa sobre la superficie de falla, la normal, y las fuerzas de corte.

El sistema es estáticamente indeterminado, y para poder llegar a una solución, es necesario asumir valores certeros, concernientes a las magnitudes y puntos de aplicación de las fuerzas.

“Una solución aproximada puede obtenerse al asumir que el resultado de las fuerzas de corte iniciales son iguales a las fuerzas de corte finales, cuyas líneas de acción coinciden; esta asunción implica utilizar el cálculo considerablemente, y así poder aplicar la condición de equilibrio de las tajadas.”³

2.1.4. Método de Bishop y Morgenstern

El método de Bishop y Morgenstern está fundamentado sobre el método de Bishop de la tajada, y considera la presión de agua en los poros, por medio

³ CRESPO VILLALAZ, Carlos, *Vías de comunicación*. p. 180.

del radio de presión en el poro.

La presión en el poro es asumida y se considera constante a lo largo de la sección, y es llamada distribución de poro homogéneo; si existen variaciones pequeñas de peso unitario en una masa de suelo de tipo arcillosos, entonces se usa un valor de comparación de peso unitario; sin embargo, en un estrato firme (fijo), con filtraciones, se utiliza una comparación bastante pesada, que brinda un resultado bastante satisfactorio sobre lo tratado para la arcilla.

La técnica de comparación para estimar el radio de presión de poro, tiende a tomar una sobre estimación del factor de seguridad, el cual puede ser en un caso extremo del orden del 7 por ciento, según fue determinado por Bishop y Morgenstern.

2.1.5. Método de Spencer

El método de Spencer está basado en el trabajo de Fellenius (1927), Bishop (1955); el criterio es el siguiente: se asume una tajada de una superficie cilíndrica y una masa de tierra contenida dentro de la misma; esta masa es dividida en pequeñas tajadas verticales; el análisis se lleva a cabo utilizando fuerzas efectivas y se satisfacen dos ecuaciones de equilibrio; la primera respecto a fuerzas, y la segunda respecto a momentos, y se usa el criterio que las fuerzas existentes entre las tajadas son paralelas.

El factor de seguridad F es definido como el cociente de fuerzas aprovechables dividido por las fuerzas de corte movilizadas; el ángulo de movilización de la resistencia al corte y es el ángulo, cuya tangente es $\tan\phi/F$; el factor de profundidad D es asumido.

El factor de estabilidad N_s es definido por:

$$N_s = C/(F)\sigma H$$

Donde:

C = cohesión respecto a las fuerzas efectivas

F = factor de seguridad

σ = peso unitario del suelo

H = altura media del talud

Spencer proveyó tablas para encontrar los rangos de los factores de estabilidad N_s con movilidad de 0 a 0,12, y ángulo de fricción ϕ varía de 10 a 40 grados, y un ángulo de pendiente arriba de 34 grados.

2.1.6. Método de Hunter y Shuster

Este método (1968–1971) está basado en los trabajos efectuados por Hunter; esto supone que el potencial de la superficie de deslizamiento es un arco circular, y la superficie del suelo está saturada (por capilaridad), además supone que está consolidado normalmente.

Este método tiene la particularidad que considera la profundidad de la capa freática, a través del uso del radio de la capa freática.

2.1.7. Método de análisis último

Es una técnica más reciente que el método de equilibrio límite; este método utiliza como concepto el criterio de producción de utilidad y es asociado con la afluencia de un líquido; como consideraciones de relación, aprovechan una simple aplicación y en muchos casos, provee una solución al problema en una forma cerrada, y para la resolución de estos casos, el profesional deberá

auxiliarse de la mecánica y la física.

2.2. Métodos prácticos para mejorar la estabilidad de taludes

Existen muchas formas o métodos para mejorar la estabilidad de los taludes, que en la práctica se han observado. Estos métodos mejoran las condiciones generales del suelo, de las cuales se analizarán algunas.

2.2.1. Empleo de materiales ligeros

Este método consiste en colocar como material de relleno suelos de peso específico bajo; puede usarse cajones de concreto hueco o tubos, aunque este tipo de soluciones tiene un costo alto.

2.2.2. Modelado de taludes

En la práctica es lo que se hace y representa la solución más sencilla; sin embargo, al querer tomar esta solución muchas veces no es factible. Si el terreno que constituye el talud es friccionante, la solución es apropiada, ya que la estabilidad de estos taludes se basa fundamentalmente en la inclinación del talud. Sin embargo, en suelos cohesivos el tener o modelar un talud no representa ninguna ganancia, ya que la estabilidad del talud está condicionada a la altura del mismo, en suelos cohesivos y friccionantes, si hay un aumento en la estabilidad general del talud. Existen requisitos prácticos que no permiten el modelado de taludes, tal como la invasión a terrenos urbanos, condiciones económicas, suelos rocosos, entre otros.

2.2.3. Empleo de materiales estabilizantes

Esta solución consiste en agregar sustancias cementales, asfaltos o sales químicas a los suelos, con el propósito de mejorar las propiedades de resistencia, adherencia, entre otros. Es una solución cara y su uso es limitado.

2.2.4. Diseño de drenajes

La presencia del agua y su movimiento en el interior de la masa de suelo hace del empleo de drenajes un elemento apropiado para poder estabilizar taludes.

Debido al agua se producen fuerzas de filtración y saturaciones en las masas de suelo, que afectan notablemente las obras de ingeniería. Las estructuras comunes, como cunetas, contra cunetas, alcantarillas, entre otros, que han sido debidamente diseñadas y construidas han demostrado ser indispensables en su uso; en otras ocasiones es preciso pensar en estructuras especiales, del tipo de pantallas de drenes protectoras o en tuberías perforadas que penetren convenientemente en la masa del suelo; también se usan drenes usando bombas u otros métodos muy especiales.

2.2.5. Empleo de masas de suelo del mismo material

Estas masas de suelo pueden ser laterales o frontales y se colocan adecuadamente en la cara exterior del talud para aumentar su estabilidad. Dicha estabilidad sufre un incremento notable y se debe a dos factores importantes:

- Disminuye el momento motor, ya que aumenta el peso en el pie del arco del círculo crítico.
- Aumenta el momento resistente, ya que crece el arco de falla por la masa del suelo adicional.

Otro efecto importante es que hay una redistribución de esfuerzos cortantes, con lo cual se evitarán concentraciones de esfuerzos; es necesario al usar una masa de suelo adicional ubicar de nuevo la superficie de falla; en la práctica se ha demostrado que una buena norma inicial será suponer un ancho de masa de suelo adicional igual a la mitad de la base del relleno y a una altura tal que el peso de la masa de suelo adicional dé un momento igual al requerido, para tener, en el talud original, el factor de seguridad deseado. Este método es bastante económico y fácil de realizar.

2.2.6. Uso de zampeados

A este método también se le conoce como Pedraplen; consiste en colocar un recubrimiento de piedra con mortero de cal o cemento a los taludes; esto evitará la infiltración del agua al talud, con lo cual aumenta considerablemente su estabilidad.

2.2.7. Cunetas revestidas y contra cunetas superficiales

Estas se utilizan al pie o en la corona del talud, cuya función principal es la de encauzar las corrientes de agua que pueden ser perjudiciales y que puedan afectar, si llegan a tener contacto directo con el talud.

2.2.8. Taludes verticales

En Guatemala, cuando se trata de taludes es arena pómez, por lo que es preferible dejarlos en corte vertical, porque la lluvia así no incide en la superficie y no causa erosión, pero es importante el diseño de bermas o gradas, para evitar que pequeñas porciones de material (suelo) caigan hasta el pie del talud.

En estos taludes, también se recomienda dejar una pequeña comba en la corona de los mismos, pues así se previene cualquier derrumbe.

2.2.9. Uso de subdrenajes

El concepto básico, para el diseño de drenaje subterráneo, consiste en remover el agua del terreno para interceptarlo con un material más poroso que el suelo nativo. Entonces el material de drenaje debe mover la cantidad de agua que entra.

Cuando existen fuertes filtraciones y presión de vacíos en un talud de corte, conviene la utilización de tipos de subdrenajes, como los transversales de penetración de talud (subdrenajes horizontales), los cuales consisten en la introducción de tubos de acero o plástico de 5 a 7 centímetros de diámetro, perforados lateralmente, a través de los taludes, con pendientes de 5 a 20 por ciento.

Los métodos, generalmente usados para remover el agua subterránea, son los subdrenajes o drenajes franceses, o capas de drenajes (colchón filtrador), desagües de roca y, en algunos casos, el uso de galerías horizontales de drenaje, así como los túneles perforados detrás del talud. Los drenajes transversales de penetración (subdrenajes horizontales), son más comunes

para la estabilización de taludes.

El agua es lo que típicamente ocasiona los problemas de un terreno, debilita los suelos, particularmente si la arcilla es rica en limo, y provoca problemas de estabilidad de taludes, presiones aumentadas de poro, que puede ocasionar erosión local.

2.2.10. Tipos y usos de muros de contención

Las estructuras de contención (o retención) se utilizan en las diferentes aplicaciones en la construcción y protección de taludes, que incluyen la estabilización de pendientes. Su aplicación principal consiste en resolver las limitaciones de espacio, donde se necesita un muro para apoyar el talud en las partes, cuando el terreno tiene una inclinación muy pronunciada.

También se utiliza para reconstruir caminos donde ha habido una falla de relleno, para evitar cortes de laderas en zonas de deslizamientos.

Los muros de contención son estructuras relativamente caras, de tal forma que se deberían de buscar otras opciones, como la reubicación de los taludes que se quiere proteger; sin embargo, los muros de contención ofrecen la mejor solución para apoyar una ladera. Su uso puede evitar los problemas de estabilidad de taludes, la necesidad de los taludes de relleno largos (que pueden erosionar o ser inestables), y mantener el pie del relleno fuera de los drenajes, los cuales pueden tener impactos ambientales adversos.

