

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



**“TECNICAS DE MITIGACIÓN PARA EL CONTROL DE  
DESLIZAMIENTOS EN TALUDES Y SU APLICACIÓN A  
UN CASO ESPECÍFICO”**

PRESENTADO POR:

**JOSÉ ROBERTO ALBERTI ARROYO  
RODOLFO ERNESTO CANALES BERNAL  
BRENDA HAZEL ELIZABETH SANDOVAL**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:  
**INGENIERO CIVIL**

CIUDAD UNIVERSITARIA, OCTUBRE DEL 2006.

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTORA:

**DRA. MARÍA ISABEL RODRÍGUEZ**

SECRETARIA GENERAL:

**LICDA. ALICIA MARGARITA RIVAS DE RECINOS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO:

**ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO**

SECRETARIO:

**ING. OSCAR EDUARDO MARROQUÍN HERNÁNDEZ**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

DIRECTOR:

**ING. LUIS RODOLFO NOSIGLIA DURÁN**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO CIVIL**

Título:

**“TECNICAS DE MITIGACIÓN PARA EL CONTROL DE  
DESLIZAMIENTOS EN TALUDES Y SU APLICACIÓN A  
UN CASO ESPECÍFICO”**

Presentado por:

**JOSÉ ROBERTO ALBERTI ARROYO**

**RODOLFO ERNESTO CANALES BERNAL**

**BRENDA HAZEL ELIZABETH SANDOVAL**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores:

**INGRA. SUSAN ELIZABETH CAMPOS DE ORELLANA**

**ING. EDGAR ALFREDO GAVIDIA PAREDES**

**ING. MANUEL ROBERTO DÍAZ FLORES**

SAN SALVADOR, OCTUBRE DEL 2006.

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores:

**INGRA. SUSAN ELIZABETH CAMPOS DE ORELLANA**

**ING. EDGAR ALFREDO GAVIDIA PAREDES**

**ING. MANUEL ROBERTO DÍAZ FLORES**

## **INDICE GENERAL.**

### **CAPÍTULO 1: ANTEPROYECTO**

1.1	Introducción	1
1.2	Antecedentes	2
1.3	Planteamiento del Problema	5
1.4	Objetivos	8
1.5	Alcances	10
1.6	Justificación	12

### **CAPÍTULO 2: MARCO CONCEPTUAL**

2.1	Introducción	13
2.2	Gestión de Riesgos	14
2.2.1	La Gestión del Riesgo	14
2.2.2	Etapas de los Eventos Adversos y Conceptos Relacionados con la Gestión de Riesgos.	18
2.2.3	Riesgos Naturales en El Salvador	29
2.3	Taludes	32
2.3.1	Definición de Talud.	32
2.3.2	Nomenclatura de un Talud.	33
2.3.3	Tipos de Materiales que Conforman los Taludes.	35
2.4	Tipos de movimientos en taludes y laderas	38
2.4.1	Desprendimientos o caídas	39
2.4.2	Vuelcos	40
➤	Vuelcos por flexión	41

➤ Vuelco de bloques	42
2.4.3 Deslizamientos	43
2.4.4 Expansiones Laterales	44
2.4.5 Flujos	46
a) Flujo en roca	47
b) Flujo de suelos residuales	48
c) Flujo de suelo	49
d) Flujo de lodo	49
2.4.6 Solifluxión	50
2.4.7 Reptación	51
2.4.8 Avalanchas o Aludes	51
2.4.9 Deformaciones sin Rotura o Previas a la Rotura	53
➤ Reptación por fluencia	53
➤ Cabeceo	53
➤ Combadura y pandeo en valle	54
2.5 Fallas superficiales en Taludes y Laderas	55
➤ Fallas por licuación	55
➤ Fallas por erosión	56
➤ Fallas por tubificación	57
2.6 Fallas en Taludes de Tierra Blanca	57

### **CAPÍTULO 3. DESLIZAMIENTOS**

3.1 Introducción	69
3.2 Reseña histórica de los deslizamientos en El Salvador	70
3.3 Nomenclatura de un Deslizamiento	77
3.4 Tipos de Deslizamientos	80

3.4.1 Deslizamientos Rotacionales	80
3.4.2 Deslizamientos Traslacionales	82
3.5 Factores influyentes en los deslizamientos	84
3.5.1 Factores Condicionantes	86
3.5.2 Factores Desencadenantes	94
<b>CAPÍTULO 4. TÉCNICAS DE MITIGACIÓN DE DESLIZAMIENTOS</b>	
4.1 Clasificación de las técnicas de mitigación	104
4.2 Descripción de las Técnicas de Mitigación	106
4.2.1 Reducción de Fuerzas Actuantes	106
a) Modificación de la Geometría del Talud	106
a.1) Abatimiento o Cambio de Pendiente en Taludes	106
➤ Abatimiento en taludes por relleno	107
➤ Abatimiento de taludes por corte	112
➤ Abatimiento de taludes en rocas o suelos duros	114
a.2) Remoción de Materiales de la Cabecera	117
a.3) Escalonamiento del Talud	120
a.4) Empleo de Contrapesos al pie del Talud	127
b) Sistemas de Drenaje	129
b.1) Drenaje Superficial	130
b.1.1 Cunetas	132
b.1.2 Contracunetas	136
b.1.3 Cajas	138
b.2) Drenaje Subterráneo o Subdrenaje	139

b.2.1 Drenaje Longitudinal de Zanja	140
➤ Drenes de Penetración Transversal	146
➤ Drenes en Espina de Pez	147
b.2.2 Subdrenes Horizontales	148
b.2.3 Galerías o Túneles de Subdrenaje	152
b.2.4 Pozos Profundos de Subdrenaje	156
c) Protección de la Superficie	161
c.1 Geosintéticos	162
➤ Biomantas	164
➤ Geomantas	169
➤ Geoceldas o Geocélulas	171
c.2 Redes de Alta Resistencia	173
c.3 Concreto Lanzado	179
c.4 Mortero	181
c.5 Mampostería o Piedra Pegada	185
c.6 Capas Vegetales	187
c.7 Mulching	197
c.8 Barreras Vivas	199
➤ Zacate Vetiver	206
c.9 Barreras Muertas	214
d) Empleo de Materiales Ligeros	218
4.2.2 Incremento de Fuerzas Resistentes	219
a) Aplicación de Fuerzas Resistentes al pie del Talud	219
a.1 Estructuras de Retención	219
a.1.1 Muros Rígidos	220
➤ Muros de Concreto Armado	220

➤ Muros de Concreto Simple	223
➤ Muros de Concreto Ciclópeo	225
➤ Muros de Piedra	227
a.1.2 Muros Flexibles	231
➤ Muros Gaviones	231
➤ Muros Tipo Criba	239
➤ Muros de Bloques de Concreto	242
➤ Muros de Llantas (Neusol)	244
➤ Muros Milán	247
a.2 Instalación de Anclajes	251
a.3 Pilotes y Micropilotes	266
b) Incremento de la Resistencia Interna	273
b.1 Tierra Armada	273
➤ Muros de tierra armada utilizando elementos prefabricados de concreto	274
➤ Muros de tierra armada utilizando geotextiles	280
b.2 Soil Nailing	285
b.3 Inyecciones	295
b.4 Vibrosustitución	301
b.5 Jet Grouting	307

## **CAPÍTULO 5. ESTUDIO DE TALUD ESPECÍFICO**

5.1 Evaluación de Amenaza por Deslizamientos en Taludes y Laderas	319
5.1.1 Formato de Evaluación de Amenaza por Deslizamientos en Taludes y Laderas	323

5.1.2	Guía de Implementación del Formato de Evaluación de Amenaza por Deslizamientos en Taludes y Laderas	327
5.2	Descripción de la Problemática del Talud en Estudio	336
5.3	Análisis de Estabilidad de Talud Comunidad “La Providencia”, Municipio de Cuscatancingo, San Salvador	345
5.3.1	Formato de Evaluación de Amenaza por Deslizamientos en Taludes y Laderas	345
5.3.2	Análisis de Estabilidad haciendo uso del Programa SNAILZ WIN	350

## **CAPÍTULO 6. PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN**

6.1	Secciones de análisis en el talud	358
6.2	Análisis de las Alternativas de Solución	364
6.2.1	Descripción del Proceso Constructivo para el Recubrimiento del Talud mediante Mortero	368
6.2.2	Descripción del Proceso Constructivo para el Recubrimiento del Talud mediante Concreto Lanzado	372
➤	Sistema de Drenaje	376
6.3	Evaluación y comparación de las Alternativas Propuestas	380

## **CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

7.1 Conclusiones	382
7.2 Recomendaciones	387

Bibliografía	390
--------------	-----

### **ANEXOS**

Anexo 1. Mapas con la Caracterización de los parámetros del suelo del AMSS	394
--	-----

Anexo 2. Datos obtenidos a partir del programa SNAILZ WIN para el análisis de estabilidad del talud Comunidad “La Providencia”	397
--	-----

Anexo 3. Diseño de canaleta de drenaje superficial	421
--	-----

Anexo 4. Carpeta Técnica a ser presentada en la Alcaldía Municipal de Cuscatancingo	424
---	-----

