



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

**MEJORAMIENTO Y RECOMENDACIONES PARA
MANTENIMIENTO DE TALUDES CONSTRUIDOS EN DEPÓSITOS
PIROCLÁSTICOS, EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**

Manolo Edilberto Lemus Muralles

Asesorado por el Ing. José Roberto Baldizón Marroquín

Guatemala, septiembre de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MEJORAMIENTO Y RECOMENDACIONES PARA
MANTENIMIENTO DE TALUDES CONSTRUIDOS EN DEPÓSITOS
PIROCLÁSTICOS, EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

MANOLO EDILBERTO LEMUS MURALLES
ASESORADO POR EL ING. JOSÉ ROBERTO BALDIZÓN
MARROQUIN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos
EXAMINADOR	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
EXAMINADOR	Ing. Eric Rosales Torres
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**MEJORAMIENTO Y RECOMENDACIONES PARA
MANTENIMIENTO DE TALUDES CONSTRUIDOS EN DEPÓSITOS
PIROCLÁSTICOS, EN LA CIUDAD DE GUATEMALA,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, el 23 de abril de 2007.

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Manolo Edilberto Lemus Muralles', written in a cursive style.

Manolo Edilberto Lemus Muralles

AGRADECIMIENTOS A:

DIOS

Por darme la oportunidad de terminar mis estudios e iluminar mi camino durante toda mi vida.

MIS PADRES

Víctor Lemus y Mérida Muralles, por ser los guías que Dios puso en mi camino para llevarme por la ruta correcta.

MIS HERMANOS

Mildred, Ludwin y Yara, por ser parte importante en mi vida y la de mis padres.

MI ESPOSA

Heidy Jackeline Paz Lessing, por su apoyo incondicional y su comprensión.

MI HIJA

Adriana Victoria, por ser la bendición mas grande que Dios me ha dado y ser el estímulo en mi vida todos los días.

MIS ASESORES

Ingeniero José Roberto Baldizón Marroquín e Ingeniero Julio Franco Austin, que de no ser por ellos no hubiese podido terminar adecuadamente este trabajo.

MIS AMIGOS

Quienes han sido parte importante de mi vida en cada una de sus fases y que resultaría imposible mencionarlos a todos.

Muchas Gracias

Guatemala, 23 de mayo de 2,008.

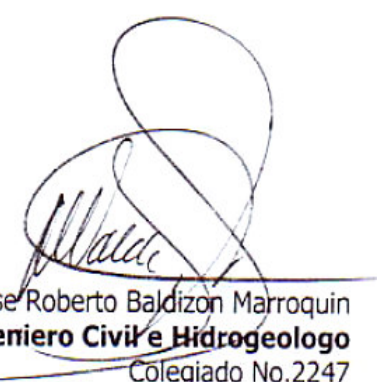
Ingeniero Francisco Javier Quiñónez de la Cruz
Coordinador Área de Materiales y Construcciones Civiles
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
Guatemala, Guatemala (1012)
Presente

Estimado Ingeniero:

Me da mucho gusto saludarles deseándoles éxitos en su gestión y a la vez hacer de su conocimiento que el Señor Manolo Edilberto Lemus Muralles, que se identifica con No. De Cedula A-1 938840, Carné Estudiantil No. 94-16308 de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, me ha presentado su informe final de su trabajo de Graduación con el tema titulado "MEJORAMIENTO Y RECOMENDACIONES PARA MANTENIMIENTO DE TALUDES CONSTRUIDOS EN DEPOSITOS PIROCLASTICOS EN LA CIUDAD DE GUATEMALA" bajo mi aprobación y entendimiento que el trabajo cumple las normas y reglamento de trabajos de graduación. Por tal razón doy mi visto bueno para la conclusión de dicho trabajo.

Sin más que agregar, me suscribo,

Atentamente,


Ing. Jose Roberto Baldizon Marroquin
Ingeniero Civil e Hidrogeologo
Colegiado No.2247

José Roberto Baldizón M.
INGENIERO CIVIL
COL. 2247

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Guatemala, 21 de agosto de 2 008

Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Samuels Milson.

Me dirijo a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación titulado **“Mejoramiento y recomendaciones para mantenimiento de taludes construidos en depósitos piroclásticos en la ciudad de Guatemala”**, elaborado por el estudiante universitario **Manolo Edilberto Lemus Muralles**, quien contó con la asesoría del Ingeniero José Roberto Baldizón Marroquín.

Considero que el trabajo desarrollado por el estudiante **Lemus Muralles**, satisface los requisitos exigidos, por lo cual recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención a la presente.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
Coordinador Área de Materiales y Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES

USAC

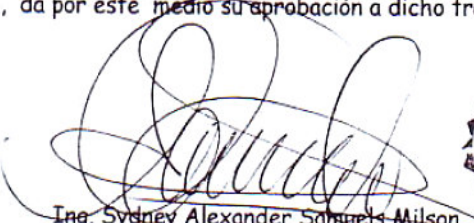
Cc archivo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. José Roberto Baldizón Marroquín y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz, al trabajo de graduación de la estudiante Manolo Edilberto Lemus Muralles, titulado MEJORAMIENTO Y RECOMENDACIONES PARA MANTENIMIENTO DE TALUDES CONSTRUIDOS EN DEPÓSITOS PIROCLÁSTICOS EN LA CIUDAD DE GUATEMALA, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Sydney Alexander Samuels Milson



Guatemala, septiembre 2008.

/bbdeb.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. MÉTODOS DE ANÁLISIS Y PRINCIPALES SISTEMAS USADOS EN LA ACTUALIDAD, PARA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES.....	1
1.1. Métodos empleados para análisis de estabilidad de taludes.....	1
1.1.1. Método de tablas.....	2
1.1.2. Método del talud infinito.....	3
1.1.3. Método del bloque deslizando.....	3
1.1.4. Método ordinario o de Fellenius.....	3
1.1.5. Método de Bishop.....	4
1.1.6. Método de Janbú.....	4
1.1.7. Método sueco modificado.....	5
1.1.8. Método de Lowe y Karafiath.....	5
1.1.9. Método de Spencer.....	5
1.1.10. Método de Morgenstern y Price.....	5
1.1.11. Método de Sarma.....	6
1.2. Métodos de anclaje comúnmente utilizados para la protección de taludes y sus parámetros básicos de diseños.....	6
1.2.1. Muros de contención rígidos.....	6
1.2.1.1. Concreto armado.....	8
1.2.1.1.1. Muros empotrados en forma de L o T, invertida.....	8

1.2.1.1.2. Muros con contrafuertes.....	8
1.2.1.1.3. Muros con estribos.....	8
1.2.1.2. Concreto sin refuerzo.....	11
1.2.1.3. Concreto ciclópeo.....	12
1.2.2. Muros flexibles.....	13
1.2.2.1. Muros de gaviones.....	14
1.2.2.2. Muros en criba.....	17
1.2.2.3. Muros de piedra.....	20
1.2.2.4. Muros de llantas.....	21
1.2.2.5. Tierra reforzada.....	23
1.2.2.6. Estructuras ancladas.....	27
1.2.2.6.1. Anclajes y pernos individuales.....	27
1.2.2.6.1.1. Sistema constructivo.....	28
1.2.2.6.1.2. Tendones y varillas.....	31
1.2.2.6.1.3. Bulbo de anclaje.....	31
1.2.2.6.1.4. Perforación.....	32
1.2.2.6.1.5. Inyección.....	32
1.2.2.6.1.6. Tensionado.....	34
1.2.2.6.1.7. Concreto lanzado.....	34
1.2.2.6.2. Muros anclados.....	36
1.2.2.6.3. Nailing o Micropilotes.....	36
1.2.2.7. Estructuras enterradas.....	37
1.2.2.7.1. Tablaestaca.....	37
1.2.2.7.2. Pilotes.....	39
1.2.2.7.3. Pilas o caissons.....	39

2. SITUACIÓN GENERAL DEL PROBLEMA: ASPECTOS GENERALES, MANTENIMIENTO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS, UBICADAS EN LADERAS, EN LA CIUDAD DE GUATEMALA.....	41
2.1. Aspectos generales de deslizamientos.....	41
2.1.1. Causas de los deslizamientos.....	41
2.1.1.1. Incremento en el esfuerzo de corte.....	41
2.1.1.2. Reducción de la resistencia del material.....	42
2.1.2. Impacto de los deslizamientos.....	42
2.1.3. Perdidas económicas debidas a los deslizamientos.....	42
2.1.3.1. Costos directos.....	43
2.1.3.2. Costos indirectos.....	43
2.2. Vulnerabilidad.....	43
2.2.1. Características para identificación de deslizamientos.....	45
2.3. Parámetros existentes para conformación y construcción de taludes, en la ciudad de Guatemala.....	46
2.4. Mantenimiento de taludes y laderas en la ciudad de Guatemala.....	48
2.5. Análisis del problema.....	49
3. PROPUESTAS GENERALES Y TÉCNICAS PARA EVITAR DESASTRES POR DESLIZAMIENTOS EN TALUDES Y LADERAS.....	51
3.1. Prevención.....	52
3.1.1. Restricciones al desarrollo de áreas de riesgo.....	54
3.1.1.1. Políticas de disuasión.....	55
3.1.1.1.1. Programas de información pública.....	55
3.1.1.1.2. Manejo de escrituras o certificados de propiedad.....	55
3.1.1.1.3. Negación de los servicios públicos.....	55
3.1.1.1.4. Avisos públicos.....	55
3.1.1.1.5. Adquisición de propiedades por parte del estado.....	56
3.1.1.1.6. Negación de créditos.....	56

3.1.1.1.7. Costo de seguros.....	56
3.1.1.1.8. Impuestos.....	56
3.1.1.2. Regulaciones al uso de la tierra.....	56
3.1.1.3. Códigos técnicos para el manejo de taludes.....	57
3.1.1.4. Medidas de aviso y alarma.....	59
3.2. Medidas de Elusión de la amenaza.....	59
3.2.1. Construcción de variantes.....	61
3.2.2. Remoción total de la masa de los deslizamientos o los materiales inestables.....	61
3.2.3. Construcción de puentes.....	62
3.2.4. Modificación del nivel de la sub-rasante, cota del proyecto o alineamiento.....	62
3.3. Métodos de control de movimientos.....	63
3.3.1. Bermas en el talud.....	64
3.3.2. Trincheras.....	65
3.3.3. Barreras.....	66
3.3.4. Cubiertas de Protección.....	68
3.4. Mejoramiento de la resistencia del suelo.....	68
3.4.1. Inyecciones.....	68
3.4.2. Estabilización con cemento.....	70
3.4.3. Estabilización con cal.....	70
3.5. Recubrimiento de la superficie.....	71
3.5.1. Concreto lanzado.....	72
3.5.2. Recubrimiento con suelo cemento.....	72
3.5.3. Mampostería.....	73
3.5.4. Rip-rap.....	73
3.6 Modificación de la topografía.....	74
3.6.1. Abatimiento de la pendiente del talud.....	74
3.6.2. Remoción de materiales de la cabeza.....	75

3.6.3. Terrazas o bermas intermedias.....	75
3.6.3.1. Diseño de la geometría de las bermas.....	76
3.6.3.2. Diseños semi-empíricos.....	77
3.6.3.2.1. Criterios generales para el diseño de bermas y pendientes.....	78
3.6.3.2.2. Control de agua superficial y subterránea.....	79
4. MÉTODOS COMPLEMENTARIOS Y CONTROLES ESPECIALES RECOMENDABLES PARA EL ADECUADO MANTENIMIENTO Y MEJORAMIENTO DE TALUDES Y LADERAS.....	81
4.1. Vegetación.....	81
4.1.1. Beneficios de la vegetación en taludes.....	81
4.1.2. La deforestación y sus efectos en la estabilidad de taludes.....	82
4.1.3. Factores que determinan el desarrollo de las raíces.....	82
4.1.4. Efectos de la vegetación en la estabilidad de taludes.....	83
4.2. Bioingeniería.....	86
4.2.1. Siembra y establecimiento.....	87
4.2.2. Estacas vivas.....	89
4.2.3. Limitaciones de la protección vegetal.....	90
4.2.4. Selección de especies vegetales.....	91
4.2.5. Fajinas vivas.....	91
4.2.6. Estructuras y revestimientos artificiales con vegetación.....	93
4.2.7. Efectos negativos de la estabilidad de taludes.....	94
4.3. Control de aguas superficiales y subterráneas.....	94
4.3.1. Sistema de control de aguas.....	95
4.3.1.1. Drenaje superficial.....	96
4.3.1.1.1. Canales o zanjas de corona.....	97
4.3.1.1.2. Canales colectores en espina de pescado.....	99
4.3.1.1.3. Canales interceptores a mitad del talud.....	100

4.3.1.1.4. Diseño de zanjas de corona o canas de drenaje.....	101
4.3.1.1.5. Canales colectores y disipadores.....	101
4.3.1.2. Drenaje subterráneo.....	102
4.3.1.2.1. Cortinas subterráneas impermeables.....	103
4.3.1.2.2. Sub-drenajes interceptores.....	103
4.3.1.2.3. Material de filtro.....	105
4.3.1.2.3.1. Material granular filtrante.....	105
4.3.1.2.3.2. Filtros de geotextil.....	105
4.3.1.3. Sub-drenajes totalmente sintéticos.....	106
4.3.1.4. Sub-drenaje de estructuras de contención.....	107

5. PLAN DE PREVENCIÓN Y PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO PARA TALUDES, LADERAS Y CONSTRUCCIONES ADYACENTES.....109

5.1. Parámetros básicos para determinar taludes y laderas en riesgo, que deberán ser analizados como parte de un plan de mantenimiento.....	110
5.2. Mantenimiento aconsejable para taludes y laderas en riesgo	115
5.2.1. Mantenimiento preventivo.....	115
5.2.2. Mantenimiento reactivo.....	116
5.3. Clasificación de los taludes o laderas con base a la susceptibilidad de un deslizamiento.....	117
5.4. Determinación de riesgo aceptable.....	118

CONCLUSIONES.....	121
RECOMENDACIONES.....	125
REFERENCIAS.....	129
BIBLIOGRAFÍAS.....	131

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Muros de contención rígidos.....	7
2	Muros de contención en concreto armado.....	9
3	Variaciones en la construcción de muros de concreto.....	10
4	Muros de concreto sin refuerzo.....	12
5	Muros flexibles.....	14
6	Esquema de un muro de gaviones.....	16
7	Detalle típico de gaviones comerciales en Guatemala.....	17
8	Esquema general de los muros criba.....	19
9	Muros criba trabajados con diferentes materiales.....	19
10	Esquema de muros de piedra.....	20
11	Esquema de muros de llantas usadas.....	21
12	Muros con llantas, utilizando llantas con tirantes como elemento de anclaje.....	22
13	Esquema de estructuras de tierra reforzada.....	23
14	Muros de tierra reforzada.....	24
15	Esquema de una estructura de contención de suelo reforzado con geomalla.....	25
16	Muros de tierra reforzada con malla electrosoldada de acero galvanizado..	27
17	Muros de contención con anclajes.....	28
18	Anclajes con tendones de acero activos y pasivos.....	30
19	Equipo utilizado en el medio para realizar perforaciones y colocar anclajes.....	33
20	Taludes con recubrimiento de concreto lanzado.....	35

21	Esquema de estructuras ancladas.....	37
22	Muros tipo tablestaca.....	38
23	Esquema de estructuras enterradas.....	39
24	Características para identificar un deslizamiento en curso o potencial.....	45
25	Ejemplo de soluciones temporales sin ningún tipo de análisis por parte de las municipalidades que ejecutan.....	50
26	Áreas de la ciudad en riesgo utilizadas para construcción de vivienda.....	54
27	Requisitos y aislamiento para taludes y laderas empleados en otras ciudades.....	58
28	Bermas para detener derrumbes, caídas de roca o suelos.....	64
29	Trincheras para control de flujos, caídas y avalanchas.....	65
30	Barreras en roca para control de avalanchas utilizados en Europa.....	66
31	Barreras de tierra armada con geotextil para protección de deslizamientos.....	67
32	Sistema de barrera metálica con cables de acero para control de bloques de roca o suelo.....	67
33	Cubierta de protección contra flujos o avalanchas.....	68
34	Recubrimiento de taludes.....	74
35	Estabilización por conformación de taludes y bermas.....	76
36	Cortes en taludes con juntas semiparalelas a la topografía del terreno.....	77
37	Taludes recubiertos de vegetación en condiciones naturales.....	84
38	Talud recubierto con vegetación de manera deficiente.....	85
39	Tipos de raíz.....	86
40	Arreglo de árboles en el talud.....	88
41	Estacas vivas.....	89
42	Fajinas vivas.....	92
43	Relleno de una cárcava utilizando estacas vivas y fajinas.....	93
44	Manejo de agua en taludes, laderas y estructuras de contención.....	95

45	Detalle de zanjas de coronación para el control de aguas superficiales en un talud.....	98
46	Esquema en planta de canales colectores, espina de pescado.....	99
47	Esquema de entrega de canales interceptores a la mitad del talud.....	100
48	Canal de entrega con gradas de disipación.....	102
49	Sistema de drenajes de zanja.....	104
50	Diagrama de sub-drenajes 100% sintéticos.....	107
51	Sub-drenajes de muros de contención	108
52	Indicios de deslizamientos que debiesen ser detectados, mediante el monitoreo sugerido en la ciudad de Guatemala.....	113

TABLAS

I	Métodos de prevención de la amenaza de riesgo.....	52
II	Métodos de elusión de amenazas de deslizamientos.....	59
III	Estructuras de control de masas en movimiento.....	63
IV	Métodos de recubrimiento de la superficie del talud.....	72
V	Espaciamiento recomendado para fajinas nuevas.....	92
VI	Formulario mínimo para efectuar evaluaciones en taludes y laderas...	112
VII	Clasificación de la susceptibilidad a los deslizamientos con base a la observación del terreno.....	117
VIII	Clasificación utilizada para análisis de pendientes.....	118

GLOSARIO

Acrilamidas	Las acrilamidas son una sustancia química utilizada en la industria, para producir compuestos que se emplean en la depuración de aguas, la fabricación de papel y el acondicionamiento del suelo.
Antrópicos	Causado por o para el hombre.
Axial	Del eje o rotativo a el mismo.
Berma	Espacio al pie de un talud que sirve para que la tierra y piedras que se puedan desprender de ella no caigan o sean retenidas.
Biaxial	Que trabaja en dos sentidos referente al eje.
Bioingeniería	Disciplina de la ingeniería en la que los principios y herramientas de la ingeniería, ciencia y tecnología se aplican a los problemas presentados.
Bolsacreto	Mezclas que incluye materiales aglomerantes colocados en bolsa para diferentes usos.
Caminos	Nombre dado a la Dirección General de Caminos en Guatemala, dependencia del Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda.
Cárcava	Fosa o zanja que suelen hacer las corrientes de agua al erosionar el terreno.

Cemento	Material aglomerante hidráulico que, mezclado con agregados pétreos y agua, crea una mezcla uniforme, manejable y plástica capaz de fraguar y endurecer al reaccionar con el agua y adquiriendo por ello consistencia pétreo.
Chapeo	Actividad de recorte de vegetación dañina en un área de trabajo.
Coefficiente sísmico	Factores empleados para análisis estructurales para la prevención de daños por movimientos sísmicos.
Cohesión	Atracción entre moléculas que mantiene unidas las partículas de una sustancia, material o suelo.
Colectores	Estructuras encargadas de unificar y conducir aguas pluviales.
Colusiones	Es un aluvión constituido por los granos más finos del limo y de la arena, transportados a corta distancia por la escorrentía.
Concreto	Mezcla de uno o más aglomerantes con agregados (grava, gravilla y arena), agua y eventualmente aditivos.
Concreto ciclópeo	Concreto que utiliza como agregado piedra bola o grava gruesa.
Concreto reforzado	Concreto mezclado con estructura que contiene acero estructural para determinados usos.

Conred	Comisión Nacional para la reducción de desastres, dependencia gubernamental en Guatemala encargada de estudios, para la prevención de desastres.
Contrafuertes	Es un refuerzo vertical de un muro, normalmente exterior, que transmite las presiones transversales a la cimentación.
Covial	Unidad Ejecutora de Conservación Vial, dependencia en Guatemala que tiene a su cargo el mantenimiento de carreteras e infraestructura vial.
Criba	Estructuras de diferente material que se utilizan para formar una estructura, que posteriormente se rellenará con otro material.
Cunetas	Canales abiertos al pie de laderas o a las orillas de carreteras, para conducción de aguas.
Dovelas	Plancha o sección que forma parte de una sección mayor.
Electrolíticamente	Descomposición mediante una corriente eléctrica de sustancias ionizadas denominadas electrolitos.
Escorrentía	Lámina de agua que circula en una cuenca o superficie de drenaje, se mide en milímetros.
Estabilización	Proceso para dejar una estructura en un estado de reposo total.

Extensometro	Mecanismo que sirve para medir desplazamientos cortos o medianos.
Factor de seguridad	Factor (número mayor que 1) que se utiliza en ingeniería para los cálculos de diseño de elementos o componentes de maquinaria, estructuras o dispositivos en general.
Fajinas	Estacas que se entrelazan y enrollan con ramas vivas, largas y flexibles, de una especie conocida por su fácil enraizamiento a partir de trozos de rama.
Flexibilidad	Capacidad que tiene un objeto o cosa de adaptarse a una nueva situación, además permite realizar un movimiento de gran amplitud o movilidad articular.
Gavión	Contenedores de piedras retenidas con malla de alambre.
Geología	Origen griego (<i>geo</i> , tierra, y <i>logos</i> , estudio) es la ciencia que estudia la forma interior de la Tierra, la materia que la compone, su mecanismo de formación, los cambios o alteraciones que éstas han experimentado desde su origen
Geosintéticos	Son productos cuyo campo de acción abarca temas como el control de la erosión, tratamiento de aluviones, drenaje y filtración, o relleno sanitario, entre otros.

Geotecnia	Es una de las principales ramas de la Ingeniería Civil. Tiene por objeto permitir la viabilidad de todas las obras de ingeniería en que se presente una interacción entre la obra misma y el suelo. Entre sus principales aplicaciones se encuentra el diseño de cimentaciones, el diseño y revisión de la estabilidad de taludes, el control del flujo subsuperficial de aguas, y el diseño de túneles y de presas de tierra.
Geotextil	Los geotextiles como su nombre lo indica se asemejan a textiles, telas, que se pueden enrollar, cortar, coser. Se utilizan en obras de ingeniería, especialmente cuando se trata de construcciones donde intervienen diferentes tipos de suelo, cumpliendo diversas funciones.
Grava	Partículas rocosas de tamaño comprendido entre 2 y 64 mm, aunque no existe unicidad de criterio para el límite superior.
Granular	Conjunto de partículas sólidas de tamaño apreciable por el ojo humano, que tienen la capacidad de ser compactados.
Insivumeh	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Historia en Guatemala.
Ladera	Declive de una formación geológica, o de una altura.
Ligninos	Estabilizador de origen natural, que se obtiene de la mezcla de cloruro de sodio y materiales limo-

arcillosos y que actúa produciendo una cementación, que aumenta la capacidad de soporte, la cohesión y la impermeabilización del suelo.

Momento Magnitud que viene dada por el producto vectorial de una fuerza por un vector director.

Monolítico Que está hecho de una sola piedra.

Piedraplenes Macizo de roca con que se rellena un hueco, o que se levanta para hacer una protección a un camino u otra obra semejante.

Piedrin Grava triturada por procesos usados comúnmente en construcción, con mejores resultados que la grava en su estado natural.

Pilotes Tipo de cimentación profunda de tipo puntual, que se hincan en el terreno buscando siempre el estrato resistente capaz de soportar las cargas transmitidas.

Piroclastos Fragmento sólido de material volcánico arrojado al aire durante una erupción volcánica. Los piroclastos son fragmentos de roca ígnea volcánica, solidificados en algún momento de la erupción, lo más a menudo durante su recorrido aéreo.

Prefabricado Que han sido fabricados en serie para facilitar el montaje o construcción en el lugar de destino.

Pretensado	Se denomina hormigón pretensado a un hormigón al que, antes de la puesta en servicio, se le introducen refuerzos mediante cables o alambres de acero.
Riesgo	Daño potencial que puede surgir por un proceso presente o suceso futuro.
Silicatos	Grupo de minerales de mayor abundancia, pues constituyen más del 75% de la corteza terrestre, además del grupo de más importancia geológica por ser los minerales que forman las rocas.
Sismicidad	Viene de la palabra sismo. Se denomina sismo, seísmo o terremoto a las sacudidas o movimientos bruscos del terreno generalmente producidos, por disturbios tectónicos o volcánicos.
Sub-drenajes	Drenaje que se coloca debajo o dentro de una estructura, por lo general rodeado de grava para permitir mayor permeabilidad y poder captar la mayor cantidad de agua conducido por escorrentía.
Tablaestaca	Las tablestacas son un tipo de pantalla o estructura de contención flexible, empleada habitualmente en Ingeniería Civil. Están formadas por elementos prefabricados. Estos elementos prefabricados suelen ser de acero o preferiblemente concreto.
Telemanejado	Manejado a distancia por medios electrónicos.

Taludes	Pendiente de un muro, la que es más gruesa en el fondo que en la parte superior de éste, de modo que así resista la presión de la tierra tras él.
Terraplenes	Macizo de tierra con que se rellena un hueco, o que se levanta para hacer una protección a un camino u otra obra semejante.
Topografía	Ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto, la representación gráfica de la superficie de la Tierra, con sus formas y detalles, tanto naturales como artificiales.
Trinchera	Zanja excavada con un fin específico.
Vegetación	Conjunto de recursos naturales de origen vegetal propia del geografía del lugar.

RESUMEN

El contenido de este trabajo de graduación abarca aspectos fundamentales relacionados con deslizamientos, estabilidad de taludes y laderas en depósitos de materiales de origen volcánico. Se hace mención de los diferentes métodos de análisis numérico empleado para cálculo de factores de seguridad, en la prevención de deslizamientos sin llegar a estudiar cada uno de ellos detalladamente, sin embargo, constituye una fuente de consulta importante para las personas interesadas en el tema.

Como parte importante se hace un análisis de actividades que debieran realizar las autoridades y profesionales encargados del análisis y planificación para el uso de tierras en lugares propensos a deslizamientos, desde el momento en que se elige el uso final de la tierra, derivado de la necesidad de obras de infraestructura vial, vivienda, acontecimientos naturales, etc.

Los métodos de estabilización utilizados en Guatemala y países con altos índices de deslizamientos, son presentados ampliamente, descritos claramente y expuestos algunos parámetros básicos de diseño, condicionados con la complejidad del lugar a estabilizar. Se menciona las ventajas y desventajas de cada uno de los métodos y sistemas constructivos tomando como factor primordial el factor económico, que regularmente condiciona la ejecución de proyectos en países con poco presupuesto destinado a obras de prevención como Guatemala. Parte fundamental constituyen la descripción de métodos alternativos para estabilización de taludes y laderas utilizando métodos que requieren una inversión económica controlada y que se puede manejar con pocos recursos, incluso la mano de obra no debe ser especializada, ya que son

procedimientos sencillos y en una buena parte se hace uso de recursos naturales o materiales de desecho.

En materia de deslizamientos muchos de los eventos pudieran prevenirse si se contara con planes de prevención y mantenimiento para taludes y laderas, en el desarrollo se mencionan protocolos básicos a seguir para realizar un monitoreo de las áreas consideradas de riesgo, asimismo actividades de rutina que debieran realizarse como parte de un mantenimiento periódico, el cual lamentablemente no existe en Guatemala, a pesar de haber sufrido muchos sucesos lamentables, esto no ha sido evaluado adecuadamente por las autoridades que carecen de procedimientos establecidos.

OBJETIVOS

▪ **General**

Contribuir con un aporte social a la comunidad en general, haciendo del conocimiento a la población, instituciones gubernamentales, municipalidades y sector privado en general, dedicado a la construcción y mantenimiento de carreteras, una guía para el análisis, preparación del plan de prevención de desastres ocasionados por la geodinámica externa, (deslizamientos, derrumbes, hundimientos, etc.) en taludes construidos en Depósitos Piroclásticos en la ciudad de Guatemala, asimismo, motivar la creación de una guía de mejoramiento, limitantes y mantenimiento que brinden garantías de su estado actual, orientado principalmente al casco urbano y sus periferias tan explotados en materia de urbanizaciones por el alta demanda de vivienda.

▪ **Específicos**

1. Proponer medidas básicas en cuanto a mantenimiento de taludes construidos en depósitos piroclásticos (depósitos fragmentario originados durante una erupción volcánica como lo son cenizas, pómez, etc.) en la ciudad capital.
2. Proporcionar recomendaciones para el mejoramiento de taludes existentes que no han sido construidos bajo procedimientos ingenieriles técnico-científicos adecuados a la naturaleza de los suelos.
3. Demostrar la falta de estudios y programas de mantenimiento que debieran existir en las entidades responsables y el poco interés en el tema, por parte de las autoridades.

4. Hacer énfasis en las propiedades de las diferentes circunstancias de las laderas, para determinar sus ventajas y desventajas para las diferentes estructuras propuestas.
5. Crear un documento que sea de aporte social (brindar una herramienta que sirva de modelo a seguir para el análisis práctico de condiciones existentes, preparar las bases para crear un plan de prevención de desastres, al cual se tenga fácil acceso, por parte de cualquier persona o entidad ligada al tema), ante problemas que constantemente sufren las comunidades.

INTRODUCCIÓN

El valle de Guatemala se encuentra situado en un “grabben” limitado al Oeste por el sistema de fallas denominado de Mixco y al Este por el sistema de fallas denominadas de Santa Catarina Pinula. Geológicamente, el suelo del “grabben”, en el cual se encuentra la mayor parte de la ciudad capital de Guatemala, está formado por depósitos piroclásticos de gran espesor, posiblemente entre 200 y 400 metros, provenientes de erupciones volcánicas que han formado estratos bien definidos. Algunos de esos estratos también han sido formados por la deposición eólica de cenizas expulsadas por los volcanes. El manto de roca firme se encuentra a una profundidad considerable.(8)

Con el transcurrir del tiempo se puede observar cómo suceden eventos inesperados, producidos por fuerzas de la naturaleza y/o provocadas por el hombre, relacionados con deficiencias en la construcción, poca o deficiente supervisión y a veces no es un profesional o alguien con suficiente conocimiento quien dirige los trabajos. Consecuentemente, el mantenimiento poco frecuente o nulo de los taludes, provocan daños a la economía, problemas y molestias a los usuarios de carreteras, inundaciones, flujos de lodo y escombros, etc.

Estudios relacionados deben centrarse y desarrollar aspectos como vulnerabilidad, impacto socioeconómico, daños a la infraestructura vial, sobrecostos por reparaciones, medidas de prevención y mitigación, mejoramiento, planes de mantenimiento y recomendaciones para esta clase de obras que carecen de un programa de seguimiento periódico por parte de las entidades a cargo de la red vial de la ciudad capital y sus colindancias.

Los deslizamientos son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daños millonarios, sin embargo, muy pocas personas son conscientes de su importancia. El 90% de las pérdidas por deslizamientos son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se toman medidas de prevención o control.(4)

Guatemala es un país muy susceptible a sufrir problemas de deslizamientos de tierra, debido a que generalmente, se reúnen cuatro de los elementos más importantes para su ocurrencia, tales como son la topografía, sismicidad, meteorización y lluvias intensas. Esto causa un deterioro constante que puede dar lugar a la necesidad de mantenimiento o construcción de obras de estabilización, este deterioro, sin embargo, se le da muy poca atención en el momento del diseño o durante las estaciones del año, en las que se pueden realizar actividades de prevención. Cuando un talud se corta, para la construcción de una vía o de una obra de infraestructura, ocurre una relajación de los esfuerzos de confinamiento y una exposición al medio ambiente, cambiándose la posición de equilibrio por una de deterioro acelerado.

1. MÉTODOS DE ANÁLISIS Y PRINCIPALES SISTEMAS USADOS EN LA ACTUALIDAD PARA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES

1.1. Métodos empleados generalmente para análisis de estabilidad de taludes

Los diferentes métodos empleados para análisis de estabilidad de taludes, dan resultados diferentes y en ocasiones contradictorios, estos son una muestra de la incertidumbre que caracteriza los análisis de estabilidad.

Los métodos más utilizados por los ingenieros geotécnicos en todo el mundo son los simplificados de Bishop y de Janbú, los cuales en su concepción teórica no satisfacen equilibrios de fuerzas o de momentos, los valores de factores de seguridad que se obtienen por estos dos métodos generalmente, difieren en forma importante de resultados utilizando procedimientos que satisfacen el equilibrio, como son los métodos de Spencer y de Morgenstern-Price.

Una comparación directa entre los diversos métodos no es siempre posible, los factores de seguridad determinados con el método de Bishop difieren por aproximadamente el 5% con respecto a soluciones más precisas, mientras el método simplificado de Janbú generalmente, subestima el factor de seguridad hasta valores del 30%, aunque en algunos casos los sobrestima hasta valores del 5%. Los métodos que satisfacen en forma más completa el equilibrio son más complejos y requieren de un mejor nivel de comprensión del sistema de análisis, en los métodos más complejos y precisos se presentan con frecuencia problemas numéricos que conducen a valores no realísticos del

factor de seguridad, por las razones anteriores se prefieren métodos más sencillos y fáciles de manejar como son los métodos simplificados de Bishop o de Janbú.