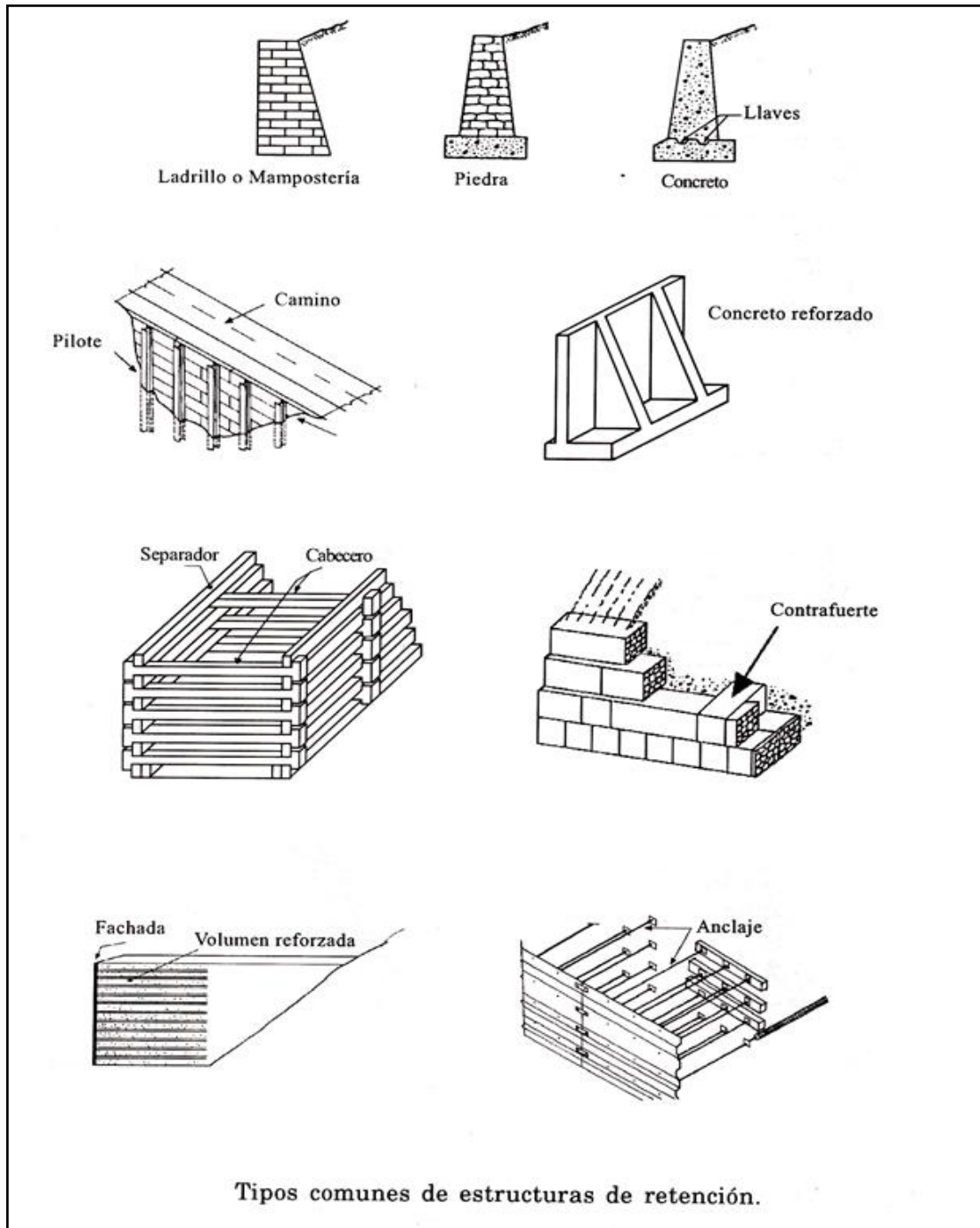
Existen varios tipos básicos de estructuras de contención, con una variedad de las opciones de muro dentro de cada tipo (ver figura 3).

Los tipos fundamentales son las estructuras de contención de gravedad, donde la masa de la estructura resiste deslizamiento y volcamiento, en los sistemas de tierra reforzada donde se refuerza el relleno con material, tales como: alambre soldado, georejilla o geotextiles, para formar una unidad sólida que forma el muro y tipos especiales como empalizado o pilote y paredes ancladas, que se usan en aplicaciones difíciles, tal como un techo recoso muy empinado para evitar la excavación.

Las estructuras de gravedad más comunes son las de concreto reforzado, muros encribados, gaviones, mampostería, muros secos, construidos de roca y piedras largas. El tamaño de la estructura depende de la altura del muro, de acuerdo con el sitio y que provea la elevación recomendada, y cumpla con las condiciones de carga del muro y los cimientos. En el caso de las estructuras de gravedad, la anchura de la base es aproximadamente 60 a 70 por ciento de la altura para ser estable. La estructura debería ser acunada en el talud o el suelo, de modo que el pie del muro se entierre, por lo menos 0,5 metros en material nativo (no relleno).

Los cimientos de las estructuras son muy importantes para evitar fallas, ya que la causa más importante de la falla de un muro de contención son los cimientos mal elaborados, el suelo donde se coloca el muro debe ser suelo macizo, que no esté sujeto a deslizamiento, también la mayoría de los diseños de muros presumen que el sitio y el material de relleno se desagüe.

Figura 3. Tipos básicos de estructuras de contención

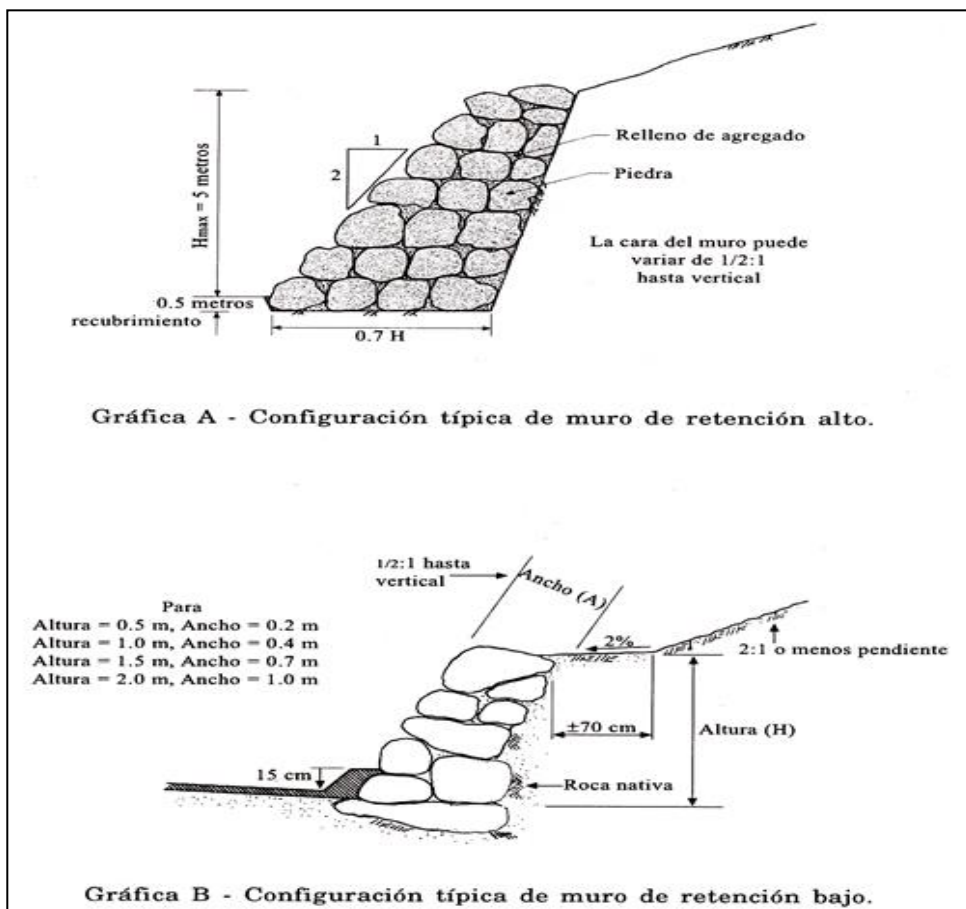


Fuente: KELLER, Gabriell. *Mecánica de suelos*. p. 335.

2.2.11. Diseño de estructuras de gravedad

La figura 4 muestra el esquema típico de muros de roca y algo de la geometría básica de instalación; se han construido muros de roca hasta los 8 metros de alto, diseñado con el uso de la mampostería y contrafuertes. La gráfica A de la figura 4, muestra un típico diseño de un paredón de 5 metros de alto para una estructura de contención, mientras la gráfica B muestra un paredón de roca estrecho bajo diseñado, con una fachada para un talud de hasta 2 metros de alto.

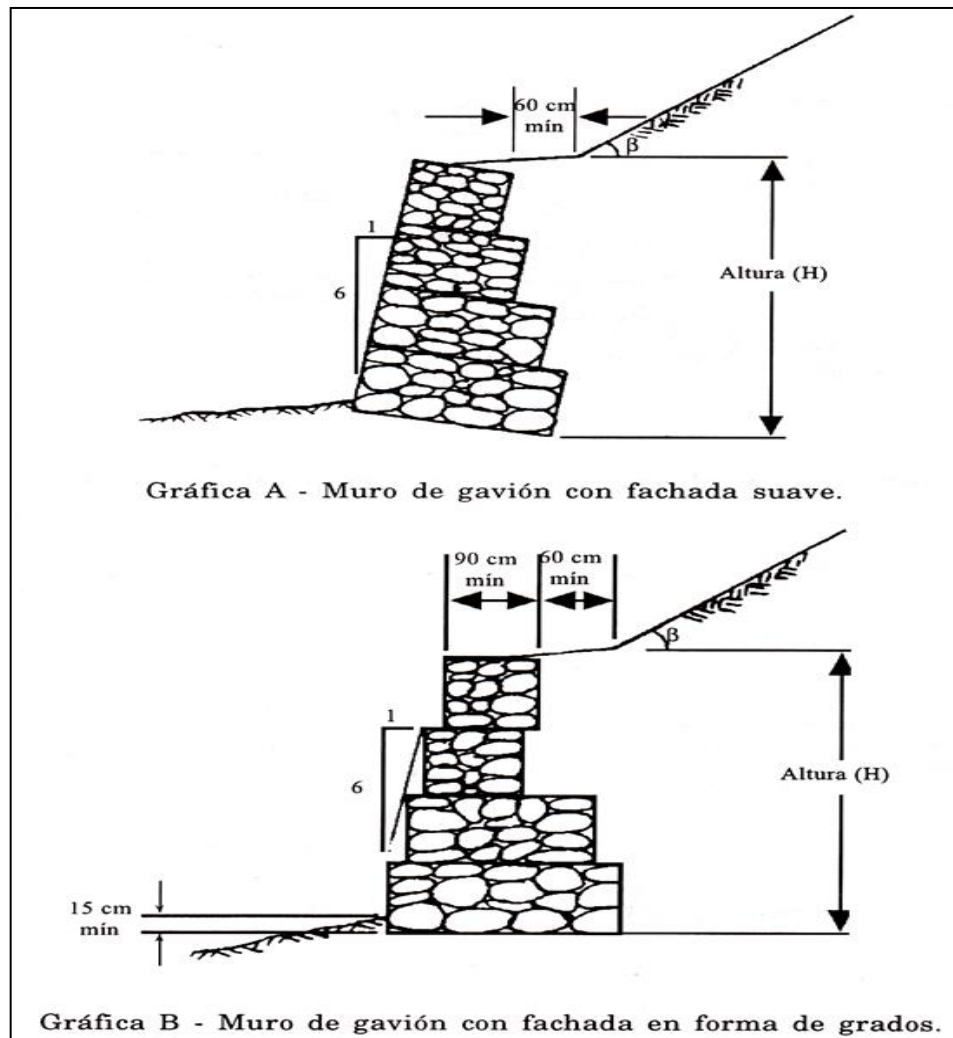
Figura 4. Esquema típico de muros de roca



Fuente: KELLER, Gabriell. *Mecánica de suelos*. p. 335.