Anexo 5. Glosario	443
-------------------	-----

## **INDICE DE FIGURAS.**

### **CAPÍTULO 2. MARCO CONCEPTUAL**

2.1 Nomenclatura de Taludes y Laderas	34
2.2 Desprendimiento	40
2.3 Desprendimiento de bloques por gravedad	40
2.4 Vuelco por flexión	42
2.5 Vuelco de bloques	43
2.6 Deslizamientos en suelos blandos	44
2.7 Fluencia y extrusión del material por licuefacción	45
2.8 Fluencia y extrusión del material subyacente	45
2.9 Flujos de diferentes velocidades	47
2.10 Solifluxión	50
2.11 Esquema de un proceso de reptación	51
2.12 Avalancha en cauce de río por acumulación de materiales producto de una gran cantidad de deslizamientos ocurridos en el momento de un sismo	52
2.13 Esquema de cabeceo	54
2.14 Esquema de una combadura	55
2.15 Mecanismo de ruptura (exfoliación) en taludes de tierra blanca.	63
2.16 Fragmentos piroclásticos de vidrio volcánico, tamaño arena fina, colocados en base de aceite y vistas a través del microscopio.	65

### **CAPÍTULO 3. DESLIZAMIENTOS**

3.1 Nomenclatura de un deslizamiento	77
3.2 Deslizamiento rotacional típico	81
3.3 Tipos de fallas en deslizamientos rotacionales	81
3.4 Deslizamiento traslacional	82
3.5 Modificación de las trayectorias de los esfuerzos horizontales originales como consecuencia de una excavación	93

### **CAPÍTULO 4. TÉCNICAS DE MITIGACIÓN**

4.1 Esquema de proyección de cambio de pendiente de un talud	107
4.2 Maquinaria comúnmente utilizada en los métodos de reducción de fuerzas actuantes	109
4.3 Área de remoción de material en la cabecera de un talud.	118
4.4 Conformación de bermas por medio del corte de material exterior del talud	120
4.5 Forma adecuada de realizar el corte en talud, paralelamente a la topografía del mismo	123
4.6 Escalonamiento en taludes en suelos cohesivos	125
4.7 Área de colocación de material al pie del talud	127
4.8 Colocación de Contrapeso en talud	128
4.9 Detalle Transversal de un drenaje longitudinal de Zanja	140
4.10 Esquema de desagüe directo de una zanja drenante	142
4.11 Esquema constitutivo de un dren subterráneo tipo zanja	146

4.12	Detalle de ubicación de drenes en espina de pez en un talud.	148
4.13	Esquemas de colocación de sistemas de drenes horizontales	149
4.14	Esquema de captación de las galerías de drenaje en un talud	153
4.15	Instalación de galerías de drenaje haciendo uso de carro de perforación con sistema de inyección de agua.	153
4.16	a) Galería de drenaje inadecuada., b) Galería con drenaje vertical adecuada	154
4.17	Disminución del nivel freático en un talud, haciendo uso de pozo drenante	156
4.18	a) Drenes horizontales inadecuados, b) Pozo de bombeo y drenes horizontales adecuados.	157
4.19	Esquema de las medidas de drenaje en taludes descritos anteriormente.	160
4.20	Esquema de la ubicación de los sujetadores al colocar las biomantas (según inclinaciones de talud, unidades en metros).	168
4.21	Esquematización del proceso de instalación de las biomantas	168
4.22	Elementos de anclaje con los que se fija la red de alta resistencia a un talud	176
4.23	Uniones aceptables en traslapes de redes	178
4.24	Esquema de recubrimiento de un talud con unidades de mampostería	187
4.25	Componentes vegetales de implantación de céspedes en taludes.	188
4.26	Esquema de una barrera viva	200
4.27	Trazo y estaquillado de línea guía	203

4.28	Selección y preparación del material	204
4.29	Siembra de la especie que formará la barrera	204
4.30	Mantenimiento de la barrera viva	205
4.31	Esquema del mecanismo de estabilización de taludes mediante zacate vetiver	208
4.32	Dimensiones de la macolla de zacate vetiver que se utiliza en la siembra.	213
4.33	Esquematación de una barrera muerta	214
4.34	Combinación de barreras muertas y vivas	215
4.35	Construcción de una barrera muerta usando rastrojos y piedras	216
4.36	Construcción de barreras muertas: a) Barrera de piedra de doble cara y b) barrera de piedra de una sola cara	216
4.37	El material para la barrera puede juntarse en el mismo terreno o traerse desde otro lugar.	217
4.38	Haciendo una zanja para colocar la barrera muerta	217
4.39	Esquema de un Muro de Concreto Armado para la estabilización de taludes	221
4.40	Maquinaria comúnmente utilizada para los métodos de incremento de resistencia interna	222
4.41	Esquema de un muro de Concreto Simple para la estabilización de taludes	224
4.42	Esquema de un muro de Concreto Ciclópeo para la estabilización de taludes	226
4.43	Esquema de un gavión tipo caja	231
4.44	Detalle de los componentes de la malla de los gaviones	232
4.45	Esquema de la permeabilidad de los gaviones	234

4.46	Esquema del desdoblado de los paneles de los gaviones.	236
4.47	Esquema del doblado y amarre de los gaviones tipo caja	237
4.48	Esquema del amarre y colocación de los gaviones tipo caja	237
4.49	Esquema alineación y tensado de los gaviones	238
4.50	Esquema del llenado correcto de los gaviones	238
4.51	Esquema del cierre de los gaviones	239
4.52	Esquema de Muro Tipo Criba en la estabilización de taludes	240
4.53	Colocación de los largueros y travesaños para la conformación de un muro tipo criba	241
4.54	Colocación de los travesaños y largueros de los muros tipo criba en la estabilización de taludes, en función del número de largueros utilizados	241
4.55	Esquema de un muro de llantas para la estabilización de taludes	245
4.56	Altura total H1 de excavación para la construcción de un Muro Milán	249
4.57	Altura de excavación H2 para conformar la parte vista del muro milán	250
4.58	Efecto estabilizador de un anclaje en un talud	251
4.59	Esquema del funcionamiento de los anclajes	252
4.60	Componentes de un ancla	254
4.61	Diferentes cabezales de anclajes tipo Manta Ray	258
4.62	Esquema del proceso de excavación para la instalación de anclajes	261
4.63	Esquema del proceso de perforación para alojar el ancla	262
4.64	Inyección del bulbo	263
4.65	Inyección secundaria	265

4.66	Esquema de colocación de pilotes para la estabilización de taludes	268
4.67	Proceso constructivo de pilotes colados in situ	271
4.68	Esquema del funcionamiento de micropilotes en la estabilización de taludes	272
4.69	Esquema de la perforación para la instalación de un micropilote en un talud	272
4.70	Tipos de muros de tierra armada	274
4.71	Esquema general de un muro de tierra armada con elementos prefabricados de concreto	275
4.72	Componentes de un muro de tierra armada	277
4.73	Esquema de la colocación de la primera hilada de placas de concreto en muro de tierra armada	278
4.74	Sargentos y cuñas de madera para la colocación de las placas de concreto.	279
4.75	Esquema del proceso de excavación en el terreno	292
4.76	Esquema de perforación para la introducción de los nails	293
4.77	Esquema del concreto lanzado aplicado sobre malla estructural	293
4.78	Esquema y vista del terreno en la capa siguiente de excavación, utilizando el sistema Soil Nailing	294
4.79	Esquema del proceso constructivo para la estabilización de suelos en capas	300
4.80	Proceso constructivo de la técnica de vibrosustitución por vía húmeda en el terreno	304
4.81	Columnas de grava por vibrosustitución	305
4.82	Esquema del equipo y proceso de vibrosustitución por vía	307

seca en el terreno	
4.83 Capacidad erosiva de los diferentes tipos de suelo a considerar en los sistemas de jet grouting	311
4.84 Esquema del sistema de jet grouting de barra simple (S)	312
4.85 Esquema del sistema jet grouting de barra doble (D)	313
4.86 Esquema del sistema jet grouting de barra triple (T)	314
4.87 Planta típica de sistema jet grouting de barra triple (Sistema T)	316
4.88 Proceso constructivo con perforaciones guía (perforación previa)	317
4.89 Procedimiento constructivo sin perforaciones guía	318

## **CAPÍTULO 5. ESTUDIO DE TALUD ESPECÍFICO**

5.1 Determinación de la pendiente de un talud en el campo	328
5.2. Esquema de dimensiones para el cálculo de la altura de un talud/ladera en el campo	329
5.3 Componentes de las discontinuidades de un talud: buzamiento y línea de máxima pendiente	334
5.4. Esquema de ubicación del talud comunidad "La Providencia", municipio de Cuscatancingo	337

## **CAPÍTULO 6. PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN**

6.1 Sección de análisis 1	359
6.2 Sección de análisis 2	360

6.3	Sección de análisis 3	361
6.4	Sección de corte general en talud	362
6.5	Detalle de la colocación de malla ciclón en talud	370
6.6	Detalle de ubicación de pines de sujeción de malla ciclón	371
6.7	Detalle del cerco a utilizar para la protección de la corona y el pie del talud Comunidad La Providencia	375
6.8	Detalle de caja recolectora (sin escala)	377
6.9	Detalle de canaleta y gradas disipadoras de energía en la corona (sin escala)	378
6.10	Detalle de canaletas a utilizar en la parte superior del talud.	379