El auge que ha tomado en los últimos años el uso de programas de computadora, prácticamente ha obligado a su empleo para el análisis de estabilidad de taludes, en la mayoría de los casos. Este sistema ha permitido incorporar más información en los modelos de análisis y permite analizar situaciones que no eran posibles con los sistemas manuales. Actualmente, se conocen programas comerciales de software para computadora, tales como SLOPE/W, STABLE y TALREN, los cuales permiten de una forma rápida y sencilla obtener los factores de seguridad de taludes o laderas con cierto grado de complejidad y por cualesquiera de los métodos de análisis. Algunos métodos emplean los elementos finitos, con muy poco éxito en la estabilidad de taludes específicos, y otros emplean análisis de equilibrio por interacción, siendo este último sistema muy empleado universalmente.(14)

1.1.1. Método de tablas o número de estabilidad

Para taludes simples homogéneos se han desarrollado tablas que permiten un cálculo rápido del factor de seguridad. Existe una gran cantidad de tablas desarrolladas por diferentes autores. La primera de ellas fue desarrollada por Taylor, en 1937 y 1948, las cuales son aplicables solamente para análisis de esfuerzos totales, debido a que no considera presiones de poro. Desde entonces varias tablas han sido sucesivamente presentadas por Bishop y Morgenstern (1960), Hunter y Schuster (1968), Janbú (1968), Morgenstern (1963), Spencer (1967), Terzaghi y Peck (1967) y otros.(14)

1.1.2. Método del talud infinito

En las condiciones en las cuales se presenta una falla paralela a la superficie del talud, a una profundidad considerable y la longitud de la falla es larga comparada con su espesor, se puede utilizar en forma precisa aproximada, el análisis de talud infinito. Es un sistema muy rápido y sencillo para determinar el factor de seguridad de un talud, suponiendo un talud largo con una capa delgada de suelo, en el cual cualquier tamaño de columna de suelo es representativo de todo el talud.(14)

1.1.3. Método del bloque deslizando

El análisis de bloque puede utilizarse cuando existe a una determinada profundidad, una superficie de debilidad relativamente recta y delgada. La masa que se mueve puede dividirse en dos o más bloques y el equilibrio de cada bloque se considera independientemente, utilizando las fuerzas entre bloques. No considera la deformación de los bloques y es útil cuando existe un manto débil o cuando aparece un manto muy duro sobre el cual se puede presentar el deslizamiento.(20)

1.1.4. Método Ordinario o de Fellenius

Conocido también como Método Sueco, Método de las Dovelas o Método U.S.B.R. Este método asume superficies de falla circulares, divide el área de falla en tajadas verticales, obtiene las fuerzas actuantes y resultantes para cada tajada y con la sumatoria de estas fuerzas obtiene el Factor de Seguridad. Las fuerzas que actúan sobre una dovela son:

- a. El peso o fuerza de gravedad, la cual se puede descomponer en una tangente y una normal a la superficie de falla.

- b. Las fuerzas resistentes de cohesión y fricción que actúan en forma tangente a la superficie de falla.
- c. Las fuerzas de presión de tierras y cortante en las paredes entre dovelas , las cuales no son consideradas por Fellenius, pero sí son tenidas en cuenta en otros métodos de análisis más detallados.

Este método no tiene en cuenta la fuerza sobre las dovelas y no satisface equilibrio de fuerzas, tanto para la masa deslizada como para dovelas individuales. Sin embargo, este método es muy utilizado por su procedimiento simple, muy impreciso para taludes planos con alta presión de poros y sus factores de seguridad son bajos. (14)

1.1.5. Método de Bishop

Bishop (1955) presentó un método utilizando Dovelas y teniendo en cuenta el efecto de las fuerzas entre las Dovelas. Asume que todas las fuerzas de cortante entre dovelas son cero. Reduciendo el número de incógnitas. La solución es sobredeterminada debido a que no se establecen condiciones de equilibrio para una dovela. La solución rigurosa de Bishop es muy compleja y por esta razón se utiliza una versión simplificada de su método.(14)

1.1.6. Método de Janbú

Janbú (1973) presenta un método de Dovelas para superficies de falla curvas, no circulares. Al igual que Bishop asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas, la solución es sobredeterminada que no satisface completamente las condiciones de equilibrio de momentos, sin embargo, Janbú utiliza un factor de corrección F_0 . para tener en cuenta este posible error. Los factores de seguridad son bajos.(14)

1.1.7. Método Sueco modificado. *U.S. Army Corps of Engineers*

Este método contempla cualquier forma de superficies de falla. Supone que las fuerzas tienen la misma dirección que la superficie del terreno. Los factores de seguridad son generalmente altos.(20)

1.1.8. Método de Lowe y Karafiath

Contempla cualquier forma de superficies de falla. Asume que las fuerzas entre partículas están inclinadas a un ángulo igual al promedio de la superficie del terreno y las bases de las dovelas. Esta simplificación deja una serie de incógnitas y no satisface el equilibrio de momentos. Se considera el más preciso de los métodos de equilibrio de fuerzas.(14)

1.1.9. Método de Spencer

Contempla cualquier forma de superficies de falla y se basa en el equilibrio de fuerzas y momentos. Asume que la inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada. Rigurosamente satisface el equilibrio estático asumiendo que la fuerza resultante entre tajadas tiene una inclinación constante pero desconocida.(14)

1.1.10. Método de Morgenstern y Price

Considera cualquier forma de superficies de falla. Asume que las fuerzas laterales siguen un sistema predeterminado, el método es muy similar al método Spencer con la diferencia que la inclinación de la resultante de las fuerzas entre dovelas se asume que varía de acuerdo a una función arbitraria.(14)

1.1.11. Método de Sarma

Analiza cualquier forma de superficies de falla. Asume que las magnitudes de las fuerzas verticales siguen un sistema predeterminado. Utiliza el método de las dovelas para calcular la magnitud de un coeficiente sísmico requerido para producir la falla. Esto permite desarrollar una relación entre el coeficiente sísmico y el factor de seguridad. El factor de seguridad estático corresponde al caso de cero coeficiente sísmico. Satisface todas las condiciones de equilibrio; sin embargo, la superficie de falla correspondiente es muy diferente a la determinada utilizando otros procedimientos más convencionales.

1.2 Métodos de anclaje y contención utilizables para la protección de taludes y sus parámetros básicos de diseño

El propósito de una estructura de contención es resistir las fuerzas ejercidas por la tierra contenida, y transmitir esas fuerzas en forma segura a la cimentación o a un sitio por fuera de la masa analizada de movimiento. En el caso de un deslizamiento de tierra, el muro ejerce una fuerza que retiene la masa inestable y transmite esa fuerza hacia una cimentación o zona de anclaje totalmente independiente de la masa susceptible a movimientos. Las deformaciones excesivas o movimientos de la estructura de contención o del suelo a su alrededor deben evitarse para garantizar su estabilidad.(11)

A continuación algunos de los métodos comúnmente utilizados para la estabilización de taludes.

1.2.1. Muros de contención rígidos

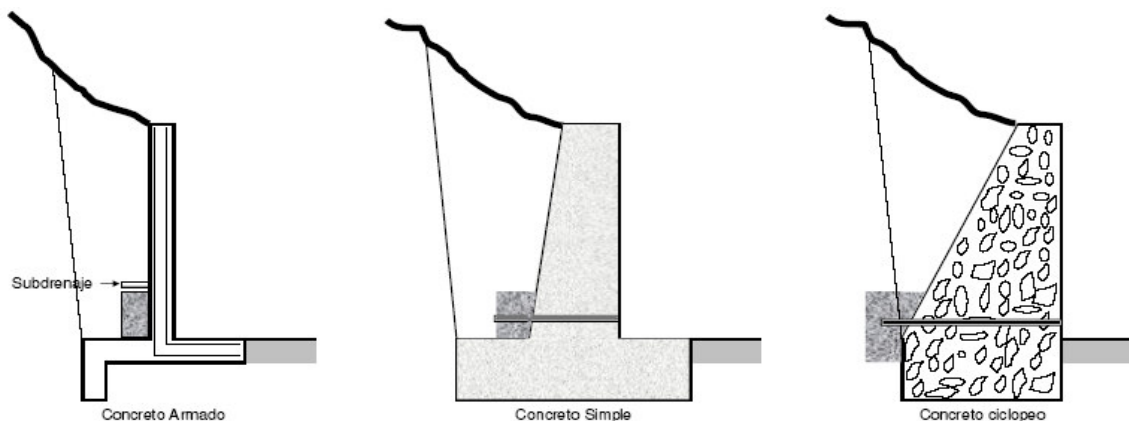
Son estructuras rígidas, generalmente de concreto, las cuales no permiten deformaciones importantes sin romperse. Se apoyan sobre suelos con valores

soporte aceptable para transmitir fuerzas de su cimentación al cuerpo del muro y de esta forma generar fuerzas de contención. La utilización de muros rígidos es una de las formas más simples de manejar cortes y terraplenes, los muros rígidos actúan como una masa relativamente concentrada que sirve de elemento contenedor a la masa inestable.

El empleo de muros de contención rígidos para estabilizar deslizamientos es una práctica común en todo el mundo, pero su éxito ha sido limitado por la dificultad que existe en el análisis de cada caso en particular y por las diferencias que existen entre las fuerzas reales que actúan sobre el muro, en un caso de deslizamiento y los procedimientos de análisis basados en criterios de presiones activas. Ocurre con frecuencia que un deslizamiento de rotación, en donde la fuerza actuante en el pie tiene una componente vertical importante hacia arriba, levante el muro y son muchos los casos conocidos de fracasos en el empleo de muros para controlar deslizamientos rotacionales.

En el caso de deslizamientos de traslación, el muro puede representar un buen sistema de estabilización siempre que esté cimentado por debajo de posibles o reales superficies de falla y se diseñe para que sea capaz de resistir las cargas de desequilibrio debidas al deslizamiento.(5)

Figura 1. **Muros de contención rígidos.**



Comúnmente se utilizan tres tipos de muros:

1.2.1.1. Concreto armado

Los muros de concreto armado técnicamente pueden emplearse en alturas grandes (superiores a diez metros), previo su diseño estructural y estabilidad, sin embargo un muro de concreto reforzado es generalmente una opción económicamente viable para alturas hasta de 8 metros, para alturas mayores el espesor de la placa semi-vertical aumenta en forma considerable y el muro se vuelve muy costoso.(10)

Existen los siguientes tipos de muro reforzado:

1.2.1.1.1. Muros empotrados en forma de L o T invertida: estos tienen una placa semivertical o inclinada monolítica con otra placa en la base.

1.2.1.1.2. Muros con contrafuertes: en los cuales la placa vertical o inclinada está soportada por contrafuertes monolíticos que le dan rigidez y ayudan a transmitir la carga a la placa de cimentación.

1.2.1.1.3. Muros con estribos: en estos muros adicionalmente a la placa vertical, la placa de cimentación y los contrafuertes, se construye una placa superior sub-horizontal que aumentan la rigidez y capacidad para soportar momentos.

En la mayoría de los casos se colocan llaves o espolones (diente) de concreto debajo de la placa de cimentación para mejorar la resistencia al deslizamiento. Debe tenerse en cuenta que, la utilización de contrafuertes o estribos generalmente disminuye el costo comparativamente con un muro

empotrado en L o T invertida. La pendiente de la pared de fachada debe dársele una inclinación ligera para evitar la sensación visual de que el muro se encuentra inclinado, generalmente, se recomienda una pendiente de 2%. (10)

Figura 2. **Muros de contención en concreto armado**

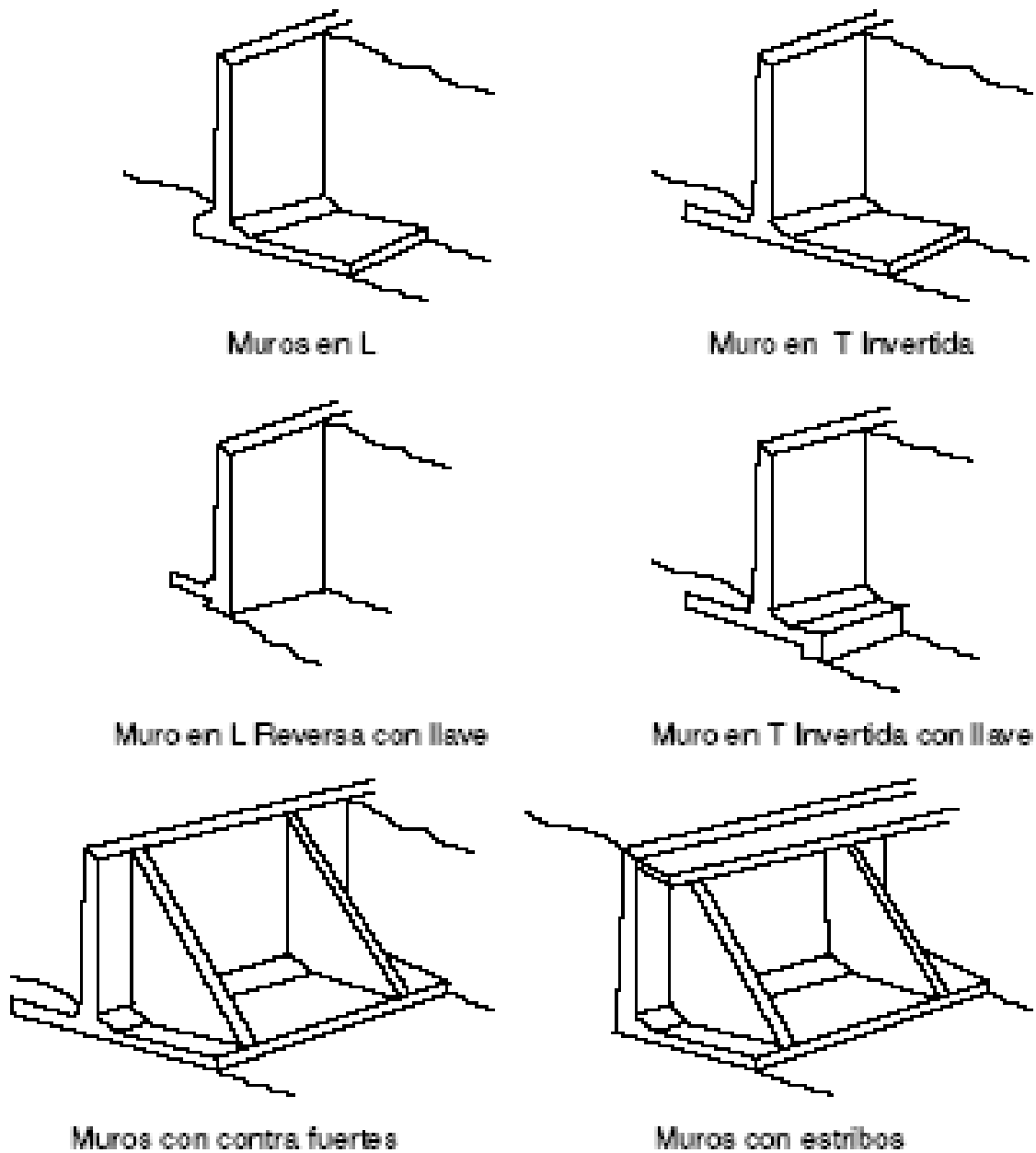


Figura 3. Variaciones en la construcción de muros de concreto armado. A la izquierda un muro en tipo “L” al que le colocaron anclajes metálicos. A la derecha muro de mampostería y concreto armado con contrafuertes.



Fuente: **Muros de contención ubicados en Carretera a El Salvador Ciudad de Guatemala y Carretera Interamericana hacia San Lucas Sacatepéquez.**

El diseño de un muro en concreto armado incluye los siguientes aspectos:

- a. Diseño de la estabilidad intrínseca del muro, para evitar volcamiento o deslizamiento sobre el suelo de cimentación
- b. Diseño de la estabilidad general del talud o cálculo del factor de seguridad incluyendo la posibilidad de fallas por debajo de la cimentación del muro
- c. Diseño de las secciones y refuerzos internos para resistir momentos y cortantes
- d. Cálculo de capacidad de soporte de la cimentación

Para el diseño estructural se supone que la placa vertical del muro se encuentra totalmente empotrada en la placa de cimentación. La Oficina de Control Geotécnico de Hong Kong recomienda que en todos los casos de muro

de concreto armado se utilicen presiones de reposo para el cálculo de las fuerzas sobre las paredes del muro. En todos los casos, los muros de concreto armado debe contener un sistema de drenaje detrás de su pared vertical y/o un sistema de lloraderos o salidas para el agua represada detrás del muro. Debe tenerse en cuenta que, aún en el caso de suelos completamente secos, la presencia del muro puede inducir la acumulación de pequeñas cantidades de agua de infiltración. Es importante la construcción de juntas estructurales para evitar fisuras o grietas relacionadas con cambios de temperatura, la distancia entre juntas se recomienda no debe ser mayor de veinte metros a lo largo del muro.(18)

1.2.1.2 Concreto sin refuerzo

Los muros de concreto sin refuerzo son masas relativamente grandes de concreto o concreto con piedra, las cuales trabajan como estructuras rígidas. Los muros de concreto simple actúan como estructuras de peso o gravedad y se recomienda no se empleen en alturas superiores a cuatro metros, debido no sólo al aumento de costos, sino a la presencia de esfuerzos de flexión que no pueden ser resistidos por el concreto simple y se pueden presentar roturas a flexión en la parte inferior del muro o dentro del cimiento.

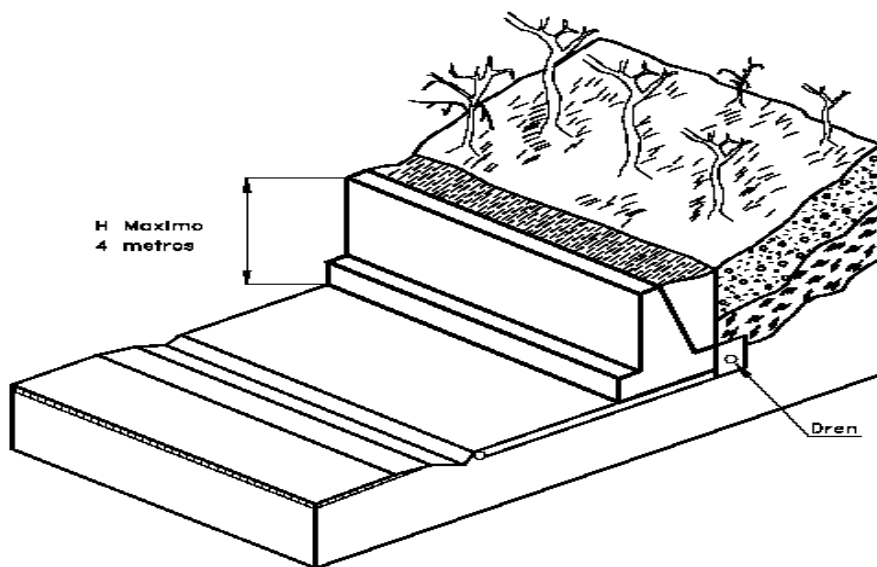
El diseño de un muro en concreto debe tener en cuenta la estabilidad intrínseca del muro, el factor de seguridad del deslizamiento y la capacidad de soporte en forma similar a los muros de concreto armado, pueden construirse en curvas y en diferentes formas para propósitos arquitectónicos y pueden colocarse cualquier tipo de acabados para su apariencia exterior.

Los muros de concreto en todos los casos, deben tener un sistema de subdrenaje para eliminar la posibilidad de presiones de agua, se deben

construir juntas de contracción o expansión a distancias en ningún caso superiores a 20 metros. Si los materiales utilizados poseen características de dilatación grande por cambio de temperatura, las juntas deben colocarse a 8 metros de distancia entre ellas.

La pendiente de la pared del muro debe tener una inclinación similar a la recomendada para muro de concreto armado. Los muros de concreto deben cimentarse por debajo de la superficie de falla con el objeto de obtener fuerzas de reacción por fuera del movimiento que aporten estabilidad, no solo al muro sino al deslizamiento.(10)

Figura 4. **Muro de concreto sin refuerzo**



Fuente: Jaime Suárez Díaz, **Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales.**
Pág. 491.

1.2.1.3 Concreto ciclópeo

El concreto ciclópeo es una mezcla de concreto con cantos o bloques de roca dura, generalmente se utilizan mezclas de 60% de concreto y 40% de

volumen de piedra. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que a mayor cantidad de piedra existe mayor posibilidad de agrietamiento del muro por presencia de zonas de debilidad estructural interna. En ocasiones se le colocan refuerzos de varilla de acero dentro del concreto ciclópeo para mejorar su resistencia interna. El diseño de un muro de concreto ciclópeo es muy similar al de los muros de concreto simple rígidos y masivos.(10)

1.2.2. Muros flexibles

Los muros flexibles son estructuras que se deforman fácilmente por las presiones de la tierra sobre ellas o que se acomodan a los movimientos del suelo. Los muros flexibles se diseñan generalmente, para resistir presiones activas en lo que se refiere a su estabilidad intrínseca y actúan como masas de gravedad para la estabilización de deslizamientos de tierra.

Existen varios tipos de muros flexibles y entre ellos los más populares son:

- a. Muros en gaviones
- b. Muros de elementos prefabricados (muros criba)
- c. Muros de llantas usadas
- d. Muros de piedra
- e. Muros de bolsacreto

Cada uno de estos tipos de muros posee unas características especiales de construcción, diseño y comportamiento, su efectividad depende de su peso y de la capacidad de soportar deformaciones importantes sin que se rompa su estructura.(10)

Figura 5. **Muros flexibles. A la izquierda muro de gaviones y a la derecha muro de piedra.**
Los muros de gaviones y piedra son ideales para áreas con mucha humedad por ser muy permeables y permitir el drenaje correcto del suelo y evitar la saturación.



Fuente: **Muros de gaviones y piedra ubicados en ingreso a Antigua Guatemala, Sacatepéquez y Boulevard El Austriaco ciudad de Guatemala.**

1.2.2.1. Muros de gaviones

Los gaviones son cajones de malla de alambre galvanizado que se rellenan de cantos de roca, proporcionan un fácil alivio de presiones de agua, soportan movimientos sin pérdida de eficiencia y son de construcción sencilla y relativamente económica. El principal problema consiste en que las mallas pueden presentar corrosión en suelos ácidos (de PH menor 6), por ejemplo en suelos residuales de granitos. Se emplean tres tipos de mallas diferentes, hexagonales o de triple torsión, electro soldada y elaborada simple, al amarre de la malla y las unidades generalmente no se le realiza un buen control de calidad. Existen una gran cantidad de tamaños de malla disponible para formar las cajas, generalmente, se utilizan cajas de 2.00 x 1.00 x 1.00 metros.

Las canastas de gavión se colocan unas sobre otras tratando de traslapar lo mejor posible las unidades para darle cierta rigidez que requiere el muro, para muros muy anchos con secciones superiores a cuatro metros se puede realizar cierta economía adoptando una forma celular de construcción, lo cual equivale a eliminar algunas de las cajas interiores donde los espacios se rellenan con piedra sin la colocación de canastas de malla. El tamaño y la forma de estas celdas deben diseñarse en tal forma que no se debilite la estabilidad interna general del muro.

En ocasiones, los muros de gaviones pueden tener una serie de contrafuertes que los hacen trabajar como estructuras ancladas al suelo detrás del muro. No existe un sistema de diseño universalmente aceptado para muros en gaviones y debe tenerse en cuenta que la gran deformación del muro puede generar una falla interna debida a su propia flexibilidad, las deformaciones internas pueden ser de tal magnitud y en ocasiones el muro no cumple con el objetivo para el cual fue diseñado.

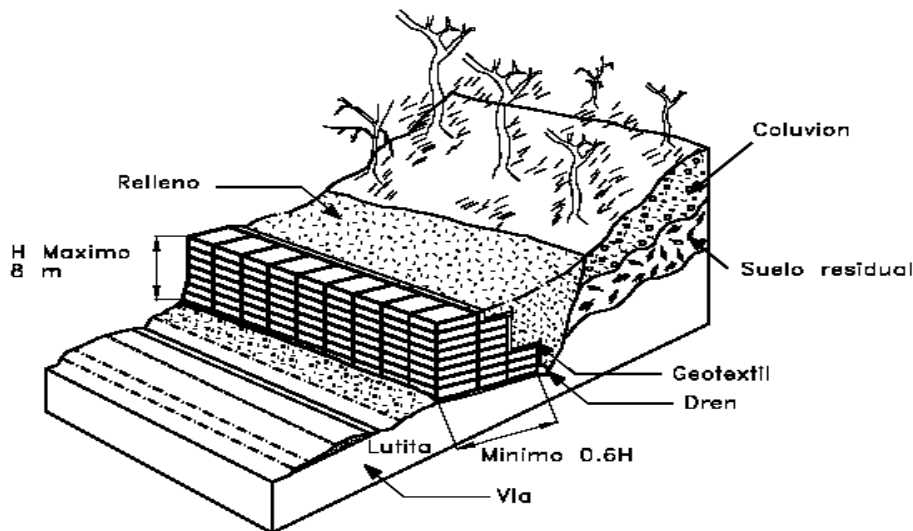
El gavión debe tener un volumen o sección tal que internamente no se pueda producir su falla o rotura a lo largo de cualquier plano. Es importante analizar la estabilidad del muro independientemente nivel por nivel, suponiendo en cada uno de los niveles que el muro es una estructura de gravedad apoyada directamente sobre las unidades de gavión inmediatamente debajo de la sección considerada. En resumen, se deben realizar un número de análisis igual al número de niveles. Es importante la especificación del tipo de malla, calibre del alambre tamaño de las unidades, tipo y número de uniones y calidad del galvanizado, tamaño y forma de los cantos. Se debe diseñar unión por unión la cantidad de alambre de amarre entre unidades. Se debe definir si la malla es de doble torsión electro soldada o eslabonada y el calibre de alambre de la

mallas, la cuadrícula del tejido de la malla, el peso de zinc por metro cuadrado de superficie de alambre y el tipo de uniones entre unidades.

Es importante que en el diseño se incluya un dibujo de la forma como se amarran las unidades entre sí, para facilitar su construcción en forma adecuada. El tamaño máximo de los cantos debe ser superior a dos veces al ancho máximo de la cuadrícula de la malla. Generalmente, se utilizan cantos de diámetro entre 15 y 30 centímetros.

En el contacto entre el suelo y el gavión se recomienda colocar un geotextil no tejido como elemento de filtro, y en la cimentación del muro se recomienda construir un drenaje colector para recoger el agua recolectada por el muro. Debe tenerse en cuenta que el muro en gaviones es una estructura permeable, la cual permite la infiltración de prácticamente el 100% de la lluvia y la escorrentía que pase por encima del muro.(2)

Figura 6. Esquema de un muro de Gaviones



Fuente: Jaime Suárez Díaz, **Deslizamientos y estabilización de taludes en zonas tropicales.**

Pág. 505.

Figura 7. **Detalle típico de los gaviones comerciales en Guatemala.**



Fuente: **Gaviones Maccaferri colocados en Boulevard San Cristóbal, Ciudad de Guatemala.**

1.2.2.2. Muros en Criba

El muro criba es básicamente una estructura parecida a una caja formada por prefabricados de concreto entrelazados. El espacio interior de las cajas se rellena con suelo granular permeable o roca para darle resistencia y peso, conformando un muro de gravedad. Generalmente existen dos tipos de prefabricados que se colocan en forma paralela a la superficie del talud o normal a este. Los travesaños son prefabricados normales al eje del muro en forma de “I” horizontal.

En ocasiones, los travesaños son de una longitud tal que obliga a la construcción de un elemento intermedio similar a sus puntas, los largueros son prefabricados largos que se apoyan sobre los travesaños y que tienen como objeto contener el material colocado dentro de las cajas o cribas. Las fuerzas son transferidas entre los prefabricados en los puntos de unión, adicionalmente,

se pueden colocar pequeños bloques que se les llama “Almohadas” en localizaciones críticas entre los prefabricados para soportar algunos esfuerzos, tales como torsiones y reducir la flexión.

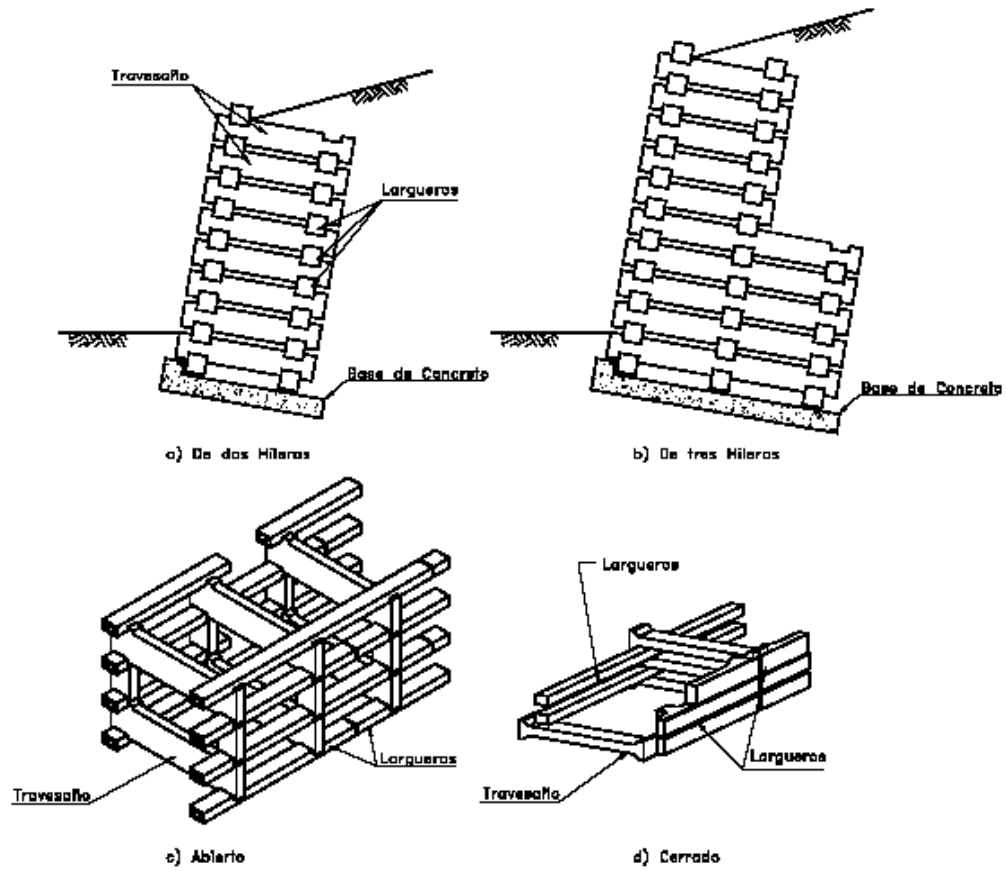
Algunos diseños de muros criba incluyen uniones metálicas o de madera entre los prefabricados para ayudar a transmitir las fuerzas, el muro criba tiene la ventaja de permitir asentamientos diferenciales importantes.

El ancho del muro criba depende de la longitud de travesaños disponibles; el ancho mínimo generalmente, es de 1.2 metros y los muros de baja altura puede construirse verticales, sin embargo para alturas superiores a 2 metros generalmente, se construyen inclinados para mejorar su estabilidad. La inclinación del muro depende de las características de estabilidad y es común encontrar taludes inclinados en relación de 1 a 4 hasta 1 a 10.

Los muros criba son más sensitivos a los asentamientos diferenciales que otros tipos de muros flexibles, la altura máxima a la cual puede construirse una pared criba de celda simple es aproximadamente 5 metros y la altura máxima generalmente utilizada es de 7 metros, utilizando celdas dobles o triples.

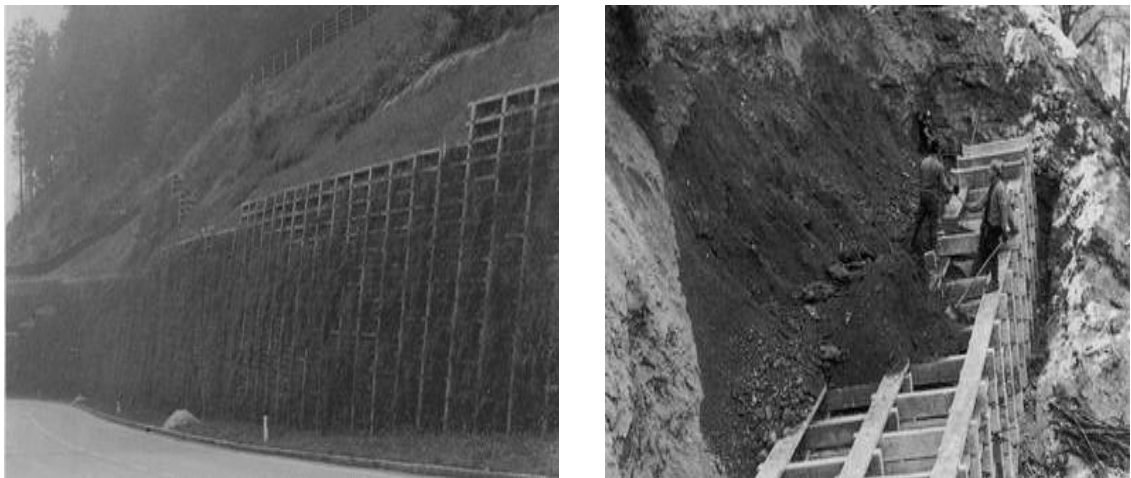
Los muros criba se construyen generalmente en alineamientos rectos, pero con el manejo adecuado de elementos especiales pueden construirse en forma curva en radios mínimos hasta de 25 metros.(2)

Figura 8. Esquema general de los muros criba



Fuente: Jaime Suárez Díaz, **Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales**, Pág. 506.

Figura 9. Muros Criba trabajados con diferentes materiales.