La figura 5 muestra algunas de las configuraciones básicas de gaviones que son utilizados como estructuras de contención, los gaviones se usan generalmente para muros de contención hasta una altura de 6 metros con una cara de pared 1:6 (H:V). El uso de una cara de muro suave o escalonado depende de la preferencia personal con un arreglo de ajuste al sitio, el diseño estructural de ambas configuraciones es similar.

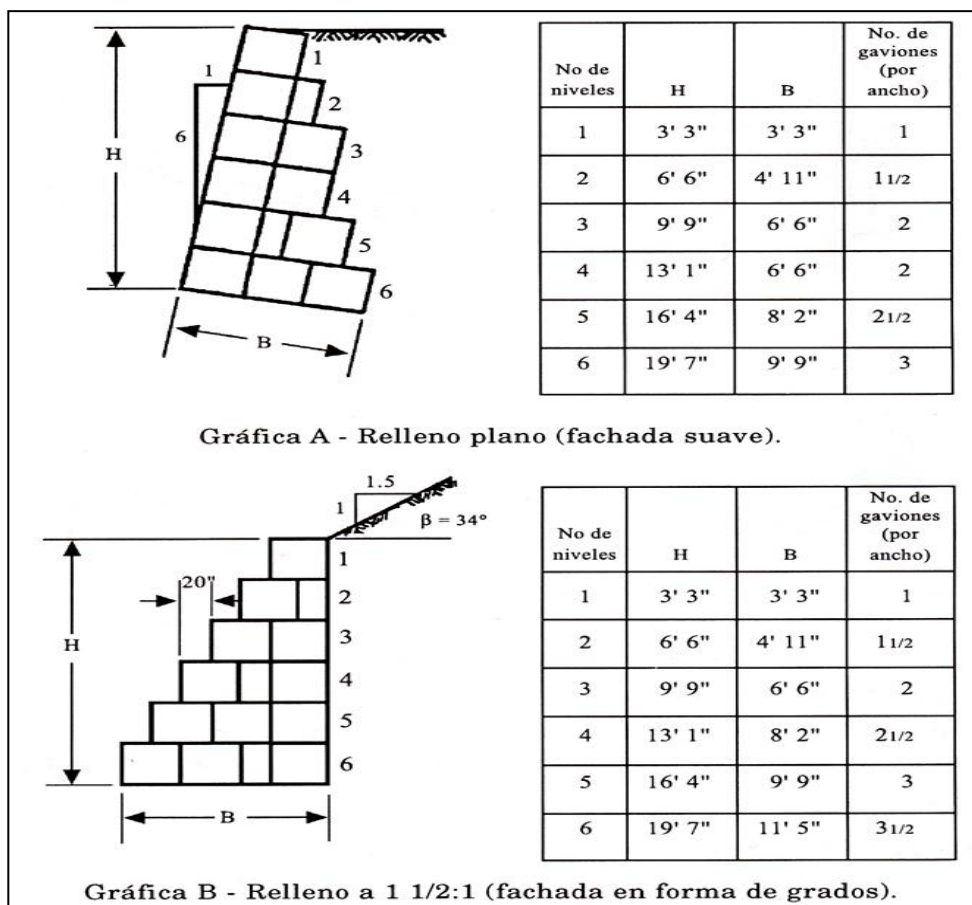
Figura 5. **Muro de gaviones con diferentes arreglos de canastas**



Fuente: <http://civildocs.blogspot.com/2011/06/muros-de-contencion.html>. Consulta: 03 de marzo de 2014.

Las tablas de diseño presentado en la figura 6 muestran el número y dimensiones de las canastas necesitadas para cada incremento de altura de las condiciones de carga de un relleno a nivel, y uno con una inclinación de 1½:1 detrás del muro. Los materiales de relleno son arenas gruesas limosas o gravas arenosas, con un peso unitario presumido de 110 libras por pie cubico (1760 kilogramo por metro cúbico). El uso de material más fino o rico en arcilla necesita una anchura más amplia de base, determinada por un análisis.

Figura 6. **Tablas de diseño de las canastas para muros de gaviones**



Fuente: <http://civildocs.blogspot.com/2011/06/muros-de-contencion.html>. Consulta: 03 de marzo de 2014.

3. DESCRIPCIÓN DE TÉCNICAS COMUNES DE BIOINGENIERÍA

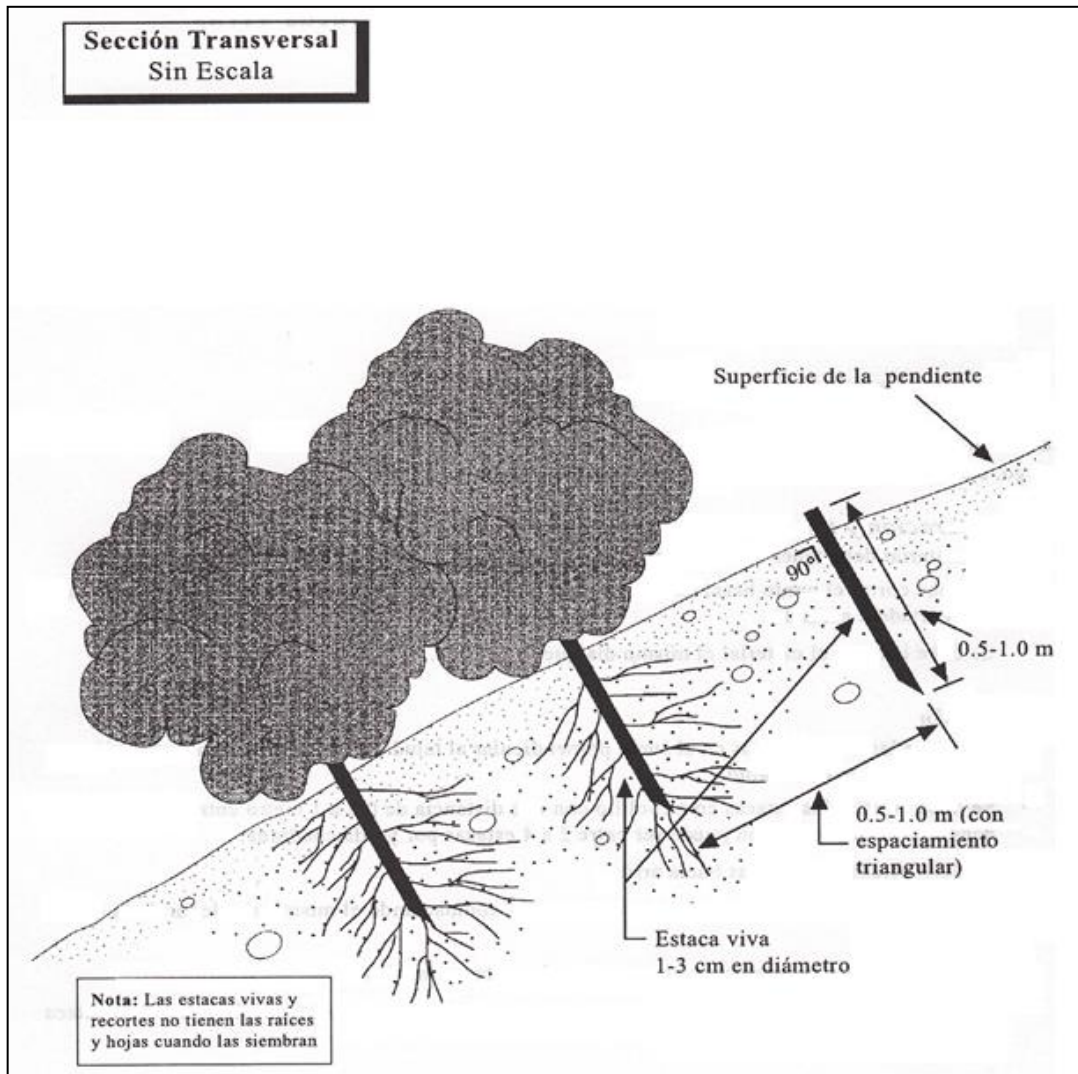
Se presenta una descripción breve de algunas técnicas de bioingeniería de suelos, un diagrama representativo de cada una de las técnicas, sus aplicaciones, eficacia y directivas de construcción.

3.1. Técnica de estacas vivas

Involucra la siembra y apisonamiento de trozos de tallos leñosos o semi-leñosos, para hacerlos arraigar y formar una planta nueva; un sistema o patrón de estacas puede crear una masa de raíces vivas que estabiliza el suelo, reforzándolo y fijando las partículas de suelo.

Esta técnica se puede utilizar en una variedad amplia de sitios no problemáticos, rápidamente y a un costo bajo. Puede usarse en cualquier área donde se desea tener o fortalecer una masa de raíces; también se utiliza para aumentar la población de plantas nativas para sujetar otro material de control de erosión o para llenar áreas, entre otras estructuras o medidas de control de erosión (ver figura 7).