### **INDICE DE FOTOGRAFÍAS**

## **CAPÍTULO 2. MARCO CONCEPTUAL**

2.1.	Fisuras generadas por la exfoliación en un talud de tierra blanca	59
------	---	----

## **CAPÍTULO 3: DESLIZAMIENTOS**

3.1	Vista panorámica del deslizamiento en Col. Las Colinas, Depto. de La Libertad, Enero del 2001	73
3.2	Deslizamiento de Col. Las Colinas visto desde abajo, Enero del 2001	73
3.3	Deslizamiento de Col. Las Colinas visto desde abajo, Enero del 2001	73
3.4	Deslizamiento ocurrido en Curva La Leona, carretera CA-2	74

a San Vicente	
3.5 Deslizamientos producidos en la carretera a Suchitoto, Depto. de Cuscatlán	76
3.6 Deslizamientos producidos en la carretera a Suchitoto, Depto de Cuscatlán	76

#### **CAPÍTULO 4: TÉCNICAS DE MITIGACIÓN**

4.1 Proyección futura de talud por relleno, Col Las Colinas, La Libertad	110
4.2 Cargador realizando trabajos para la conformación del talud, Col. Las Colinas, La Libertad	110
4.3 Retroexcavadora realizando trabajos para la conformación del talud, Col. Las Colinas, La Libertad	110
4.4 Conformación de futuras terrazas a compactar en talud, Col. Las Colinas, La Libertad	111
4.5 Talud en proceso de perfilado, Col. Las Colinas, La Libertad	111
4.6 Proceso de abatimiento en taludes de Corte, Col. Las Colinas, La Libertad	114
4.7 Descabezamiento de Talud en Av. Juan Pablo II	118
4.8 Berma conformada en talud, contiguo al Instituto Emiliani, Antiguo Cuscatlán	121
4.9 Medición en campo para la conformación de bermas, talud contiguo al Instituto Emiliani, Antiguo Cuscatlán	126
4.10 Erosión de talud bajo una medida de drenaje superficial (canal de concreto) Calle El Carmen, Col. Escalón	131

4.11	Construcción de cunetas en la berma de un talud, utilizando elementos prefabricados de concreto	132
4.12	Construcción de cunetas en la corona de un talud, utilizando elementos prefabricados de concreto	132
4.13	Proyección de futura canaleta, Col. Las Colinas, La Libertad	133
4.14	Compactación del material base de la cuneta	134
4.15	Colocación de cuneta circular prefabricada, Col. Las Colinas, La Libertad.	135
4.16	Construcción de cuneta rectangular de concreto "in situ", Col. Las Colinas, La Libertad	135
4.17	Contracuneta en base de talud, Col. Las Colinas, La Libertad	136
4.18	Caja generando cambio de dirección de flujo de agua en talud, Col. Las Colinas, La Libertad	138
4.19	Caja de concreto terminada en talud, Km. 12 Carr. a La Libertad	139
4.20	Zanja para la colocación de tubería de un drenaje longitudinal.	141
4.21	Ejemplo de un sistema de drenes transversales	147
4.22	Máquina perforadora para la instalación de drenajes horizontales en taludes	151
4.23	Perforación de drenes horizontales desde el interior de un pozo de drenaje para conectar a un pozo contiguo	159
4.24	Estabilización de un talud con geosintéticos	162
4.25	Talud estabilizado utilizando geosintéticos	163
4.26	Utilización de una biomanta para estabilizar un talud	164

	con problemas de erosión	
4.27	Biomantas construidas de diferentes materiales: a) biomanta fabricada de una combinación de fibra de coco y paja y b) biomanta fabricada de fibra de coco usada para condiciones de escorrentía, precipitación y erosión más desfavorables	165
4.28	Instalación de biomantas: a) Proceso de instalación de una biomanta y b) vista de un talud después de colocada una biomanta	166
4.29	Utilización de biomanta reforzada con malla de doble torsión debido a la gran inclinación de los taludes	166
4.30	Esparcimiento de tierra sobre una geomanta para ayudar al crecimiento de la vegetación que protegerá al talud.	169
4.31	Proceso de estabilización de un talud en tres fases: colocación de la geomanta y esparcimiento de semillas, cubierta de tierra sobre la geomanta y capa vegetal desarrollada	170
4.32	Hidrosiembra sobre un talud de gran inclinación	171
4.33	Geoceldas o Geocélulas	171
4.34	Estabilización de un talud usando geoceldas	172
4.35	Uso de geoceldas: a) Llenado de geoceldas con tierra y b) geoceldas cubiertas con una geomanta para facilitar el germinado de las semillas sembradas	173
4.36	Redes de alta resistencia usadas para evitar que las piedras que se desprenden dañen a) las carreteras y b) edificios cercanos	174

4.37	Los rollos de la red deben desenrollarse y luego ser colocados sobre el talud	175
4.38	Colocación y fijación de una red de alta resistencia sobre un talud.	175
4.39	Talud con la apariencia de una ladera natural; sin embargo, es un talud estabilizado usando una red de alta resistencia	177
4.40	Diferentes terminaciones de la malla al pie del talud	178
4.41	Talud revestido con concreto lanzado para evitar que la superficie del mismo quede a la intemperie y afecte los trabajos futuros.	181
4.42	Diferencia entre un talud recubierto con mortero y uno natural	182
4.43	Revestimiento de mortero para la estabilización de un talud ubicado en Santo Tomás, sobre la Carretera Panamericana	182
4.44	Revestimiento de mortero para la estabilización de un talud ubicado en Santo Tomás, sobre la Carretera Panamericana	182
4.45	Talud de la planta de procesamiento de Café Rico sobre la Autopista a Comalapa protegido con una capa de mortero	184
4.46	El recubrimiento de taludes con mortero para evitar la erosión es utilizado con éxito inclusive en taludes de 90°	184
4.47	Recubrimiento de taludes utilizando piedras	186
4.48	Recubrimiento de taludes utilizando unidades de	186

mampostería.

4.49	Talud sobre el km 11 ½ de la carretera al Puerto de la Libertad, estabilizado utilizando grama y un sistema de drenaje superficial	189
4.50	Proceso de siembra de grama sobre un talud de la Residencial Miramar en San José Villanueva, utilizando fragmentos de plantas	193
4.51	Recubrimiento de un talud (Llinars del Vallès, España), utilizando la técnica del Mulching	197
4.52	Especies más utilizadas en El Salvador para barreras vivas a) piña, b) izote, c) espada de San Miguel, d) zacate vetiver y e) zacate limón	200
4.53	Sectores aledaños a Las Colinas en Santa Tecla donde se han utilizado barreras vivas para la estabilización de taludes.	201
4.54	Utilización de barreras vivas con izote para la estabilización de un talud	201
4.55	Sector Las Colinas en Santa Tecla. Se observa el crecimiento de zacate vetiver y los trabajos de conformación de terraza para su siembra	206
4.56	Muro de piedra en talud ubicado atrás de edificio de Filosofía, Universidad de El Salvador	228
4.57	Muro de piedra. a) Vista de las juntas, b) vista panorámica	228
4.58	Construcción de un muro de piedra	230
4.59	Ejemplo de la flexibilidad de las estructuras de gaviones	233
4.60	Ejemplos de muros gaviones: a) Km. 11 ½ Carr. a La	235

	Libertad, b) San Ignacio, Chalatenango, c) Fundación Padre Arrupe, Soyapango	
4.61	Colocación de las hileras de gaviones	239
4.62	Ejemplos de Muro de Bloques: a) Final 2º av. Norte, Mejicanos, b) Estadio Universitario, Universidad de El Salvador	243
4.63	Muros de Llantas: a) Km 12 ½ Carr. a Comalapa, b) Comunidad La Fosa, Blvd. Universitario	246
4.64	Esquema de la colocación y atado de las llantas.	247
4.65	Excavación de zanja para la construcción de un muro milán	249
4.66	Colocación del refuerzo de un muro milán: a) Levantamiento del refuerzo, b) introducción del refuerzo al suelo	250
4.67	Ejemplos del trazado de puntos de anclaje	262
4.68	Ejemplos del trazado de puntos de anclaje	262
4.69	Esquema del proceso de perforación para alojar el ancla	262
4.70	Instalación de anclajes	263
4.71	Instalación de anclajes	263
4.72	Cabezal del ancla con el refuerzo de la placa de apoyo colocado para su posterior colado	264
4.73	Tensado de anclaje convencional haciendo uso de un gato hidráulico	265
4.74	Equipo de tensado para un anclaje tipo Manta Ray	265
4.75	Colocación de concreto lanzado para la conformación de una pantalla en un talud	266
4.76	Perforación para la instalación de un pilote	270

4.77	Colocación de la armadura de un pilote	270
4.78	Elementos utilizados para la conformación de taludes con el sistema Terra Mesh	281
4.79	Colocación de los geotextiles que conforman el sistema Terra Mesh sobre la superficie de un talud	282
4.80	Amarrado de los elementos del Sistema Terra Mesh, haciendo uso de alambre galvanizado de alta resistencia	282
4.81	Proceso de compactación de las capas de suelo para el sistema Terra Mesh	283
4.82	Proceso de compactación de las capas de suelo para el sistema Terra Mesh	283
4.83	Colocación y desdoblado de los elementos del sistema Terra Mesh	284
4.84	Colocación de los elementos del Sistema Terra Mesh para la conformación de las capas siguientes	284
4.85	Taludes estabilizados con la técnica de Soil Nailing, Boulevard Orden de Malta, Santa Elena	291
4.86	Taludes estabilizados con la técnica de Soil Nailing, Boulevard Orden de Malta, Santa Elena	291
4.87	Ejemplo del proceso de excavación en el terreno	292
4.88	Ejemplo de perforación para la introducción de los nails	293
4.89	Ejemplo del concreto lanzado aplicado sobre malla estructural	293
4.90	Vista del terreno en la capa siguiente de excavación, utilizando el sistema Soil Nailing	294