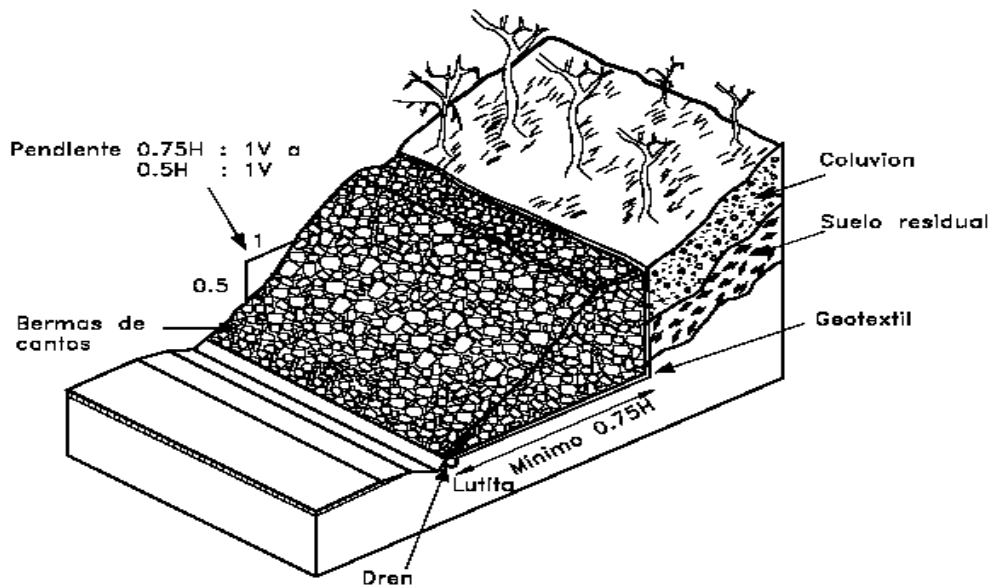


1.2.2.3. Muros de piedra (pedraplenes)

Los muros en piedra son estructuras construidas con bloques o cantos grandes de roca, los cuales se colocan unos sobre otros en forma manual o al volteo, el tamaño de los bloques utilizados generalmente supera las 3 pulgadas y pueden utilizarse bloques hasta de un metro de diámetro si se tiene equipo adecuado para su colocación. El diseño consiste en determinar las dimensiones exteriores del terraplén. El ancho de la base del pedraplén generalmente, es superior a su altura o por lo menos igual. El ángulo de inclinación de la pared exterior depende del tipo de roca, tamaño y angulosidad. Para bloques grandes se pueden utilizar pendientes de hasta $1/6 H : 1V$ el ancho mínimo de la parte superior del muro es de un metro.

Se acostumbra colocarle un geotextil en la interfase entre el pedraplén y el suelo y un subdrenaje en forma similar a los muros en gaviones.(2)

Figura 10. Esquema de muros de piedra

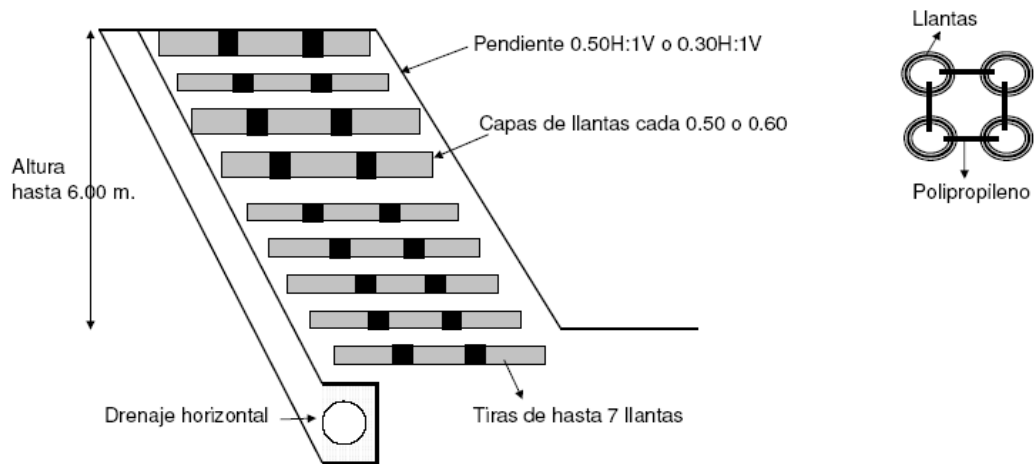


Fuente: Jaime Suárez Díaz, **Estructuras de Contención y anclaje**. Pág. 509.

1.2.2.4. Muros de llantas

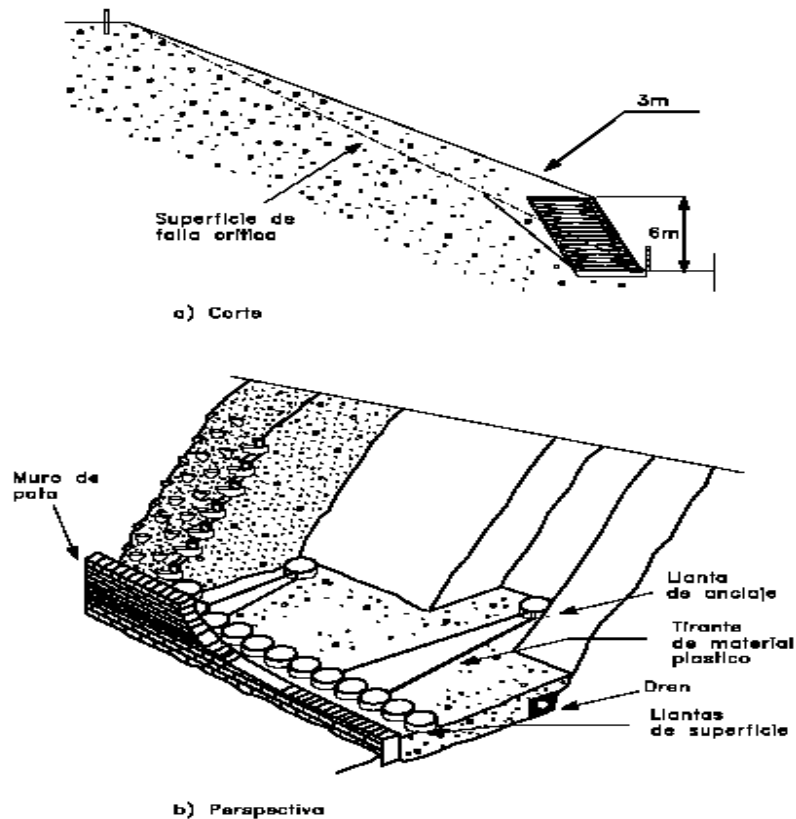
Son fáciles de construir y ayudan en el reciclaje. Los muros en llantas usadas conocidos como *Pneusol* o *Tiresoil* consisten en rellenos de suelo con llantas de caucho usadas embebidas, las llantas son unidas entre sí por sogas de refuerzo. Generalmente, se utilizan sogas de polipropileno y se conoce de la utilización de elementos metálicos. La resistencia a la extracción es relativamente alta para los grupos de llantas y el peso unitario del relleno es relativamente bajo. La deformabilidad del terraplén es alta pero su resistencia al cortante también aumenta. Generalmente, el análisis interno de los muros con llantas es el de un muro armado. Tanto los elementos de anclaje como los de retención superficial del suelo son construidos con llantas, varias de las llantas en la superficie del talud son conectadas por medio de sogas de acuerdo a una determinada distribución. Como las llantas en la superficie están conectadas a las llantas de anclaje, se generan una fuerza de acción en la soga que las conecta. Si este refuerzo es lo suficientemente fuerte para no fallar la tensión y la resistencia de la extracción de la llanta es mayor que la fuerza de fricción, entonces la estructura permanecerá estable.

Figura 11. Esquema de muro de llantas usadas.



Los muros de llantas usadas son muy flexibles y se acomodan fácilmente a los asentamientos referenciales. Cada llanta se conecta a su vecina con sogas de polipropileno o *nylon*. Generalmente, se utilizan tendones de 8 a 10 mm. de diámetro. Se han reportado construcciones de muros hasta de 20 metros de altura utilizando llantas usadas. El muro de llantas puede ser integral en tal forma, que todo el volumen de terraplén esté entrelazado con llantas, las cuales ocupan buena parte de su volumen total, o puede utilizarse el sistema de muro de llantas en el cual se colocan llantas en la parte posterior del terraplén como anclaje de sogas de polipropileno, las cuales amarran las llantas internas con las llantas en la pared exterior del muro. Los muros de llantas deben contener sistemas de drenaje en forma similar a los muros de tierra reforzada.(9)

Figura 12. Muro con llantas, utilizando llantas con tirantes como elemento de anclaje.

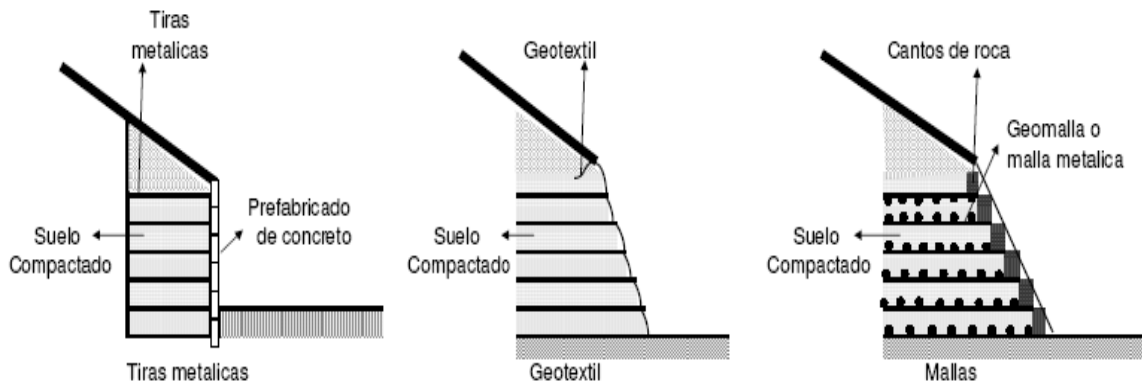


Fuente: Jaime Suárez Díaz, **Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales.**
Pág. 510.

1.2.2.5. Tierra reforzada

Las estructuras de tierra reforzada son terraplenes donde el suelo es su principal componente; dentro de este en el proceso de compactación, se colocan elementos de refuerzo para aumentar su resistencia a la tensión y al cortante. Internamente deben su resistencia principalmente, al refuerzo y externamente actúan como estructuras masivas por gravedad. Son fáciles de construir, utilizan el suelo como su principal componente, pueden adaptarse fácilmente a la topografía, permiten construirse sobre cimentaciones débiles, tolera asentamientos diferenciales y puede demolerse o repararse fácilmente, pero se requiere espacio disponible superior al de cualquier otra estructura de contención.(2)

Figura 13. Esquema de Estructuras de Tierra Reforzada



Los refuerzos pueden construirse con materiales capaces de desarrollar tensión y que permitan la fricción entre el elemento y el suelo. Inicialmente, se utilizaron tiras de acero galvanizado en caliente. El galvanizado debe garantizar una cantidad de zinc en lo posible de 610 gramos por metro cuadrado, para disminuir la corrosión. El sistema más popular de muros de tierra reforzada es el refuerzo de terraplenes con geotextiles, en el cual el mecanismo de transmisión de esfuerzos es predominantemente de fricción.

Existe una gran cantidad de geotextiles de diferentes propiedades mecánicas, tejidos y no tejidos. Los rellenos utilizados son generalmente materiales granulares que van desde arenas limosas hasta gravas. Un problema importante de los geotextiles es su deterioro con la luz ultravioleta del sol y por esto se requiere que este material permanezca cubierto, con concreto emulsión asfáltica o suelo con vegetación. Se han introducido en el mercado las geomallas que son mallas poliméricas o metálicas con una forma determinada (biaxiales), en el cual se incluye el efecto de fricción y además el efecto de agarre dentro del suelo. En ocasiones, las geomallas llevan varillas para ayudar a la resistencia de arrancamiento de la malla. Generalmente, las geomallas tienen mayor resistencia al arrancamiento que los geotextiles.

Figura 14. **Muros de Tierra Reforzada, geotextil, tiras y mallas metálicas.**

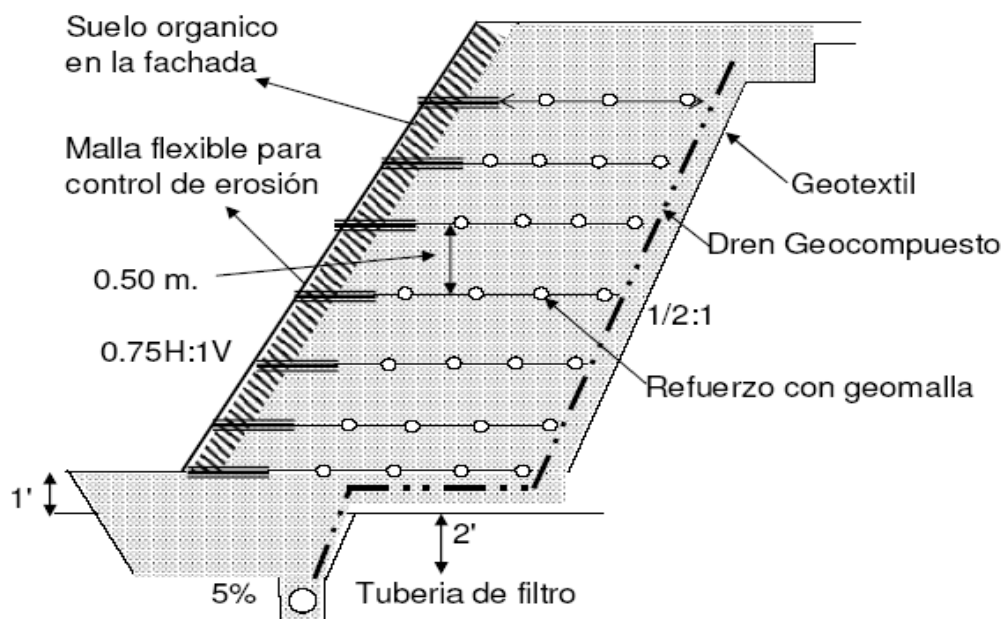


Fuente: **Fotografías Calzada de la Paz, Boulevard el Austriaco y Carretera a El Salvador, Ciudad de Guatemala.**

Si los geotextiles son mal colocados y el material no es adecuado sucede lo que se puede observar en la fotografía superior derecha de la figura 14, se dejaron muchos restos de materia orgánica y la tela geotextil no fue colocada apropiadamente, este es un caso típico del mal uso de estos materiales, asimismo se puede apreciar el funcionamiento correcto de un muro con una geomalla metálica trabajando y colocada adecuadamente.

El material de relleno debe ser un material capaz de desarrollar fricción y no debe contener materiales orgánicos o perecederos como vegetación o residuos indeseados. Comúnmente se utiliza relleno granular pero cuando no se dispone de materiales de grava o arena se utiliza arcilla o suelos residuales, en estos casos se debe tener especial cuidado, teniendo en cuenta, la importante reducción de capacidad al arrancamiento en los suelos arcillosos, cuando son saturados. En ocasiones se utiliza piedra triturada; este caso debe tenerse cuidado de que el refuerzo sea de un grosor suficiente que impida su rotura, causada por los bordes angulosos del triturado.

Figura 15. **Esquema de una estructura de contención de suelo reforzado con geomalla**



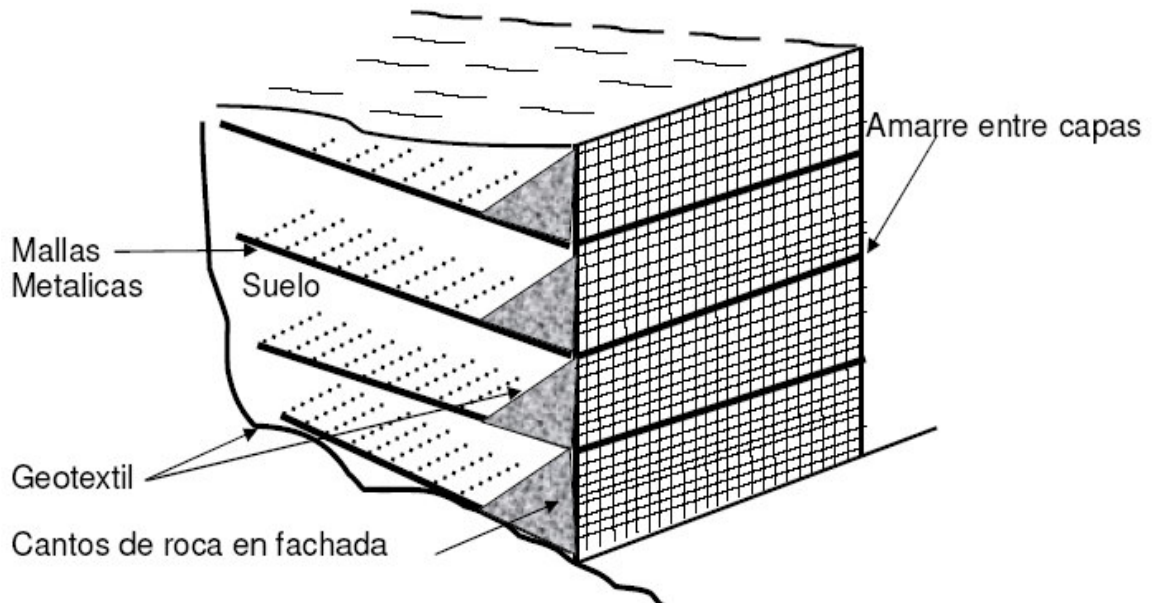
El material debe compactarse a una densidad tal que garantice la estabilidad del relleno en cuanto a resistencia y compresibilidad. Comúnmente se exigen densidades superiores al 95% de la densidad máxima Proctor modificado. El proceso de compactación debe realizarse teniendo cuidado de no romper o deteriorar los elementos de refuerzo, debe impedirse que los vehículos pasen por encima del refuerzo, antes de colocar el relleno.

El relleno cerca de la pared debe compactarse utilizando un equipo liviano, bien sea un rodillo pequeño vibratorio, una placa vibratoria de peso no mayor a 2200 libras o una vibroapisonadora. A distancias superiores a 1.50 metros de la pared puede utilizarse equipo pesado. En la parte exterior del muro se pueden colocar elementos prefabricados de concreto reforzado en láminas de acero, o geotextiles recubiertos con concreto lanzado o protecciones vegetales.

En resumen pueden reforzarse así:

- a. Refuerzo con tiras metálicas: Los refuerzos metálicos le dan rigidez al terraplén y los prefabricados de concreto en su cara de fachada los hace presentables y decorativos. Existen empresas dedicadas a su construcción de las planchas prefabricadas.
- b. Refuerzo con geotextil: por lo regular son muy económicos y fáciles de construir, dentro de sus desventajas son muy flexibles y se deforman fácilmente. Las capas de geotextil se pueden convertir en superficies de debilidad para deslizamientos y el geotextil se descompone con la luz solar.
- c. Refuerzo con malla: La malla le da cierta rigidez al terraplén y las capas no constituyen superficies de debilidad. El efecto de anclaje es mejor y dependiendo del material constitutivo la malla puede descomponerse o corroerse.

Figura 16. Muro de tierra reforzada con malla electrosoldada de acero galvanizado.



1.2.2.6. Estructuras ancladas

El uso de anclajes de acero en la estabilización de taludes se ha vuelto muy popular en los últimos años especialmente en taludes con material rocoso. En las estructuras ancladas se colocan varillas o tendones generalmente, de acero en perforaciones realizadas con taladro, posteriormente se inyectan con un material aglomerante, los anclajes pueden ser pretensados para colocar una carga sobre un bulbo cementado o pueden ser cementados simplemente sin colocarles carga activa.(10)

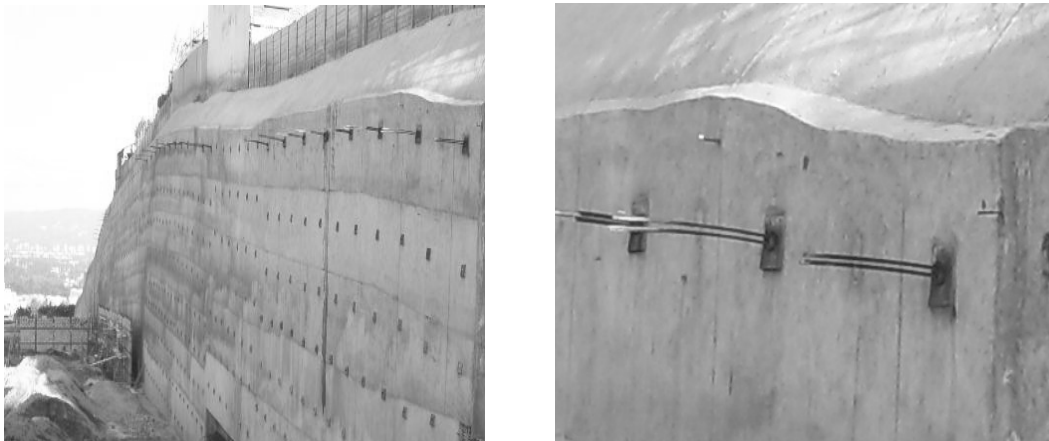
1.2.2.6.1. Anclajes y pernos individuales

Este método consiste en la colocación dentro del macizo en taludes de roca, muy por debajo de la superficie de falla real o potencial de una serie de tirantes de acero, anclados en su punta y tensados por medio de gatos en la

superficie. Los anclajes generan fuerzas de compresión que aumentan la fricción y/o contrarrestan la acción de las fuerzas desestabilizadoras.

Los anclajes pretensionados se colocan atravesando posibles superficies de falla, anclando los bloques a roca sana, detrás de esta superficie, el tensionamiento del perno, transmite una fuerza a la roca, produciendo una compresión y modificando los esfuerzos normales sobre la superficie de falla. Si las fuerzas de anclaje se instalan a un ángulo menor que a la normal a la superficie potencial de falla, se crea adicionalmente, una fuerza resistente que se opone al movimiento.

Figura 17. **Muro de contención con anclajes. Muro construido bajo altos requerimientos técnicos, los costos son elevados pero es una alternativa bastante funcional.**



Fuente: **Muros de contención en proceso constructivo Boulevard San Cristóbal Mixco, Ciudad de Guatemala.**

1.2.2.6.1.1. Sistema constructivo

La fuerza requerida para el anclaje, se minimiza cuando la suma del ángulo de buzamiento del ancla y el de la fractura es igual al ángulo de fricción. Se ahorra gran cantidad de pernos, instalándolos al ángulo óptimo, en lugar de

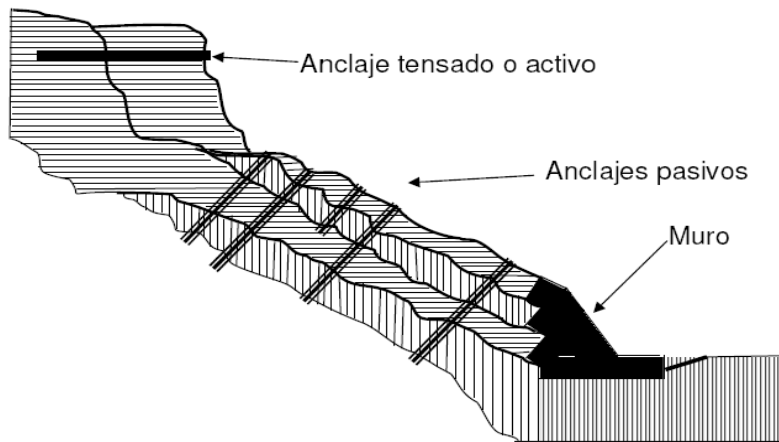
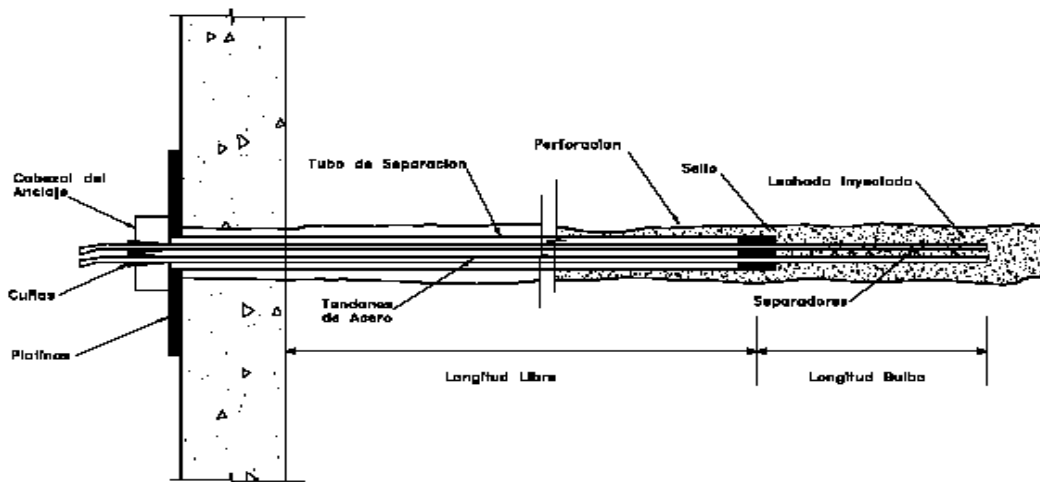
colocarlos normales a la falla. En la cabeza exterior del ancla se coloca una platina metálica para fijar el anclaje y permitir su tensado.

- a. El proceso de perforación se inicia con un tubo de revestimiento de aproximadamente 10 a 20 centímetros de diámetro y una longitud para profundizar de 3 metros, como en este tubo quedan los residuos de perforación se introduce un barreno, el cual se encarga de extraerlo y poder continuar roscando otro tramo de tubo y luego el barreno, para seguir con este proceso hasta que se alcance la profundidad deseada. La perforación debe efectuarse con un correcto alineamiento y ángulo de inclinación, según el diseño.
- b. Se extrae la barra de perforación y se limpia el hueco, utilizando agua a presión luego se controla la longitud del sondeo mediante la varilla de perforación.
- c. Posteriormente se coloca el tirante en el hueco y se inyecta el mortero a presión hasta la zona de sello, si se produce una pérdida considerable de inyección, es necesario reducir la presión de inyección. La parte inicial del tirante ha sido previamente aislado con el objeto de evitar su cementación en el suelo (todo el cuerpo debe estar protegido contra la corrosión).
- d. El mortero inicia el periodo de fraguado especificado.
- e. Se ensaya el tirante pre-esforzándolo hasta alcanzar un valor de 1.4 la carga de diseño.
- f. Se registra la magnitud y elongación del tirante. Se fija el tirante con una carga de diseño, este valor es generalmente un 10% mayor que la fuerza final en el anclaje, con el objeto de compensar pérdidas por relajación del tirante. Se reinyecta la perforación si se desea protegerlo mejor contra la corrosión.
- g. Adicionalmente y como parte del sistema o complemento se emplea el concreto o mortero lanzado que es concreto o mortero, el cual es colocado

por medio de un sistema de bombeo a presión. Las cargas por anclaje generalmente varían entre 10 y 130 toneladas.

Se puede requerir la utilización de anclajes pretensados como apoyo temporal o pueden diseñarse como parte permanente de la estructura. El uso de anclas metálicas en suelos ácidos se ha determinado que tiene problemas a largo plazo. Adicionalmente, debe tenerse en cuenta que la colocación de las anclas puede afectar las estructuras de servicios cercanas y los derechos legales de los vecinos cuyas estructuras o tierra pueda ser afectada.(10)

Figura 18. Anclaje con tendones de acero



1.2.2.6.1.2. Tendones y varillas

El elemento de refuerzo que trabaja a tensión puede ser: cable de acero de alta resistencia o varillas de acero procesadas para alta tensión. En ocasiones, se utilizan varillas corrientes, lo cual no es recomendable por su comportamiento en ocasiones impredecible a cargas altas de tensión. Es importante tener en cuenta los siguientes elementos:

- a. Nombre del fabricante, fecha y lugar. Generalmente se conoce el comportamiento de las varillas y tendones de acuerdo a su origen.
- b. Diámetro, área de la sección y peso unitario. En ocasiones las varillas han sido pretensionadas con anticipación y sus propiedades y dimensiones han cambiado.
- c. Resultados de los ensayos de propiedades mecánicas tales como: carga de rotura, elongación máxima, ductilidad, relajación y módulo de elasticidad.

Los pernos metálicos consisten en un sistema mecánico que presiona contra las presiones del hueco. Existen varios tipos de perno mecánico, la ventaja de los pernos metálicos es la instalación rápida y que el tensionamiento se puede llevar a cabo inmediatamente después de su colocación. Opcionalmente el perno puede posteriormente ser cementado. La protección contra la corrosión es muy importante para garantizar la larga vida de los anclajes.(10)

1.2.2.6.1.3. Bulbo de anclaje

El bulbo es la longitud de varilla que es cementada para transmitir la carga de tensión al suelo. Generalmente, estos bulbos son longitudes no menores a 3 metros. La distribución de esfuerzo a lo largo de la longitud cementada es no uniforme con máxima concentración de esfuerzos en la punta exterior del

anclaje. Sin embargo, para diseño se asume que los esfuerzos son uniformemente distribuidos a lo largo del perno. Los tendones deben separarse entre sí utilizando espaciadores para asegurar la adherencia total de cada uno de los tendones a la mezcla cementante en toda la longitud del bulbo. Adicionalmente, deben colocarse centralizadores para garantizar que existe un cubrimiento de mezcla de mínimo 10 mm.

1.2.2.6.1.4. Perforación

La perforación debe realizarse en tal forma que se garantice una superficie rugosa entre el suelo y el cementante a todo lo largo del bulbo, es importante garantizar que no haya colapso de las paredes de la excavación, para garantizar que la adherencia de la mezcla se haga con el suelo natural intacto, la perforación debe limpiarse adecuadamente.

La desviación de la línea de perforación recta no debe exceder 20 mm. en 3 metros de longitud, además anclaje debe colocarse lo más rápidamente posible después de terminada la perforación y en ningún caso la demora debe ser superior a 24 horas.

El diámetro del hueco de perforación generalmente es determinado por el tipo de equipo disponible y el diámetro debe ser de tal tamaño que permita la inserción del perno sin necesidad de forzarlo. Un hueco de gran tamaño no mejora el diseño y puede representar costos innecesarios de perforación.

Figura 19. **Equipo utilizado en el medio para realizar perforaciones y colocar anclajes.**



Fuente: **Perforaciones en muro de Contención en Ciudad San Cristóbal Mixco y Calzada Roosevelt zona 11 ciudad de Guatemala, durante la construcción de paso a desnivel 39 calle.**

1.2.2.6.1.5 Inyección

Comúnmente el ancla es fijada utilizando Cemento Pórtland ordinario y agua. La mezcla consiste generalmente, de cemento y agua en una relación agua cemento que varía de 0.4 a 0.45. Esta relación produce una lechada que puede ser bombeada por el orificio del perno y al mismo tiempo producir una alta resistencia, con un mínimo de exudación de agua de la mezcla. Se pueden agregar productos químicos especiales para reducir la contracción y exudación y para incrementar la viscosidad.

La preparación de la mezcla de inyección debe realizarse utilizando una mezcladora que le dé una consistencia uniforme en un tiempo menor de 5 minutos. Después de mezclado, la mezcla preparada debe ser continuamente agitada. Previamente al proceso de inyección se debe pasar la mezcla por un tamiz nominal de 1.2 mm., El tiempo máximo permitido entre la adición del cemento a la mezcla y la inyección es de treinta minutos.

La inyección debe realizarse lo más rápidamente posible después de colocado el anclaje dentro de la perforación. El procedimiento de inyección debe garantizar que no quede aire o agua dentro de la zona inyectada. La inyección debe colocarse en forma lenta y permanente y debe continuar hasta la terminación del trabajo que es el momento en el cual ha salido mezcla continua por el tubo de salida durante por lo menos un minuto.

1.2.2.6.1.6. Tensionado

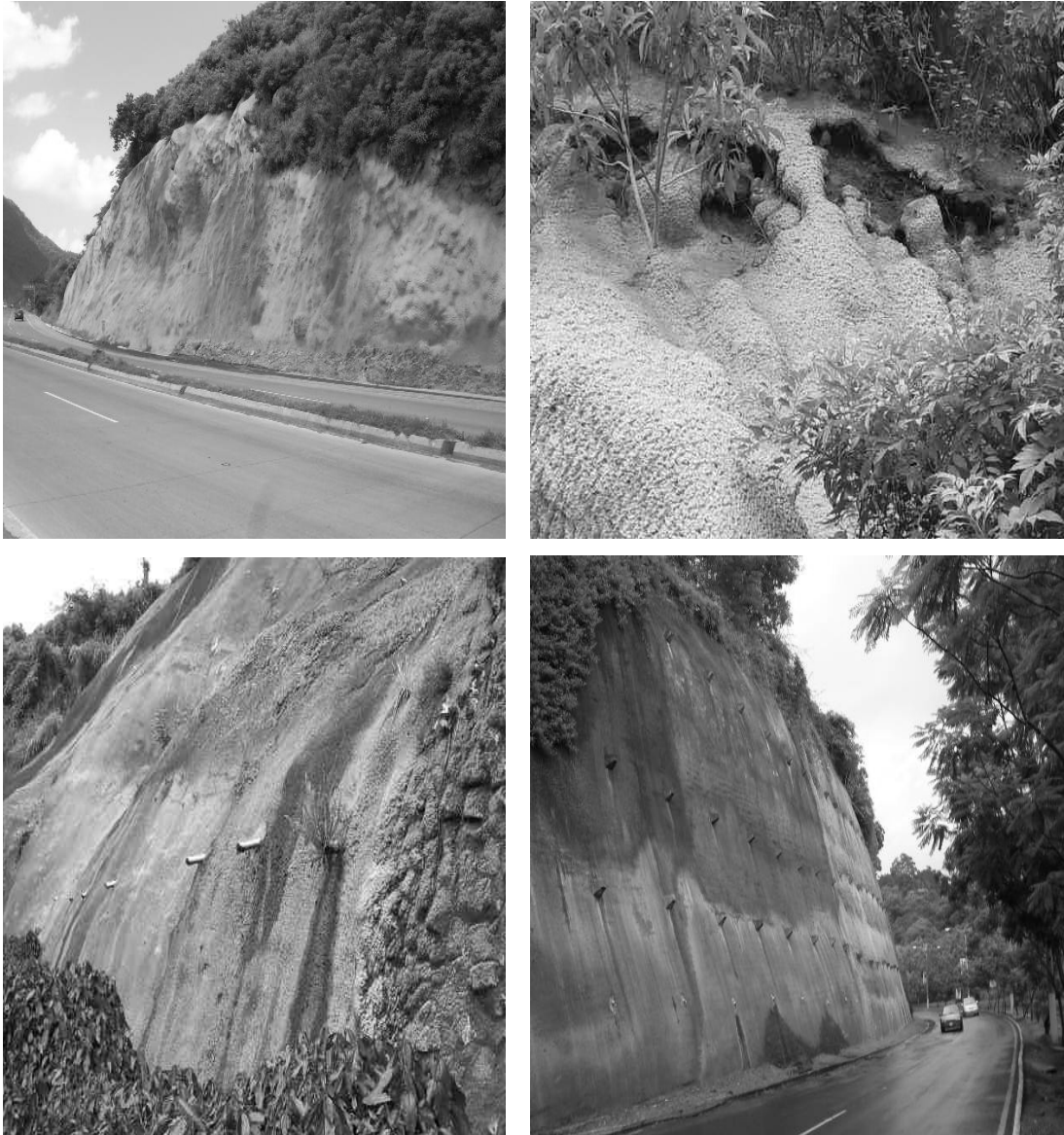
El tensionado del ancla no debe realizarse hasta que se haya obtenido una resistencia adecuada en la mezcla. El gato o equipo de tensionamiento debe tener capacidad para por lo menos 1.8 veces la carga de diseño. El método común de tensionamiento es utilizando un gato hidráulico con un hueco cilíndrico central que permite aplicar la carga en forma precisa y axial.