Figura 7. **Técnicas de estacas vivas**



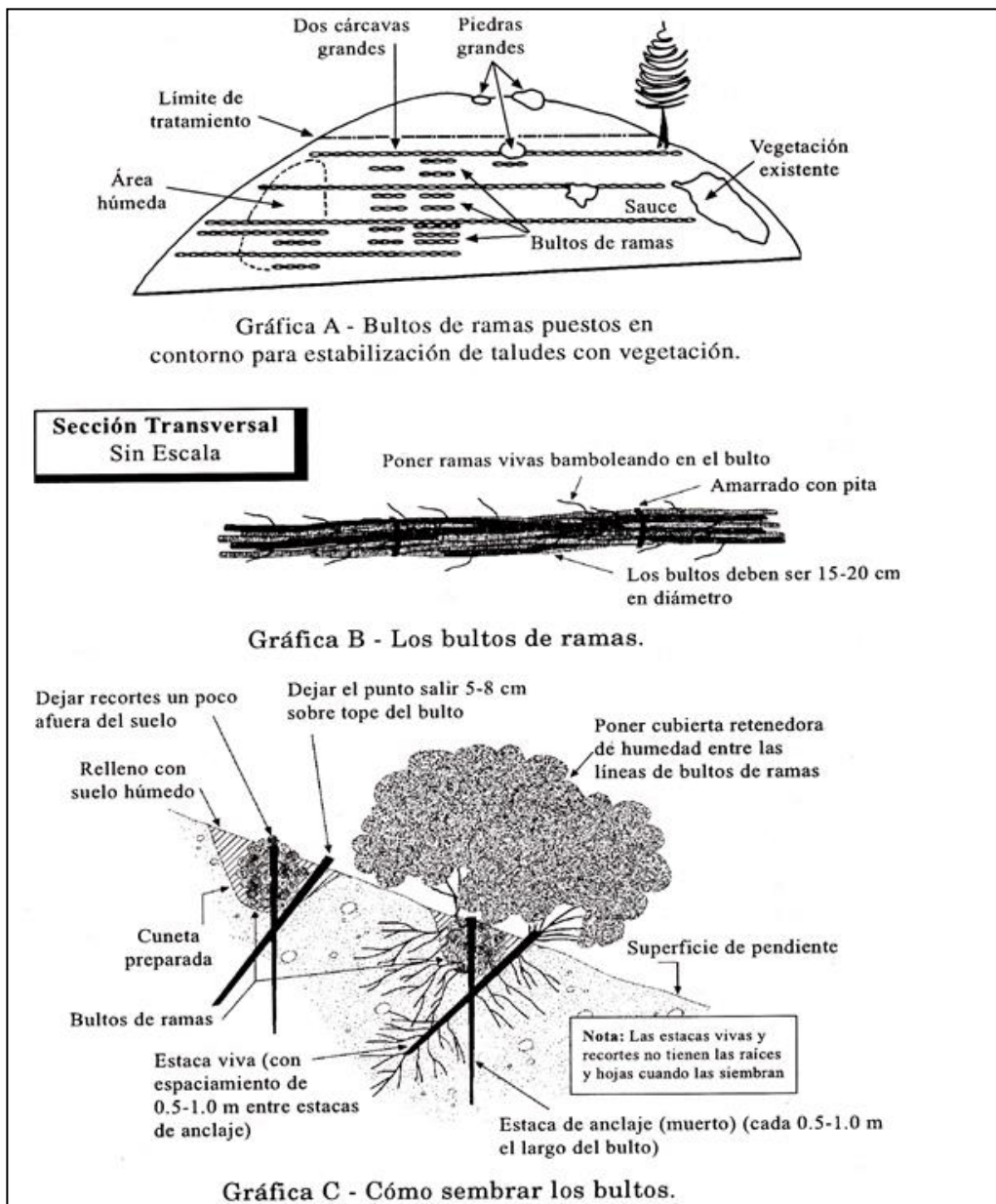
Fuente: <http://www.cimbre.com/foro/index.php?topic=270.0>. Consulta: 08 de abril de 2014.

3.2. **Técnica de bultos de ramas**

Son fajos largos de ramas cortas amarradas en forma de salchicha, que se entierran en zanjas someras a lo largo de un talud, sobre el contorno para

arraigar y estabilizar el mismo; esta técnica brinda una protección contra el fallo de corte 0,5 a 1 metro de profundidad, así como reduciendo la erosión superficial y de los canales (ver figura 8).

Figura 8. **Técnicas de bultos de ramas**



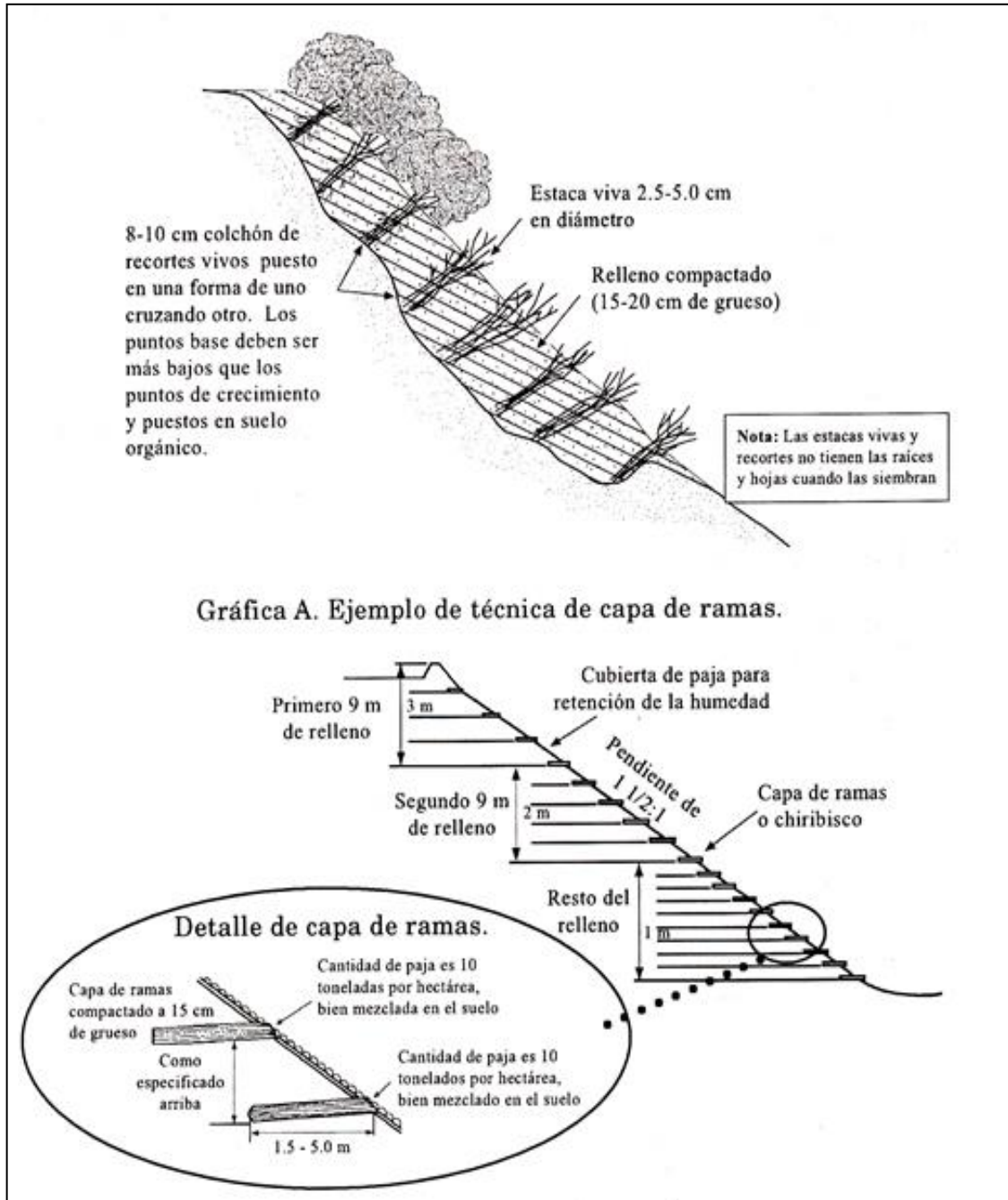
Fuente: <http://www.cimbres.com/foro/index.php?topic=270.0>. Consulta: 08 de abril de 2014.

3.3. Técnica de capas de ramas

Es una técnica parecida a bultos de ramas para la estabilización de taludes, sin embargo, en este caso se debe orientar las ramas perpendiculares al talud para lograr mejores resultados. Las capas de ramas ofrecen un refuerzo somero a lo largo del talud, que reduce la superficie sin protección, cuando está expuesta a la erosión.

Esta técnica puede ser utilizada conjuntamente con georejilla, para brindar estabilización somera y profunda en los taludes, aunque las ramas no estén arraigadas. Ofrecen un refuerzo y control de erosión óptimo casi inmediato, después de la construcción (ver figura 9).

Figura 9. Técnicas de capas de ramas

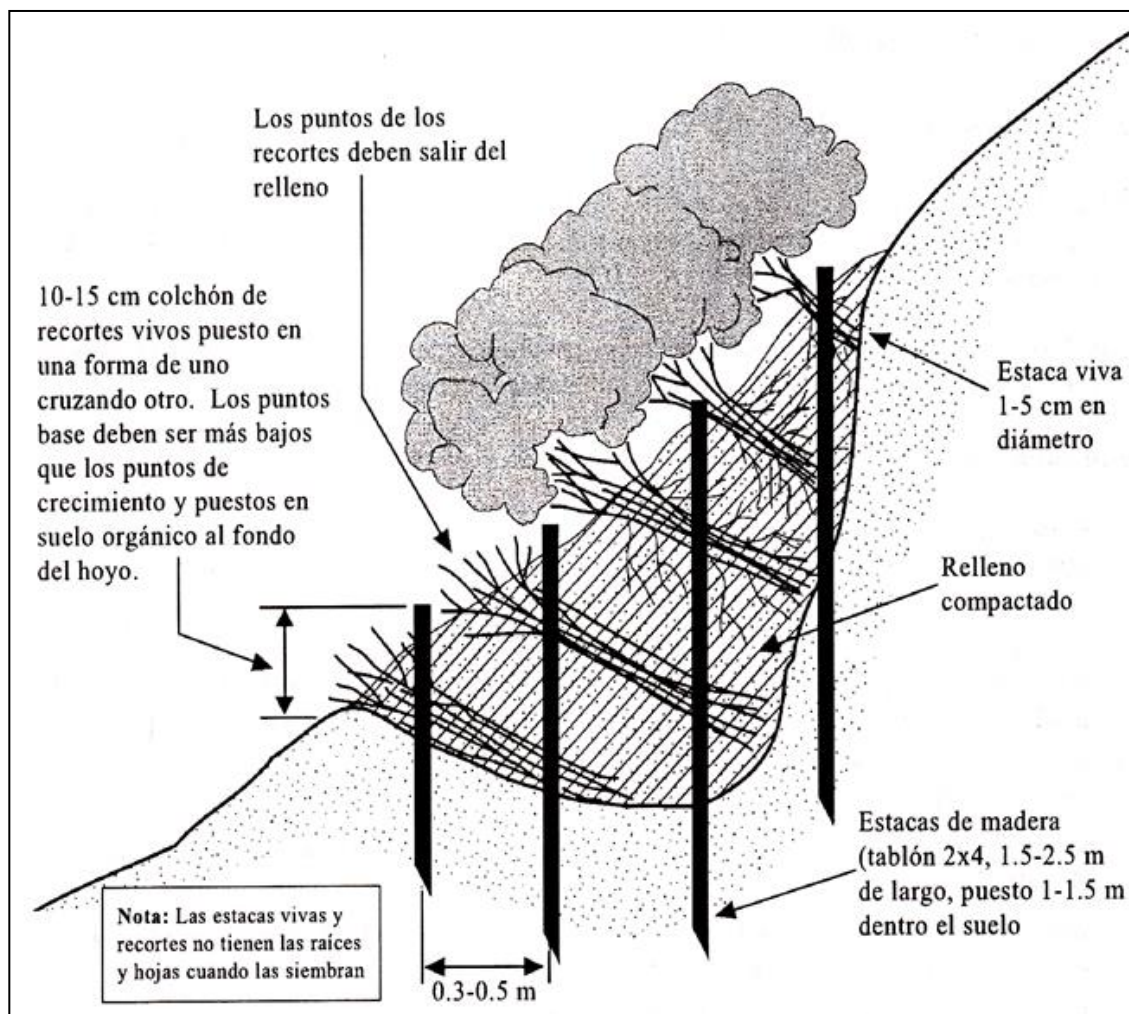


Fuente: <http://www.cimbre.com/foro/index.php?topic=270.0>. Consulta: 08 de abril de 2014.