4.91	Esquema del acabado final en un talud, aplicando la técnica de Soil Nailing	294
4.92	Trazo y perforación de puntos de inyección, terraplén de presa hidroeléctrica	300
4.93	Trazo y perforación de puntos de inyección, terraplén de presa hidroeléctrica	300

## **CAPÍTULO 5. ESTUDIO DE TALUD ESPECÍFICO**

5.1	Vista aérea de la zona del talud en estudio	338
5.2	Estado general de los pasajes en la comunidad La Providencia, en los que se muestran los drenajes superficiales provenientes de las viviendas	339
5.3	a) Viviendas que se ubican al pie del talud y que reciben todo el material que se desprende desde el talud, b) Pérdida de una porción de la vivienda mostrada debido a un deslizamiento ocurrido durante el huracán Stan	340
5.4	Fallas comunes en taludes de tierra blanca observadas en Comunidad La Providencia: a) y b) Cárcavas o zanjas provocadas por la erosión, c) Exfoliación o caída por capas del material debido al intemperismo	341
5.5	Viviendas ubicadas en el pie del talud en la comunidad La Providencia	342
5.6	Peligros a los que se exponen las viviendas en la Comunidad "La Providencia"	343
5.7	Daño provocado al talud por la descarga inadecuada de las aguas servidas.	344

5.8 a) Caída de material sobre casa al pie del talud, b) tubería que los habitantes de la vivienda afectada por la descarga de aguas servidas han colocado para tratar de evacuarlas y que no pase a través de su casa.

## **INDICE DE GRÁFICOS.**

### **CAPÍTULO 4. TÉCNICAS DE MITIGACIÓN DE DESLIZAMIENTOS**

4.1 Clasificación de las Técnicas de Mitigación (En función del trabajo que realizan en el material a ser estabilizado)	105
---	-----

### **CAPÍTULO 5. ESTUDIO DEL TALUD ESPECÍFICO**

5.1 Análisis Gravitacional, Sección 1	352
5.2 Análisis Sísmico, Sección 1	353
5.3. Análisis Gravitacional, Sección 2	354
5.4. Análisis Sísmico, Sección 2	355
5.5. Análisis Gravitacional, Sección 3	356
5.6. Análisis Sísmico, Sección 3.	357

## **INDICE DE TABLAS**

### **CAPÍTULO 1. ANTEPROYECTO**

1.1	Deslizamientos más relevantes en El Salvador durante los últimos 25 años, en función de los daños y muertes ocasionadas	1
-----	---	---

### **CAPÍTULO 2. MARCO CONCEPTUAL**

2.1	Ámbitos y contenidos de la Gestión de Riesgos	16
2.2	Elementos principales de la Gestión de Riesgos	17

### **CAPÍTULO 4. TÉCNICAS DE MITIGACIÓN DE DESLIZAMIENTOS**

4.1	Distancias entre barreras vivas y muertas según su pendiente	199
4.2	Separación entre barreras vivas de zacate vetiver, de acuerdo con la pendiente	213
4.3	Especificaciones de los diferentes sistemas de Jet Grouting	315

### **CAPÍTULO 6. PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN**

6.1.	Presupuesto general del método de mortero	381
6.2	Presupuesto general del método de concreto lanzado	382

# **CAPÍTULO 1: ANTEPROYECTO**

## **1.1 INTRODUCCIÓN**

Los deslizamientos de tierra en taludes son un fenómeno que afecta periódicamente a nuestro país, causando innumerables pérdidas humanas y económicas; de ahí la necesidad de buscar alternativas que permitan reducir los daños que estos producen. Existe una gran variedad de técnicas de mitigación ante deslizamientos, cada una aplicada en función de la geometría y del tipo y condiciones de los materiales que conforman los taludes. Es por ello que se hace necesario contar con algunos criterios para seleccionar la técnica que brinde una solución funcional a un problema específico.

En este trabajo de investigación se recopilará la información indispensable sobre técnicas de mitigación de deslizamientos en taludes que podrían ser aplicables en nuestro país, describiendo para cada una de ellas los procesos de ejecución y la maquinaria necesaria, lo que permitirá a las personas tener una idea aproximada de los costos para su ejecución, no descuidando la funcionalidad de la técnica seleccionada.

## **1.2 ANTECEDENTES**

En El Salvador, la problemática por deslizamientos se ve incrementada en la época lluviosa con los períodos de lluvia prolongados y aún más por los sismos que frecuentemente afectan el territorio nacional, dejando grandes pérdidas humanas, materiales y económicas.

En nuestro país se han reportado importantes deslizamientos, inducidos ya sea por movimientos sísmicos como por precipitaciones excesivas, lo que provoca la desestabilización del suelo en los taludes y causa severos daños. A continuación se muestran los deslizamientos más relevantes en los últimos veinticinco años en función de los daños y muertes ocasionadas (Ver Tabla 1.1):

**TABLA 1.1 DESLIZAMIENTOS MÁS RELEVANTES EN EL SALVADOR DURANTE LOS ÚLTIMOS 25 AÑOS EN FUNCIÓN DE LOS DAÑOS Y MUERTES OCASIONADAS.**

FECHA	LUGAR	CAUSA	DAÑOS
Junio 1982	Apaneca, Ataco, Comayagua (La Libertad), Apopa (San Salvador), y Cojutepeque (Cuscatlán)	Movimientos Sísmicos	Dstrucción de grandes extensiones de cultivo de café en la zona occidental del país
19 Septiembre 1982	Volcán de San Salvador	Precipitación excesiva y Deforestación	500 muertos, 2400 damnificados, pérdida de 20 Ha de cultivos permanentes
10 Octubre 1986	San Salvador, Mejicanos, Ayutuxtepeque y Cuscatancingo	Movimientos Sísmicos	Daño en viviendas por los 52 deslizamientos producidos
Octubre 1998	Zona Oriental del país	Precipitación excesiva por Huracán Mitch	Dstrucción de puentes y caminos
13 Enero 2001	La Libertad (Col. Las Colinas), La Paz, Usulután, San Salvador	Movimientos Sísmicos	800 muertos a nivel nacional, más de un millón de personas damnificadas, severos daños a la infraestructura vial.
13 Febrero 2001	Cuscatlán, La Paz, San Vicente	Movimientos Sísmicos	Daños a viviendas
Octubre 2005	Zona costera, Santo Tomás, San Jacinto	Precipitación excesiva por Huracán Stan	Mas de 50 fallecidos, grandes daños a la infraestructura vial y puentes.

(Fuente: Elaboración Propia).

Todo esto ha motivado a diversas personas e instituciones a buscar alternativas que permitan prevenir o reducir los daños que los deslizamientos producen. Se han realizado diversos trabajos de graduación enfocados a una sola técnica de estabilización de taludes, la que ha estado encaminada únicamente a la solución de un problema en particular.

Entidades públicas y privadas han implementado diversas técnicas de mitigación de deslizamientos en taludes, tanto estructurales como no estructurales, según las características particulares que éstos posean. En nuestro país la institución pública encargada de realizar las obras de mitigación necesarias a lo largo de la red vial es el Ministerio de Obras Públicas, el cual ha hecho uso de diferentes técnicas entre las que podemos citar algunos ejemplos: "concreto lanzado" (shotcrete) en la carretera a Comalapa y en el paso a desnivel Alameda Juan Pablo II y Boulevard Constitución, "mallas de acero" en la carretera a Los Chorros, "gaviones" y "muros de retención" en taludes en la red vial urbana, "geomallas sintéticas" a lo largo de la carretera de Oro, "trabajos de terracería", "obras de drenaje", etc.

Así mismo, también se han hecho uso de diferentes técnicas de mitigación en proyectos urbanísticos para la protección de los mismos, tal es el caso del talud ubicado en la Urbanización Cumbres de San Francisco, el cual fue estabilizado

haciendo uso de la técnica llamada "Soil Nailing" que son anclajes inyectados en el lado de retención y "pantallas con anclaje tipo mantarraya".

### **1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En El Salvador, los deslizamientos ocasionan grandes pérdidas humanas, materiales y económicas que se relacionan directamente con el acelerado crecimiento poblacional y sus necesidades, las características del relieve salvadoreño y de la ubicación de las ciudades importantes. Muchas comunidades, colonias y residenciales han sido desarrolladas muy próximas a taludes existentes o conformados para su urbanización; así también la construcción de carreteras ha conllevado una considerable cantidad de cortes que requieren obras de protección en diversos materiales que, en el presente, no se han realizado en todos los casos.

La combinación de los factores anteriores convierte a los deslizamientos en un problema complejo, que además se ve influenciado por otros elementos tales como la geometría de los taludes, la geología de los materiales por los que están conformados, la intensidad de las precipitaciones, la meteorización, la sismicidad, etc.

Frecuentemente, los deslizamientos que se producen en los taludes cierran el paso vehicular impidiendo la salida y entrada de vehículos a las distintas colonias y comunidades, llevando serios problemas de comunicación a las mismas, dañando la infraestructura vial existente y afectando la economía de los usuarios y los lugares que unen, sin mencionar el hecho de que se requiere una mayor inversión para su rehabilitación.