1.2.2.6.1.7. Concreto lanzado

Las zonas de roca fracturada o degradada pueden ser protegidas colocando una capa de concreto lanzado. El concreto lanzado rellena los espacios entre la roca y produce una estructura de retención superficial. Sin embargo, este concreto no impide totalmente el deslizamiento y se requiere en muchos casos que vaya acompañado en muchos casos de pernos o anclajes.

El concreto lanzado debe reforzarse superficialmente utilizando una malla metálica, las áreas cubiertas con concreto lanzado deben drenarse utilizando drenes de penetración o lloraderos a través del concreto lanzado.

Figura 20. Muros con recubrimiento de concreto lanzado.



Fuente: Recubrimientos en Taludes en Carretera Amatitlán Palin (fila superior), Zona 15 (inferior izquierda) y Calzada de la Paz, Ciudad de Guatemala. En los primeros dos casos se observa una falta de drenajes y refuerzo con algún tipo de geotextil, geosintetico o geomalla, lo cual facilita la erosión que se puede observar en la segunda fotografía. Abajo usos correctos con ciertas variaciones uno de otro de esta técnica, incluyendo suficientes lloraderos, refuerzo con electromalla y además se hizo uso de anclajes.

1.2.2.6.2. Muros anclados

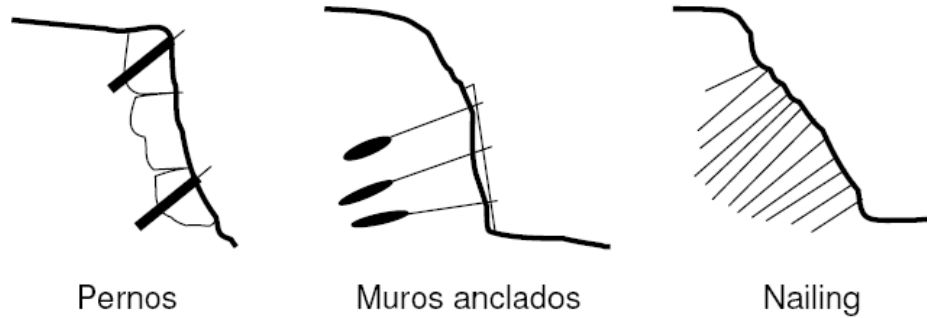
Se pueden construir en forma progresiva de arriba hacia abajo, a medida que se avanza con el proceso de excavación. Permiten excavar junto a edificios o estructuras y permiten alturas considerables. Entre sus desventajas los elementos de refuerzo pueden sufrir corrosión en ambientes ácidos, se puede requerir un mantenimiento permanente (tensionamiento) y con frecuencia se roban las tuercas y elementos de anclaje, para su construcción se puede requerir el permiso del vecino y los costos para su construcción son elevados.

1.2.2.6.3. Nailing o micropilotes

Muy eficientes como elemento de refuerzo en materiales fracturados o sueltos, pero generalmente, se requiere una cantidad grande de pilotillos para estabilizar un talud específico lo cual los hace costosos.

Los micropilotes pueden ser varillas de acero, tubos o cables que se introducen dentro del suelo natural o la roca blanda y son inyectados dentro de huecos preperforados. Generalmente son espaciados a distancias relativamente pequeñas. Los micropilotes pueden ser hincados o inyectados en perforaciones previamente realizadas, junto con el suelo estos micropilotes forman una estructura de suelo reforzado. Los micropilotes o alfileres se diferencian de los anclajes en el sentido de que son pasivos, o sea, que no son postensionados. Adicionalmente los micropilotes están mucho más cercanamente espaciados que los anclajes. El material utilizado para conectar las paredes del muro con los anclajes y las paredes entre sí debe ser de material electrolíticamente compatible, en tal forma que no promueva la corrosión por el uso de metales inadecuados.

Figura 21. **Esquema de estructuras ancladas**



1.2.2.7. Estructuras enterradas

Las estructuras enterradas son elementos capaces de resistir esfuerzos a flexión que se colocan dentro del suelo atravesando la posible superficie de falla. Estas estructuras trabajan empotradas en el suelo por debajo de la falla. Se conocen varios tipos de estructura enterrada:

1.2.2.7.1. Tablestaca

Las tablestacas son estructuras de contención hincadas, delgadas y esbeltas las cuales trabajan generalmente a flexión, empotradas o ancladas. El muro de tablestaca está conformado por una serie de muros unidos entre sí para formar una pared continua, la integridad del muro depende de las uniones entre pilotes individuales.(10)

Las tablestacas son utilizadas con relativa frecuencia como estructura de contención para la conformación de muelles en ríos o mares, sin embargo, frecuentemente se les utiliza para la estabilización suelos poco cohesivos. Para su hincado se requiere que el suelo permita la excavación para la penetración de los segmentos y no existan bloques o cantos grandes de roca. La sección de

la tablestaca depende de la altura de la tierra a retenerse y de las condiciones del suelo.

La altura de los muros de tablestacas varían generalmente entre 4.50 y 12 metros y sus costos son elevados. Cuando se colocan muros de tablaestacas o cualquier tipo de prefabricado de tamaño considerable es importante el estudio y calculo por el tipo de grúa que se utilizara y que los ganchos para sujetar se encuentren en buen estado.

Figura 22. **Muro tipo tablestacas**



Fuente: **Muros hincados en San Antonio Aguascalientes, Sacatepéquez. Estos fueron colocados para un sitio de telefonía que se ubica en la orilla de una ladera y el material del lugar es sumamente inestable, en su mayoría esta constituido por arena. Su altura total es de 12 metros de los cuales 6 quedan sobre el nivel de la carretera más próxima, fueron colocados con una grúa de 75 toneladas a los costados posee un sistema de sub-drenajes que drenan en unos pequeños pozos de absorción.**

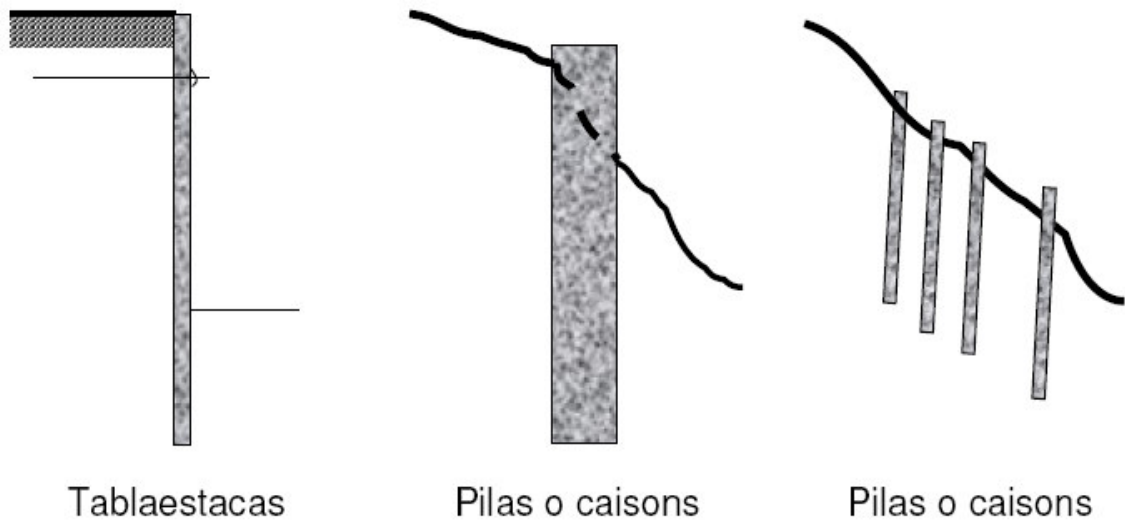
1.2.2.7.2. Pilotes

Se pueden construir rápidamente, pero se puede requerir un número grande de pilotes para estabilizar un deslizamiento.

1.2.2.7.3. Pilas o *Caissons*

No se requiere cortar el talud antes de construirlo. Se utilizan sistemas convencionales de construcción, pueden construirse en sitios de difícil acceso y pueden ser construidos varias pilas simultáneamente. Se requieren profundizar muy por debajo del pie de la excavación, por lo cual su costo es elevado. La excavación puede requerir control del nivel freático y debe tenerse especial cuidado en las excavaciones para evitar accidentes.

Figura 23. Esquema de estructuras enterradas



2. SITUACIÓN GENERAL DEL PROBLEMA: ASPECTOS GENERALES, MANTENIMIENTO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS, UBICADAS EN LADERAS, EN LA CIUDAD DE GUATEMALA

2.1. Aspectos generales de deslizamientos

Un deslizamiento se define como un movimiento de una masa de roca, detritos o tierra pendiente abajo bajo la acción de la gravedad, cuando el esfuerzo de corte excede el esfuerzo de resistencia del material.(7)

2.1.1. Causas de los deslizamientos

La ocurrencia de los deslizamientos es consecuencia de un complejo campo de esfuerzos (stress 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:

2.1.1.1. Incremento en el esfuerzo de corte

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

- a. Remoción del soporte lateral o de base (erosión, deslizamientos previos, cortes de carreteras y canteras).
- b. Incremento de carga (peso de la lluvia/nieve, rellenos, vegetación).
- c. Incremento de presiones laterales (presiones hidráulicas, raíces, cristalización, expansión de la arcilla).

- d. Stress transitorio (terremotos, vibraciones de camiones, maquinaria, explosiones)
- e. Inclinación regional (movimientos geológicos).

2.1.1.2. Reducción de la resistencia del material

- a. Disminución de la resistencia del material (motorización, cambios en el estado de consistencia).
- b. Cambios en las fuerzas intergranulares (presión de los poros de agua, disolución).
- c. Cambios en la estructura (disminución de la resistencia en el plano de falla, fracturamiento debido a “descargas”).

2.1.2. Impacto de los deslizamientos

La actividad de deslizamientos en la ciudad de Guatemala se está incrementando debido a:

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

2.1.3. Pérdidas Económicas debidas a los Deslizamientos

En Guatemala no existen estadísticas confiables de los daños que causan anualmente los deslizamientos de taludes, nadie se ha preocupado por recabar esta información, como dato curioso en otros países se ha estimado que los deslizamientos causan pérdidas económicas de gran magnitud, dato que talvez

en Guatemala no es muy elevado pero la cantidad de muertes y percances si es significativa. Todos los años durante los meses de julio a octubre, en nuestras áreas cercanas a carreteras ocurre un fuerte número de percances, sin embargo, esto no ha sido suficiente razón para llevar controles y estadísticas adecuadas por parte de las entidades a cargo.

2.1.3.1. Costos Directos

Los costos directos provocados por un deslizamiento son las reparaciones, reemplazos o mantenimientos como resultado de los daños a la propiedad o infraestructura debido a los deslizamientos.

2.1.3.2. Costos Indirectos

Entre los principales costos indirectos derivados de deslizamientos podemos citar:

- a. Pérdida de productividad e ingresos
- b. Reducción del valor de la tierra
- c. Pérdida de ingreso por impuestos
- d. Medidas de mitigación de los deslizamientos
- e. Efectos adversos en la calidad del agua por sedimentación de los reservorios
- f. Pérdida de productividad humana o animal debida a heridas/traumas
- g. Efectos secundarios como inundaciones causadas por los deslizamientos

2.2. Vulnerabilidad

La vulnerabilidad es el grado de pérdida de un determinado elemento o grupo de elementos en riesgo, como resultado de la ocurrencia de un fenómeno

natural de una magnitud determinada. El análisis de vulnerabilidad requiere de un conocimiento detallado de la densidad de población, infraestructura, actividades económicas y los efectos de un determinado fenómeno sobre estos elementos en riesgo. Este tipo de trabajos es generalmente, realizado por profesionales de disciplinas diferentes a las ciencias de la tierra. La vulnerabilidad es afectada por la naturaleza del sitio, si está arriba o abajo el deslizamiento y la naturaleza del elemento en riesgo, la velocidad del movimiento también afecta la vulnerabilidad, a mayores velocidades generalmente, las vulnerabilidades son mayores. Esto puede conducir a diferentes grados de daño en el camino o trayectoria de un deslizamiento. Para estructuras y personas, a mayor profundidad del deslizamiento, generalmente el daño es mayor y la vulnerabilidad mayor. Para deslizamientos de gran velocidad no existe una guía para evaluar la vulnerabilidad y es necesario utilizar criterios relativamente subjetivos.(19)

Los países de la región son lentos para tomar acciones de reducción de vulnerabilidad o solicitar financiamiento para ellas, los organismos de financiamiento para el desarrollo están poco dispuestos a financiarlas y la mayoría de los organismos de cooperación para el desarrollo prestan muy pocos servicios en estos aspectos. A pesar de la eficacia de las medidas de mitigación en función al costo, más del 90 por ciento de los fondos internacionales destinados al manejo de amenazas naturales de esta región, están destinados a actividades de preparación, auxilio, rehabilitación y reconstrucción de desastres, quedando solamente un 10 por ciento destinado a actividades de prevención, los cuales no son adecuadamente invertidos.(19)

2.2.1. Características para identificación de deslizamientos

a. Agrietamientos del terreno.

- b. Grietas o fracturas muy anchas (indicador del desplazamiento de la masa del terreno).
- c. Los árboles, estos muestran una inclinación anormal. (no poseen verticalidad).
- d. Cambio en coloración de agua clara a café de las correntadas de agua que descienden de las partes altas.
- e. Corrientes de agua cargadas con lodo y fragmentos sólidos.
- f. Desprendimientos de pequeñas cantidades de suelos o rocas.
- g. Hundimiento del suelo.
- h. Relación entre cantidad de precipitación y el tiempo que tarda.

Figura 24. **Características para identificar un deslizamiento en curso o potencial.**



Fuente: **Taludes y laderas ubicadas en la ciudad de Guatemala ubicados dentro de ella y en sus colindancias con algunas características propias de un deslizamiento.**

2.3. Parámetros existentes para conformación y construcción de taludes, en la ciudad de Guatemala

Es importante para la seguridad y economía, que los diseñadores de estructuras de contención tengan especial consideración con los métodos de construcción y los materiales a ser utilizados. Esto ayudará a evitar diseños peligrosos que pueden tener una repercusión económica significativa, afectando drásticamente de diferentes formas la economía y seguridad de los ciudadanos involucrados en estas obras. En la ciudad de Guatemala no existe un riguroso control de parámetros básicos de diseño para conformación y construcción de taludes, especialmente cuando se entregan las licencias de construcción por parte de las municipalidades. Existe ausencia total de documentos que limiten, condicionen o rijan estas actividades.

Los siguientes factores son algunos de los cuales debiese tener en cuenta para seleccionar el tipo de estructura de contención o conformación a dar al talud:

- a. Localización de la estructura de contención propuesta, su posición relativa con relación a otras estructuras y la cantidad de espacio disponible.
- b. Altura de la estructura propuesta y topografía del lugar. (en Guatemala no se solicitan planos detallados de niveles, razón por lo cual en muchas ocasiones es pasado por alto este punto)
- c. Condiciones del terreno, agua de escorrentía y agua freática. Existe falta de supervisión que pueda determinar la incidencia de estos factores.
- d. Cantidad de movimiento del terreno aceptable durante la construcción y la vida útil de la estructura, además el efecto de este movimiento en muros vecinos, estructuras o servicios.
- e. Disponibilidad de materiales es decir que se pueda cumplir con lo propuesto.

- f. Tiempo disponible para la construcción, esto afectara seriamente la calidad de la obra.
- g. Apariencia
- h. Vida útil y mantenimiento periódico requerido.
- i. Recursos disponibles para la ejecución del proyecto, ya que en ocasiones estas obras adquieren poca importancia debido a la limitante económica, especialmente si el proyecto ha sido ejecutado antes de las obras complementarias.
- j. Ampliaciones de redes viales o infraestructura en general.
- k. Experiencias en lugares cercanos del comportamiento de los materiales, esto proporciona un índice confiable de la vulnerabilidad del lugar.

Una durabilidad inadecuada puede resultar en un costo muy alto de mantenimiento o puede causar que la estructura de contención alcance muy rápidamente su estado límite de servicio o su estado límite último. Por lo tanto, la durabilidad del muro y la vía de diseño junto con los requisitos de mantenimiento deben ser consideradas en la planificación, seleccionando adecuadamente las especificaciones de los materiales de construcción, teniendo en cuenta el clima local, y el ambiente del sitio donde se plantea colocar la estructura. Por ejemplo, el concreto, el acero y la madera se deterioran en forma diferente de acuerdo a las circunstancias del medio ambiente reinante.

Las entidades estatales que tienen a su cargo los trabajos de planificación, administración, supervisión y ejecución de los trabajos durante la construcción de obras de infraestructura vial o residencial (carreteras, viaductos, caminos lotificaciones, etc.), no cuentan con recursos adecuados para garantizar que las laderas que se forman producto de los trabajos tengan un grado de estabilización adecuada, simplemente se siguen procedimientos dictados por la

planificación, quien no siempre realiza los estudios pertinentes o se asesora adecuadamente. En ocasiones se toman datos de otros proyectos similares en cuanto a geometría o apariencia del terreno, sin tomar en cuenta las variaciones que este pueda tener principalmente por factores como el tipo de suelo, construcciones cercanas, topografía, fallas geológicas, nivel freático, tráfico del lugar, condiciones meteorológicas del lugar de construcción y otras condiciones comúnmente variables.(16)

En repetidas ocasiones hay laderas a las cuales no se les construye ningún tipo de protección y solamente son conformadas con base a la experiencia de los encargados de obra u operadores de maquinaria pesada, estos trabajan empíricamente sin ningún tipo de certeza que estos soportaran condiciones adversas en general tomando únicamente en consideración las condiciones de estabilidad aparentes del talud. Asimismo se visualizan muchas deficiencias o descuidos en el control de erosión principalmente por condiciones climáticas. En la ciudad capital especialmente el lado noreste se pueden observar continuamente laderas con altas posibilidades de sufrir deslizamientos y hundimientos, esto principalmente provocado por el incremento en la fuerza de las precipitaciones año tras año.

2.4. 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, Coviial, etc.) 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 consientes que por nuestras 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, etc.), un mantenimiento adecuado que pueda garantizar que no tendremos problemas de deslizamientos bajo condiciones criticas, especialmente durante el invierno el cual cada año es mas copioso y sigue ocasionando desastres en muchas ocasiones totalmente previsibles, como cuando se ha tenido la presencia de tormentas tropicales o fuertes depresiones las cuales han puesto al descubierto las carencias a nivel nacional en materia de mantenimiento. A pesar de todo si existen algunos datos de las zonas en riesgo susceptibles a desastres pero sin ningún tipo de control.

Como parte de los trabajos de mantenimiento para la red vial en Guatemala, únicamente se pueden encontrar contratos anuales para trabajos de limpieza de cunetas y chapeo.

2.5. 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 o mas de tipo maquillaje.

Figura 25. **Ejemplo de soluciones temporales sin ningún tipo de análisis por parte de las municipalidades que ejecutan.**



Fuente: **Trabajos en ejecución. Municipio de Mixco, ciudad de Guatemala.**

El trabajo de campo es el más costoso y el que mejor información puede proveer para un análisis detallado conjuntamente con el de laboratorio. En contraste, el análisis de la información y modelación es más económico. En el caso de problemas de taludes, el planteamiento de una teoría sin comprobación que puede conducir a errores de análisis que llevan necesariamente, a la escogencia de soluciones equivocadas y en ocasiones a provocar deslizamientos mayores que el que se pretende estabilizar. El análisis y la evaluación del deslizamiento generalmente, requieren de experiencia del profesional encargado, sin embargo la experiencia puede ser mala consejera porque lo que ocurrió en un sitio no es necesariamente lo que está ocurriendo en un sitio distinto, así, los factores exteriores lo indiquen. En estabilidad de taludes son muchos los errores que se han cometido por falta de profundización en los estudios y por creer que la primera teoría planteada es la verdadera.(16)

Los deslizamientos ocurren en sitios específicos bajo ciertas condiciones topográficas, geológicas, climáticas y ambientales. Por lo tanto, es importante utilizar la información existente (historia del problema, planos básicos, etc.) con el fin de entender las propiedades topográficas, geológicas, etc., de los deslizamientos.

3. PROPUESTAS GENERALES Y TÉCNICAS PARA EVITAR DESASTRES POR DESLIZAMIENTOS EN TALUDES Y LADERAS

El objetivo principal de un estudio de estabilidad de taludes o laderas es el de establecer medidas de prevención y control para reducir los niveles de amenaza y riesgo. Generalmente, los beneficios más importantes desde el punto de vista de reducción de amenazas y riesgos es la prevención.(12)

Especialistas en el tema han propuesto una serie de principios generales y metodologías para la reducción de amenazas de deslizamiento utilizando sistemas de prevención, los cuales requieren de políticas del Estado y de colaboración y conciencia de las comunidades. Sin embargo, la eliminación total de los problemas no es posible mediante métodos preventivos en todos los casos y se requiere establecer medidas de control, para la estabilización de taludes susceptibles a sufrir deslizamientos o deslizamientos activos.

La estabilización de deslizamientos activos o potencialmente inestables es un trabajo complejo, el cual requiere de metodologías de diseño y construcción. En el presente capítulo se presentan algunos de los sistemas de prevención, manejo, y estabilización de deslizamientos. Una vez estudiado el talud, definidos los niveles de amenaza y riesgo, el mecanismo de falla y análisis de factores de equilibrio, se puede pasar al objetivo final que es el diseño del sistema de prevención control o estabilización.(6) Existen varias formas de enfocar y resolver cada problema específico y la metodología que se requiere emplear depende de una serie de factores técnicos, sociales, económicos, políticos; con una gran cantidad de variables en el espacio y en el tiempo. A continuación se presentan algunas de las metodologías utilizables para

disminuir o eliminar el riesgo de un deslizamiento de tierra, aplicando técnicas que favorecen las condiciones generales del país.

3.1. Prevención

La prevención incluye el manejo de la vulnerabilidad, evitando la posibilidad de que se presenten riesgos o amenazas. La prevención debe ser un programa del estado, en todos sus niveles mediante una legislación y un sistema de manejo de amenazas que permita disminuir los riesgos a deslizamiento en un área determinada.

Tabla I. **Métodos de prevención de la amenaza o riesgo.**

MÉTODOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Disuación con medidas coercitivas	Son muy efectivas cuando la comunidad esta consiente del riesgo y colabora con el estado	El manejo de los factores socioeconomicos y sociales es dificil.
Planeación del uso de la tierra	Es una solución ideal para zonas urbanas y es facil de implementar.	No se puede aplicar cuando ya existe el riesgo.
Codigos tecnicos	Presenta herramientas precisas para el control y prevención de amenazas.	Se requiere de una entidad que los haga cumplir.
Avisos y alarma	Disminuye en forma considerable el riesgo cuando es inminente.	Generalmente, se aplica despues de ocurrido el desastre.

Los riesgos debidos a deslizamientos de tierra se pueden reducir utilizando estrategias así:

- a. Restricciones al desarrollo en áreas susceptibles a deslizamientos
- b. Reglamentos bien claros y exigentes para excavaciones, explanaciones, paisajismo y construcción.

- c. Medidas físicas tales como drenaje, modificación de la geometría y estructuras para prevenir o controlar los deslizamientos o los fenómenos que los pueden producir.
- d. Desarrollo de sistemas de aviso o alarma.

Los métodos de mitigación o prevención de amenaza pueden reducir en forma importante la ocurrencia de deslizamientos. La prevención permite el manejo de áreas relativamente grandes, teniendo en cuenta que los procesos naturales pueden ocurrir en diversos sectores dentro de un área de susceptibilidad similar, en forma repetitiva o múltiple. La mejor estrategia para la reducción de amenaza de deslizamiento, generalmente envuelve una mezcla de varias técnicas o sistemas en donde se requiere la cooperación de geólogos, ingenieros, planeadores, propietarios de la tierra, constructores, organizaciones financieras y de seguros y entidades del Estado.(6)

Para el diseño de un programa adecuado de prevención se requiere tener en cuenta los siguientes elementos:

- a. Una base técnica completa de las amenazas y riesgos.
- b. Un grupo técnico capaz de interpretar y manejar la información existente.
- c. Entidades del Estado conocedoras y conscientes de los problemas.
- d. Una comunidad que comprenda el valor y los beneficios de estos programas.

Se necesitan entonces dos elementos principales: Una base técnica completa y confiable sobre las amenazas y riesgos, un estado y comunidad conscientes de los problemas y del beneficio de los programas de prevención.

3.1.1. Restricciones al desarrollo de áreas de riesgo

Uno de los métodos más efectivos y económicos de reducir pérdidas por deslizamientos, es la planificación de nuevos desarrollos, dedicando las áreas susceptibles a deslizamientos como áreas abiertas o verdes o de baja intensidad de uso. La mayoría de los países y ciudades tienen legislación que permite la planificación mediante códigos de urbanismo o ambientales.

En ocasiones se requiere recurrir a evacuar áreas ya utilizadas o urbanizadas, mediante adquisición de la tierra y propiedades por parte del Estado y relocalización de los habitantes y sus viviendas. Sin embargo, el método más efectivo es el de evitar desarrollos de áreas susceptibles, el cual se puede obtener mediante varios sistemas:

Figura 26. **Áreas de la ciudad en riesgo utilizadas para construcción de vivienda.**



Fuente: **Laderas Calzada de la Paz y sus alrededores.**

3.1.1.1. Políticas de disuasión

3.1.1.1.1. Programas de información pública

Es importante que la ciudadanía tenga información sobre las amenazas de deslizamiento, en tal forma que ellos mismos actúen como sistema de control, evitando las inversiones o invasiones en estas áreas.

3.1.1.1.2. Manejo de escrituras o certificados de propiedad

Crear normas que obliguen a las personas, empresa o inmobiliarias que vendan propiedades en áreas con susceptibilidad a los deslizamientos o a las inundaciones, que especifiquen claramente en forma escrita a los potenciales propietarios de las amenazas geológicas a que están expuestos previo a realizar el negocio.

3.1.1.1.3. Negación de los servicios públicos

El gobierno central a través de sus dependencias puede prohibir la construcción de servicios públicos, tales como acueducto, alcantarillado, energía eléctrica, vías, etc., en áreas susceptibles a deslizamientos.

3.1.1.1.4. Avisos públicos

El Estado, la Municipalidad de Guatemala o la del Municipio que corresponde puede colocar vallas o avisos que alerten a la población sobre las amenazas y riesgos en una determinada área.

3.1.1.1.5. Adquisición de propiedades por parte del Estado

Las dependencias del estado pueden comprar o tomar las propiedades o áreas amenazadas para su utilización como espacios abiertos o para la construcción de obras de estabilización.

3.1.1.1.6. Negación de créditos

Obligar a las entidades financieras a establecer políticas para negar los créditos destinados al desarrollo de áreas amenazadas.

3.1.1.1.7. Costos de seguro

Las entidades financieras podrían colocar precios muy altos a los seguros para desanimar la inversión en áreas de riesgo.

3.1.1.1.8. Impuestos

El Estado puede establecer impuestos altos que desanimen el desarrollo de áreas amenazadas.

3.1.1.2. Regulaciones al uso de la tierra

La regulación al uso de la tierra es generalmente, manejada por el Estado el cual puede prohibir usos específicos u operaciones que puedan causar falla de los taludes, tales como la construcción de carreteras, urbanizaciones o edificios, sistemas de irrigación, tanques de acumulación de agua, disposición de desechos, etc. La Municipalidad debe tener reglamentos de urbanismo para regular los nuevos desarrollos, sin embargo se requiere una mayor conciencia

ciudadana sobre las amenazas y que estas sean tenidas en cuenta en la elaboración de las regulaciones de uso de la tierra.

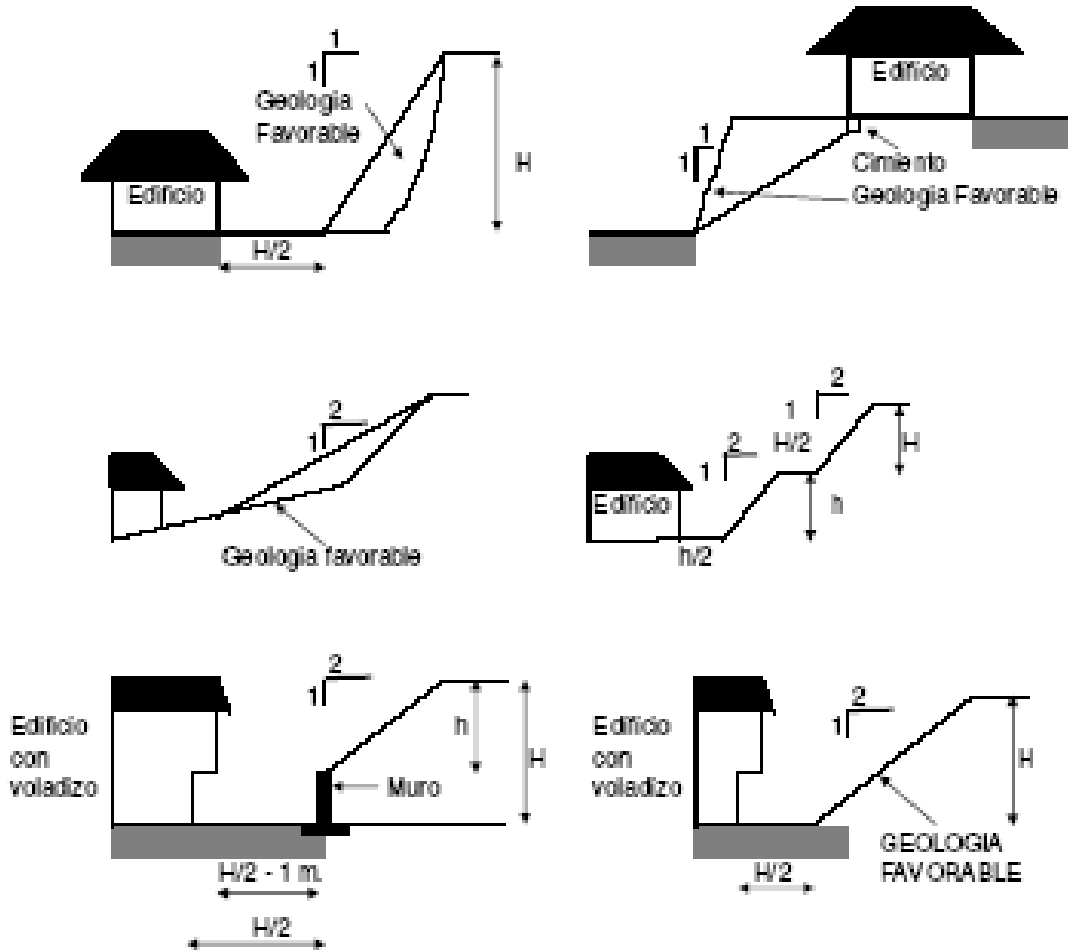
3.1.1.3. Reglamentos técnicos para el manejo de taludes

Al igual que otras ciudades deben elaborarse reglamentos específicos para el manejo de taludes, en los cuales se especifique los parámetros técnicos para el diseño y construcción de obras de estabilización. El uso de reglamentos es común en otras ciudades propensas como Guatemala y debiera ser supervisado por las autoridades ambientales con las entidades de planificación y desarrollo.

En este reglamento deben establecerse regulaciones y normas para los siguientes aspectos:

- a. Requisitos para la presentación de proyectos que envuelvan modificaciones del terreno.
- b. Parámetros mínimos para la elaboración de estudios geotécnicos y de estabilidad.
- c. Aislamientos mínimos de pie y corona de taludes, cauces de quebradas, colectores de alcantarillado, etc.
- d. Procedimientos para el manejo y estabilización de taludes, tales como muros de contención, control de aguas superficiales y subterráneas.
- e. Normas para el control de fondo y lateral de cauces.
- f. Requisitos para la construcción de vías en áreas susceptibles, rellenos en tierra y disposición de escombros.(8)

Figura . Requisitos y aislamientos para taludes y laderas empleados en otras ciudades.



En algunas ciudades la experiencia local ha permitido la expedición de reglamentos por las oficinas de planificación. Generalmente estos tienden a sobre diseñar y los factores de seguridad de estos taludes son altos.(4)

La ciudad de Los Angeles representa un ejemplo impresionante del uso de estos códigos, en cuanto a la disminución de la ocurrencia de deslizamientos de tierra, los cuales disminuyeron después de 1963, fecha en que se implementó el reglamento, a un 10% de las fallas que ocurrían antes del código, para un período invernal de condiciones similares.