3.4. Técnica de recorte de ramas

Consiste en alternar capas de recortes vivos con relleno compactos, para reparar pequeños asentamientos localizados y áreas desgastadas; es realizado en áreas localizadas y de una manera sistemática que los métodos anteriores (ver figura 10).

Figura 10. Técnica de recortes de ramas

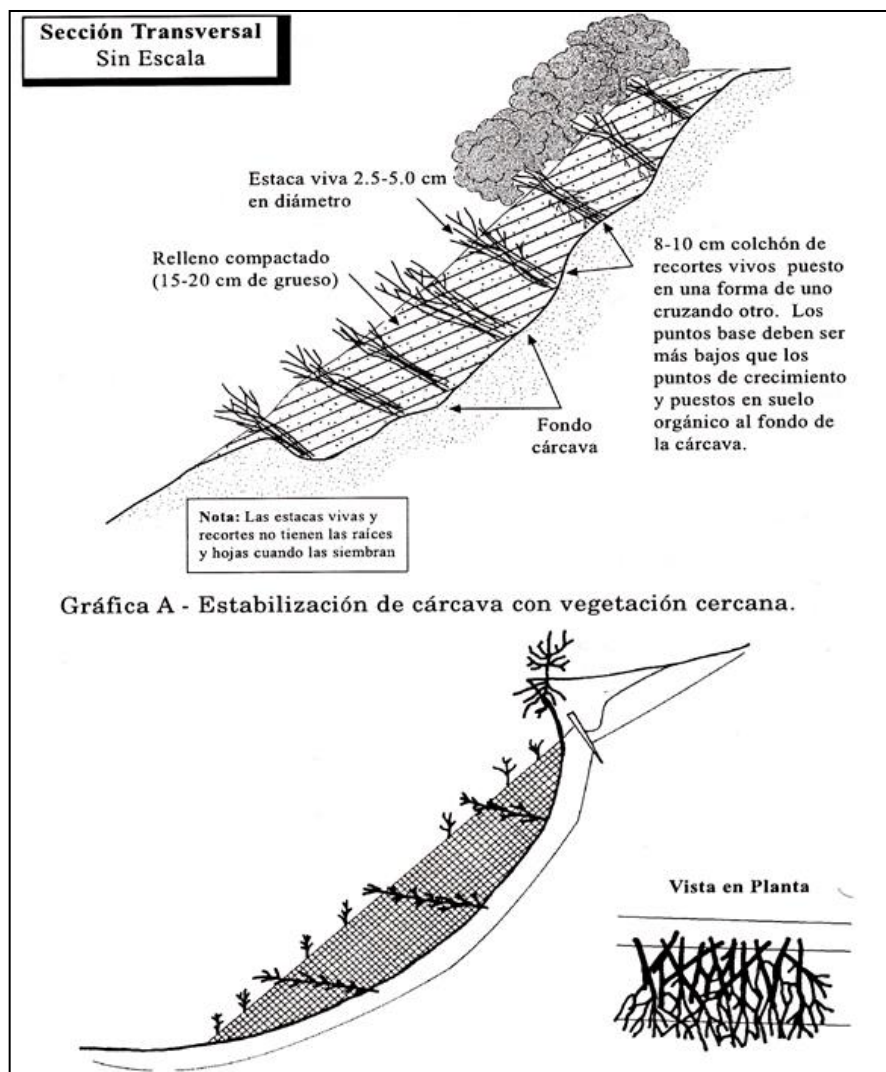


Fuente: <http://www.cimbre.com/foro/index.php?topic=270.0>. Consulta: 08 de abril de 2014.

3.5. Técnica de reparación de cárcava con vegetación

Consiste en alternar capas de los recortes vivos de ramas y suelo compactado, para reparar pequeñas cárcavas o canales; las cárcavas deben ser menos de un metro de ancho y relativamente cortas; se utiliza para reparación de formaciones lineales (ver figura 11).

Figura 11. Técnica de reparación de cárcava con vegetación

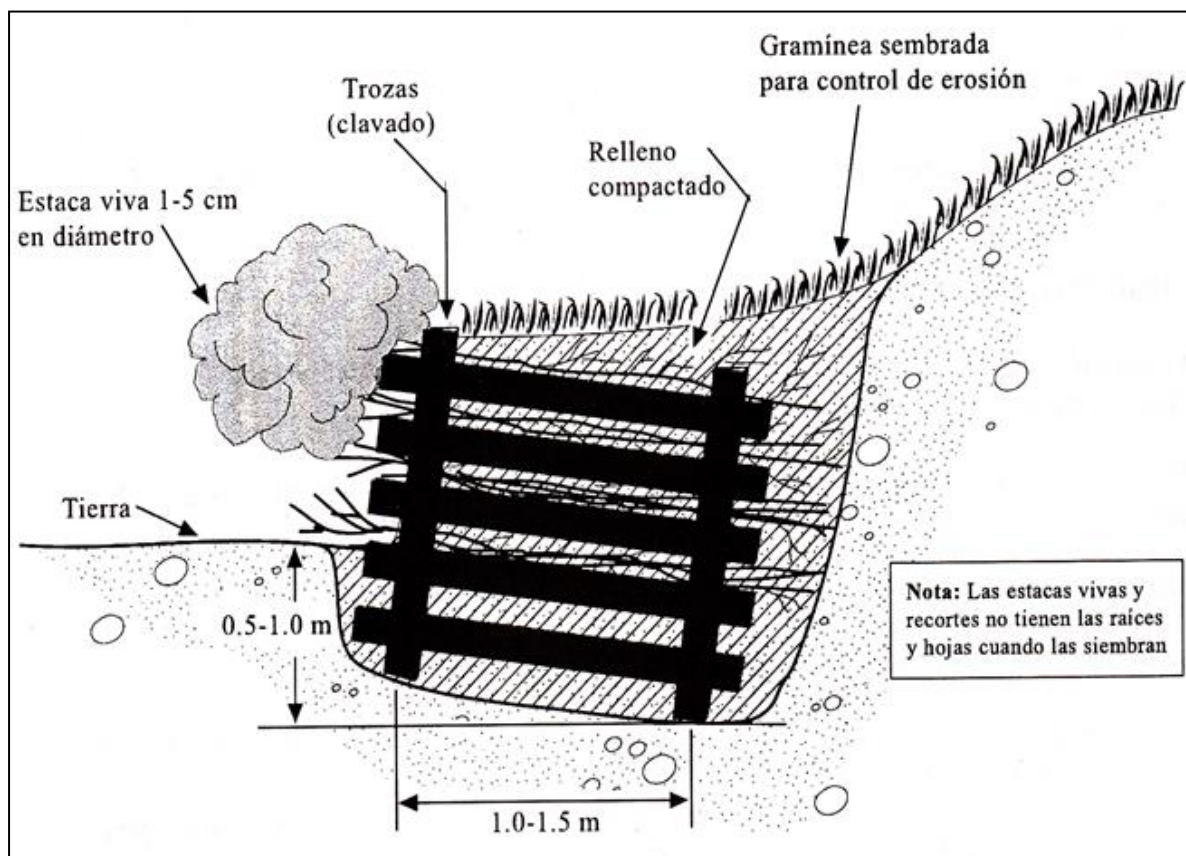


Fuente: <http://www.cimbres.com/foro/index.php?topic=270.0>. Consulta: 08 de abril de 2014.

3.6. Técnica de muro cribado

Consiste de una cavidad en forma de caja, hecha de trozos de madera sin tratamiento, que están entrelazados. La estructura se llena con material de relleno apropiado y capas de recortes vivos de ramas, que se arraigan adentro y detrás del muro cribado; una vez los recortes vivos se arraigan y se establecen, la vegetación con su sistema radicular gradualmente asume la función estructural de los trozos de madera (ver figura 12).