Habitualmente, las personas afectadas solicitan a la municipalidad, al Ministerio de Obras Públicas o a cualquier organización no gubernamental, ayuda para construir obras que contrarresten el problema; mientras que otras personas y algunas alcaldías que tienen la posibilidad económica costean por su cuenta la construcción de muros u otras obras de mitigación; sin embargo, éstas muchas veces son realizadas únicamente en base a la experiencia de quienes la construyen, lo que las hace poco funcionales y de corta vida útil en algunos casos y en otros podrían convertirse en riesgo por su posible colapso.

Por otra parte, la mayoría de las medidas de mitigación implican costos de ejecución que la mayoría de personas no pueden pagar; por ello es común ver taludes cubiertos con plásticos tratando de evitar la saturación de los suelos que los conforman, como una solución inmediata, que no siempre funciona. Todo esto hace que miles de personas se sigan viendo afectadas año con año como

consecuencia de los deslizamientos en taludes, principalmente personas de escasos recursos económicos.

Un ejemplo de esta problemática es la comunidad "La Providencia" del municipio de Cuscatancingo la cual, según sus habitantes, se ve afectada año con año por los deslizamientos y principalmente en períodos de lluvia prolongados como el que trajo consigo el huracán Stan a finales de octubre de 2005, que destruyó parcialmente las viviendas más cercanas al talud de aproximadamente 10 metros de altura, al deslizarse una masa de suelo del mismo y dañando la infraestructura vial de la zona. El peligro al que se ven expuestos los habitantes de dicha comunidad ha aumentado después de los acontecimientos del año anterior pues nuevos deslizamientos acabarían totalmente con las viviendas ubicadas a la orilla del talud.

La alcaldía de esa municipalidad actualmente no tiene los recursos suficientes para hacer un estudio técnico que permita evaluar de manera precisa las alternativas que se pueden tomar, ya sea el realizar obras de mitigación en el talud, o si resulta más viable la reubicación de las personas que ahí viven.

Con el conocimiento obtenido de este trabajo de investigación, se elaborará una carpeta técnica que contenga las alternativas que podrían ser empleadas por la

Municipalidad, para que junto con la comunidad evalúen la viabilidad de su aplicación y den una solución al problema.

## **1.4 OBJETIVOS**

### ***OBJETIVO GENERAL:***

Describir las diferentes técnicas de mitigación en taludes para el control de deslizamientos en taludes y aplicarlas para la solución de un problema específico.

### ***OBJETIVOS ESPECIFICOS:***

- Definir conceptos relacionados con la gestión de riesgos por deslizamientos en taludes.
  
- Describir los diferentes tipos de deslizamientos en taludes y sus causas.
  
- Describir los procedimientos constructivos de las diferentes técnicas de mitigación ante deslizamientos en taludes.

- Elaborar una herramienta sencilla que permita determinar el estado general de estabilidad de un talud (diagnóstico) para evaluar si es posible la ejecución de una técnica de mitigación inmediata o si se requiere una obra más compleja.
- Establecer los campos de aplicación de cada una de las técnicas de mitigación ante deslizamientos en taludes, en base al tipo de material del talud y de su geometría.
- Proponer las técnicas más adecuadas para la estabilización del talud ubicado en la 20 av. Norte del municipio de Cuscatancingo, así como la estimación del costo de las posibles alternativas aplicables a ese talud en específico.
- Elaborar una carpeta técnica con las alternativas de las medidas de mitigación propuestas en base a los resultados obtenidos y colocarla a disposición de la Alcaldía Municipal de Cuscatancingo para una posible evaluación de viabilidad de su ejecución.

## **1.5 ALCANCES**

Con este trabajo se pretende recolectar la información que permita identificar las causas de los fenómenos de deslizamientos, así como conocer y seleccionar las técnicas de mitigación de deslizamientos más adecuadas en taludes, en base a las condiciones del material por el que están conformados y por su geometría. Así mismo, este trabajo está enfocado a la investigación precisa y detallada de las principales medidas de mitigación ante deslizamientos en taludes, conformados principalmente en zonas donde hay asentamientos humanos.

Este trabajo no está enfocado a medidas de mitigación en taludes conformados en las cercanías de quebradas y ríos, ni a los deslizamientos que ocurren en laderas, debido a que éstos necesitan de estudios más extensos.

Para la selección adecuada de las técnicas de mitigación en cada caso particular de talud, se describirán las diversas técnicas de estabilización y protección de taludes existentes que han sido implementadas hasta la actualidad, su funcionabilidad y su campo de aplicación en nuestro país, así como también aquellas que se utilizan en otros países para luego evaluar la viabilidad de su aplicación en nuestra realidad económica.

Cabe mencionar que para definir la selección de las técnicas de mitigación más adecuadas en función al tipo de suelo por el que está conformado el talud y de su geometría, se elaborará un formulario de evaluación que permitirá hacer un diagnóstico sencillo sobre las condiciones de estabilidad del talud. Este formulario brindará los criterios ingenieriles básicos para la construcción de una obra determinada.

Al finalizar la recopilación de información se procederá a la selección y aplicación de las técnicas a un caso particular de talud, con el fin de proponer la técnica más adecuada para su estabilización y el costo aproximado de su implementación. Para ello se realizará un análisis de estabilidad tomando datos geotécnicos promedios de la zona (cohesión, ángulo de fricción interna, etc.), para determinar el factor de seguridad que el talud posee y el tipo de falla al que éste se verá sometido.

Finalmente, luego de la estimación económica de las alternativas propuestas, se elaborará una carpeta técnica con los resultados obtenidos y se pondrá a disposición de la Alcaldía Municipal de Cuscatancingo para que junto con la comunidad evalúen y juzguen su implementación posterior.

## 1.6 JUSTIFICACIÓN

Debido a la situación económica de nuestro país y a la gran cantidad de pérdidas (tanto humanas como materiales) que se han dado en el pasado y que se hicieron más notables a raíz de los recientes fenómenos de lluvias y sismos que desencadenaron múltiples deslizamientos a lo largo del territorio nacional, se hace necesario contar con los criterios adecuados para la óptima implementación, tanto económica como funcional, de las técnicas de mitigación de deslizamientos en taludes. La optimización de estas técnicas permitirá un mayor desarrollo a un menor costo, y las secuelas por deslizamientos se verán reducidas en la red vial y en proyectos urbanísticos, lo que traerá consigo un mayor bienestar para las personas.

Lo anterior sólo se puede llevar a cabo si se cuenta con la información precisa que permita identificar las soluciones más adecuadas y viables a cada problema en particular y que establezca los pasos a seguir para implementarlas, lo cual constituye el fin de este proyecto.

## **CAPÍTULO 2: MARCO CONCEPTUAL**

### **2.1 INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se busca, previamente a la profundización en el estudio del comportamiento de los taludes, establecer una base teórica que aclare al lector lo referente a conceptos, nomenclatura y clasificación de los diferentes movimientos que se producen en taludes, así como de los riesgos a los que se ven expuestas las personas que viven cerca de los mismos. Para mejorar la comprensión de estos conceptos y evitar confusiones de términos se ha tenido a bien incluirlos en este capítulo.

Primeramente se trata la Gestión de Riesgos, junto con sus objetivos y componentes, mencionando posteriormente los conceptos fundamentales que conciernen a este tema y a los eventos adversos junto con sus etapas; también se describen los riesgos naturales que afectan a nuestro país. Luego se habla sobre los conceptos concernientes a taludes: su nomenclatura, los materiales que lo componen, y los tipos de movimientos que se pueden dar en ellos, entre los cuales están los deslizamientos, Sin embargo, los conceptos relacionados con los deslizamientos se abordan de manera más amplia en el capítulo 3.

## **2.2 GESTIÓN DE RIESGOS.**

### ***2.2.1 La Gestión del Riesgo.***

La gran importancia del impacto económico y social de los desastres naturales en el entorno y en las actividades humanas, añadido a las elevadas sumas de capital requerido para la reconstrucción, hacen necesaria la evaluación de las amenazas para la reducción del riesgo y los desastres, así como la consideración sistemática del estudio y análisis de estos peligros en los planes y proyectos de desarrollo socio-económico. Sin embargo esta evaluación debe llevarse a cabo a partir del conocimiento de los procesos naturales y de las causas del aumento de la vulnerabilidad.

La evaluación del riesgo enfocada a la reducción de los desastres comenzó a ponerse en práctica hace un par de décadas. Hasta entonces las acciones de gestión se orientaban primordialmente hacia las actividades de manejo de las emergencias y los desastres y se conocía como "gestión del desastre" (o "disaster control" por su nombre en inglés). A raíz del incremento de pérdidas de vidas humanas y económicas asociadas a los desastres y al aumento en el número de éstos anualmente, se comenzaron a formular e implementar acciones encaminadas a prevenir y mitigar el riesgo. De esta manera el término

evolució n hacia "gesti3 n del riesgo para reducir los desastres" convirtiéndose el riesgo y sus factores en conceptos y elementos b3 sicos en el estudio y la aplicaci3 n pr3 ctica en torno a la problem3 tica de los desastres.

Hoy en d3 a el concepto de "gesti3 n" o "manejo del riesgo", puede definirse como: *la aplicaci3 n de pol3 ticas, estrategias, instrumentos y medidas orientadas a eliminar, reducir, prever y controlar los efectos adversos de fen3 mmenos peligrosos sobre la poblaci3 n, los bienes y servicios, y el ambiente, o bien como el conjunto de acciones integradas de reducci3 n de riesgos a trav3 s de actividades de prevenci3 n, mitigaci3 n, preparaci3 n y atenci3 n de emergencias y recuperaci3 n post-impacto.* (Según Plan Nacional de Gestió n de Riesgos, Repú blica Dominicana. Ingeniar/La Red/ICF consulting 2001).