3.1.1.4. Medidas de aviso y alarma

Las áreas propensas a deslizamientos pueden instrumentarse para prevenir o avisar sobre la ocurrencia de un fenómeno y pueden establecerse programas de información a la comunidad sobre la eventualidad de un determinado deslizamiento. Los sistemas de observación de campo usan extensómetros, inclinómetros, piezómetros, cercas eléctricas y disyuntores. Las recientes innovaciones incluyen instrumentos acústicos, televisión, radar, rayos láser y medidores de vibración, los cuales pueden ser telemanejados desde una estación central recibidora.

Los sistemas de monitoreo y alarma son instalados con el objetivo principal de proteger vidas y propiedades y no de prevenir deslizamientos. Sin embargo, estos sistemas en ocasiones permiten un tiempo suficiente después del aviso para construir medidas físicas de control que reducen la amenaza a largo plazo.(6)

3.2. Métodos de elusión de la amenaza

Eludir la amenaza consiste en evitar que los elementos en riesgo sean expuestos a la amenaza de deslizamiento.

Previamente a la aplicación de un método de elusión debe estudiarse la posibilidad de aplicación de sistemas de estabilización en los aspectos técnicos y económicos. No es una buena práctica de ingeniería el tratar de eludir los problemas antes de intentar resolverlos. La presencia de deslizamientos de gran magnitud difíciles de estabilizar es un argumento de gran peso para sustentar un proceso de elusión. Debe tenerse en cuenta que en ocasiones estos deslizamientos son movimientos antiguos, los cuales han sido disfrazados

por procesos nuevos de meteorización, erosión, vegetación o actividades humanas. La no-detección de estos grandes deslizamientos en la fase de planificación puede acarrear costos muy altos en el momento de la construcción.

Tabla II. **Métodos de elusión de amenazas de deslizamientos**

MÉTODO	APLICACIONES	LIMITACIONES
Variantes o relocalización del proyecto	Se recomienda cuando existe el riesgo de activar grandes deslizamientos difícil de estabilizar o existen deslizamientos antiguos de gran magnitud. Puede ser el mejor de los métodos si es económico hacerlo.	Puede resultar costoso y el nuevo sitio o alineamiento puede estar amenazado por deslizamientos.
Remoción total del deslizamiento	Es atractivo cuando se trata de volúmenes pequeños de excavación.	La remoción de los deslizamientos puede producir nuevos movimientos.
Remoción parcial de materiales inestables	Se acostumbra el remover los suelos superficiales inestables cuando sus espesores no son muy grandes.	Cuando el nivel freático se encuentra superficial se dificulta el proceso de excavación.
Modificación del nivel del proyecto o sub-rasante de una vía.	La disminución de la altura de los cortes en un alineamiento de gran longitud puede resolver la viabilidad técnica de un proyecto.	Generalmente, al disminuir la altura de los cortes se desmejoran las características del proyecto.
Puentes o viaductos sobre los movimientos	Muy útil en terrenos de pendientes muy altas.	Se requiere cimentar los puentes sobre suelo estable y las pilas deben ser capaces de resistir las fuerzas laterales del material inestable.

3.2.1. Construcción de variantes

Al reconocer y cuantificar un deslizamiento puede resultar más ventajoso para el proyecto, modificarlo para evitar la zona problema. Para aplicar este método correctamente se requiere un conocimiento geológico y geotécnico muy completo de la zona, que permita concluir que no es técnica o económicamente viable la utilización de un sistema de estabilización y que es recomendable la elusión del problema, modificando el proyecto, construyendo una variante vial, etc.

3.2.2. Remoción total de la masa de los deslizamientos o los materiales inestables

Cuando no es posible la construcción de una variante se puede considerar el remover total a parcialmente los materiales de los deslizamientos antiguos o con riesgo de activación. La remoción de materiales inestables va desde el descapote o remoción de los primeros metros de suelo hasta la eliminación de todo el material inestable. Generalmente, hay limitaciones prácticas al empleo de este método por los volúmenes de tierra que se requiere manejar y la falta de espacio para colocar esta tierra, teniendo en cuenta sus efectos ambientales y los costos que esto implica.

En terraplenes a media ladera se acostumbra remover la totalidad de la capa sub-superficial de materiales inestables previamente a la colocación del terraplén. En taludes en roca es muy común la remoción de los bloques inestables de material, esto puede incluir la remoción de la roca acumulada sobre las gradas, la conformación de la superficie y la remoción de salientes, utilizando explosivos. La remoción de roca puede ser muy peligrosa para los operarios que hacen el trabajo, así como para personas en áreas cercanas,

vehículos, etc. Generalmente, se requiere suspender el tráfico en las vías para remover los bloques de roca y construir estructuras de protección para las obras existentes en áreas cercanas.

3.2.3. Construcción de puentes

Una alternativa utilizada con alguna frecuencia es la de construir puentes o estructuras para pasar por encima de los materiales inestables, estos puentes generalmente, deben apoyarse en pilas profundas sobre roca o suelo resistente por debajo de los materiales inestables; se deben realizar estudios muy completos para estar seguros que la profundidad y el sistema de cimentación son suficientes para garantizar la estabilidad del puente, las pilas deben diseñarse para resistir las cargas laterales, las cuales son muy difíciles de predecir. Los puentes pueden ser una solución muy atractiva en terrenos montañosos de alta pendiente donde las excavaciones generarían taludes demasiado altos, esta alternativa es muy utilizada en algunos países europeos como Austria, Italia y Noruega.(2)

3.2.4. Modificación del nivel de la subrasante, cota del proyecto o alineamiento

En la etapa de diseño la modificación del nivel de la subrasante de un proyecto vial puede resultar en profundidades mucho menores de cortes que darían una mayor estabilidad a los taludes. En estos casos el Ingeniero a cargo debe trabajar conjuntamente con el ingeniero de trazado vial para lograr un equilibrio entre la estabilidad y las características del proyecto.

Generalmente es más efectivo y económico modificar las características del diseño, que construir obras de estabilización. La modificación puede incluir

el cambio del proyecto en planta como cambiar el radio o localización de una curva o separar el proyecto del talud.

3.3. Métodos de control de movimientos

Estos son métodos con tendencia a controlar la amenaza activa antes de que se produzca el riesgo a personas o propiedades. Generalmente, consisten en estructuras que retienen la masa en movimiento. Este tipo de obras se construyen abajo del deslizamiento para detenerlo después de que se ha iniciado.

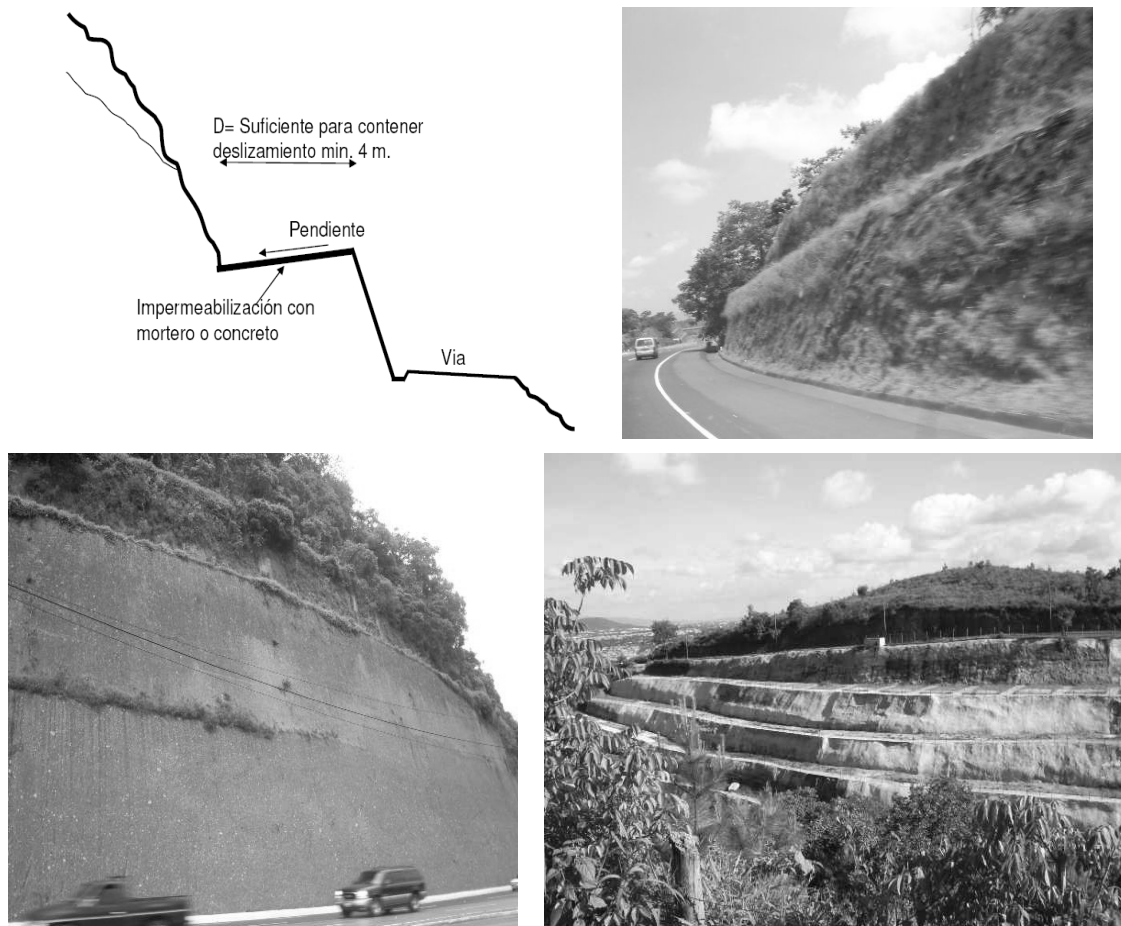
Tabla III. Estructura de control de masas en movimiento

MÉTODOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Bermas	Generalmente son económicas y rápidas de construir.	Se requiere un espacio grande a mitad del talud.
Trincheras	Sirven al mismo tiempo para control de aguas de lluvias.	Los cántos facilmente pasan por encima.
Estructuras de retención.	Retienen las masas en movimiento.	Se pueden requerir estructuras algo costosas.
Cubiertas de protección	Son unos de los metodos mas efectivos para disminuir el riesgo en carreteras.	Son muy costosas.

Un método efectivo de minimizar la amenaza de caídos de roca es permitir que ellas ocurran pero controlarlas adecuadamente, utilizando sistemas de control en el pie del talud, tales como trincheras, barreras y mallas. Un detalle común a todas estas estructuras es el de sus características de absorción de energía, bien sea parando la caída de rocas en una determinada distancia o desviándola de la estructura que está siendo protegida. Los factores más importantes a tener en cuenta en el diseño de estas estructuras son los siguientes:

- a. Trayectoria de las piedras.
- b. Velocidad.
- c. Energía de impacto.
- d. Volumen total de acumulación.

Figura 28. **Bermas para detener derrumbes o caídas de roca o suelos.**



Fuente: Taludes Calzada de la Paz ciudad de Guatemala, Autopista Palin Escuintla y Ciudad Quetzal en San Juan Sacatepéquez.

3.3.1. Bermas en el talud

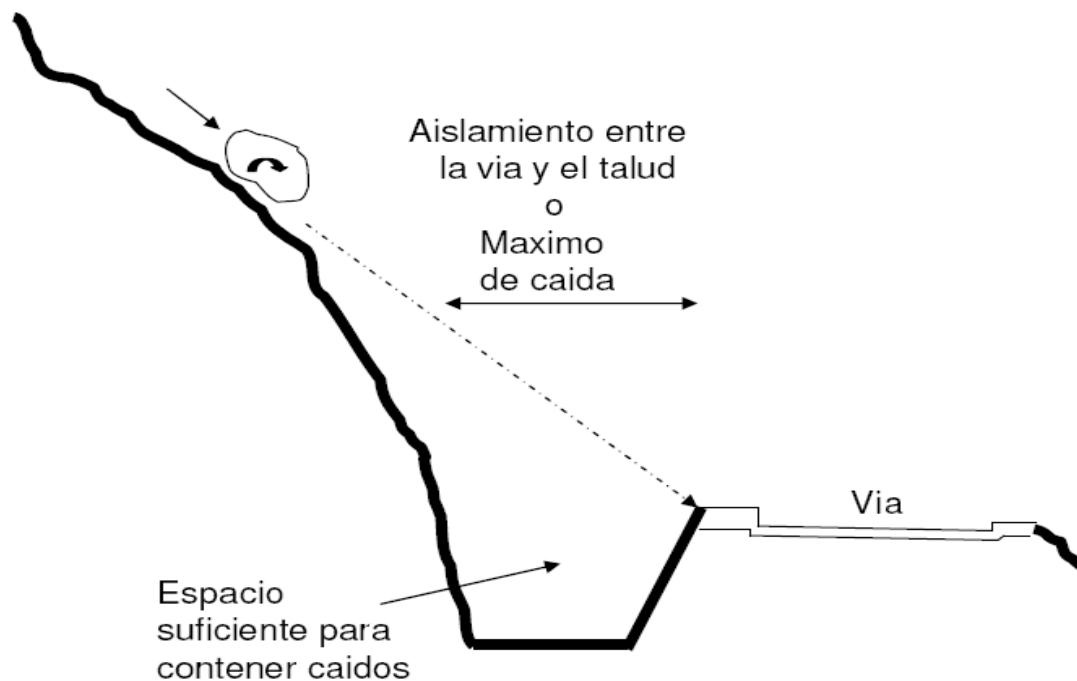
La excavación de bermas intermedias puede aumentar la amenaza de derrumbes. Los derrumbes tienden a saltar en las bermas; sin embargo el

diseño de bermas anchas puede ser muy útil para ciertos casos de caída, especialmente de residuos de roca. Lo importante es considerar un ancho que facilite la retención del material suelto.

3.3.2. Trincheras

Una trinchera o excavación en el pie del talud puede impedir que la roca afecte la calzada de una vía y representa una solución muy efectiva cuando existe espacio adecuado para su construcción. El ancho y profundidad de las trincheras está relacionado con la altura y la pendiente del talud, en los taludes de pendiente superior a 75 grados, los bloques de roca tienden a permanecer muy cerca de la superficie del talud y para pendientes de 55 a 75 grados tienden a saltar y rotar, requiriéndose una mayor dimensión de la trinchera. Para pendientes de 40 a 55 grados los bloques tienden a rodar y se requiere de una pared vertical junto a la trinchera para que los bloques no traten de salirse.

Figura 29. Trincheras para control de flujos, caídas y avalanchas

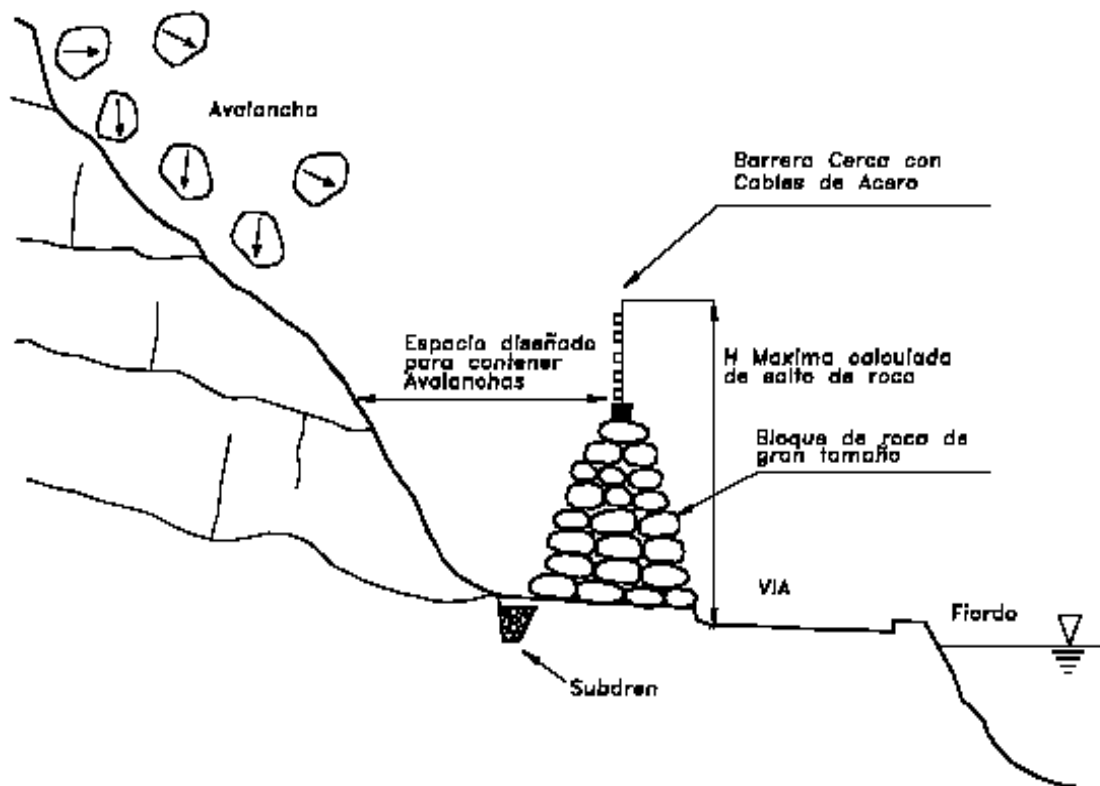


3.3.3. Barreras

Existe una gran variedad de barreras de protección y sus características y dimensiones dependen de la energía de las caídas. Las barreras pueden ser de roca, suelo, tierra armada, muros de concreto, pilotes, gaviones, bloques de concreto o cercas. La barrera generalmente, produce un espacio o trinchera en el pie del talud que impide el paso del derrumbe.

Actualmente, en el mercado se consiguen mallas especiales para la atenuación del impacto de los bloques de roca. La idea general es absorber la energía de los bloques.

Figura 30. Barreras en roca para control de avalanchas utilizadas en Europa



Fuente: José Chacon, **Evaluación de la Actividad de Movimientos de ladera**. Pág. 127.

Figura 31. Barreras de tierra armada con geotextil para protección de deslizamientos

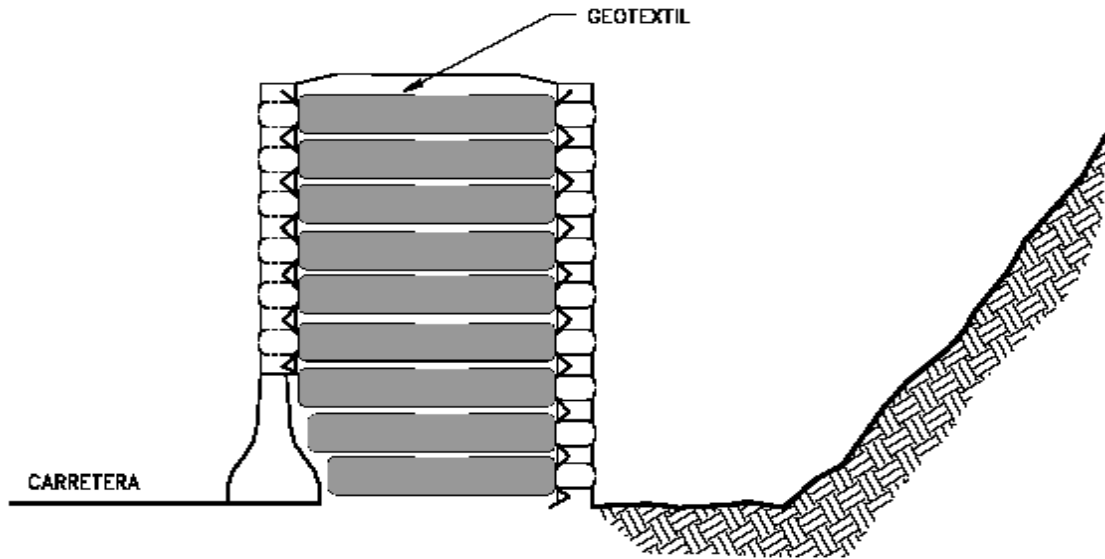
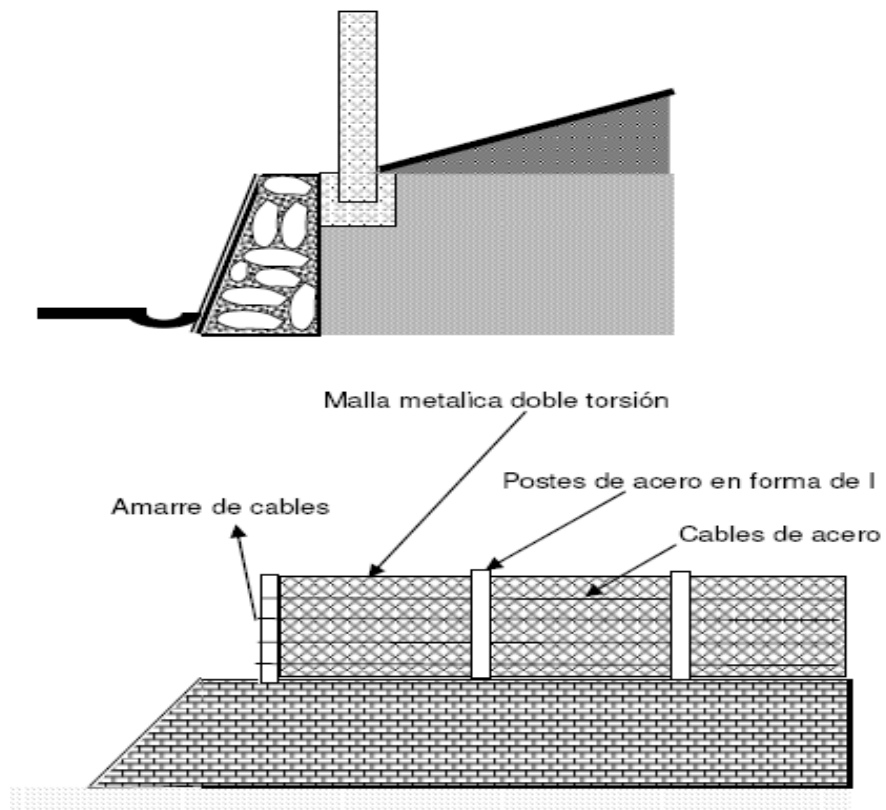


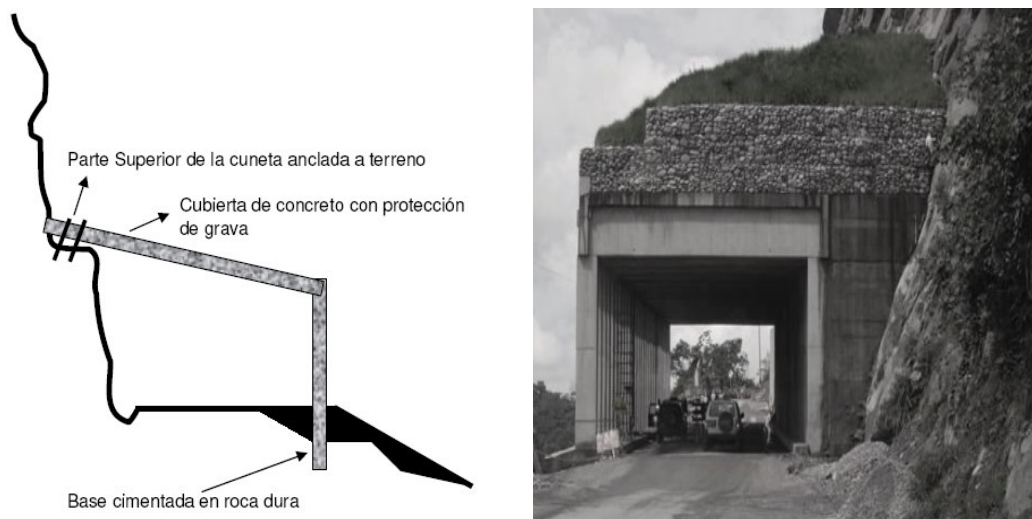
Figura 32. Sistema de barrera metálica con cables de acero para control de caídas de bloques de roca o suelo



3.3.4. Cubiertas de protección

Cuando existe la amenaza de caídas de roca en taludes de alta pendiente se puede plantear la construcción de cubiertas de protección, las cuales consisten en estructuras de concreto armado, inclinadas a una determinada pendiente para permitir el paso de los deslizamientos sobre ellas. Para el diseño de estas estructuras se requiere calcular las cargas de impacto y el peso de los materiales que eventualmente van a pasar o a retenerse sobre la estructura.(9)

Figura 33. **Cubierta de protección contra flujos o avalanchas**



Fuente: Jaime Suárez Díaz, **Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales.**
Pág. 545.

3.4. Mejoramiento de la resistencia del suelo

3.4.1. Inyecciones

Se han intentado varios esquemas para el control de deslizamientos con diversos productos químicos. Las inyecciones de diversos productos químicos

son utilizadas para mejorar la resistencia o reducir la permeabilidad de macizos rocosos y en ocasiones de suelos permeables.

Las inyecciones pueden consistir de materiales cementantes, tales como el cemento y la cal o de productos químicos tales como silicatos, ligninos, resinas, acrylamidas y uretanos. Generalmente, las inyecciones de cemento o de cal se utilizan en suelos gruesos o en fisuras abiertas y los productos químicos en materiales menos permeables.(9) En Guatemala es difícil pensar en la utilización de productos químicos, por economía y disponibilidad de estos recursos.

Los más usados son el cemento y la cal, ya sea en forma de inyección o colocándolo en perforaciones sobre la superficie de falla. El efecto de la inyección es el de desplazar el agua de los poros y fisuras y en esta forma producir una disminución de la humedad, así como cementar los poros de fisuras. El mortero de inyección se endurece y crea un esqueleto alrededor de las áreas de suelo o roca. La presión de inyección debe ser mayor que el producido por el sobrepeso de suelo y agua para permitir la penetración dentro de las fisuras y a lo largo de una superficie de falla activa.

Una hilera de perforaciones se coloca hasta más abajo de la superficie de falla, y éstas se utilizan como ductos de inyección. El espaciamiento entre huecos de inyección varía de 3 a 5 metros, la operación de inyección debe iniciarse con la hilera inferior, con el objeto de mejorar el apoyo en el pie de la falla y en esta forma evitar falla durante el proceso de inyección, debe tenerse en cuenta que la presión de poros puede aumentar por efecto del proceso de inyección, lo cual puede agravar los problemas de movimiento en los taludes. La presión de poros aumenta cuando se bloquean caminos de corriente de agua y debe tenerse especial cuidado en diseñar el sistema de inyección.

3.4.2. Estabilización con cemento

El caso del cemento es un proceso de cementación y relleno de los vacíos del suelo o roca y las discontinuidades de mayor abertura, aumentando la resistencia del conjunto y controlando los flujos internos de agua. Los procesos de inyecciones se conducen en varias etapas iniciando por una inyección de la zona y terminando con el relleno de sitios específicos.

Se pueden utilizar inyecciones en perforaciones de 3 a 4 centímetros de diámetro con espaciamiento de 10 metros, inyectando lechada de cemento, se han utilizado relaciones agua-cemento desde 0.5:1 hasta 10:1, dependiendo del tamaño de los vacíos, sin embargo, el rango usual varía de 0.8:1 a 5:1. El tiempo de fraguado de la inyección de cemento aumenta con la relación agua-cemento, generalmente, los tiempos varían entre 4 y 15 horas y para relaciones de cemento mayores de 10, en ocasiones nunca se produce el fraguado.

Con frecuencia se le agregan otros productos al cemento para mejorar el resultado de la inyección tales como aceleradores, retardadores, coloides para minimizar la segregación, materiales expansores, tomas reductoras de agua, etc. En ocasiones el cemento se mezcla con arena, arcilla o puzolana, ceniza como llenantes con el objetivo primario de disminuir el costo de la inyección.(8)

3.4.3. Estabilización con cal

Existe el método de estabilizar terraplenes de arcilla con capas de cal viva, el proceso de la mezcla con cal consiste en hacer reaccionar la cal con la arcilla, produciendo Silicato de Calcio, el cual es un compuesto muy duro y resistente.

En años recientes se han utilizado técnicas de inyección de lechada de cal dentro del suelo. La lechada que sigue las zonas fracturadas o juntas y otras superficies de debilidad fue inyectada, utilizando tubos de 4 centímetros de diámetro con puntas perforadas. La inyección es colocada al rechazo, a intervalos entre 30 y 45 centímetros, con presiones típicas entre 350 y 1300 Kpa. En esta forma se pueden tratar profundidades de más de 40 metros. En ocasiones se ha utilizado inyección de cal mezclada con cenizas.

La estabilización con cal no es efectiva en suelos granulares, una desventaja de este método es que al menos 80 días deben dejarse antes de que se consideren estabilizadas las columnas de cal. Otro sistema es el de colocar columnas de cal previa construcción de una perforación vertical. El efecto de las columnas de cal es un aumento en la cohesión promedio, a lo largo de una superficie de falla activa o potencial.(8)

3.5. Recubrimiento de la superficie

El objetivo de la protección de la superficie del talud es prevenir la infiltración debido a la lluvia y mantener el suelo parcialmente seco. Las medidas de protección incluyen el concreto lanzado, los bloques de mampostería, la protección con piedras, el recubrimiento con productos sintéticos. Estos recubrimientos pueden complementarse con prácticas de cobertura vegetal. Aunque, el factor de seguridad no se modifica teóricamente, en la práctica sí se produce un efecto estabilizante al mantener las fuerzas de succión o presiones negativas, las cuales actúan como fuerzas resistentes que tratan de impedir las fallas al cortante o el colapso.

El recubrimiento de la superficie de un talud con productos artificiales puede implicar un aumento en los valores de escorrentía, lo cual requiere de la

construcción de estructuras de control de aguas superficiales capaces de manejar los volúmenes producidos de acuerdo a la intensidad de las lluvias.

Tabla IV. **Métodos de recubrimiento de la superficie del talud**

MÉTODOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Recubrimiento de la superficie del talud.	El recubrimiento ayuda a controlar la erosión.	Se debe garantizar la estabilidad del recubrimiento.
Conformación de la superficie.	Puede mejorar las condiciones del drenaje superficial y facilitar el control de erosión.	Su efecto directo sobre la estabilidad es generalmente, limitado.
Sellado de grietas superficiales.	Disminuye la infiltración de agua.	Las grietas pueden abrirse nuevamente y se requiere mantenimiento por periodos importantes de tiempo.
Sellado de juntas y discontinuidades.	Disminuye la infiltración de agua y presiones de poro en las discontinuidades.	Puede existir una gran cantidad de discontinuidades que se requiere sellar.
Cobertura vegetal, arboles, arbustos y pastos.	Representa una alternativa ambientalmente excelente.	Puede requerir mantenimiento para su establecimiento.

3.5.1. Concreto Lanzado

El concreto lanzado es una alternativa su utilización se explicó en el subcapítulo de anclajes como un trabajo complementario a estos.

3.5.2. Recubrimiento con suelo cemento

El recubrimiento en suelo cemento puede mejorar las condiciones de permeabilidad de un talud haciéndolo relativamente impermeable y en esta forma disminuyendo la infiltración. En países con topografía inestable, principalmente del Sureste Asiático, se utiliza con mucha frecuencia un

recubrimiento llamado “*Chunam Plaster*”, el cual consiste en una mezcla de cemento, cal y suelo, generalmente, en las siguientes proporciones: una parte de cemento Pórtland, tres partes de cal hidratada y veinte partes de suelo residual de granitos o suelos volcánicos, lo cual es muy aplicable en Guatemala. El suelo debe estar libre de materia orgánica y raíces. El cemento y la cal deben mezclarse secas antes de agregarlas al suelo. Se agrega la mínima cantidad de agua consistente con la trabajabilidad de la mezcla, debe tenerse cuidado ya que si la relación agua-cemento es muy alta se produce agrietamiento severo del recubrimiento.

Generalmente, el *Chunam* se aplica en dos capas cada uno de aproximadamente 3 cm. La primera capa es escarificada antes de colocar la segunda, dejando un tiempo de aproximadamente de 24 horas entre las dos capas. También con frecuencia, se utiliza un sistema de anclajes o dovelas de 30 cm. de longitud clavadas a distancias de 1.50 metros como un complemento.(10)

3.5.3. Mampostería

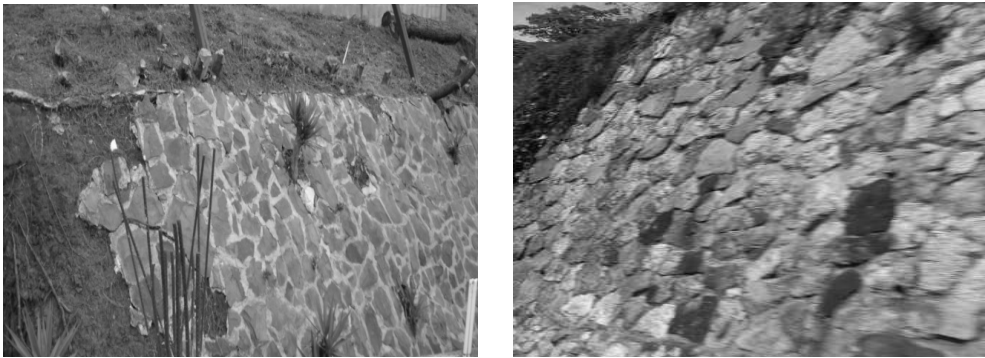
La mampostería puede consistir en bloques de concreto o en piedra pegada con concreto o mortero. Las juntas entre bloques adyacentes generalmente, se rellenan con un mortero 3 a 1 o se utiliza vegetación. En el caso de recubrimiento utilizando concreto o mortero se deben dejar lloraderos para evitar la acumulación de aguas subterráneas.