Figura 12. Técnica de muro cribado vivo

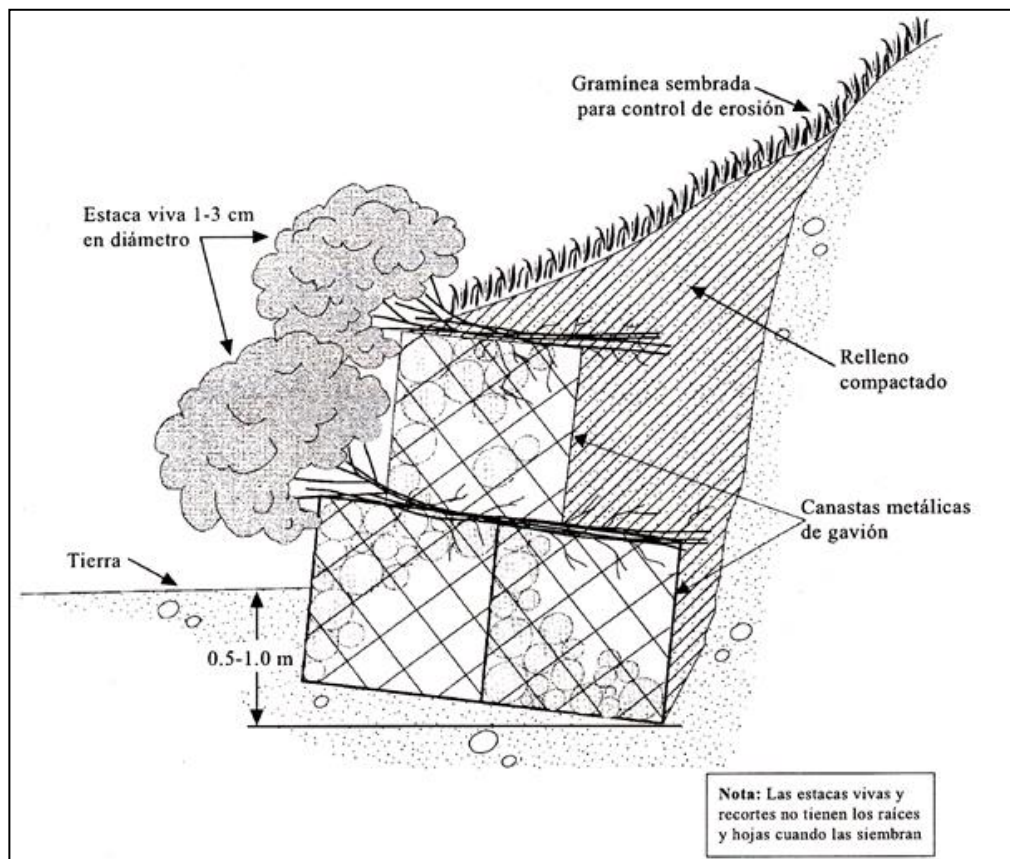


Fuente: <http://www.cimbre.com/foro/index.php?topic=270.0>. Consulta: 08 de abril de 2014.

3.7. Técnica de gaviones con vegetación

Son los recipientes rectangulares hechos de alambre de acero galvanizado. Se colocan los gaviones, se amarra uno al otro, se llenan de piedras y se asegura la tapadera con alambre de amarre, se colocan recortes vivos de ramas sobre cada una de las hileras de gaviones, entonces estas estacas o tallos comenzarán a arraigarse dentro de los gaviones y en el suelo que se encuentra detrás de las estructuras; esto sucederá con el tiempo mientras las ramas desarrollan y crecen, entonces sus raíces se anclarán en la estructura del talud (ver figura 13).

Figura 13. Técnica de gaviones con vegetación

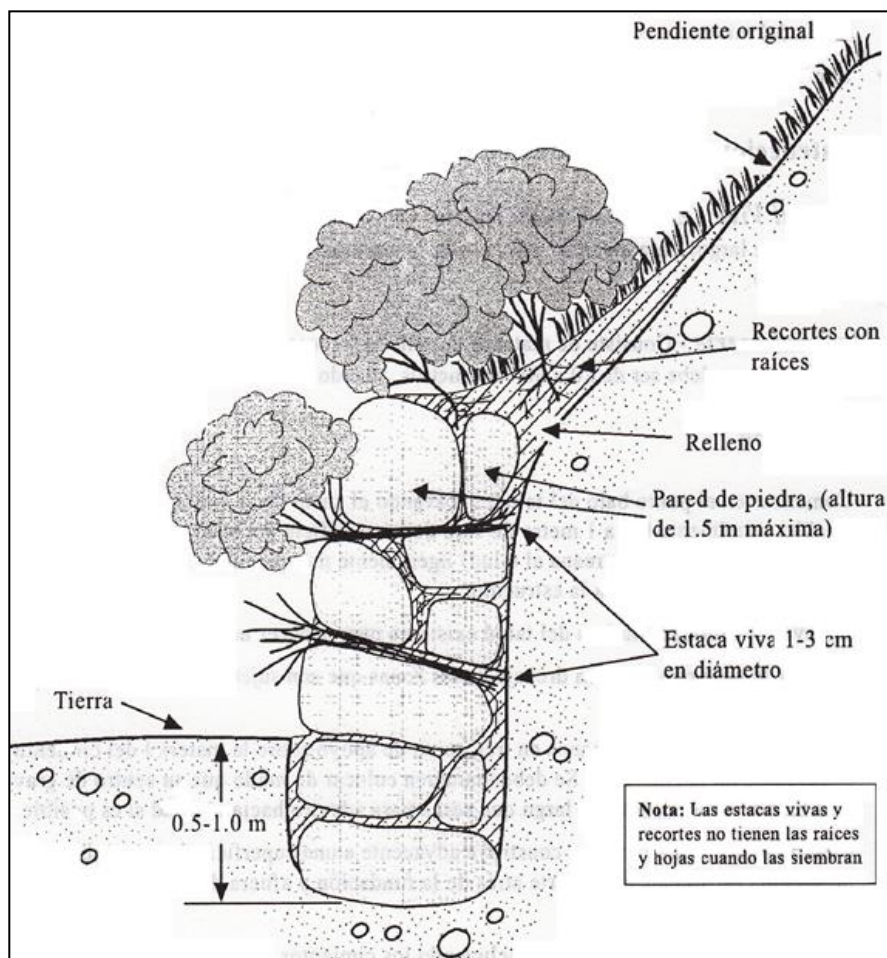


Fuente: <http://www.cimbre.com/foro/index.php?topic=270.0>. Consulta: 08 de abril de 2014.

3.8. Técnica de muros de roca con vegetación

Es el uso de recortes vivos de ramas para aumentar la capacidad de estabilización de estructuras de roca con paredes hasta una altura de 2 metros. Esta técnica en sí, no está diseñada para resistir cargas laterales grandes, sin embargo, puede ser utilizada con estructuras más grandes o alrededor de ellas, para proveer algún soporte adicional, siempre que el diseño básico de estas estructuras sea adecuado (ver figura 14).

Figura 14. Técnica de muro de roca con vegetación

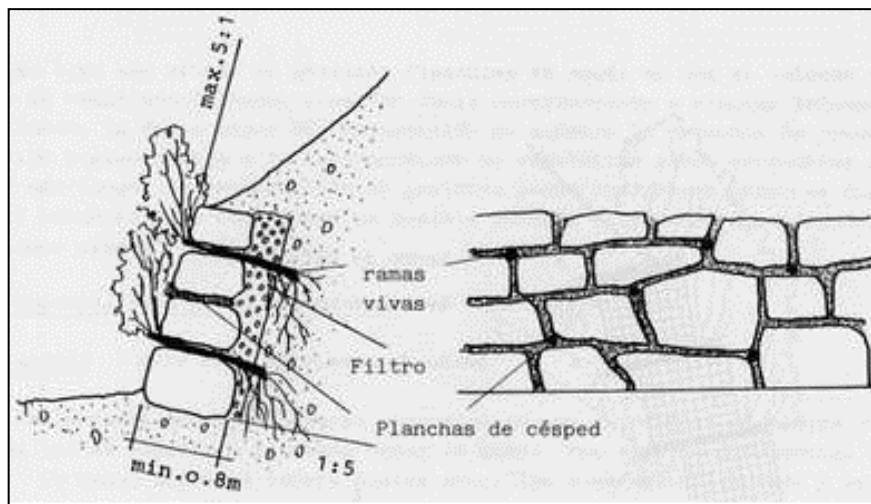


Fuente: <http://www.cimbre.com/foro/index.php?topic=270.0>. Consulta: 08 de abril de 2014.

3.9. Técnica de vegetación sembrada entre piedras

Se inserta la siembra en los espacios libres del zampeado en un talud con trozos de tallos leñosos, semileñosos y herbáceos, para hacerlos arraigar y formar nuevas plantas; los recortes vivos pueden ser apisonados en el lugar, al mismo tiempo que se aplique el zampeado (ver figura 15).

Figura 15. Técnica de vegetación sembrada entre piedras



Fuente: <http://www.fao.org/docrep/006/ad081s/images/m5748.jpg>. Consulta: 23 de abril de 2014.

4. CASO ESPECÍFICO DE ESTUDIO Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN

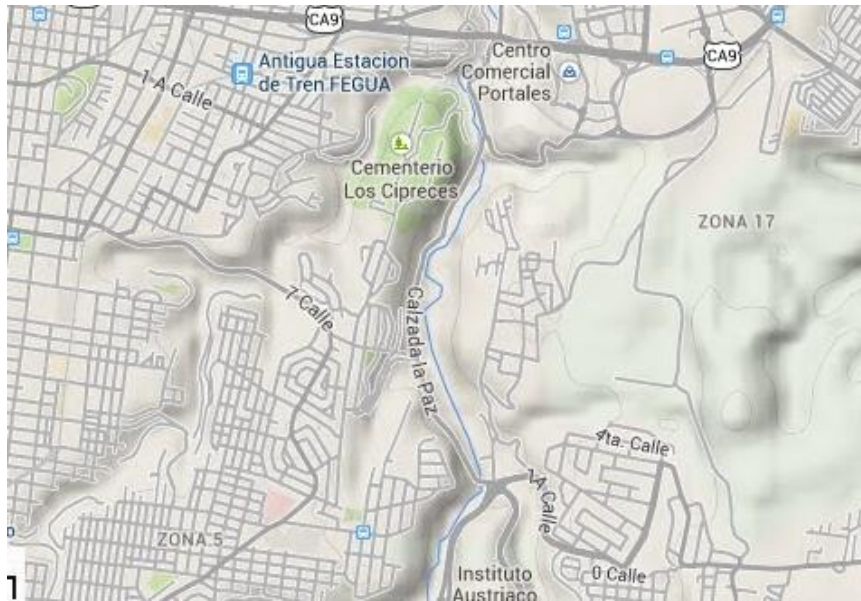
Se procedió a ubicar de diferentes maneras el área de estudio para ejemplificar un caso de aplicación de técnicas de estabilidad de taludes, para esto se visitó el talud ubicado entre la estación 11+400 y 11+800 en Calzada La Paz.

4.1. Ubicación y extensión del área

El área de estudio comprende, principalmente el sector de la Calzada la Paz, este es uno de los lugares típicos en donde se asientan las personas de escasos recursos debido a la falta de vivienda. El riesgo por deslizamiento en estos lugares es latente, por lo que se debe minimizar con medidas estructurales y métodos prácticos.

El área de estudio se localiza al noreste de la ciudad de Guatemala, con acceso directo a través de la bifurcación que existe entre la carretera que conduce a la aldea Santa Rosita y que pasa por el río Las Vacas, desde el punto de vista geográfico se encuentra ubicado a 1 465 metros sobre el nivel del mar (msnm). Con latitud $14^{\circ} 37' 30''$ y longitud $90^{\circ} 24' 07''$. En las figuras 16 a la 19 se muestra por medio de fotografías la localización y el talud en estudio a mejorar.