A pesar de que la terminolog3 a para la gesti3 n del riesgo continú a evolucionando, su objetivo ú ltimo es siempre el mismo: *Evitar o reducir los efectos dañinos de las amenazas naturales (tales como p3 rdida de vidas y propiedades, p3 rdidas econ3 micas, efectos en la econom3 a y en los procesos de desarrollo, etc.) y aumentar la seguridad de las personas, bienes y propiedades, colaborando as3 al desarrollo sostenible a trav3 s del equilibrio entre el medio natural y el medio antr3 pico.*

Bajo un punto de vista global, la gestión del riesgo incluye dos diferentes ámbitos de consideración cada uno con sus diferentes áreas de intervención, las cuales se resumen en las tablas 2.1 y 2.2:

**TABLA 2.1. ÁMBITOS Y CONTENIDOS DE LA GESTIÓN DE RIESGOS.**

<b>FASES</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>CONTENIDO</b>
<b>PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE RIESGOS</b>	Mitigación y prevención de los riesgos	Estudio y evaluación de las amenazas naturales, de la vulnerabilidad y de las condiciones de riesgo
		Identificación de escenarios de riesgo o desastre potencial
		Definición y diseño de las actuaciones y medidas preventivas y mitigadoras a corto, medio y largo plazo
		Incorporación de las medidas a los planes de ordenamiento y desarrollo a nivel territorial nacional y local, y a nivel sectorial.
	Capacitación técnica	Capacitación técnica de personal
Educación en la "cultura del riesgo" y en la prevención		Desarrollo de programas de información pública y educación ciudadana
		Inclusión en los planes de estudios universitarios
<b>ATENCIÓN A LA EMERGENCIA Y AL DESASTRE</b>	Preparación ante el desastre	Fortalecimiento de la preparación, capacidad de acción, organización institucional y colaboración interinstitucional.
	Respuesta en emergencias	Elaboración de metodologías y manuales para el desarrollo de planes de emergencia y contingencia para escenarios potenciales de desastre que tengan en cuenta las características físicas, económicas y sociales de cada región.
		Fortalecer los organismos operativos nacionales y locales.
	Reconstrucción y rehabilitación	Fortalecer la capacidad técnica, administrativa y financiera para agilizar los procesos de reconstrucción y recuperación.
		Coordinación interinstitucional que evite la repetición o duplicidad de funciones y aumente la operatividad.

*(Fuente: Sistema de Información Territorial, SNET 2002)*

**TABLA 2.2 ELEMENTOS PRINCIPALES DE LA GESTIÓN DE RIESGOS**

PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE RIESGOS			ATENCIÓN DE LA EMERGENCIA Y DESASTRE		
<i>Identificación de riesgos</i>	<i>Mitigación y Prevención</i>	<i>Transferencia de Riesgos</i>	<i>Preparación ante el desastre</i>	<i>Respuesta ante Emergencia</i>	<i>Rehabilitación y Reconstrucción</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Evaluación de amenazas naturales (tipo, frecuencia, magnitud, localización y extensión)</li> <li>✓ Evaluación de la vulnerabilidad de los elementos expuestos (población, bienes, estructuras)</li> <li>✓ Evaluación de los riesgos.</li> <li>✓ Formulación de situaciones hipotéticas</li> <li>✓ Monitoreo y vigilancia de las amenazas naturales y elaboración de pronósticos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Obras de mitigación tanto física como estructural.</li> <li>✓ Ordenamiento territorial y códigos de construcción.</li> <li>✓ Incentivos económicos para la mitigación.</li> <li>✓ Educación, concientización y capacitación sobre riesgos y su prevención.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Seguro y reaseguro de infraestructuras y bienes privados.</li> <li>✓ Instrumentos de mercados financieros</li> <li>✓ Reglamentación en materia de seguridad en los servicios públicos (energía, agua, transporte, etc.)</li> <li>✓ Fondos para desastres (nacionales o locales)</li> <li>✓ Emisión de bonos de catástrofe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Sistemas de alerta temprana y de comunicaciones.</li> <li>✓ Planes para imprevistos (servicios públicos)</li> <li>✓ Refugios y planes de evacuación.</li> <li>✓ Sesiones informativas y simulacros en sitios públicos.</li> <li>✓ Redes de instituciones que deben responder en situaciones de emergencia (nacionales y locales).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Asistencia humanitaria.</li> <li>✓ Limpieza, reparaciones temporales, y restablecimiento de servicios.</li> <li>✓ Evaluación de los daños.</li> <li>✓ Movilización de recursos para la recuperación (públicos, sectoriales, etc).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Rehabilitación y reconstrucción de infraestructura crítica dañada.</li> <li>✓ Gestión macroeconómica y presupuestaria</li> <li>Revitalización de sectores afectados (exportación, agricultura, etc).</li> <li>Incorporación de componentes de mitigación de desastres en actividades de reconstrucción.</li> </ul>

*(Fuente: Sistema de Información Territorial, SNET 2002, Modificado del BID)*

La efectividad de las medidas cuando el desastre ya ha sucedido es siempre limitada y supeditada al tipo e intensidad, centrándose en la atención a las personas afectadas; pero en ningún caso pueden evitar la destrucción. Sin embargo, las actuaciones de prevención y mitigación de riesgos, encaminadas a evitar los daños en lo posible cuando ocurra un desastre futuro, pueden llegar tan lejos como se pueda a nivel técnico y económico. Por lo anterior, la prevención, mitigación, y reducción de vulnerabilidades deben ser el núcleo y la base de la gestión del riesgo, sin abandonar por supuesto la intervención sobre el manejo de la emergencia y el desastre.

Tras los terremotos del 2001, el Gobierno tomó conciencia de la necesidad de incorporar la gestión del riesgo en los planes de desarrollo del país, por lo que se consideró necesario incorporar el manejo de la gestión de riesgos integrada en el ordenamiento y desarrollo territorial, con la finalidad última de reducir el impacto de los peligros naturales.

### ***2.2.2 Etapas de los Eventos Adversos y Conceptos Relacionados con la Gestión de Riesgos.***

Existe una gran variedad de eventos adversos que podrían ocasionar desastre en un país. Ante la inminencia de un desastre se pueden tomar medidas en tres diferentes etapas: *antes, durante y después.*

La etapa de ***Antes*** involucra actividades que se deben realizar antes que ocurran los eventos adversos. Estas actividades son: *Prevención, mitigación, preparación, alerta y evacuación.*

La etapa de ***Durante*** son actividades que se realizan inmediatamente después de ocurrir el evento o el desastre. Las acciones que se realizan son la búsqueda, rescate, atención extrahospitalaria de todas las víctimas afectadas, y otras actividades que se realizan cuando la comunidad está desorganizada y los servicios básicos no funcionan.

La etapa ***Después*** se lleva a cabo después de los sucesos; es el proceso de *recuperación y rehabilitación*, en donde se reestablecen los servicios necesarios a corto plazo, reconstrucción de las infraestructuras dañadas por los eventos, y se restaura el sistema de producción como era antes del desastre.

Podemos definir de manera más precisa las etapas de los eventos adversos como sigue:

### **PREVENCIÓN.**

Son acciones que impiden o evitan que los sucesos naturales o que las actividades humanas sean causantes de desastres.

Los fenómenos que no son posibles intervenirlos pueden ser de origen natural, tales como: terremotos, volcanes, y maremotos; de origen antrópico, o mixto. Algunos se pueden intervenir pero a costos elevados, ya que para ello se requiere estudios minuciosos sobre las características de los fenómenos. Es necesario realizar un análisis detallado para proteger y controlar por medio de obras de protección fenómenos y desastres naturales tales como: inundaciones, explosiones, sequías, deslizamientos, escape de gases tóxicos y otros.

Las medidas de prevención más eficaces deben incluirse en:

1. Planes de desarrollo sobre espacios geográficos, ya sea urbanos, regionales y nacionales, incluyendo programas de inversión y asignación de presupuestos sectoriales por ciudades y regiones.
2. Planificación física de la ubicación de las fábricas e infraestructura.
3. Programas de intervención de fenómenos específicos, tales como: inundaciones, sequías y deslizamientos.

### *MITIGACIÓN.*

Es una intervención para reducir los riesgos y daños y tomar medidas o acciones para modificar determinadas circunstancias. Cuando se refiere a desastres, se toma una acción para modificar la característica de una amenaza ayudando a un sistema biológico, físico o social a reducir su vulnerabilidad.

El objetivo de la Mitigación es *la reducción de los riesgos y de los daños que causa sobre la vida y los bienes un desastre.*

Los métodos de mitigación pueden ser *activos y pasivos*. Los *activos*, son el contacto directo entre las personas involucradas, el fortalecimiento institucional, la organización, la capacitación, la información pública, la participación comunitaria, etc. Esto no requiere de abundantes recursos económicos por lo que resulta muy útil y factible para consolidar los procesos de mitigación en los países de desarrollo.

Los *pasivos* se relacionan con la legislación y planificación, tales como: los códigos de construcción, reglamentos de uso del suelo, estímulos fiscales y financieros, intervención de la vulnerabilidad física y la reubicación de asentamientos de alto riesgo.

### PREPARACIÓN

Es un conjunto de medidas y acciones que se usan para reducir la muerte y otros daños y organizan de manera eficiente la recuperación y rehabilitación. No se puede garantizar que un desastre no ocurra mediante las acciones de la prevención y mitigación, aunque si es mínima la probabilidad de que el fenómeno se manifieste y produzca daños.