3.5.4. Rip-Rap

La solución consiste en colocar sobre la superficie del talud piedra suelta acumulada una sobre la otra con el objeto específico de proteger contra la

erosión. Usualmente por debajo del *Rip-Rap* se coloca un geotextil no tejido como elemento de protección adicional. El *Rip-Rap* puede colocarse a mano. El tamaño de las piedras depende de la pendiente del talud, pudiéndose colocar piedras de mayor tamaño en pendientes menores.

Figura 34. **Recubrimiento de taludes.**



Fuente: **Taludes zona 16 ciudad de Guatemala. A la izquierda colocación incorrecta de piedra laja a la derecha correcto recubrimiento con piedra.**

3.6. Modificación de la Topografía

3.6.1. Abatimiento de la pendiente del talud

Al disminuir la pendiente del talud, el círculo crítico de falla se hace más largo y más profundo para el caso de un talud estable, aumentándose en esta forma su factor de seguridad. El abatimiento se puede lograr por corte o por relleno. El abatimiento de la pendiente del talud es económicamente posible en taludes de poca altura, pero no ocurre lo mismo en taludes de gran altura, debido al aumento exagerado de volumen de tierra de corte con el aumento de la altura. El abatimiento por relleno en ocasiones no es posible por falta de espacio en el pie del talud.(7)

3.6.2. Remoción de materiales de la cabeza

La remoción de una suficiente cantidad de materiales en la parte superior del talud puede resultar en un equilibrio de fuerzas que mejore la estabilidad del talud. En la práctica este método es muy útil en fallas activas. La cantidad de material que se requiere depende del tamaño y características del movimiento y de la geotecnia del sitio.

Antes de iniciar el proceso de corte debe calcularse la cantidad de material que se requiere remover, finalmente la efectividad técnica del sistema y el factor económico van a determinar su viabilidad. En ocasiones estos materiales pueden ser utilizados como préstamo para terraplenes en el mismo proyecto.

3.6.3. Terrazas o bermas intermedias

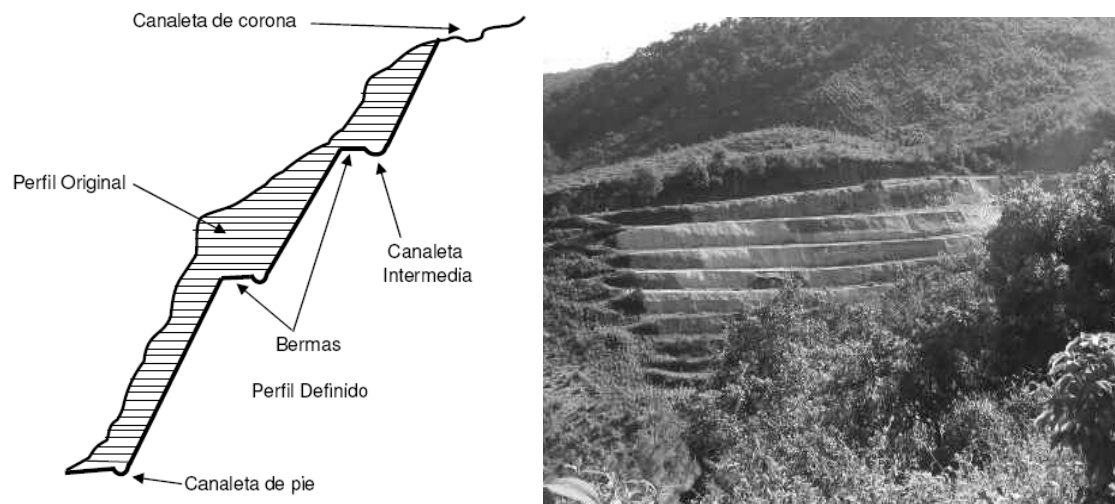
La construcción de terrazas en la parte alta de un deslizamiento de rotación tiende a reducir el momento actuante y controlar el movimiento. Si el proceso se hace en la parte inferior se puede lograr el proceso inverso de disminuir el factor de seguridad. En deslizamientos de traslación y en ciertos flujos o deslizamientos de residuos generalmente no es efectivo emplear métodos de remoción de materiales.

El efecto es el de disminuir las fuerzas actuantes, en la zona más crítica para la generación de momentos desestabilizantes. En esta forma el círculo crítico de falla se hace más profundo y más largo aumentándose el factor de seguridad. Al construir las terrazas el talud puede quedar dividido en varios taludes de comportamiento independiente, los cuales a su vez deben ser estables. El terraseo se le puede realizar con el propósito de controlar la erosión y facilitar el establecimiento de la vegetación. La altura de las gradas es

generalmente, de 5 a 7 metros y cada grada debe tener una cuneta revestida para el control del agua superficial. El sistema de cunetas a su vez debe conducir a una estructura de recolección y entrega con sus respectivos elementos de disipación de energía. En suelos residuales generalmente, la grada más alta debe tener una pendiente menor, teniendo en cuenta que el suelo sub-superficial es usualmente el menos resistente.

Las terrazas generalmente, son muy útiles para control de aguas de escorrentía. en todos los casos debe considerarse el efecto que se puede tener sobre los taludes arriba y abajo de la terraza a excavar.(7)

Figura 35. **Estabilización por conformación de taludes y bermas.**



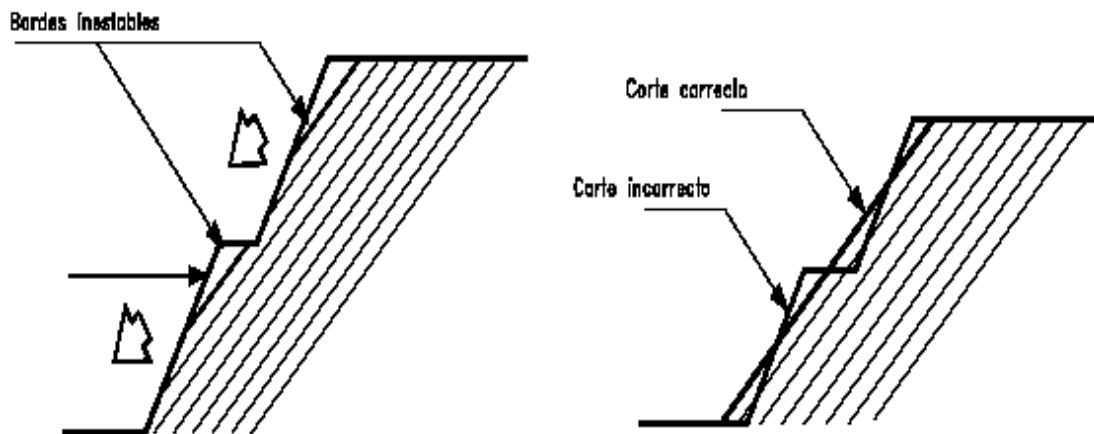
Fuente: **Construcción de bermas en talud en San Juan Sacatepéquez.**

3.6.3.1. Diseño de la geometría de las bermas

Uno de los objetivos principales del área de la estabilidad de taludes, es el diseño de taludes topográficamente estables. Este tipo de problema se le presenta al Ingeniero en el trazado de vías, explanaciones, exploraciones mineras, urbanizaciones, etc. El diseño comprende las decisiones de tipo

topográfico y estabilización que se requiere presupuestar, previamente a la construcción de la obra civil.(10)

Figura 36. Cortes en taludes con juntas semiparalelas a la topografía del terreno.



3.6.3.2. Diseños semi-empíricos

Debido a las dificultades que existen para la utilización de diseños empleando el sistema tradicional clásico en taludes ubicados en depósitos piroclásticos de zonas tropicales, continuamente se intenta formular reglas de diseño con base en la experiencia conocida. El uso de este sistema semi-empírico requiere de mucho cuidado, si la experiencia no proviene de la misma formación geológica en las mismas condiciones topográficas, climáticas y geotécnicas. Sin embargo, la experiencia en formaciones similares representa una buena guía, cuando no se cuenta con información suficiente para realizar un diseño detallado. El estudio patológico de las fallas, cuando los factores que contribuyen a una falla pueden ser evaluados, sirve también como bases para objeto del diseño en taludes, dentro de una misma formación geológica. En todos los casos es necesario que el Ingeniero logre entender los fenómenos que pueden ocurrir dentro de los taludes objeto del diseño.

3.6.3.2.1. Criterios generales para el diseño de bermas y pendientes

Para el diseño de bermas y pendientes se deben tener en cuenta los siguientes criterios:

- a. Formación Geológica: a mayor estabilidad de la roca se permiten mayores pendientes y mayores alturas. Las arenas, calizas y rocas ígneas duras y sanas permiten taludes casi verticales y grandes alturas. Los esquistos y lutitas (bloques formados por limos, arcillas y materiales de origen volcánico) no permiten taludes verticales.
- b. Meteorización: al aumentar la meteorización se requieren taludes más tendidos, menores alturas entre bermas y mayor ancho de las gradas. Los materiales muy meteorizados requieren de taludes inferiores a 1H:1V, en la mayoría de las formaciones geológicas no permiten alturas entre bermas superiores a 7 metros y requieren anchos de berma de mínimo 4 metros. Para cortes en materiales meteorizados la pendiente en la parte más profunda del corte permite ángulos superiores a la cabeza del talud. Se recomienda para cortes de gran altura establecer ángulos diferentes de pendiente para el pie y la cabeza del corte adaptándolos a la intensidad del proceso de meteorización.
- c. Minerales de arcilla: los suelos que contengan cantidades importantes de arcillas activas, requieren de pendientes de talud inferiores a 2H:1V. Las alturas entre bermas en suelos arcillosos no deben ser superiores a 5 metros y las gradas deben tener un ancho mínimo de 4 metros.
- d. Niveles freáticos y comportamiento hidrológico: los suelos saturados no permiten taludes superiores a 2H:1V a menos que tengan una demostrada alta cohesión.
- e. Sismicidad: en zonas sísmicas como Guatemala no se deben construir taludes semiverticales o de pendientes superiores a 1/2H:1V , a menos que se trate de rocas muy sanas.

f. Factores antrópicos: en zonas urbanas no se recomienda construir taludes con pendientes superiores a 1H:1V y las alturas entre bermas no deben ser superiores a 5 metros.

g. Elementos en riesgo: los taludes que ponen en riesgo vidas humanas deben evitarse o monitorearse más periódicamente que cualquier otro.(7)

3.6.3.2.2. Control de agua superficial y subterránea

Son sistemas que tienden a controlar el agua y sus efectos, disminuyendo fuerzas que producen movimiento y/o aumentando las fuerzas resistentes. Este tema constituye un apartado especial al control de aguas por consistir uno de los principales problemas para la estabilización de taludes y laderas.

4. MÉTODOS ALTERNATIVOS Y CONTROLES ESPECIALES RECOMENDABLES PARA EL ADECUADO MANTENIMIENTO Y MEJORAMIENTO DE TALUDES Y LADERAS

4.1. Vegetación y Bioingeniería

Para poder analizar los fenómenos del efecto de la vegetación sobre el suelo se requiere investigar las características específicas de la vegetación, en el ambiente natural que se esté estudiando. Entre los factores importantes se sugiere analizar los siguientes: volumen y densidad de follaje, tamaño, ángulo de inclinación y aspereza de las hojas, altura total de la cobertura vegetal, presencia de varias capas diferentes de cobertura vegetal, tipo, forma, profundidad, diámetro, densidad, cubrimiento y resistencia del sistema de raíces.

El tipo de vegetación, tanto en el talud como en el área arriba del talud es un parámetro importante para su estabilidad. La vegetación cumple dos funciones principales. En primer lugar tiende a determinar el contenido de agua en la superficie y, además, da consistencia por el entramado mecánico de sus raíces. Como controlador de infiltraciones tiene un efecto directo sobre el régimen de aguas subterráneas y actúa posteriormente como secador del suelo, al tomar el agua que requiere para vivir.(9)

4.1.1. Beneficios de la vegetación en taludes

- a. Intercepta la lluvia.
- b. Aumenta la capacidad de infiltración.
- c. Extrae la humedad del suelo.
- d. Grietas por desecación.

- e. Raíces refuerzan el suelo, aumentando resistencia al cortante.
- f. Anclan el suelo superficial a mantos más profundos.
- g. Aumentan el peso sobre el talud.
- h. Transmiten al suelo fuerza del viento.
- i. Retienen las partículas del suelo disminuyendo susceptibilidad a la erosión.

4.1.2 La deforestación y sus efectos en la estabilidad de taludes

- a. Disminuyen las tensiones capilares de la humedad superficial.
- b. Se elimina el factor de refuerzo de las raíces.
- c. Se facilita la infiltración masiva de agua.

De acuerdo a estudios realizados en ciudades con un alto grado de vulnerabilidad el 64.9% de los deslizamientos analizados están relacionados con alteraciones arriba de la corona, de los cuales el 38.3 % corresponde a áreas de cultivos y el 35.1 % a deforestación.(9)

La quema de la vegetación aumenta la inestabilidad de los taludes, especialmente si esto ocurre en áreas de coluviones en los cuales la vegetación ejerce un papel preponderante en la estabilidad, especialmente por la eliminación del refuerzo de las raíces y por la exposición a la erosión acelerada.

Las raíces cumplen una función muy importante de absorción. Grandes cantidades de agua son absorbidas por las plantas junto con minerales y productos que la planta requiere para su alimentación.

4.1.3. Factores que determinan el desarrollo de las raíces

- a. Disponibilidad de nutrientes en el suelo.

- b. Disponibilidad de oxígeno.
- c. Contenido de Humedad.
- d. Succión o presión osmótica.
- e. Temperatura del suelo.
- f. Niveles de toxinas y elementos patogénicos.
- g. Sistema de poros.

De los anteriores elementos, el más importante es posiblemente la disponibilidad de oxígeno en el suelo.

El tronco soporta los órganos fotosintéticos y reproductivos, especialmente las hojas. La estructura de la hoja muestra dos partes: superior e inferior, que cumple un objetivo muy importante para la vida de la planta. La habilidad de un suelo para sostener el crecimiento de las plantas depende de su habilidad para proveer nutrientes, agua y oxígeno. Físicamente un suelo mineral es una mezcla de partículas inorgánicas, materiales orgánicos, aire y agua.

Las propiedades químicas del suelo le dan a este la habilidad de crear ambientes que faciliten el crecimiento de la vegetación. La fertilidad depende de la disponibilidad de nutrientes y estos de los microorganismos que continuamente están trabajando para transformar los materiales orgánicos. Los materiales orgánicos representan entre 3 y 5% del peso de un suelo orgánico típico. Las condiciones de acidez o PH del suelo son un factor determinante para el crecimiento de muchas especies vegetales.

4.1.4. Efectos de la vegetación en la estabilidad de taludes

El efecto más importante de la vegetación, universalmente aceptado, es la protección contra la erosión en todos los casos y con todo tipo de vegetación.

La vegetación con mayor densidad de follaje amortigua más eficientemente el golpe de la lluvia y disminuye la erosión. En hierbas y pastos la densidad y volumen del follaje actúan como un colchón protector contra los efectos erosivos del agua de escorrentía.

En lo referente a control de erosión se ha encontrado que donde hay árboles altos la erosión es menor que en el caso de arbustos. Además, se ha encontrado que las hierbas o maleza protegen generalmente mejor contra la erosión que los pastos. No hay mejor evidencia que mirar la naturaleza y observar como se conserva y protege ella misma.(9)

Figura 37. **Taludes recubiertos de vegetación en condiciones naturales.**



Fuente: **Laderas estables cubiertas de vegetación de modo natural.**

Las características de las raíces dependen de la especie vegetal, la edad, las propiedades del perfil de suelo y el medio ambiente. La profundidad de las raíces generalmente, no supera los cinco metros en árboles grandes, dos

metros en los arbustos y 30 centímetros en los pastos; Aunque se han reportado casos de raíces de árboles de más de 30 metros de profundidad.

La extensión lateral del sistema radicular generalmente, es mayor que su profundidad y en algunos casos superan los 50 metros de longitud. Algunas plantas poseen un sistema de raíz “extensivo”, en el cual las raíces alcanzan profundidades o extensiones grandes, mientras otras forman un sistema “intensivo” con raíces más cortas y finas. La forma de las raíces puede presentar tres esquemas diferentes así:

- a. Raíz de extensión lateral
- b. Raíz de extensión radial.
- c. Raíz pivotante.

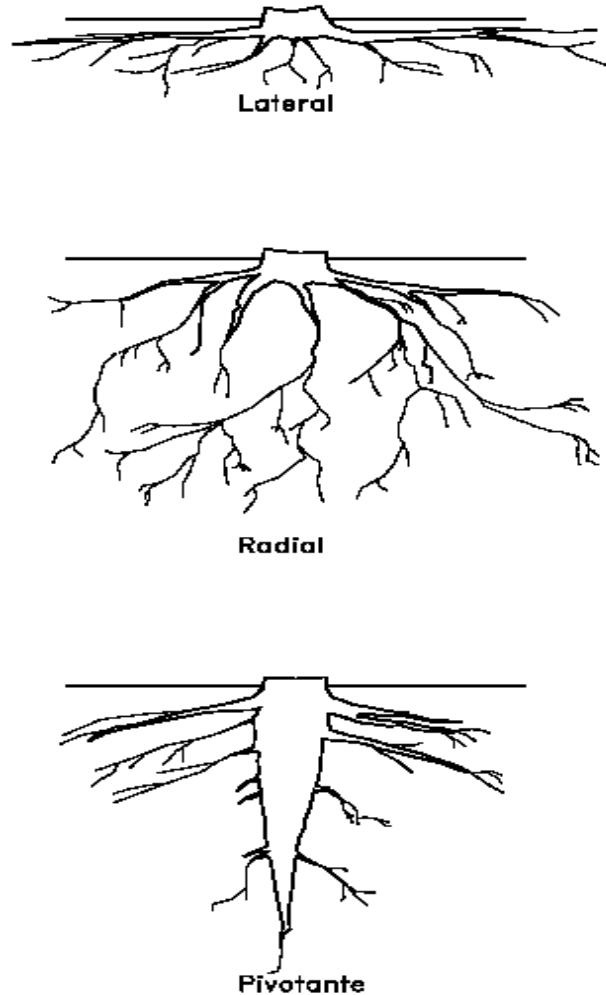
La raíz pivotante es una raíz vertical profunda centrada con ramificaciones de raíces pequeñas. Generalmente las raíces pivotantes alcanzan profundidades mayores que las raíces laterales o radiales. Estas raíces son muy efectivas para la estabilización de deslizamientos poco profundos.

Figura 38. **Talud recubierto con vegetación de manera deficiente.**



Fuente: **Talud Carretera al Pacifico Villa Nueva. No se escogió adecuadamente las plantas y se dejo el trabado sin concluir.**

Figura 39. Tipos de raíz.



Fuente: Jaime Suárez Díaz, **Vegetación y Bioingeniería**, Pág. 283.

4.2. Bioingeniería

La estabilización de taludes por el uso combinado de vegetación y elementos estructurales adicionales trabajando de una manera conjunta e integrada, se le conoce como estabilización Biotecnológica de taludes. Este concepto de estabilización comprende parámetros ambientales muy importantes y su efectividad ha sido extraordinaria. Pastos y plantas diseñadas

con el propósito de producir refuerzo del suelo se pueden plantar junto con muros de contención o sistemas estructurales de estructura abierta en forma de grilla, con espacios para el crecimiento de la vegetación. Por ejemplo el uso de piedra conjuntamente con vegetación para la estabilización de un talud, en el cual la vegetación ayudó a retener los bloques de roca y al mismo tiempo reforzar el talud. La utilización de telas geosintéticas junto con la vegetación conforman una protección integral contra la erosión y generalmente estos materiales se desintegran después de que las plantas crecen y se establecen en forma permanente.(9)

4.2.1. Siembra y establecimiento

Los árboles son las especies más difíciles de establecer y deben localizarse en el talud en tal forma que la humedad sea lo más permanente posible. Es conveniente la construcción de terrazas o sistemas de concentración de aguas en las áreas de siembra de los árboles, ciertos tipos de pastos requieren riego permanente y no es recomendable utilizarlos en taludes en los cuales se puedan producir épocas de sequía.

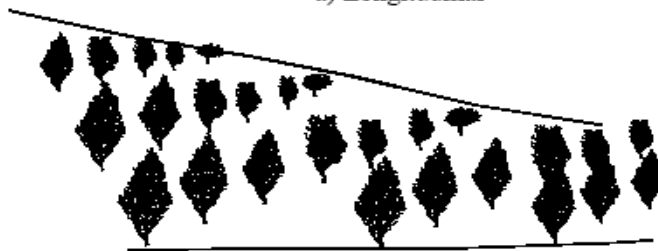
La poda de los árboles es una práctica muy útil para generar un crecimiento armónico. Existen épocas del año más propicias que otras para la poda de los árboles y debe tenerse cuidado de no malograr su crecimiento por poda en un periodo no propicio. La forma como se localizan los árboles en taludes puede afectar su comportamiento.

Los arreglos pueden ser longitudinales, transversales, diagonales, cruzados o radiales. Deben sembrarse separados entre si una distancia entre 1.50 a 3.00 metros dependiendo del tamaño que puedan alcanzar según su especie.

Figura 40. Arreglo de árboles en el talud.



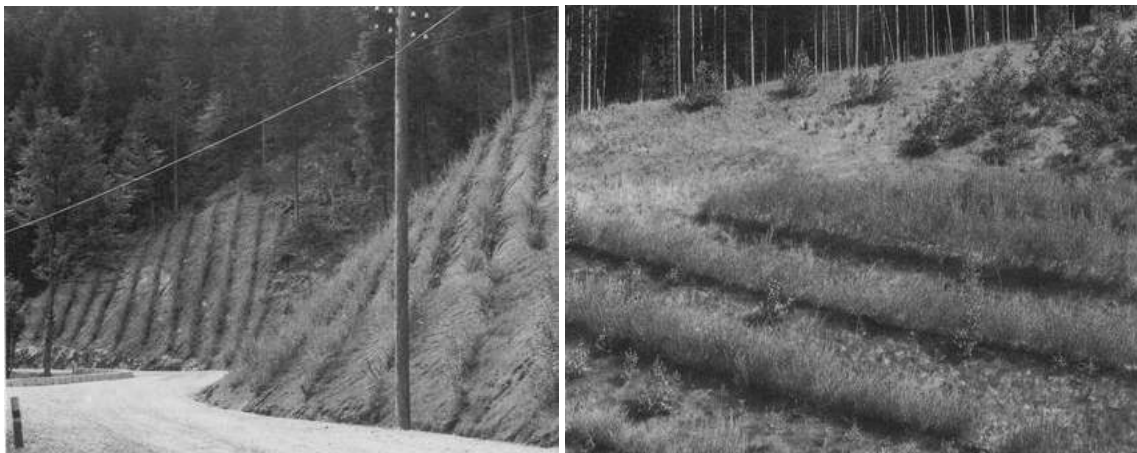
a) Longitudinal



c) Diagonal



c) Radial

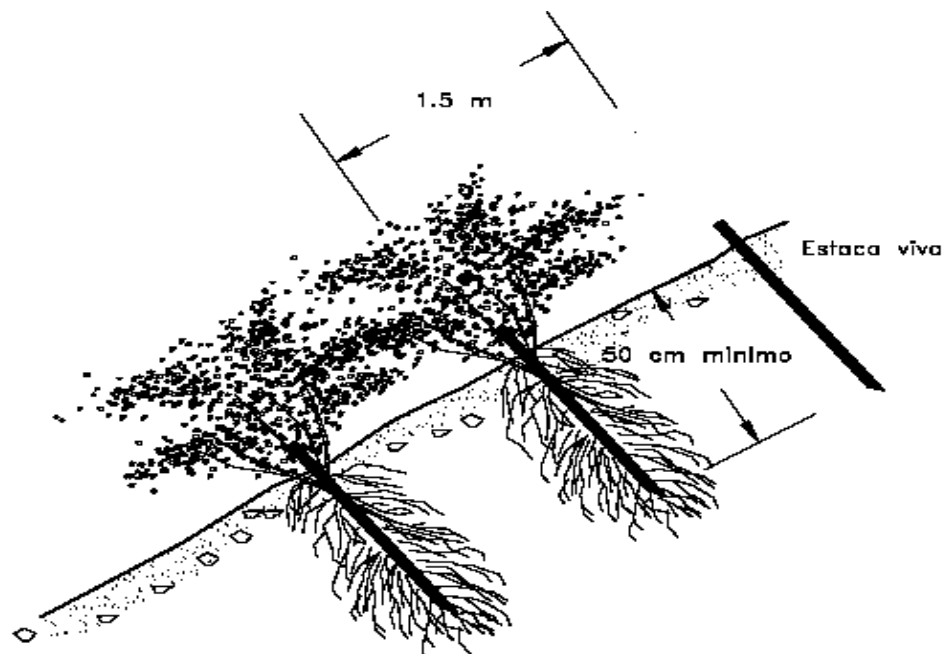


Fuente: Jaime Suárez Díaz, **Vegetación y Bioingeniería**. Pág. 295.

4.2.2. Estacas vivas

Las estacas vivas son longitudes de tallo de árboles y arbustos que se entierran en el suelo con el objeto de que broten árboles. El procedimiento es simple, rápido y económico. Las estacas vivas pueden utilizarse como un tratamiento primario en el cual las estacas cumplen un objetivo de anclar otros elementos como trinchos o mantos vegetales, las cuales posteriormente se convertirían en árboles o arbustos.

Figura 41. **Estacas vivas.**



Fuente: Conred, **Estabilización de laderas mediante el empleo combinado de materiales vivos y muertos. Pág. 3.**

Las estacas deben ser generalmente, de uno a tres centímetros de diámetro y de 60 centímetros a un metro de longitud. La parte superior de la estaca debe cortarse paralelo al talud y la parte inferior en forma de punta para facilitar su inserción, se recomienda seguir las siguientes instrucciones de instalación:

- a. Clavar la estaca normal a la superficie del talud utilizando martillos de caucho.
- b. La densidad de instalación debe ser de tres a cuatro estacas por metro cuadrado para garantizar un cubrimiento adecuado en corto tiempo.
- c. Las dos terceras partes de la estaca deben estar enterradas.

4.2.3. Limitaciones de la protección vegetal

El establecimiento exitoso de vegetación en un talud está determinado por muchos factores tales como: época de siembra, pendiente del talud, localización y composición de los materiales del talud. Las épocas ideales de plantación son las semanas anteriores a la temporada de lluvias, sin embargo se puede realizar el plante en épocas secas disponiendo de un programa adecuado de riego. La pendiente de los taludes tiene un efecto importante en el esfuerzo requerido para establecer la cobertura vegetal. Para taludes de pendiente alta se requiere colocar elementos de anclaje para los pastos y bermas para los árboles. En taludes de pendiente fuerte se aconseja no sembrar árboles, sino arbustos para disminuir las fuerzas del viento sobre ellos, si los materiales son muy duros se puede requerir la excavación de cajas profundas para la siembra de cada arbusto y deben utilizarse cantidades importantes de suelo orgánico o fertilizantes. Es importante el monitoreo y no solo cumplir con sembrar los arbustos y posteriormente abandonarlos a su suerte como es común en nuestro medio.

Con referencia a la localización del talud, los taludes que reciben la exposición directa del sol de la tarde presentan mayores dificultades para la vegetación, que los que reciben el sol de la mañana o poseen condiciones de sombra relativa. Deben analizarse además los factores relacionados con la presencia del hombre: pisoteo, quemas, basuras, humo de los vehículos, etc.

4.2.4. Selección de especies vegetales

Como no existen especies universales se debe acudir a los expertos forestales para escoger la especie de pasto, hierba, arbusto o árbol que se debe utilizar para cada caso específico, teniendo muy en cuenta la experiencia local y las diferencias de tolerancias y hábitos de las diferentes especies.

El tipo de vegetación que cubre la superficie del talud tiene efecto sobre la estabilidad, los deslizamientos de suelo son 3 a 5 veces más frecuentes en aquellos taludes cubiertos por pastos que en aquellos cubiertos por maleza y arbustos. Los deslizamientos en taludes cubiertos por pasto eran más cortos y más anchos y ocurren a ángulos de inclinación menores que aquellos cubiertos por maleza. La especie vegetal debe seleccionarse que sea compatible con las condiciones del suelo y el sitio, incluyendo disponibilidad de agua, nutrientes, PH, clima, regulaciones gubernamentales, etc.(9)

4.2.5. Fajinas vivas

Las fajinas son manojos de ramas que se entierran en zanjas poco profundas para que germinen en forma similar a como lo hacen las estacas vivas. Las zanjas generalmente son excavadas a mano y forman un contorno a lo largo de las líneas de nivel del talud.

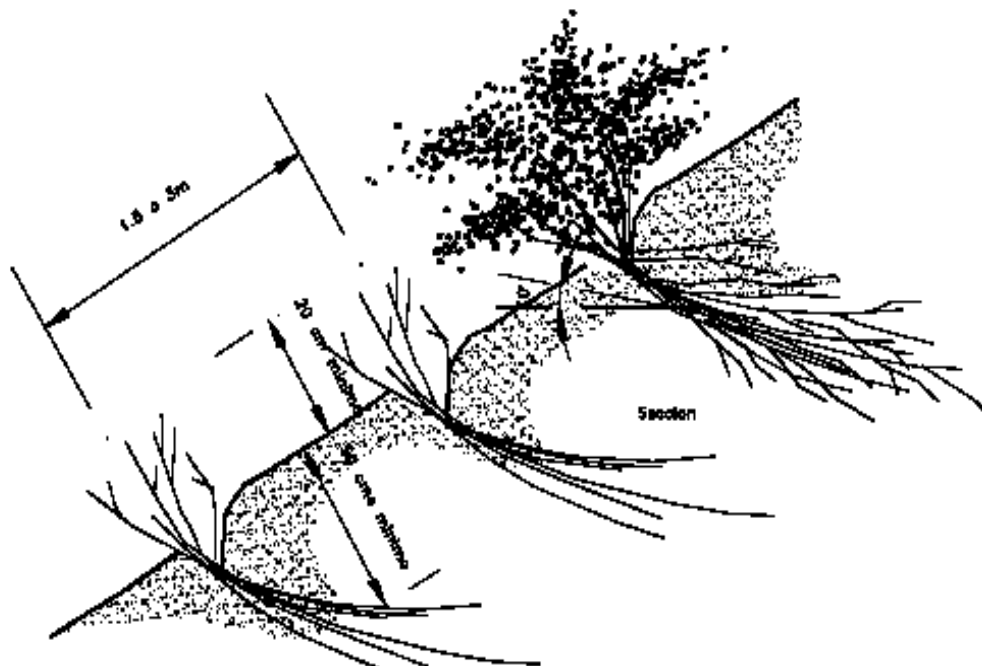
En taludes muy húmedos también se pueden colocar siguiendo la pendiente para facilitar el drenaje. Después de colocar las fajinas las zanjas se rellenan con suelo en tal forma que parte de las fajinas queda enterrada y parte expuesta. La longitud de los ramos de fajina varía de 0.50 a 1.0 metro el principal uso de las fajinas es el control de erosión, las fajinas a su vez forman unas líneas decorativas muy agradables al paisaje.

Las fajinas generalmente, se hacen con hierbas y juncos adaptados a las condiciones climáticas del sitio. En ocasiones se requiere colocar estacas para ayudar a la conformación de las fajinas vivas. El espaciamiento entre fajinas varía de acuerdo a la inclinación del talud, entre las hileras de fajinas vivas se acostumbra colocar una protección en manto vegetal utilizando una tela geosintética, la cual puede asegurarse a su vez, utilizando las fajinas vivas.(9)

Tabla V. **Espaciamiento recomendado para fajinas vivas.**

ESPACIAMIENTO RECOMENDADO PARA FAJINAS VIVAS		
Angulo del Talud H:V	Espaciamiento en líneas de igual nivel en metros	Espaciamiento en líneas con angulo en metros
1:1 a 1.5:1	1 a 1.2	0.6 a 1
1.5:1 a 2.1:1	1.2 a 1.5	1 a 1.2
2.1:1 a 2.5:1	1.5 a 1.8	1 a 1.2
2.5:1 a 3.1:1	1.8 a 2.4	1.2 a 1.5
3.1:1 a 3.5:1	2.4 a 2.7	1.5 a 2.1
3.5:1 a 4.1:1	2.7 a 3	1.8 a 2.4

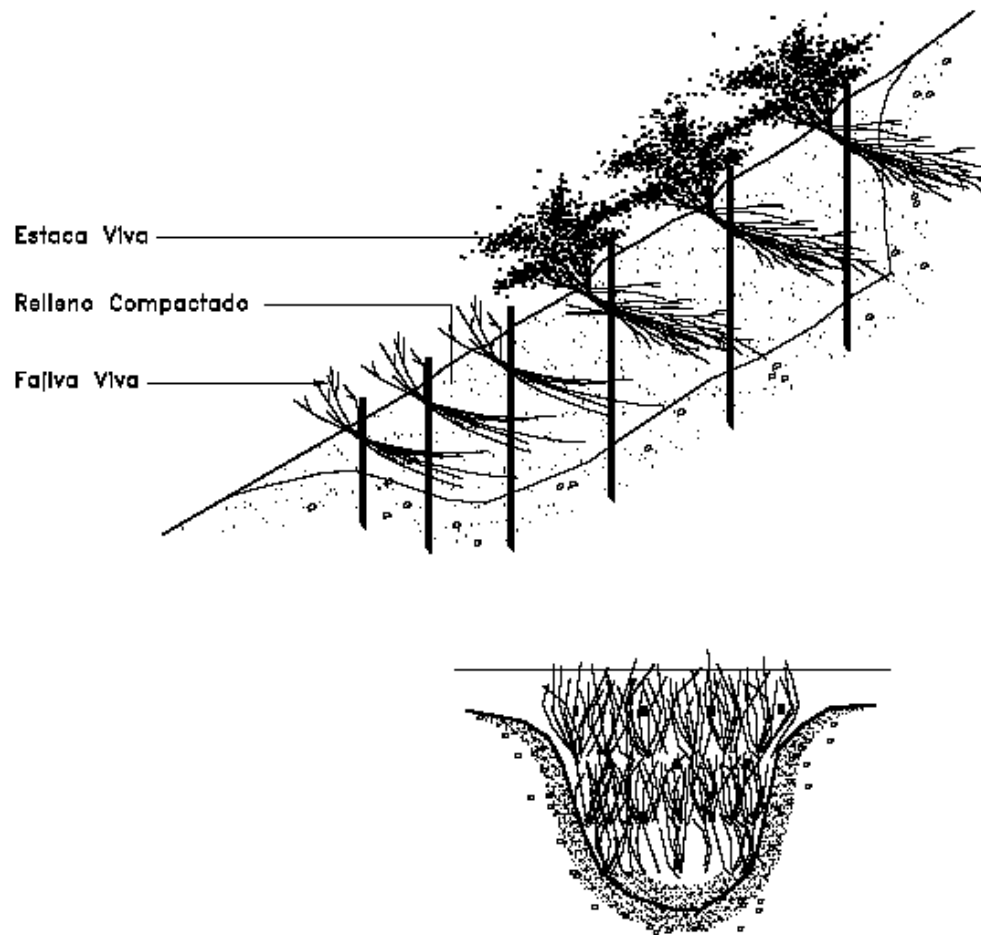
Figura 42. **Fajinas vivas.**



Fuente: Conred, **Estabilización de laderas mediante el empleo combinado de materiales vivos y muertos.** Pág. 6.