Figura 16. **Ubicación Calzada La Paz**



Fuente: Programa Google Maps. Consulta 03 de mayo de 2014.

Figura 17. **Calzada La Paz**



Fuente: Programa Google Earth. Consulta 03 de mayo de 2014.

Figura 18. **Ubicación del talud**



Fuente: Programa Google Earth. Consulta 03 de mayo de 2014.

Figura 19. **Talud vista elevación**



Fuente: Calzada La Paz.

4.1.1. Clima y vegetación

En este sector de la ciudad capital predomina el clima cálido seco con invierno benigno, según el INSIVUMEH, para el valle de Guatemala los datos climáticos reportados para la década 1980 a 1996, son de 1 112,3 milímetros (mm) de precipitaron pluvial, aproximadamente 124 días de lluvia, y una temperatura media de 24,3 grados centígrados (°C).

La época lluviosa del año tiene una duración de casi seis meses, lo que permite definir las estaciones seca y húmeda. Dentro del periodo de lluvias se puede distinguir la existencia de dos máximos, los que generalmente se presentan en junio, agosto y septiembre, este último se desfasa en ocasiones, entre septiembre y octubre.

La ausencia de vegetación es casi generalizada en la ciudad de Guatemala, debido a los efectos de la expansión demográfica. La tala de árboles es consecuencia de la necesidad de construcción de viviendas, lo cual se agudiza con la utilización de la leña, como uno de los principales energéticos de los habitantes del lugar. La construcción de asentamientos contribuye con la deforestación de las áreas que ocupan y zonas aledañas al mismo, lo cual incrementa más el riesgo de deslizamientos.

4.1.2. Marco tectónico

El marco tectónico del país se caracteriza por la intersección de tres placas tectónicas, cuyo movimiento relativo constituye el motor de los procesos geodinámicas (externos e internos), que repercuten en superficies.

Por otro lado, la interacción entre la placa del Caribe y la Norteamericana consiste en el desplazamiento transcurrente sinistral, lo cual está evidenciado por el gran sistema de fallas de Polochic-Motagua y la sismicidad característica de esta zona.

La falla del Motagua, que se ubica al norte de la ciudad, sirve de límite entre la placa Norteamérica y del Caribe.

La interacción de las tres placas tectónicas ha generado esfuerzo tensionales en la placa del Caribe, provocando sistemas de fallas normales de orientación norte-sur aproximadamente, y han desarrollado estructuras escalonadas del tipo Graben-Horst, entre los que está el valle de Guatemala, limitado al este y oeste por los sistemas de fallas de Pinula y Mixco.

4.2. Mantenimiento de taludes y laderas en la ciudad de Guatemala

El mantenimiento constituye un proceso básico para la correcta funcionalidad de estructuras de contención o simplemente laderas estabilizadas con otro tipo de métodos naturales o artificiales, esto mantiene las condiciones bajo las cuales el talud presenta estabilidad. Es importante un chequeo periódico de que las condiciones no han variado y puedan poner en peligro a personas con algún tipo de relación con el lugar.

Según información obtenida en dependencias municipales y gubernamentales (INSIVUMEH, CONRED, CAMINOS, COVIAL, entre otros) en la ciudad de Guatemala no existe un programa continuo de mantenimiento para la prevención de desastres ocasionados por deslizamientos en laderas dentro del perímetro del casco urbano, aun estando conscientes que, por las condiciones topográficas y geológicas representan un riesgo continuo, por

consiguiente no existen tampoco estos procedimientos para laderas construidas o conformadas durante procesos constructivos de índole vial (carreteras, viaductos, caminos, lotificaciones, entre otros), un mantenimiento adecuado que pueda garantizar que no se tendrán problemas de deslizamientos bajo condiciones críticas, especialmente durante el invierno, el cual cada año es más copioso y sigue ocasionando desastres, en muchas ocasiones totalmente previsibles, como cuando se ha tenido la presencia de tormentas tropicales o fuertes depresiones que han puesto al descubierto las carencias a nivel nacional en materia de mantenimiento. A pesar de todo, sí existen algunos datos de las zonas en riesgo susceptibles a desastres, pero sin ningún tipo de control.

4.3. Análisis del problema

La investigación de una ladera, talud o deslizamiento consiste en obtener toda la información posible sobre las características topográficas, geológicas, geotécnicas y ambientales que permitan realizar un diagnóstico de los problemas lo más preciso posible y un diseño efectivo de solución. Para el propósito de la investigación es necesario conocer cuáles son los factores que afectan la estabilidad y proponer medidas serias que brinden condiciones seguras y no únicamente soluciones temporales.

Para la propuesta de solución se procedió a tomar muestras de estratos de suelos, para determinar las características físicas del terreno y así poder dar la mejor solución.

Los ensayos realizados a los suelos recolectados en el área de estudio fueron efectuados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII), laboratorio de suelos de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos

de Guatemala. Estos ensayos fueron básicos para saber la caracterización de los mismos, y así poder identificar el tipo de suelo que se tiene en el área de estudio, y con esto poder dar una buena propuesta funcional y aplicable en los taludes de la Calzada la Paz, ciudad de Guatemala.

Realizado el ensayo de límites de Atterberg, siguiendo la Norma AASHTO T-89 y T-90 se obtuvo:

Tabla II. **Datos de laboratorio**

Ensayo No. 1	Muestra No.1	L.L. (%)	I.P. (%)	C.S.U.
1	1	NP	Np	ML

Fuente: elaboración propia.

Y analizando el suelo se obtuvo una arena limosa color beige.

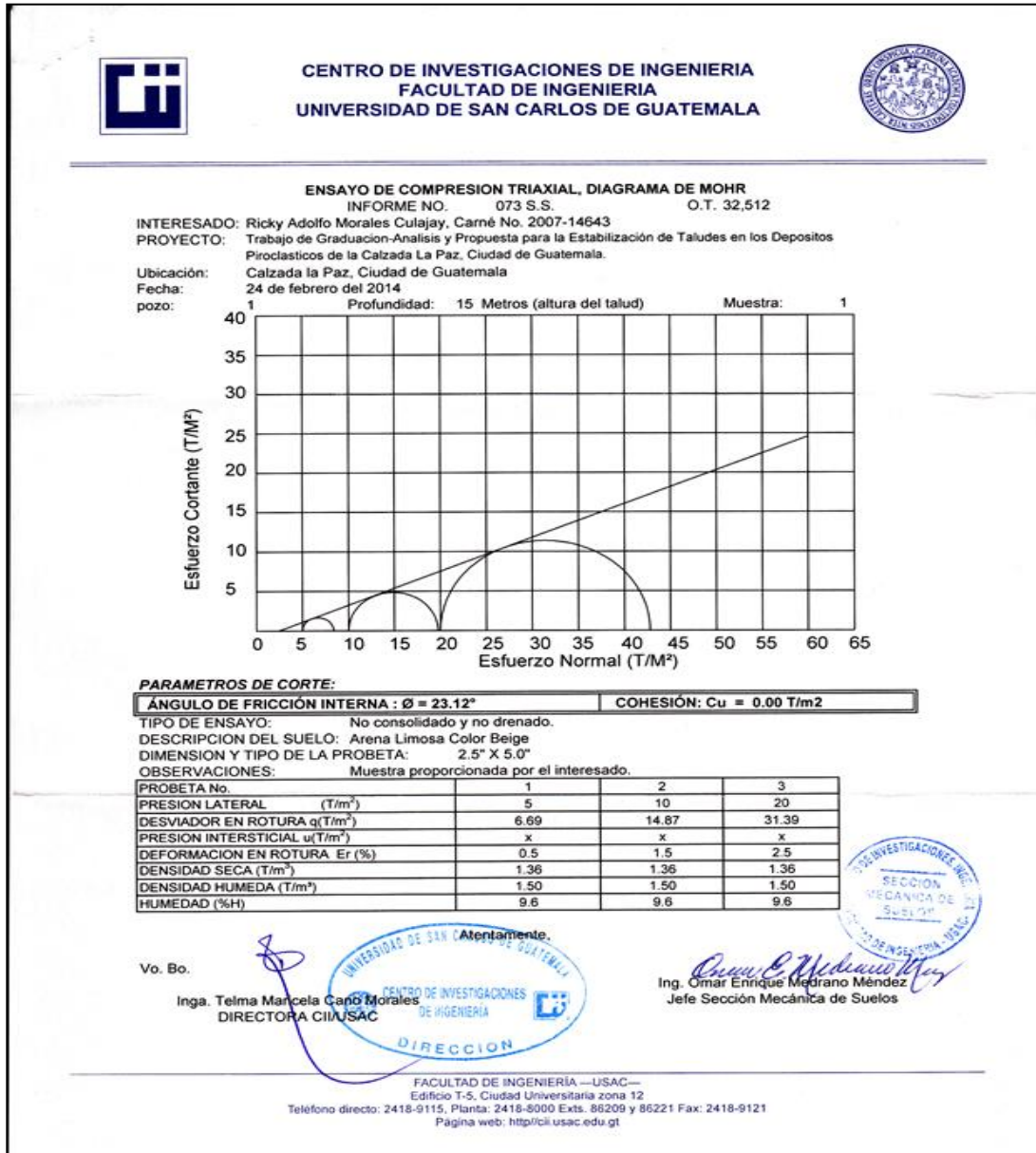
Del ensayo de granulometría, con tamices y lavado previo, siguiendo la Norma ASTM D6913-04 se obtuvo el porcentaje de grava: 23,82 D10: NA, porcentaje de arena: 62,47 D30: 0,2 mm, porcentaje de finos: 13,71 D60: 1,4 milímetros. Del ensayo de gravedad específica, siguiendo la Norma ASTM D 854-05 se obtuvo: muestra No.1 $G_{20}^{\circ C} = 2,10$.

Se realizaron los ensayos de:

- Ensayo de compresión triaxial, diagrama de Mohr
- Ensayo de gravedad específica
- Análisis granulométrico con tamices

- Ensayos de límites de Atterberg

Figura 20. Ensayo compresión triaxial



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 21. Ensayo de gravedad específica

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

INFORME No.: 072 S.S. O.T.: 32,512

INTERESADO: Ricky Adolfo Morales Culajay, Carné No. 2007-14643

PROYECTO: Trabajo de Graduación "Análisis y Propuesta para la estabilización de Taludes en los Depósitos Piroclásticos de la Calzada La Paz, Ciudad de Guatemala"

UBICACIÓN: Calzada la Paz, Ciudad de Guatemala

ASUNTO: ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

NORMA: ASTM D 854-05

FECHA: martes, 25 de febrero de 2014

RESULTADO DEL ENSAYO:

Muestra No.1 $G_{20^{\circ}\text{C}} = 2.10$

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Arena Limosa Color Beige

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo. 
Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC





Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos




FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 23. Ensayo límites de Atterberg



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



INFORME No. 070 S. S. O.T.: 32,512

Interesado: Ricky Adolfo Morales Culajay, Carné No. 2007-14643

Proyecto: Trabajo de Graduacion-Analisis y Propuesta para la Estabilización de Taludes en los Depositos Piroclasticos de la Calzada La Paz, Ciudad de Guatemala.

Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG

Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Ubicación: Calzada la Paz, Ciudad de Guatemala

FECHA: 24 de Febrero del 2014

RESULTADOS:

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	C.S.U. *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	1	NP	NP	ML	Arena Limosa Color Beige

(*) = CLASIFICACION SEGÚN CARTA DE PLASTICIDAD


Observaciones:

Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,


Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales.
DIRECTORA CII/USAC



Omar E. Medrano Méndez

Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos



FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

4.3.1. Opciones para resolver el problema de inestabilidad de taludes en el área

En el área de estudio se cuenta con diferentes tipos de taludes y pueden ser utilizados los métodos anteriormente mencionados, sin embargo, cada área tiene que ser analizada y determinar qué tipo de estabilización es la más recomendable. Se debe tomar en cuenta los siguientes factores: costo, tiempo, espacio libre para su realización y material disponible.

A manera de considerar la importancia de solucionar la problemática *versus* la situación económica, política y social de Guatemala se requiere presentar una evaluación de los métodos mencionados con anterioridad.

- **Muros de gravedad:** es un método aplicable en el que intervienen elevados costos para su ejecución, y su tiempo de ejecución es prolongado, por lo tanto no es recomendable, ya que las causas de deslizamientos no son por el soporte del suelo.
- **Corte:** es un método aceptable como solución al problema de deslizamiento que se tiene en el área estudiada, se debe de considerar factor tiempo y obstrucción y posibles interrupciones de un carril de la carretera.
- **Técnicas de bioingeniería:** la estabilización de taludes con vegetación o con métodos biotécnicos son muy recomendados en los proyectos de reparación de laderas o áreas ocupadas por su efectividad y bajo costo. Las ventajas del uso de estos métodos para estabilizar taludes son de bajo costo inicial, se requiere de mucha mano de obra local, que sea

visualmente agradable, utiliza sistemas naturales y biológicos y requiere menos mantenimiento a largo plazo.

- **Soil Nailing:** muy eficiente y aplicable, es un método de aplicación rápida pero de un costo muy elevado.

4.4. Propuestas de solución

El método de estabilización de taludes por medio de Soil Nailing es el más recomendable, este es un método moderno definido como estructura de retención de cortes de suelos, refuerza el suelo durante la excavación, perforando e instalando varillas corrugadas de acero, generalmente subhorizontales, que trabajan principalmente a tracción, pero también pueden tomar cargas de flexión y corte, para evitar desmoronamiento de suelo.

Para este método es usado concreto *in situ* o mallas diseñadas, el corte de excavación puede tomar cualquier geometría en general, ya sea inclinado, vertical o en terrazas y es posible la adaptación para recibir vegetación. Este refuerzo del terreno permite mejorar su resistencia al corte a lo largo de superficies potenciales de falla.

Las barras se colocan en unos sondeos perforados previamente y que luego se rellenan con una lechada o mortero de inyección. Posteriormente se ejecuta un parámetro vertical que impida la caída de tierra entre los puntos donde se sitúan las inclusiones.

Como ventajas de este método se pueden mencionar: que es versátil para adaptarse a la geometría del talud; la ejecución del método es muy rápida, ya que la construcción del muro anclado acompaña prácticamente la

excavación, no requiere obras de construcción previas a su instalación, la técnica es flexible y fácilmente modificable, se utilizan equipos portátiles para sitios de difícil acceso o poca área de plataformas.

El tramo carretero comprendido entre estacionamientos 11+400 y 11+800 presenta taludes con alturas variadas desde 8,00 metros hasta 19,00 metros aproximadamente. Estos taludes están compuestos en su zona superior de suelo arenoso con limo, material volcánico y pumítico. Estos estratos son susceptibles al intemperismo y erosión con el agua de lluvia, la cual degrada sus características geomecánicas tornándose inestables.

El objetivo de esta propuesta contempla la estabilización de las zonas de los taludes descubiertos y con propensión a deslizamientos, recubrimiento de las capas inferiores que actualmente presentan menor riesgo de inestabilidad y construcción de canaletas en la corona de los taludes con bajadas de agua hasta la carretera en las depresiones naturales.

Las zonas sujetas a estabilización mecánica serán aquellas donde se encuentren las capas de material arenoso con limos, así como las capas de pómez. La estabilización que se propone consistirá en la construcción de muros de suelo enclavado, tipo Soil Nailing, que contarán con inclusiones de longitudes variables de acuerdo a la altura e inclinación de los taludes.

Las zonas inferiores de los taludes presentan susceptibilidad de erosión por aire y agua, por lo que estas serán recubiertas con una capa de concreto lanzado tipo shotcrete. Esta capa de concreto evitará el avance de la intemperización del material, así como funcionará como barrera contra los agentes erosivos.

Los muros Soil Nailing tendrán como mínimo un espesor de 0,10 metros y su armado consistirá en mallas electrosoldadas de alta resistencia. Sus inclusiones serán barras de acero corrugado de 7/8 pulgadas de diámetro (varillas No. 7), grado 60. Todas las inclusiones serán perforadas perpendicularmente al talud y con una inclinación aproximada de 15 grados respecto a la horizontal. El diámetro de perforación será, de al menos 10 centímetros. Las barras serán debidamente centralizadas utilizando espaciadores plásticos, que evitarán el contacto de la varilla con el suelo. Adicionalmente las barras estarán unidas estructuralmente a la pantalla de concreto por medio de platinas de acero de 1/2 pulgadas de espesor. El espaciamiento máximo de las inclusiones será de 1,75 metros en el sentido horizontal y uniformemente distribuidas en el sentido vertical de acuerdo a las secciones reflejadas en los planos esquemáticos.

Las zonas que se recubrirán con una superficie de concreto tipo shotcrete, tendrán un espesor de al menos 0,07 metros. Debido a que esta capa no poseerá una función estructural, esta consistirá en concreto mezclado con fibras de acero que darán un mejor control al agrietamiento por el fraguado del concreto y cambios climáticos, formando una mejor barrera contra la intemperización de los materiales constituyentes del talud que aún poseen características geomecánicas satisfactorias.

Debido a que ambas soluciones que se proponen no son permeables, será necesaria la construcción de sistemas de drenajes para evitar presiones hidrostáticas sobre las pantallas, al mismo tiempo que se evita que el terreno pierda sus características geomecánicas a largo plazo. Dentro de la propuesta se debe incluir la construcción de drenes subhorizontales que deben ser de tubería de PVC de 2,5 pulgadas de diámetro, ranurados para la captación del agua y revestidos mediante tela geotextil para evitar la erosión de material fino

a través de ellos. Los drenes deben estar empotrados dentro del terreno a una profundidad de 9,00 metros y estar distribuidos en los taludes en una grilla de hasta 3 filas y con separaciones horizontales no mayor a 6,00 metros.

Este sistema de drenaje debe ser combinada con la construcción de cunetas en la corona de los taludes, a fin de captar el agua de lluvia, canalizarla y conducirla adecuadamente hasta las cunetas de la carretera y así evitar corrientes de agua erosivas y peligrosas para el tránsito vehicular.

CONCLUSIONES

1. Al realizar el trabajo de graduación sobre los diferentes métodos para el análisis de la estabilidad de taludes, se pudo comprobar que la ingeniería tiene como fin último el bienestar del ser humano, en consecuencia, es la calidad de vida el objetivo fundamental; el origen de las fallas en los taludes es la variación de condición que sufren las laderas anualmente, tuberías rotas, la ubicación de pozos de absorción los cuales producen infiltración creando presiones intersticiales.
2. En los taludes estudiados de la Calzada La Paz se observa cómo se han desestabilizado los mismos de muchas formas, construyen casas que no tienen cimientos adecuados y carecen de un sistema de drenaje apropiado; pues solo quieren espacios planos donde puedan construir viviendas sencillas y senderos precarios, esto contribuye a desestabilizar las capas superiores de la tierra, y entonces el agua de lluvia golpea las laderas con toda su fuerza.
3. En el talud ubicado entre la estación 11+400 y 11+800 en Calzada La Paz, se determinó que el método de Soil Nailing es el más adecuado para la estabilización del talud en estudio, siendo este el más práctico por tiempo y espacio para realizar el trabajo.

RECOMENDACIONES

1. Evitar la erosión, proporcionando buena cobertura vegetal al terreno en cortes, rellenos o cualquier área perturbada o expuesta.
2. Cuando se construya un talud, es necesario utilizar ángulos que sean estables para pendientes de corte o relleno.
3. Hacer que los estudios de impacto ambiental sean fundamentales en el proceso de uso de la tierra y no que sean un requisito por cumplir,
4. Es conveniente reducir al mínimo la alteración de patrones naturales de drenaje, así como proveer de drenajes superficiales necesarios y adecuados.
5. Conservar un análisis profesional, para poder aplicar la mejor solución que se ajuste al tipo de área y a las circunstancias que imperan en el mismo, así como evitar áreas problemáticas cuyos lugares o terrenos son inestables o húmedos.
6. Para reducir los riesgos se debe comenzar con un esfuerzo para frenar la deforestación y brindar mejores condiciones de vida a las personas que ocupan estas áreas.

BIBLIOGRAFÍA

1. CEAC. *Diccionario de la construcción*. España: ediciones CEAC, 1989. 435 p.
2. ESTRADA, José. *Inestabilidad de taludes en el valle de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1989. 112 p.
3. Instituto Geográfico Nacional. *Diccionario geográfico de Guatemala*. Guatemala 1983. 889 p. Tom IV.
4. JUARÉZ, Braudilio. *Mecánica de suelos*. 2ª ed. España: Limusa. 1994. 198 p. Tom II.
5. KELLER, Gabriell. *Manual de capacitación con énfasis sobre la planificación ambiental, drenajes, estabilización de taludes y control de erosión. Guatemala*. USAID, 1995. 258 p.
6. MORALES, Luis. *Análisis y propuestas para la estabilización de taludes en laderas ocupadas*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2001. 138 p.
7. PRADO, Augusto. *Principios básicos para la estabilización de taludes*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1971. 156 p.