La preparación considera aspectos tales como la predicción de los eventos, la educación, la capacitación de la población, el entrenamiento de los organismos de socorro y la organización y coordinación para la respuesta. La preparación se fundamenta en la planificación, la organización interinstitucional y el ejercicio en simulaciones y simulacros para el entrenamiento y evaluación de la capacidad de respuesta de la comunidad e instituciones.

#### *ALERTA.*

Es un anuncio declarado para tomar precauciones específicas por la probabilidad de un evento adverso. Los organismos de socorro harán uso de los procedimientos preestablecidos y la población debe tomar las precauciones específicas para el evento previsible. Los estados de alerta se declaran para que la población e instituciones tomen una medida específica.

Predecir un evento es determinar con certidumbre cuando y donde ocurrirá y de que magnitud será, pero los estados de alerta no se pueden declarar para todos los eventos. Algunos fenómenos sí se pueden detectar, como por ejemplo los huracanes, las erupciones volcánicas, los tsunamis de origen lejano y los deslizamientos, en cambio otros eventos tardan en manifestarse.

### RESPUESTA

Las respuestas son todas las acciones que se realizan para salvar las vidas, reducir el sufrimiento y evitar las pérdidas ocasionadas por los eventos adversos. La respuesta es dar una atención inmediata y oportuna a la población, esto incluye las búsquedas, el rescate y la asistencia de la vida.

### REHABILITACIÓN

Es la reparación del daño físico, social y económico, es decir, recuperar en forma rápida los servicios básicos. La primera etapa es la atención, luego esta la rehabilitación, el proceso de recuperación y desarrollo. Se inicia con los servicios básicos de abastecimiento de alimentos, agua, energía, vías de comunicación y salud.

### RECONSTRUCCIÓN

Es cuando se reparan los daños causados por los eventos adversos; estos pueden ser a corto o largo plazo. Existen dos tipos de pérdidas: *directas e indirectas*.

Las *directas* son las pérdidas humanas, la disminución de los ingresos y el patrimonio. Las *indirectas* son las pérdidas en el comercio y la industria como resultado de la reducción de la producción, la desmotivación de la inversión y

los gastos de recuperación; los efectos sociales como la interrupción de las actividades cotidianas, del transporte, de los servicios públicos y de los medios de información; así como la desfavorable imagen que toma la región con respecto a otras.

Además de conocer sobre los eventos adversos, se hace necesario tratar conceptos relacionados con éstos. A continuación se define una serie de términos comúnmente utilizados en el análisis cuantitativo de amenaza y riesgo por deslizamientos:

#### AMENAZA ("*hazard*")

Es un factor externo de riesgo que puede ser de origen natural o generado por la actividad del hombre, el cual se manifiesta en un lugar específico, con una intensidad y duración determinada. Es una condición con el potencial de causar una consecuencia indeseable. Una amenaza natural es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente destructor, en un área específica dentro de un determinado período de tiempo. (*Varnes-1984*). Alternativamente, la amenaza es la probabilidad de que ocurra un deslizamiento particular en un determinado tiempo.

### *DESASTRE*

Son los daños producidos continuamente a las personas, bienes, servicios, poblaciones y al ambiente, debidos a circunstancias naturales o generadas por la actividad humana que ponen en peligro el bienestar del ser humano y el medio ambiente.

### *PELIGRO*

Es el deslizamiento geométrica y mecánicamente caracterizado.

#### *Peligrosidad*

Es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente perjudicial dentro de un período de tiempo determinado y en un área específica. La peligrosidad en un talud es la probabilidad de ocurrencia de una rotura de determinada magnitud.

### *RIESGO ("risk")*

El riesgo puede definirse como la probabilidad de que ocurra un peligro y cause pérdidas (vidas humanas, heridos, pérdidas económicas directas e indirectas, daños cuantificables a edificios o estructuras, etc.). El riesgo incorpora consideraciones socio-económicas, definiéndose como las pérdidas potenciales debidas a un fenómeno natural determinado. Es una medida de la probabilidad

y severidad de un efecto adverso a la vida, la salud, la propiedad o el ambiente. Se mide en vidas humanas y propiedades en riesgo. El riesgo generalmente se le estima como el producto de probabilidad x consecuencias.

### *Elementos en riesgo*

Se incluyen la población, edificios, obras de infraestructura, actividades económicas y servicios públicos en el área potencialmente afectada por los deslizamientos.

### *Riesgo Específico*

Es el grado de pérdida esperado debido a un fenómeno natural y se expresa como el producto de la peligrosidad por la vulnerabilidad.

### *Riesgo Total*

Corresponde al número de vidas perdidas, daños a la propiedad y a las personas, etc., debidas a un fenómeno natural concreto. El riesgo total se define como el producto del riesgo específico y de los elementos bajo riesgo, como se describe en la siguiente expresión:

$$R_T = E * R_S = E * P * V$$

Donde:

$$R_T = \text{Riesgo Total}$$

E = Elementos bajo riesgo

$R_S$  = Riesgo específico

P = Peligrosidad

V = Vulnerabilidad

### *Análisis de Riesgo*

Es el uso de la información disponible para estimar el riesgo a individuos o población, propiedades o el ambiente debido a las amenazas. El análisis de riesgo generalmente comprende tres pasos: definición del alcance, identificación de la amenaza y la estimación de riesgo.

### *Evaluación del Riesgo*

Es la etapa en la cual los juicios y valores entran en el proceso de decisiones, explícita o implícitamente, incluyendo consideraciones de la importancia de los riesgos estimados y las consecuencias sociales, ambientales y económicas asociadas, con el propósito de identificar un rango de alternativas para el manejo de los riesgos.

### *Valoración del Riesgo*

Es el proceso del análisis de riesgo y evaluación de riesgo.

## *Manejo de Riesgo*

El proceso completo de evaluación del riesgo y control de riesgo.

### *SUSCEPTIBILIDAD*

La susceptibilidad expresa la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno. El término susceptibilidad hace referencia a la predisposición del terreno a la ocurrencia de deslizamientos y no implica el aspecto temporal del fenómeno, por lo que la probabilidad de ocurrencia de un factor detonante como una lluvia o un sismo no se considera en un análisis de susceptibilidad.

### *VULNERABILIDAD*

Es el grado de probabilidad de pérdida de un determinado elemento o grupo de elementos dentro del área afectada por el deslizamiento. Se expresa en una escala de 0 (ninguna pérdida) a 1 (pérdida total).

La vulnerabilidad también se puede definir como *fragilidad*. Una sociedad es vulnerable cuando está o queda expuesta a los efectos de un fenómeno de origen natural, socio-natural o humano, sin tener la capacidad de recuperarse por sí misma de los efectos de éste.

### ***2.2.3 Riesgos Naturales en El Salvador.***

Situado en el denominado "cinturón de fuego circumpacífico", el territorio de El Salvador es geológicamente muy joven, presentando una intensa actividad sísmica y volcánica relacionada con la zona de subducción que discurre paralela a la costa.

Prácticamente la totalidad de los materiales que conforman el territorio es de origen volcánico. Los procesos tectónicos que afectan nuestro territorio, situado junto a un límite de subducción de placas, dan lugar a una topografía abrupta con pendientes elevadas y a la existencia de una cadena de volcanes activos formados por materiales poco consolidados, lo que asociado a un clima cálido, húmedo y subtropical con fuertes precipitaciones, contribuyen a hacer del país un escenario de elevada peligrosidad hidrogeológica, donde eventos como los terremotos, los deslizamientos, las inundaciones y las erupciones volcánicas forman parte de la evolución natural del medio geológico en esta zona del planeta.

Por otra parte, las inundaciones son frecuentes, presentándose con carácter anual debido a las características climáticas de la zona, con varios meses de lluvias al año que en ocasiones son torrenciales. También, por su ubicación en

latitudes proclives, el país se ve afectado por huracanes y tormentas tropicales que, aunque sin la intensidad con que afectan a otros países vecinos del área caribeña, causan daños importantes con cierta frecuencia.

Es frecuente que los efectos de una amenaza se concatenen y creen a la vez amenazas más complejas, así por ejemplo, la amenaza sísmica o la asociada con huracanes y tormentas puede encadenarse y detonar otros peligros como deslizamientos, ruptura de presas e inundaciones. Estos peligros impactan, producen y suman más muertos y daños al desastre existente. Ejemplos de esto pueden ser el deslizamiento de la Colonia Las Colinas por el terremoto de Enero del 2001, o las tragedias por deslizamientos ocasionadas por el paso del Huracán Stan en Octubre del 2005.

Si a las anteriores condiciones se añade el alto grado de vulnerabilidad de la población, de las infraestructuras y del medio antrópico en general, condicionado de forma definitiva por el nivel de pobreza y subdesarrollo de una gran parte del país, se puede entender el alto grado de riesgo a que está sometido El Salvador. Factores como la densidad de población y la tasa de crecimiento de la población inciden claramente en la vulnerabilidad social.

En lo referente al riesgo potencial, debe ser destacada el Área Metropolitana de San Salvador y sus alrededores, donde la fuerte concentración urbana (cerca de 2 millones de personas), el desarrollo incontrolado, la sobreexplotación de los recursos naturales, el deterioro ambiental, la deforestación, etc., hacen que esta zona deba ser considerada prioritaria en cuanto a la evaluación y gestión del riesgo.