Otro sistema es el de relleno de malezas y suelo de cárcavas, utilizando hierbas y estacas vivas de arbustos, como se indica en la siguiente figura.

Figura 43. **Relleno de una cárcava utilizando estacas vivas y fajinas.**



Fuente: Jaime Suárez Díaz, **Vegetación y Bioingeniería**. Pág. 301.

4.2.6. Estructuras y revestimientos artificiales con vegetación

La utilización de estructuras integradas con vegetación permite una gran variedad de esquemas, incluyendo muros criba, gaviones, llantas usadas, tierra reforzada, bloques de concreto y recubrimientos con diversos materiales sintéticos.

La vegetación actúa como refuerzo del suelo, protección contra la erosión y fijador del recubrimiento. La protección contra la erosión utilizando mantos vegetales con semillas es muy popular y existen varios tipos de mantos producidos comercialmente.

4.2.7. Efectos negativos de la vegetación en taludes

En ocasiones la vegetación puede traer efectos negativos como es la apertura de grietas en los macizos rocosos. Algunas plantas favorecen el mantenimiento de la humedad en el suelo como es el caso de las plantaciones de banano.

4.3. Control de aguas superficiales y subterráneas

Los métodos de estabilización de deslizamientos que contemplen el control del agua, tanto superficial como subterránea son muy efectivos y son generalmente, más económicos que la construcción de grandes obras de contención, en cuanto tienden a desactivar la presión de poros, considerada como el principal elemento desestabilizante de los taludes. El drenaje reduce el peso de la masa y al mismo tiempo aumenta la resistencia del talud al disminuir la presión de poros.

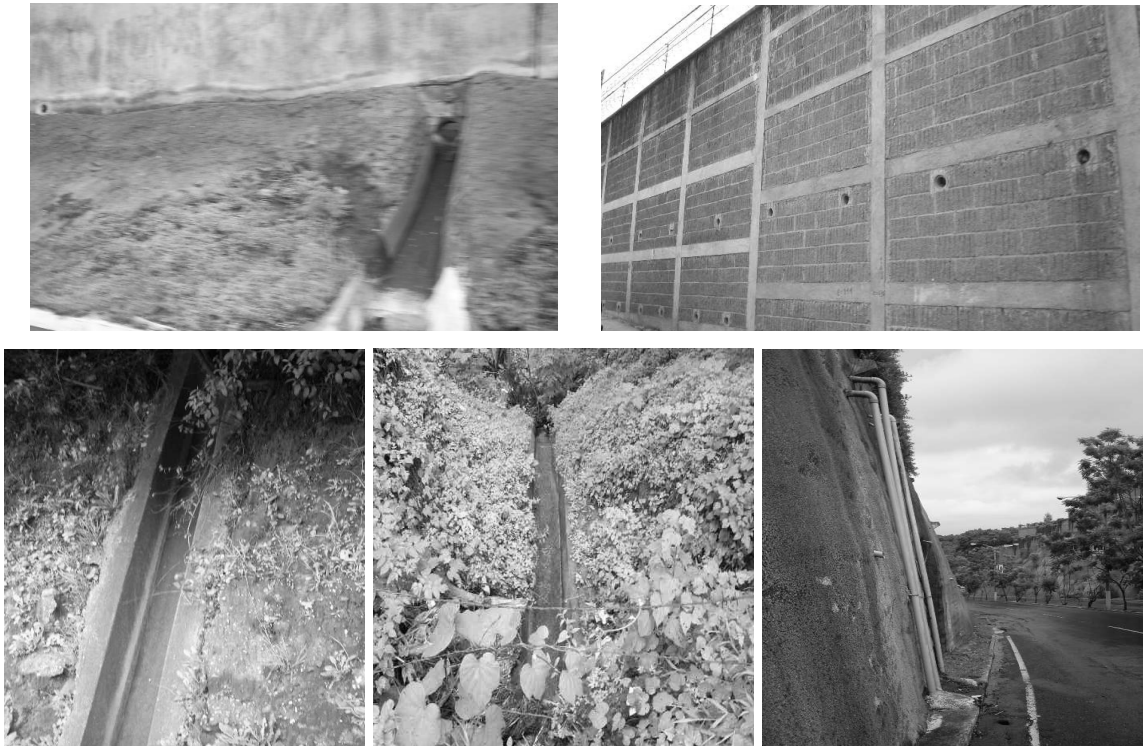
Existen varias formas de drenaje, superficial y profundo. El objetivo principal de estos métodos es el de disminuir la presión de poros y en esa forma aumentar la resistencia al corte y eliminar las fuerzas hidrostáticas desestabilizantes. El factor de seguridad de cualquier superficie de falla que pasa por debajo del nivel de agua puede ser mejorado por medio de un sub-drenaje.(15)

4.3.1. Sistemas de control de aguas

Los sistemas más comunes para el control del agua son:

- a. Zanjas de coronación o canales colectores (drenaje superficial).
- b. Cortinas subterráneas.
- c. Drenes interceptores.
- d. Sub-drenes horizontales o de penetración.
- e. Galerías y túneles de drenaje.
- f. Drenes verticales.
- g. Trincheras estabilizadoras.
- h. Pantallas de drenaje.
- i. Pozos de drenaje.

Figura 44. Manejo de agua en taludes, laderas y estructuras de contención.



Fuente: Laderas y taludes ubicados en zona 16 y Carretera a El Salvador, Ciudad de Guatemala.

La efectividad de los sistemas varía de acuerdo a las condiciones hidrogeológicas y climáticas. En cualquier sistema de subdrenaje el monitoreo posterior a su construcción es muy importante, deben instalarse piezómetros antes de la construcción de las obras de control que permitan observar el efecto del subdrenaje y a largo plazo dar información sobre la eficiencia del sistema, el cual puede ser deteriorado por taponamiento o desgaste.

El volumen de agua recolectada no es necesariamente un indicativo de su efecto, debido a que en suelos poco permeables, se puede obtener una reducción muy importante en las presiones de poro y por lo tanto un aumento en el factor de seguridad, con muy poco flujo de agua hacia el sistema de subdrenaje.

En masas de roca el flujo de agua generalmente, está determinado por las juntas y por lo tanto, cualquier sistema de drenaje debe estar destinado a interceptarlas.(15)

4.3.1.1. Drenaje Superficial

El objetivo principal del drenaje superficial es mejorar la estabilidad del talud reduciendo la infiltración y evitando la erosión. El sistema de recolección de aguas superficiales debe captar la escorrentía tanto del talud como de la cuenca de drenaje arriba del talud y llevar el agua a un sitio seguro lejos del deslizamiento.

El agua de escorrentía debe en lo posible, desviarse antes de que penetre el área del deslizamiento. Esto puede lograrse con la construcción de zanjas interceptoras en la parte alta del talud, llamadas zanjas de coronación; no se recomienda en problemas de taludes la utilización de conducciones en tubería por la alta susceptibilidad a agrietarse o a taponarse, generando problemas de

infiltración masiva concentrada. Por otro lado el agua que cae por lluvias directamente sobre la superficie del talud, debe ser evacuada lo más rápidamente posible, evitando al mismo tiempo que su paso cause daños considerables al talud, por erosión, almacenamientos e infiltraciones; perjuicios que pueden ser evitados, tratando el talud con una serie de medidas que favorezcan el drenaje. Entre las más utilizadas son: sellado de grietas con arcilla y empedradización, imprimación del talud con asfalto, recubrimiento con plásticos, recubrimiento parcial o total con enrocado, conformación y nivelación para evitar o eliminar depresiones y alcantarillas superficiales. En ocasiones es importante la construcción de medidas temporales de drenaje superficial después de ocurrido un deslizamiento para evitar su ampliación o aceleración. Estas obras pueden consistir en diques o canales de bolsas de polipropileno o fibras vegetales rellenas de suelo.(9)

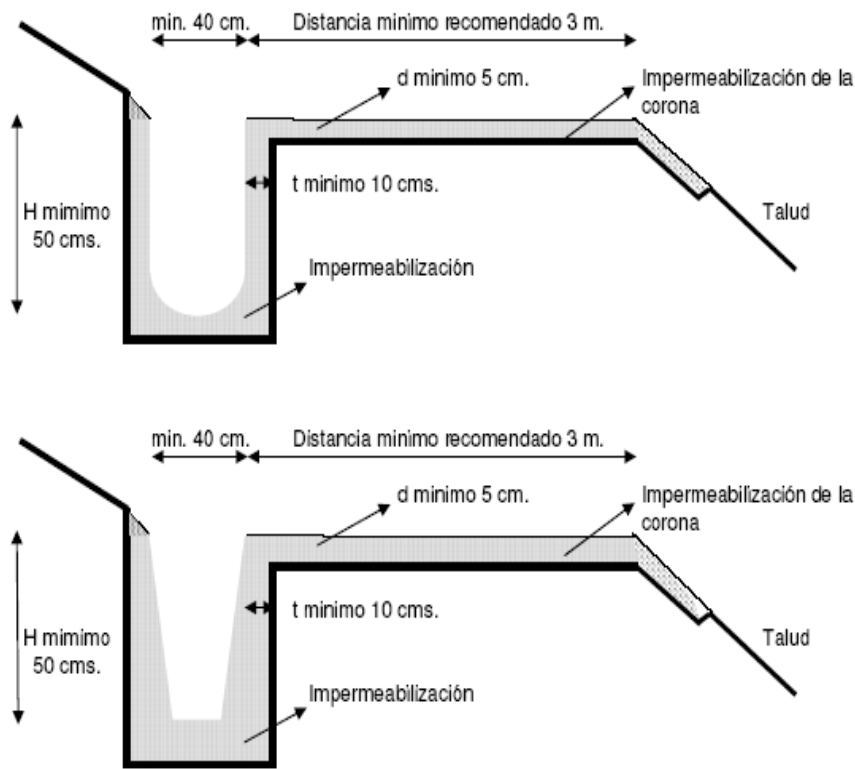
4.3.1.1.1. Canales o zanjas de corona

Las zanjas en la corona o parte alta de un talud son utilizadas para interceptar y conducir adecuadamente las aguas lluvias, evitando su paso por el talud, la zanja de coronación no debe construirse muy cerca al borde superior del talud, para evitar que se conviertan en el comienzo y guía de un deslizamiento en cortes recientes o de una nueva superficie de falla (movimiento regresivo) en deslizamientos ya producidos; o se produzca la falla de la corona del talud o escarpe. Se recomienda que las zanjas de coronación sean totalmente impermeabilizadas, así como debe proveerse una suficiente pendiente para garantizar un rápido drenaje del agua captada. Sin embargo se anota que a pesar de lograrse originalmente una impermeabilización, con el tiempo se producen movimientos en el terreno que causan grietas en el impermeabilizante y por lo tanto infiltraciones que conllevan a una disminución de la resistencia del suelo y por ende a su falla. La recomendación de

impermeabilizar se debe adicionar con un correcto mantenimiento. Se sugiere que al menos cada dos años se deben reparar las zanjas de coronación para impermeabilizar las fisuras y grietas que se vayan presentando y así evitar problemas en los tiempos de grandes precipitaciones.(15)

Las dimensiones y ubicación de la zanja pueden variar de acuerdo a la topografía de la zona y al cálculo previo de caudales colectados. Generalmente, se recomienda una zanja rectangular de 40 centímetros de ancho mínimo y 50 centímetros de profundidad. Se procura que queden localizadas a lo largo de una curva de nivel para un correcto drenaje y que estén suficientemente atrás de las grietas de tensión en la corona. La separación mínima recomendada es de tres metros del borde de la corona.(9)

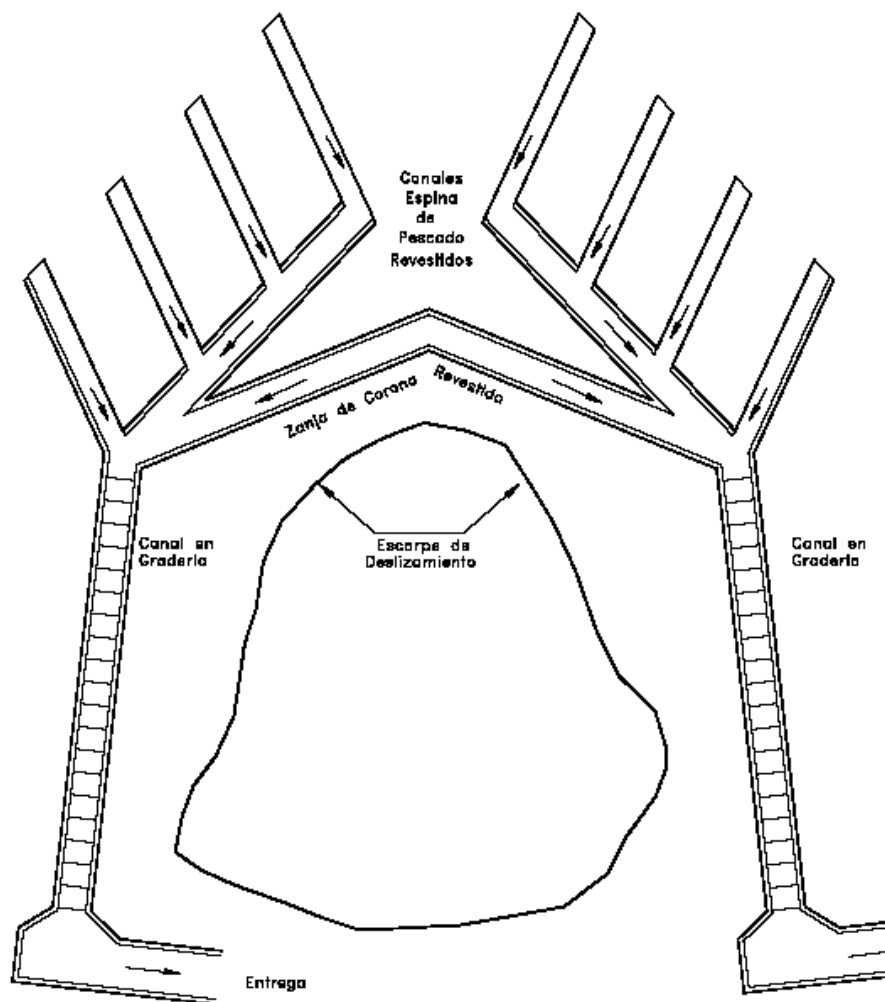
Figura 45. **Detalle de zanjas de coronación para el control de aguas superficiales en un talud.**



4.3.1.1.2. Canales colectores en espina de pescado

Para disminuir la infiltración de agua en las áreas arriba del talud se acostumbra construir canales colectores en espina de pescado, estas conducen las aguas colectadas por la vía más directa hacia afuera de las áreas vulnerables del talud, entregándolas generalmente a canales en gradería. Estos canales deben impermeabilizarse adecuadamente para evitar la reinfiltración de las aguas.(9)

Figura 46. Esquema en planta de canales colectores, espina de pescado.

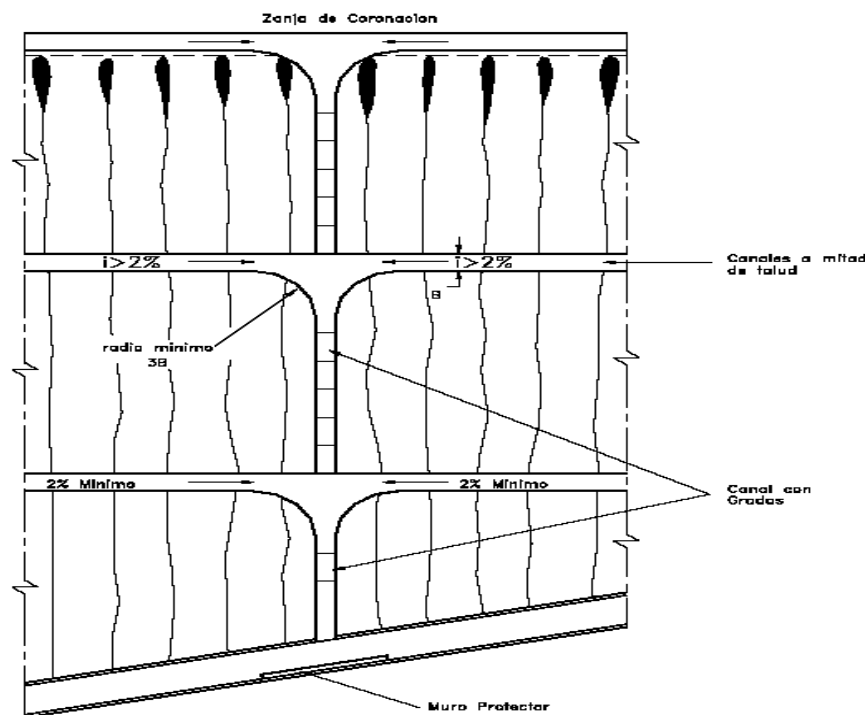


Fuente: Jaime Suarez Díaz, **Control de aguas superficiales y sub-terranas**, Pág. 471.

4.3.1.1.3. Canales interceptores a mitad de talud

En suelos susceptibles a la erosión se recomienda construir canales de drenaje transversales a mitad de talud. Se recomienda construir canales interceptores en todas y cada una de las bermas intermedias del talud. Estos canales deben revestirse apropiadamente conduciendo las aguas a graderías de disipación de energía. Los canales a mitad de talud deben tener una pendiente tal que impida la sedimentación de materiales. Es muy común que estos canales se construyan con pendientes muy bajas y al taponarse produzcan cárcavas de erosión localizadas. Las bermas deben ser lo suficientemente anchas para que exista un sobreancho de protección para los canales, en el caso de producirse derrumbes de las coronas de los taludes resultantes.(9)

Figura 47. Esquema de entrega de canales interceptores a mitad del talud.



Fuente: Jaime Suárez Díaz, **Control de aguas superficiales y Subterráneas**, Pág. 433.

4.3.1.1.4. Diseño de zanjas de corona o canales de drenaje

El gradiente mínimo de los canales es determinado por la velocidad de flujo necesaria para evitar la sedimentación. La velocidad no debe ser menor de 1.3 m/segundo para el flujo pico, con una frecuencia de uno en dos años.

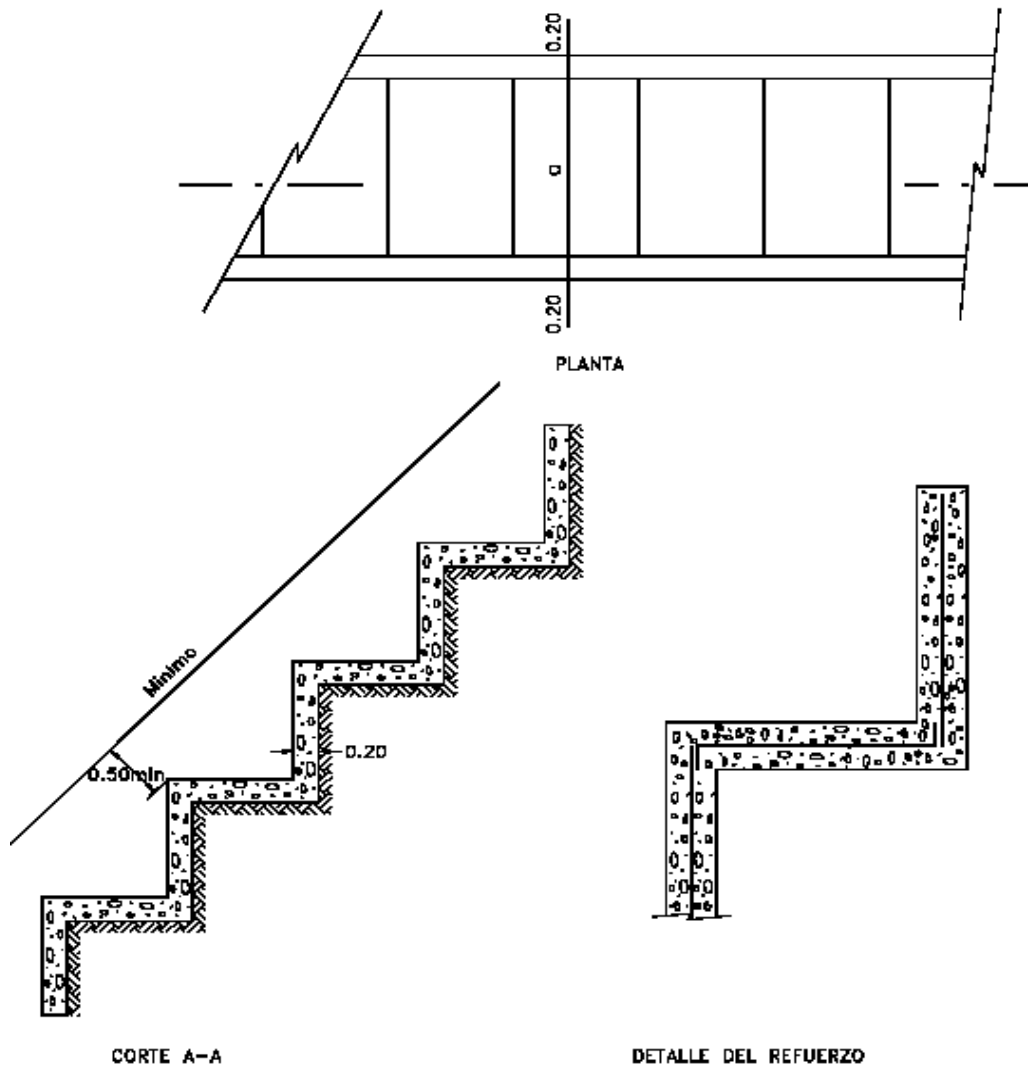
El dimensionamiento del canal puede hacerse por medio de tablas, deben tener un radio no menor de tres veces el ancho del canal. Las uniones de canales representan el problema más delicado en un sistema de drenaje. Ellos inevitablemente causan turbulencia adicionado por la vulnerabilidad a ser bloqueado por cantos de material. Se recomienda en las uniones ampliar la sección de los canales para darles una mayor capacidad y contener la turbulencia.(9)

4.3.1.1.5. Canales colectores y disipadores

Los canales deben conducirse a entregas en gradería u otro disipador de energía que conduzca el agua recolectada hasta un sitio seguro. Se presentan dos tipos diferentes de canales: el canal rápido y el canal en gradería. El canal rápido se construye a una pendiente igual a la del talud y en ocasiones se le colocan elementos sobresalientes en su fondo para disipar energía. Este sistema es muy utilizado por ser más económico, pero presenta el problema de la poca energía disipada.

El sistema de graderías es más eficiente para disipar energía, el flujo en este tipo de canal es turbulento y debe construirse un muro lateral de borde libre suficiente para permitir la salpicadura del flujo.(9)

Figura 48. Canal de entrega con gradas de disipación.



Fuente: Jaime Suárez Díaz, **Control de aguas superficiales y Subterráneas**, Pág. 439.

4.3.1.2. Drenajes Subterráneos

El drenaje subterráneo tiene por objeto disminuir las presiones de poro o impedir que estas aumenten, la cantidad de agua recolectada por un sistema de sub-drenaje depende de la permeabilidad de los suelos o rocas y de los gradientes hidráulicos. Cuando se instala un drenaje generalmente, el nivel

piezométrico se disminuye al igual que el gradiente hidráulico, lo cual disminuye el caudal inicial recolectado por los drenajes.

4.3.1.2.1. Cortinas subterráneas impermeables

Puede impedirse que el agua subterránea alcance la zona de inestabilidad potencial mediante la construcción de pantallas impermeables profundas. Las pantallas subterráneas pueden consistir en zanjas profundas rellenas de asfalto o concreto, tablestacados, cortinas de inyecciones, o líneas de bombeo de agua consistentes en hileras de pozos verticales, el diseño de estas cortinas debe tener en cuenta los efectos que sobre las áreas adyacentes tiene el cambio del régimen de aguas subterráneas. Este sistema produce un aumento del nivel freático y represamiento del agua subterránea arriba del deslizamiento y su utilización debe complementarse con la construcción de sub-drenajes para controlar los efectos negativos.(9)

4.3.1.2.2. Sub-drenajes Interceptores

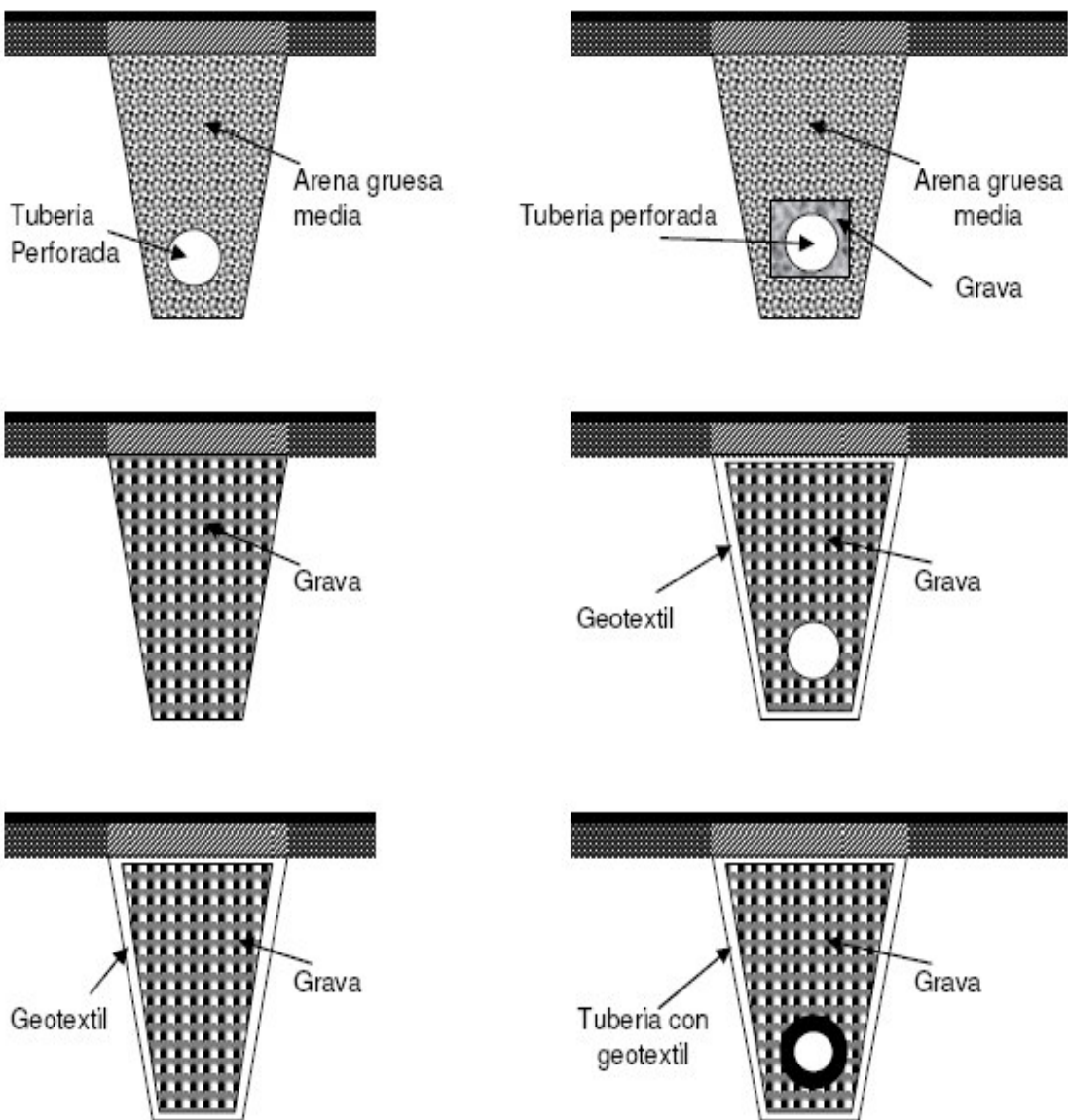
Los sub-drenajes interceptores son zanjas excavadas a mano o con retroexcavadora, rellenas de material filtrante y elementos de captación y transporte del agua. La profundidad máxima de estas zanjas es de aproximadamente seis metros. Los hay de diversas formas así:

- a. Con material de filtro y tubo colector.
- b. Con material grueso permeable sin tubo (filtro francés).
- c. Con geotextil como filtro, material grueso y tubo colector.
- d. Con geotextil, material grueso y sin tubo.
- e. Tubo colector con capa gruesa de geotextil a su alrededor.
- f. Drenaje sintético con geomalla, geotextil y tubo colector

El tipo de drenaje interceptor a emplear dependerá de:

- a. Materiales disponibles en la región que cumplan con los requerimientos necesarios.
- b. Necesidad de captación y caudal del drenaje.
- c. Costos.

Figura 49. Sistema de drenajes de zanja.



4.3.1.2.3. Material de filtro

Es conveniente tener en cuenta que los drenajes tratan de taponarse por transporte y depositación de las partículas más finas del suelo, para evitar este fenómeno se debe colocar un filtro que debe cumplir los siguientes objetivos:

- a. Impedir el paso de las partículas finas del suelo a proteger.
- b. Permitir la filtración rápida del agua.

Existen dos tipos generales de filtro:

- a. Material granular filtrante.
- b. Filtro de mantos sintéticos o geotextiles.

4.3.1.2.3.1. Material granular filtrante

Se requiere escoger muy cuidadosamente el material de filtro y/o el tipo y calidad del geotextil a emplear. El propósito de un filtro es proteger el suelo contra la erosión interna al mismo tiempo permitir el paso del agua y el criterio mas utilizado es que este material no posea mas no posea más de un 5% de material que pase el tamiz 200, para evitar la migración de finos del filtro hacia las tuberías de drenaje. En la mayoría de los sub-drenajes con material de filtro se utiliza un tubo colector perforado que se coloca en la parte baja de la zanja envuelto en el material filtrante. Los orificios deben estar en la mitad inferior del tubo para lograr una mayor captación del agua, reducir el lavado del material, y disminuir la cantidad de agua atrapada en la base de la zanja.

4.3.1.2.3.2. Filtros de geotextil

Los geotextiles son telas permeables, filtrantes, construidas con fibras sintéticas, especialmente polipropileno, poliéster, nylon y polietileno.

Los geotextiles generalmente se clasifican en tejidos y no tejidos. Los tejidos a su vez se diferencian de acuerdo al sistema de tejido. Los geotextiles más utilizados para filtro son los no tejidos, entre los cuales se deben diferenciar los perforados con alfileres, los pegados al calor y los pegados con resinas; aunque es común encontrar mezclas de los tres procesos de manera combinada.

La durabilidad de los geotextiles está en función de las fibras poliméricas y las resinas a los ataques ambientales, sin embargo algunos trabajan eficientemente hasta veinte años. Los principales problemas de las telas filtrantes corresponden a su baja resistencia a la exposición a los rayos solares, los cuales las descomponen, las altas temperaturas y a ciertos químicos. En los sitios donde existe flujo concentrado de agua el uso de geotextiles puede no ser adecuado y se puede requerir un sistema mucho más resistente y de gran capacidad.

Las raíces de las plantas afectan en forma grave los filtros y se debe evitar sembrar árboles cerca a los sub-drenes. Debe tenerse especial cuidado de no romper el geotextil al colocar los materiales granulares y debe evitarse la exposición al sol de la tela, por varios periodos de tiempo.(9)

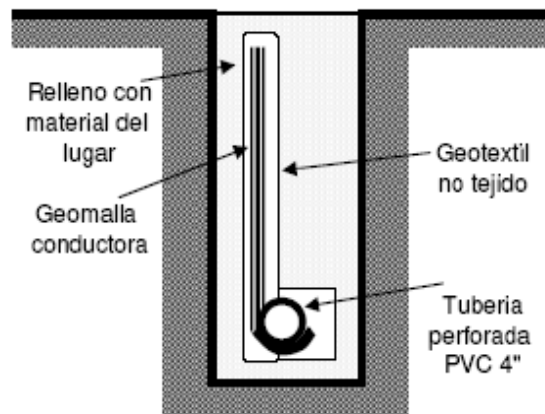
4.3.1.3. Sub-drenes totalmente sintéticos

Debido a la dificultad de obtener materiales naturales para los sub-drenes y con el desarrollo de las mallas sintéticas, se hace mas común el uso de los sub-drenes 100% sintéticos. Estos sub-drenes consisten de tres elementos básicos:

- a. Geomalla: la geomalla es una red sintética construida en tal forma que se forman unos canales que facilitan el flujo de agua.

- b. Geotextil: la geomalla se envuelve en un geotextil, el cual actúa como filtro impidiendo el paso de partículas de suelo hacia la geomalla y permitiendo a su vez el flujo de agua.
- c. Tubo colector perforado: en el extremo inferior de la geomalla y envuelto por el geotextil se coloca una tubería perforada PVC especial para sub-drenes, la cual recoge y conduce el agua colectada por la geomalla.

Figura 50. **Diagrama de sub-drenaje 100% sintético.**



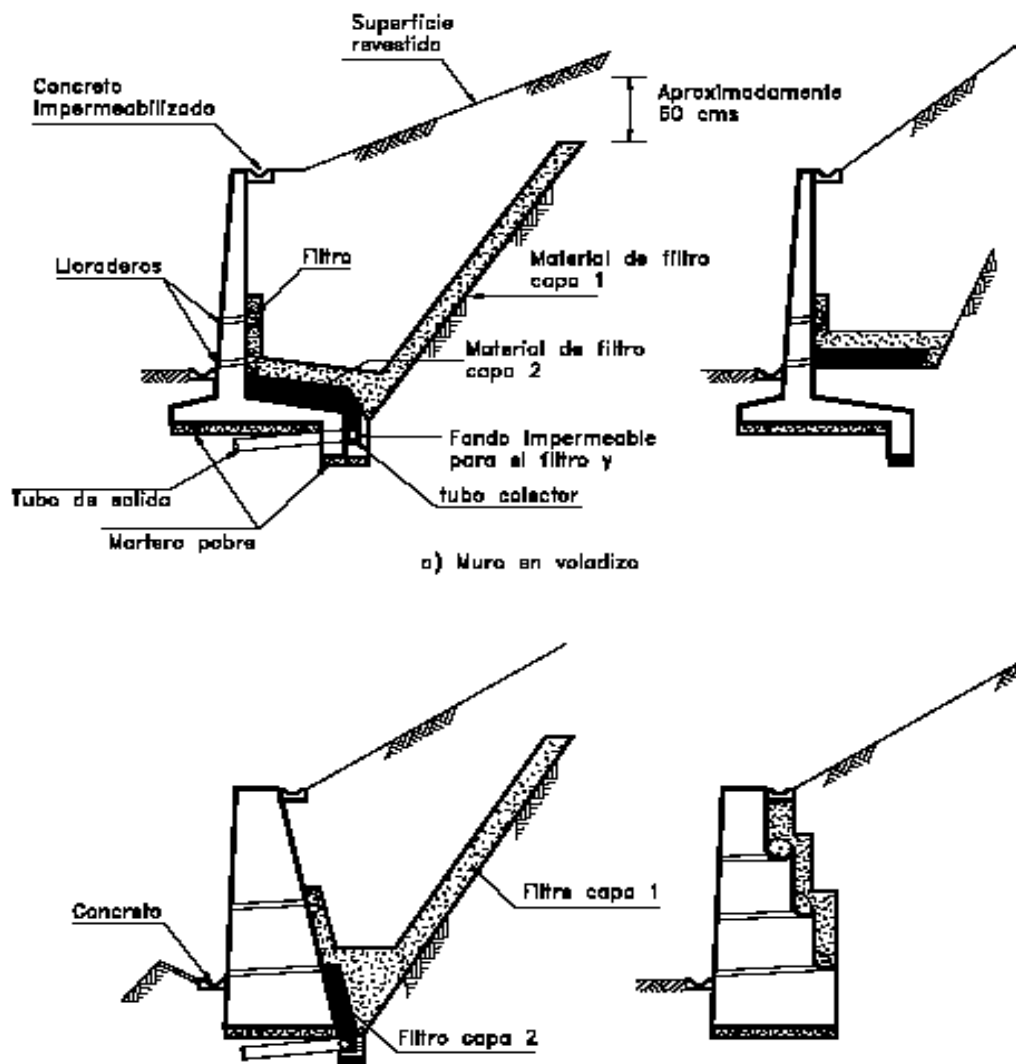
4.3.1.4. Sub-drenaje de estructuras de contención

Con excepción de las paredes para sótanos que se diseñan para resistir presiones del agua, es una práctica necesaria de ingeniería construir un subdrenaje adecuado detrás de los muros.

El sistema de drenaje debe diseñarse para el flujo esperado sin que se presente taponamiento del sistema. Para prevenir el taponamiento debe utilizarse un material de filtro de acuerdo al tipo de suelo detrás del muro, el sistema de drenaje puede consistir en colchones de drenaje, pantallas, sub-drenes, interceptores o incluso subdrenajes horizontales de penetración.

Para los casos en los cuales la pared es impermeable como sucede con los muros de concreto, se deben construir huecos de drenaje o lloraderos para impedir que se genere presión de poros exagerada detrás de la pared. Los lloraderos normalmente tienen un diámetro de 2 a 3 pulgadas y un espaciamiento no mayor de 1.5 metros horizontalmente y un metro verticalmente; la hilera más baja de lloraderos debe estar aproximadamente a 30 centímetros por encima del pie del muro.(9)

Figura 51. **Sub-drenajes de muros de contención.**



Jaime Suárez Díaz, **Control de aguas superficiales y Subterráneas. Pág. 469.**

5. PLAN DE PREVENCIÓN Y PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO PARA TALUDES, LADERAS Y CONSTRUCCIONES ADYACENTES

La susceptibilidad de determinada área a los deslizamientos se puede determinar y describir en base a la zonificación del peligro. Se puede preparar un mapa del peligro de deslizamientos para usar como herramienta e identificar las áreas examinando el riesgo potencial de los deslizamientos. Aún más, una vez que se identifique la susceptibilidad a los deslizamientos, se pueden desarrollar proyectos de inversión que eviten, prevengan o mitiguen significativamente el peligro.

Un mapa de los deslizamientos existentes sirve como fuente básica de datos para entender las condiciones que contribuyen a la ocurrencia de deslizamientos. Normalmente, el mapa es preparado en base a la interpretación de fotografías aéreas y al examen de campo de los lugares seleccionados. Si bien este mapa podría ser compilado exclusivamente en base a estudios de campo, el tiempo y el costo correspondiente sólo sería justificado si no hubiera cobertura fotográfica. Cualquiera de las dos maneras de preparar los mapas requiere los conocimientos de un geólogo con experiencia en la interpretación de deslizamientos o formas del terreno.

Para determinar la extensión del peligro de deslizamientos, se requiere identificar aquellas áreas que podrían ser afectadas por un deslizamiento dañino y evaluar las probabilidades de ocurrencia en un determinado período de tiempo. Sin embargo, en general es difícil precisar un período de tiempo para la ocurrencia de un deslizamiento. La susceptibilidad a deslizamientos sólo identifica las áreas potencialmente afectables y no indica un período de tiempo

durante el cual podría ocurrir un deslizamiento. Comparando la ubicación de un área propuesta para el desarrollo con el respectivo grado de peligro de deslizamientos, los departamentos técnicos de las entidades municipales o gubernamentales pueden estimar los riesgos de los deslizamientos. Esto es útil para definir la capacidad del uso de la tierra e identificar medidas apropiadas de mitigación. Aún con una investigación detallada y monitoreo, es extremadamente difícil pronosticar el peligro de deslizamientos de tierra en términos absolutos, sin embargo, existe suficiente conocimiento de los procesos de los deslizamientos de tierra, como para poder estimar el potencial del peligro de deslizamientos.(6)

5.1 Parámetros básicos para determinar taludes o laderas en riesgo, que deberán ser analizados como parte de un plan de mantenimiento

Debe crearse un programa de monitoreo periódico para taludes y laderas, durante los meses de escasa lluvia para poder estar preparados ante una eventualidad, principalmente durante los tiempos de constantes lluvias aunque esto no quiere decir que no deben monitorearse durante la época lluviosa. A continuación una serie de aspectos a tomar en cuenta que pueden indicar rápidamente un riesgo potencial o en desarrollo:

- a. Siempre es recomendable si la pendiente de la ladera es mayor del 15%, se sea evaluada por un ingeniero y/o especialista.
- b. Los desprendimientos de la cobertura vegetal, son indicios de deslizamientos superficiales, pero el material arrastrado puede represar cauces de agua y también afectar viviendas, carreteras, obras de infraestructura en general.
- c. Grietas o fisuras en el terreno paralela a la ladera o en forma de media luna pueden estarnos indicando que el talud se esta deslizando.
- d. Topografía escalonada de la ladera puede ser indicio de deslizamientos antiguos, lentos pero activos, no son apreciados a simple vista.

- e. Las zonas con concentraciones de humedad o afloramiento de agua en la parte baja de la ladera van debilitando progresivamente la ladera y pueden generar deslizamientos
- f. Sitios de infiltración de agua, con pendiente inadecuada o con depresiones en el terreno, que impiden libre flujo del agua pueden afectar negativamente la ladera.
- g. Presencia de cárcavas o canales naturales, causadas por aguas de escorrentía son problemas superficiales, pero si no se tratan a tiempo causan problemas mayores.
- h. Huecos en el terreno similares a cuevas de roedores, pueden ser indicios de erosión interna del suelo y pueden colapsar.
- i. Socavación al pie de laderas por corrientes superficiales de agua pueden generar deslizamientos progresivos.
- j. Cerros que tienen rocas con fracturas inclinadas, superficies pulidas y estriadas pueden deslizarse.
- k. Raíces de árboles muy cercanas a rocas penetran y aflojan las rocas y tienen suficiente fuerza para romper tuberías y debilitar muros y estructuras.
- l. Muros, cercas, postes que no están alineados en su forma usual (posición vertical) o árboles inclinados.
- m. Desplazamientos de tuberías.
- n. Desplazamientos horizontales y verticales de viviendas cercanas y hundimientos de terrenos son indicios de deslizamiento.
- ñ. Grietas en viviendas cercanas o en alrededores.
- o. Muros, paredes, y veredas, agrietados, desplazados o deformados.
- p. Grietas en viviendas cercanas alrededor de puertas y ventanas son indicios de movimientos de terrenos.
- q. Laderas que se hayan convertido en botaderos de basura, tierra o escombros corren gran peligro ya que estos detienen el agua de lluvia provocando

infiltración que debilita el suelo, provocando deslizamiento y arrastran con su peso la ladera donde se apoyan.

- r. Tuberías de aguas pluviales o negras escurriendo en caída libre provocan que los terrenos se erosionan progresivamente. Además las bacterias de las aguas negras atacan rápidamente las rocas y pueden perder su resistencia original en poco tiempo.
- s. Tuberías colocadas sobre rellenos sin compactación, al asentarse el terreno, las tuberías se rompen generando infiltración, pudiendo ocasionar deslizamientos.
- t. En áreas que han estado protegidas por vegetación cerciorarse que no haya existido incendios y que no se haya eliminado la capa vegetal, ello reseca el suelo agrietándolo, se infiltra el suelo y agrieta. Se debe de respetar la vegetación al máximo a menos que puedan causar daños como se explico anteriormente.

Estas directrices indican a simple vista si se está ante un escenario vulnerable a sufrir un deslizamiento, las soluciones técnicas ya han sido suficientemente analizadas en capítulos anteriores y su correcta aplicación deberá ser analizada por las entidades que tienen a su cargo estos aspectos dependiendo del dictamen emitido por las personas que tienen a su cargo el monitoreo. Para efectuar el monitoreo por lo menos debiese existir un documento que registre las principales novedades o estado de la ladera.

Este documento puede ser preparado por la dependencia a cargo y posteriormente a ser entregado llevarse a cabo una evaluación por parte del Geólogo o Ingeniero experto en el tema, este reporte debe adjuntar fotografías que muestren claramente cualquier novedad.

Figura 52. Indicios de deslizamiento en proceso que debiesen ser detectados mediante el monitoreo sugerido en la ciudad de Guatemala.



Fuente: Taludes y laderas ubicados en la Ciudad de Guatemala y sus colindancias.

Tabla VI. **Formulario mínimo para efectuar evaluaciones en taludes y laderas**

Entidad a Cargo:				
Ubicación exacta:				
Fecha:		Reporte No. <input style="width: 50px;" type="text"/>		
Fecha reporte anterior:				
Supervisor:				
Empresa:				
CHEQUEO DE CONDICIONES EXISTENTES:				
CONDICION	SI	NO	N/A	OBSERVACIONES
Basura acumulada				
Vegetación muerta suelta				
Material o roca suelta				
Drenajes limpios en general				
Acumulación material en pie o corona				
Grietas paralelas a la ladera				
Indicios de pequeños deslizamientos				
Concentraciones de agua				
Areas con pendientes inadecuadas				
Canales naturales formados por escorrentía				
Huecos similares a cuevas de roedores				
Socavación del pie de la ladera				
Estructuras con grado de inclinación anormal				
Tubería desplazadas por material, agua o raíces				
Desplazamientos en construcciones cercanas				
Agrietamientos en construcciones cercanas				
Nuevos drenajes que se hayan instalado cerca				
Estado de la vegetación				
OBSERVACIONES GENERALES:				
				_____ Firma de Supervisor

5.2 Mantenimiento aconsejable para taludes y laderas con riesgo

5.2.1. Mantenimiento preventivo (primario)

Este tipo de mantenimiento debería efectuarse al menos cada 3 meses en condiciones normales, pero los intervalos pueden variar dependiendo de reportes de peligro, movimientos sísmicos constantes, intensidad de lluvias, construcciones o infraestructura que afecte taludes y laderas, emergencias detectadas a través del monitoreo permanente por parte de las entidades que tienen a su cargo el mantenimiento vial y cualquier evento que pueda causar cambios drásticos. Deberá llenarse un formulario similar al de la tabla No. VI y realizar los trabajos definidos como mantenimiento primario el cual se describe a continuación:

- a. Limpiar taludes y laderas de basura, vegetación muerta o en riesgo de desprendimiento y material suelto. El material suelto será removido si es bajo el volumen, de lo contrario habrá que buscar una medida correctiva más específica.
- b. Limpieza de canales y drenajes de cualquier tipo que tenga el talud o la ladera, especialmente en la corona y pie del talud. Hay que tener mucha precaución donde existen nacimientos de agua o desfogue de aguas subterráneas que pueda circular libremente el agua para no causar estancamientos que puedan provocar deslizamientos.
- c. Quitar raíces de tamaño considerable que se encuentren cerca de rocas que las puedan aflojar.
- d. Inspección visual y reporte atendiendo todas las recomendaciones descritas en el anterior sub-capítulo y cualquier aspecto adicional que se pueda considerar relevante.

5.2.2. Mantenimiento reactivo (secundario)

Este será constituido por trabajos que no sean parte de un mantenimiento primario y sea necesario efectuar tareas de remediación o mejoras derivado del reporte presentado por el supervisor. Para llevar a cabo estos trabajos se requerirá del análisis de un Ingeniero conocedor del tema para poder determinar que clase de trabajos o alternativas ya descritas es la mejor opción para evitar problemas posteriores.

En el caso de una situación de emergencia se deben tomar decisiones en forma inmediata para eliminar o reducir determinada situación de riesgo localizado, debido a la inminencia de los procesos de inestabilización, especialmente cuando la emergencia coincide con el periodo lluvioso. Las soluciones pueden estar destinadas a relocalizar preventivamente a los habitantes o a construir obras inmediatas de emergencia, las cuales dependen de la claridad técnica que se tenga de la amenaza y la posibilidad técnica o material para la construcción de obras adecuadas de control.

En el caso de una situación de riesgo permanente o a largo plazo se deben establecer las medidas definitivas adecuadas para controlar los fenómenos, los cuales pueden estar directamente ligados a la ocurrencia de lluvias. Esto significa que puede existir un tiempo suficiente para un análisis detallado, diseño de obras, contratación, etc. Para las situaciones de riesgo generalizado para un grupo grande de población, las decisiones de evacuación o la construcción de obras de control requieren de una ponderación mucho más exigente, los cuales deben ser analizados en forma interdisciplinaria por los diversos profesionales que tienen la responsabilidad de la toma de decisiones. En estos casos las situaciones pueden salirse de la posibilidad física de manejo

por parte de los municipios y puede ser conveniente acudir a la Oficina Nacional para la Prevención de Desastres o al Gobierno Nacional.

El manejo del riesgo puede significar el vivir con el riesgo en ese caso el riesgo debe manejarse y evaluarse para permitir su manejo. Lo cual equivale, a que el mapeo es una de las herramientas más importantes. Las soluciones a los casos de riesgo, no tienen una receta única y las soluciones ideales generalmente, no existen.

5.3 Clasificación de los taludes o laderas en base a la susceptibilidad de un deslizamiento

Para llevar un control adecuado los taludes deben ser clasificados dependiendo del historial que registren durante las visitas de monitoreo y mantenimiento, en base a esto se puede determinar con mayor certeza cuales son las áreas mas problemáticas y que requerirán mayor atención.(4) Un método practico es la realización de tablas que determinen estos parámetros como se muestra en la tabla VII.

Tabla VII. **Clasificación de la susceptibilidad a los deslizamientos con base a la observación del terreno.**

Grado de susceptibilidad	Descripcion
1	Taludes que nunca han mostrado evidencia de actividad previa de deslizamientos, similitud con otros taludes estables, se consideran muy improbable que se desarrollen deslizamientos en un futuro proximo.
2	Taludes que no muestran evidencia de actividad previa de deslizamientos, pero que se considera probable que se desarrollen deslizamientos en el futuro.
3	Taludes con evidencia de actividad de deslizamientos antigua pero que no han presentado movimientos en los últimos diez años.
4	Taludes con actividad de deslizamientos poco frecuente. La activación de deslizamientos ocurre en los eventos con intervalos de recurrencia de cinco años.
5	Taludes sujetos con frecuencia a actividades de deslizamiento. La activación de deslizamientos resulta cuando ocurre eventos con intervalos de recurrencia menor a cinco años.
6	Taludes con deslizamientos activos. Los movimientos pueden ser continuos o estacionarios.

Cuadro VIII. Clasificación utilizada para análisis de pendientes.

Pendiente	Clasificación
Muy baja	0° a 8.50°
Baja	8.50° a 16.70°
Mediana	16.70° a 26.60°
Alta	26.60° a 45°
Muy alta	Mas de 45°

5.4. Determinación de riesgo aceptable

La decisión sobre la necesidad de información sobre el peligro de deslizamientos es el primer paso para asegurar que el peligro de deslizamientos no exceda un grado aceptable para la planificación del uso futuro o actual del terreno. El objetivo de la información sobre deslizamientos es identificar las áreas relativamente susceptibles a deslizamientos y determinar qué tipos de actividades de desarrollo son las más adecuadas, por ejemplo, la evaluación del peligro de deslizamientos tendría baja prioridad en las áreas de planificación designadas para parques nacionales o reservas de fauna o para la caza, en cambio, los deslizamientos pueden ser factor importante para el desarrollo de áreas de bosques recientemente talados o para la construcción de infraestructura en montañas o terrenos escarpados. Claramente, la cantidad de información que se necesita sobre deslizamientos depende del nivel y tipo de desarrollo que se anticipa en un área. No entender los efectos potenciales que los deslizamientos pueden tener sobre un proyecto, o cómo el proyecto podría afectar el potencial de deslizamientos, conduce a mayor riesgo.

Los cambios naturales así como aquellos inducidos por el hombre pueden afectar la susceptibilidad a deslizamientos y se deben comprender al evaluar el potencial de deslizamientos de un área. Es crítico para un planificador apreciar estos aspectos al inicio del proceso de planificación. Eventualmente se toma la

decisión sobre el grado de riesgo que es aceptable o no aceptable para un proyecto. En este punto son diseñadas las estrategias de mitigación para reducir el riesgo. Se recomienda consultar a técnicos especialistas en deslizamientos, lo más temprano posible, para que ellos puedan evaluar el riesgo de las actividades propuestas en una área con peligro de deslizamientos. Si bien no se espera que el planificador sea un técnico experto en la materia, debe saber qué preguntas formular al especialista en deslizamientos. Con las preguntas correctas, el planificador podrá identificar y evaluar medidas para minimizar o evitar la vulnerabilidad a los deslizamientos de tierra.(6)

CONCLUSIONES

1. Guatemala no cuenta con planes establecidos para la prevención de catástrofes ocasionadas por deslizamientos de tierra, esto debido en algunas ocasiones, a la falta de recursos económicos y en otras, a la falta de interés o previsión por las entidades a cargo.
2. Guatemala tiene una topografía bastante irregular, la mayoría del casco urbano se encuentra en zonas cercanas a barrancos y laderas, esto amerita un programa apto de mantenimiento y mejoramiento de laderas continuo.
3. Los diseñadores y algunos ejecutores visualizan el problema de deslizamientos como un tema puramente geométrico sin tomar en consideración aspectos más detallados y condiciones especiales.
4. El Ingeniero Civil cuenta con pocos conocimientos en materia de estabilización de laderas y taludes, por tal motivo, la mayoría de las veces se asume una estabilidad ficticia en trabajos relacionados o muy empírica.
5. Los métodos descritos de bioingeniería son bastante adecuados para algunas situaciones no tan críticas y los costos son bastante accesibles, comparados con las estructuras de contención, teniendo claro que según el grado de complejidad no los sustituyen.
6. Entidades gubernamentales conservan registros de deslizamientos de hace casi veinte años, no existe mayor información de movimientos

recientes a pesar que se han tenido grandes dificultades ocasionadas por las recientes tormentas tropicales que han afectado a tantas personas y comunidades.

7. Cada invierno, Guatemala se torna mas copioso que el anterior, esto hace presumir que existe mayor peligro de deslizamientos, es importante tomar en cuenta estas condiciones, para tener medidas de mitigación y sobre todo, de prevención.
8. El crecimiento desordenado, en la ciudad capital, es un factor que ha afectado grandemente el control, ya que se llevan a cabo cambios sin los debidos controles y sin tomar en cuenta los cambios que provocan en el entorno hasta que éste afecta directamente.
9. Los costos de mantenimiento y prevención son menores a los incurridos en obras de remediación, si se cuenta con un adecuado uso de recursos, entre ellos los contratos de mantenimiento manejados por las diferentes dependencias gubernamentales, podría existir una cultura de prevención eficiente.
10. Las diferentes entidades municipales y de gobierno podrían regionalizar las áreas a monitorear, ya que en la actualidad se pueden observar pequeños deslizamientos que pasan semanas o meses para que sean atendidos o tomados como indicios de peligro.
11. No existe procedimientos ni mecanismos que garanticen totalmente la no ocurrencia de deslizamientos, pero sí se puede reducir el grado de vulnerabilidad como han hecho países que están propensos a deslizamientos y son más desarrollados.

12. Los métodos de análisis de taludes son poco utilizados por planificadores o personas a cargo, en algunos casos, debido a la complejidad de los mismos.
13. Existen muchos programas de computadoras que son bastante eficientes para cálculo de taludes, siempre y cuando sean utilizados correctamente.
14. Para el monitoreo de rutina sugerido no es necesario que sea atendido por un experto en el tema, hay parámetros de fácil visualización que proporcionan importante información.
15. Las municipalidades no analizan detenidamente las repercusiones de todos los proyectos que realizan o que autorizan su ejecución.
16. El control de las aguas constituye un punto vital en el proceso de prevención de deslizamientos, ya que aparte de provocar un deslizamiento puede ocasionar hundimientos, ya que si no son adecuadamente tratados forman cavernas al pie de los taludes y laderas como se observó durante la realización del presente documento.

RECOMENDACIONES

1. El primer paso para crear un programa responsable de mantenimiento de taludes y laderas es realizar un levantamiento de las zonas de riesgo para poder crear un plan eficiente y cuando se requiera obras para prevenir deslizamientos.
2. Los permisos y licencias de construcción deberían ser analizados a fondo para evitar que se siga llevando a cabo construcciones y obras de infraestructura vial que afecten la estabilidad de taludes y laderas. Esto posteriormente puede afectar directamente a las mismas obras en construcción. Los mismos proyectos podrían llevar como requisito fundamental realizar los trabajos necesarios para garantizar su seguridad y la de las demás personas que se podrían ver afectadas.
3. Hacer que los estudios de impacto ambiental sean fundamentales en el proceso de uso de la tierra y no volverse únicamente un requisito por cumplir, ya que debería analizarse mas afondo el impacto que provocará el proyecto en mención. Esta es una herramienta muy valiosa que al tenerla vigente debería dársele la importancia del caso.
4. Optimizar los recursos humanos disponibles que tengan la capacidad de llevar un control adecuado de los monitoreos en las zonas potenciales, así como contar con un especialista en el tema, que brinde apoyo en situaciones delicadas. Si no se cuenta con personal apto debe buscarse una alternativa.

5. Las entidades relacionadas deben llevar controles estadísticos adecuados de deslizamientos ocurridos en los diferentes puntos del país, creando una base de datos de las zonas más críticas para invertir en obras de infraestructura necesarias para controlar estos puntos. Las estadísticas servirán para resaltar la importancia y la incidencia económica, para demostrar la importancia del tema.
6. Fomentar conciencia en la población, sobre los peligros y consecuencias lamentables que pueden sufrir al habitar zonas de alto riesgo. El gobierno y los pobladores pueden llegar a consensos de tipo económico para realizar trabajos de prevención.
7. Las Universidades estatales y privadas deberían analizar la posibilidad de incluir dentro del pensum de estudios de Ingeniería Civil, algún curso relacionado con actividades de mantenimiento y prevención, aplicable a muchos ámbitos de la ingeniería como carreteras, taludes, drenajes, señalización vial, etc.
8. Realizar monitoreos y mantenimiento periódico a taludes y laderas, especialmente, a los que hayan dado indicios recientes de movimientos, no importando su tamaño.
9. Crear un plan de contingencia y reacción, especialmente, para el invierno y no esperar a que ocurran los sucesos para reaccionar, como se hace comúnmente todos los años.
10. Actualizar registros si es que existen datos de zonas comúnmente afectadas por deslizamientos.

11. Cuando se tienen obras de contención, con excepción de los muros diseñados para resistir presiones de agua, tales como las paredes de sótanos de edificios, es una buena práctica primordial construir subdrenajes detrás de todo tipo de muros.
12. Los sistemas de drenaje se deberían diseñar en tal forma que se anticipe a capturar el agua antes que afecte el muro. Adicionalmente, a los subdrenajes deben colocarse huecos de drenaje para prevenir la presión hidrostática, éstos son normalmente de dos a tres pulgadas de diámetro espaciados no más de 1.50 metros horizontalmente y 1.0 metros verticalmente; las columnas deben intercalarse. Los lloraderos deben colocarse desde una altura baja mínima de 30 centímetros por encima del nivel del pie del muro.
13. Cuando se utiliza como método de estabilización una estructura de contención es recomendable colocar un dentellón o diente, para mejorar la resistencia al deslizamiento.
14. Debe crearse una brigada de emergencia, tanto al personal que trabaje para entidades gubernamentales como contratistas calificados, teniendo un registro de tarifas, para evitar la sobrevaloración de obras por estados de emergencia.

REFERENCIAS

1. Brandl, H. **“Stabilization of multiple progressive slope failures”**. (Trondheim: 1996) pp. 1661-1666.
2. Brandl, H. **“Slope Stabilization and Support by crib walls”** (Singapore: 1985). pp. 179-198.
3. Byrne, R. J. **“Soil Nailing: A simplified Kinemattic Analysis”** (New York: 1992) pp 751-764.
4. Buro de Prevención de Crisis y Recuperación. **“Criterios para la Recuperación/Reconstrucción con un enfoque de gestión de riesgo”** (Guatemala: 2005) pp. 6.
5. Varnes, David. **“Slope movement types and processes”**, (USA: 1978) pp 11-33.
6. Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente Secretaria Ejecutiva para asuntos Económicos y Sociales. Organización de Estados Americanos. **“Manual manejo peligros naturales”**. (Washington, D.C.: 1993) pp. 10.
7. Méndez, Ernesto. **“Deslizamientos por excavaciones al pie de la ladera”**. Primer Simposio Sudamericano de Deslizamientos. (Colombia: 1989) pp. 362-381.
8. Koose, Federico. **“Estudio de deslizamiento de taludes de barrancos en Ciudad de Guatemala”**. (Guatemala: 1977) pp. 2-3.
9. Suárez Díaz, Jaime. **“Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales”**. (Colombia: 1998) pp. 560.
10. Suarez Díaz, Jaime. **“Estructuras de contención o anclaje”**. (Colombia: 2005) pp. 473.
11. Suarez Díaz, Jaime. **“Manual de Ingeniería para el control de erosión”**. (Colombia: 1993) pp. 318.

12. Alvarado Rodríguez, Jassit Neftalí. **“Estabilidad de las masas de tierra”**. (2ª. Edición; México: 2002) pp.21.
13. Juárez Badillo, Carlos y Rico Rodríguez. **Mecánica de suelos**. Tercera Edición. (Tomo I, II Y III) México: Editorial Limaza, 1980. 692 pp.
14. Terzaghi, Karl. **“Theoretical soil mechanics”**. (7ª. Edición; New York: Editorial John Willey and Sons Inc.: 1954) pp. 502.
15. Vásquez Conde, María Teresa. **“El Clima en la inestabilidad de laderas-La época de lluvias”** (México: 2002) pp. 17.
16. Semrau, Rodolfo. **“Estabilidad de taludes de carreteras”**. (Guatemala: 2000) pp. 20.
17. Chávez, Ronaldo. **“La protección y la estabilidad de infraestructura en zonas rurales y urbanas”**. (El Salvador: 2001) pp. 40.
18. Sumanaratha, J. **“Stabilization of slopes by anchored tipe retaining structures”** (Germany; 1997) pp. 1261-1264.
19. UNESCO-RAPCA. **“Deslizamientos, tipos y causas”**. (Holanda: 1991) pp.7.
20. US Army Corp of Engineers. **“Slope stability, Engineering and design, Engineers manual”** (EM 110-2; 2003) pp. 1902.

BIBLIOGRAFÍA

1. Juárez Badillo, Carlos y Rico Rodríguez. **Mecánica de suelos**. Tercera Edición. (Tomo I, II Y III) México: Editorial Limaza, 1980. 692 pp.
2. Terzaghi, Karl. **Theoretical soil mechanics**. 7ª. Edición; New York: Editorial John Willey and Sons Inc., 1954. 502 pp.
3. Peck, Ralph, Walter Hanson y Thomas Thornburn. **Ingeniería de cimentaciones**. Tercera Edición. México: Editorial Limaza. 1988. 557 pp.
4. Suárez Díaz, Jaime. **Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales**, primera Edición. Colombia. 540 pp.
5. Institution of Civil Engineers. **Manual of applied Geology for Engineers**. Londres. 1976. 377 pp.
6. Krynine, Dimitri y William Judd. **Principios de Geología y Geotecnia para Ingenieros**. 4ª. Edición. Barcelona España. Editorial Omega. 829 pp.
7. Hoek, E. **Excavaciones subterráneas en roca**. Editorial Macgraw-hill. México 1985. 420 pp.
8. Suárez Díaz, Jaime. **Vegetación y Bioingeniería**. Colombia. 160 pp.
9. Sowers, George B. y George F. Sowers. **Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones**. 4ª. Edición. México: Editorial Limaza. 1975. pp. 677.
10. Santacana I Quintas, Nuria. **Análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de sistemas de información Geográfica. Aplicación a la cuenca alta del río Llobregat**. Tesis Doctoral, Barcelona España, Universidad Politécnica de Catalunya, Facultad de Ingeniería, 2001.
11. Us Army Corp of Engineers. **Slope stability, Engineering and design, Engineer Manual**. EM 1110-2, 1902. 2003.

- 12.11. Angeli, M.G., Pontoni F., Gasparetto P. (1996) **“Long-term monitoring and remedial measures in a coastal landslide (Central Italy)”**. Proceedings of the seventh International Symposium on landslides. Trondheim, pp1497-1502.
13. Bachus, R.C. , R.D. Barksdale, (1989). **“Design methodology for foundations on stone columns”**, Foundation Engineering Congress, Evanston, Illinois, pp. 244-257,
14. Brandl, H. (1996) **“Stabilization of multiple progressive slope failures”**. **Proceedings of the Seventh International Symposium on landslides**. Trondheim, pp.1661-1666.
15. Brandl, H. (1985) **“Slope stabilization and support by crib walls** **“Proceedings of the third international seminar .Soil improvement methods**. Singapore pp.179-198.
16. Byrne, R.J. (1992). **“Soil Nailing: A simplified Kinematic Analysis”** Grouting, soil improvement, and geosynthetics New Orleans (R. H. Bordden, R.D. Holtz, and I. Juran, eds.) Geotechnical Special Publication 30, American Society of Civil Engineers, New York, Vol.2, pp. 751-764
17. Department of the Navy (1983). **“Soil dynamics, deep stabilization, and special geotechnical construction”**. Design Manual 7.3,
18. Alexandria, Virginia. Elias, V. , Swanson P., (1983). **“Caiforms of reinforced earth with residual soils**, Transportation Research Board 919, Washington, DC.
19. Elias, V., Juran I.. (1991). **“Soil nailing for stabilization of highway slopes and excavations”**. Report FHWA-RD-89-198. FHWA, U.S. Department of Transportation, 210 p.
20. Fuchsberger, Mauerhofer G. (1996) **“Slip at a major cut for a motorway in the Austrian Alps-A case history of its cause and its stabilisation”**. Proceedings of the Seventh International Symposium on landslides. Trondheim, pp.1687-1692.
21. Geotechnical Control Office (1989) **“Model specification for prestressed ground anchors”**. Civil Engineering Services Department, Hong Kong, 168p.
22. Geotechnical Control Office (1989) **“Model specification for reinforced fill structures”**. Civil Engineering Services Department, Hong Kong, 140 p.

23. Goughnour, R.R., Sung J.T. ,. Ramsey J.S, (1990). “**Slide correction by stone columns**”, Deep Foundation Improvements: Design, Construction, and Testing, M.I. Esrig and R.C. Bachus, Eds., ATM STP – 1089.
24. Gray, D. H – Sotir R. B. (1996) “**Biotechnical and soil Bioengineering slope stabilization**”. John Wiley & Sons, Inc. 378 p.