Además de los efectos directos de los terremotos y de la proximidad del volcán de San Salvador, la zona presenta un alto potencial de riesgo frente a los deslizamientos de tierra por sus elevadas pendientes, presencia de materiales sueltos y alterados, intensas precipitaciones, sismicidad, actuaciones antrópicas que modifican el medio natural, etc. San Salvador se sitúa principalmente sobre depósitos de materiales jóvenes piroclásticos y epiclásticos relativamente poco consolidados, con una potencia media de 30 m y considerablemente mayor hacia el este de la ciudad.

En resumen, puede establecerse que los riesgos naturales que sufre el país son debidos a:

1. El alto grado de amenaza geológica, donde eventos como los terremotos, los deslizamientos, las inundaciones y las tormentas tropicales forman parte de la evolución natural del medio geológico en esta zona del

planeta, determinando a lo largo de los siglos los procesos de desarrollo social y económico de sus comunidades.

2. El alto grado de vulnerabilidad de la población y de las infraestructuras, y del medio antrópico en general, condicionado de forma definitiva por el nivel de pobreza y subdesarrollo de la mayor parte del país, y por la falta de medidas preventivas, tanto estructurales como no estructurales.

## **2.3 TALUDES**

### ***2.3.1 Definición de Talud.***

Se conoce con el nombre genérico de *talud* a cualquier superficie con pendiente o cambios de altura significativos que haya de adoptar permanentemente la masa de tierra. Cuando el talud se produce en forma natural, sin intervención humana, se denomina *ladera natural* o simplemente *ladera*.

Cuando los taludes son el resultado de una acción antrópica se denominan *cortes o taludes artificiales*, según sea la génesis de su formación; en el corte,

se realiza una excavación en una formación térrea natural, en tanto que los taludes artificiales son los lados inclinados de los terraplenes.

Los taludes se deben construir con la mayor inclinación posible garantizando su estabilidad, y aprovechando al máximo el espacio.

### **2.3.2 *Nomenclatura de un Talud.***

Los taludes y laderas están constituidos por los siguientes elementos (Ver fig. 2.1):

#### *1. Altura*

Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza; esta se presenta claramente definida en taludes artificiales pero es complicada de cuantificar en las laderas, debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados.

#### *2. Pie*

Corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior.

#### *3. Cabeza o escarpe*

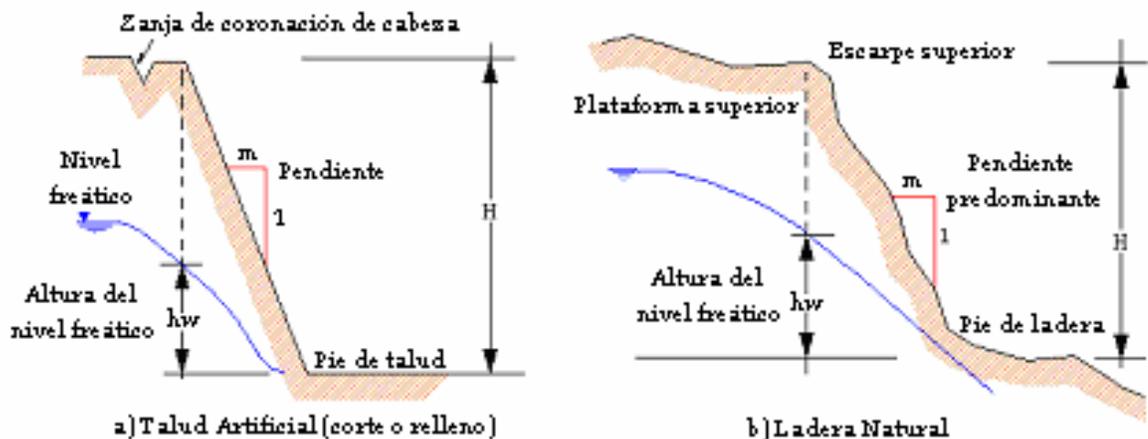
Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.

#### 4. Altura de nivel freático

Distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medido debajo de la cabeza.

#### 5. Pendiente

Es la medida de la inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación  $m/1$ , en la cual  $m$  es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical. Ejemplo: Pendiente:  $45^\circ$ , 100%, o 1H:1V.



**Figura 2.1. Nomenclatura de Taludes y Laderas**

(Fuente: "Deslizamientos y Estabilización de Taludes en Zonas Tropicales", Suárez Díaz)

Existen además, otros factores topográficos que se requiere definir, como son: longitud, convexidad (vertical), curvatura (horizontal) y área de cuenca de

drenaje, los cuales pueden tener influencia sobre el comportamiento geotécnico del talud.

### ***2.3.3 Tipos de Materiales que Conforman los Taludes.***

La naturaleza intrínseca del material mantiene una estrecha relación con el tipo de inestabilidad que puede producirse, condicionando y pudiendo estimarse de antemano la susceptibilidad de cada material a que se desarrolle un movimiento determinado.

Los terrenos en los que se producen los movimientos, pueden dividirse en tres grupos:

- Rocas
- Suelos
- Materiales de Relleno

#### ***a. ROCAS***

Se denomina "Roca" a la roca dura y firme que estaba intacta en su lugar antes de la iniciación del movimiento. La distinta naturaleza de las rocas que forman los macizos rocosos implica una problemática determinada en su comportamiento ante la estabilidad de los taludes.

El comportamiento de un macizo rocoso generalmente depende de las características de las discontinuidades (estratificación, diaclasas, fallas, esquistosidad, líneas de debilidad, etc.) que presenta, así como de la litología de la roca matriz y su historia evolutiva. En las discontinuidades ha de considerarse el tipo y origen, distribución espacial, tamaño y continuidad, espacio, rugosidad, naturaleza del relleno y presencia de agua. De la roca matriz debe conocerse su naturaleza, características resistentes, meteorización, alterabilidad, etc.

Generalmente los diferentes tipos de rotura que se producen en los medios rocosos siguen superficies preexistentes, aunque cuando los macizos están fuertemente fracturados, pueden desarrollarse nuevas superficies de corte similares a las producidas en suelos.

#### *b. SUELOS.*

Estos pueden ser de dos tipos, atendiendo a su composición granulométrica:

- ✓ Residuales, Derrubios o Detritos
- ✓ Tierra o Suelo

Se denomina con el nombre de *Residuales, Derrubios o Detritos* a los suelos de composición granulométrica gruesa, es decir, constituidos predominantemente

(en peso) por gravas y bloques. Se considera que si el porcentaje en peso del material mayor de 2 milímetros de diámetro equivalente se encuentra entre el 20 y 80% es considerado como residual o derrubio.

Se denomina *tierra o suelo*, al material que contiene más del 80% de las partículas menores de 2 milímetros. Se incluyen los materiales desde arenas a arcillas muy plásticas. Cuando el contenido de limo y arcilla es el mayoritario de la fracción fina, se le puede denominar como *barro*.

Las diferencias de comportamiento que presentan estos materiales frente a los rocosos, se deducen de su definición como: conjunto de partículas sólidas, sueltas o poco cementadas, más o menos consolidadas, de naturaleza mineral, fragmentos de rocas, materia orgánica, etc., con fluido intersticial relleno de huecos y que han podido sufrir transporte o desarrollarse in situ. El comportamiento de las masas de suelo se asemeja al de un medio continuo y homogéneo; las superficies de rotura se desarrollan en su interior, sin seguir una dirección preexistente.

Estos materiales suelen diferenciarse atendiendo a su génesis:

- ✓ *Transportados*: coluviones, aluviales, glaciares, etc.
- ✓ *Desarrollados in situ*: eluviales.

La dinámica de estos materiales depende de las propiedades y características de sus agregados, por lo que además se debe considerar:

- ✓ Tamaño, forma y grado de redondez de las partículas más gruesas.
- ✓ Proporción del contenido de arenas y/o arcilla.
- ✓ Contenido de agua en el suelo y situación del nivel freático, etc.

### *c. MATERIALES DE RELLENO*

Se agrupan bajo esta denominación todos aquellos depósitos artificiales, realizados por la demanda de ciertas actividades, tales como: construcción de obras civiles (terraplenes, presas de tierra, vertederos, etc.) o bien como acumulación de materiales de desecho, sobrantes, estériles, etc. Las consideraciones técnicas del comportamiento de estos rellenos tienen una gran semejanza con los materiales tipo suelo.

## **2.4 TIPOS DE MOVIMIENTOS EN TALUDES Y LADERAS.**

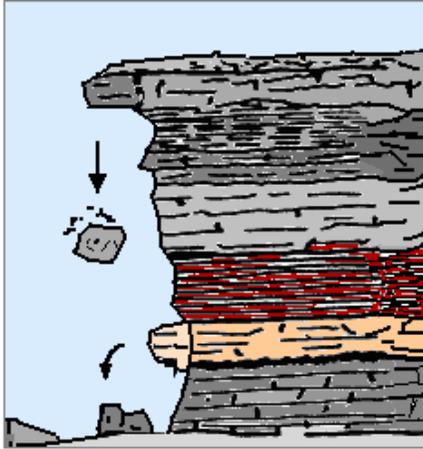
La inestabilidad de taludes y laderas se traduce en una serie de movimientos que pueden ser clasificados sobre la base de distintos criterios, por lo tanto se presentan a continuación los tipos de movimientos que se originan con mayor

frecuencia de acuerdo con los mecanismos que se producen en diferentes materiales y los intervalos de tiempo en que tienen lugar.

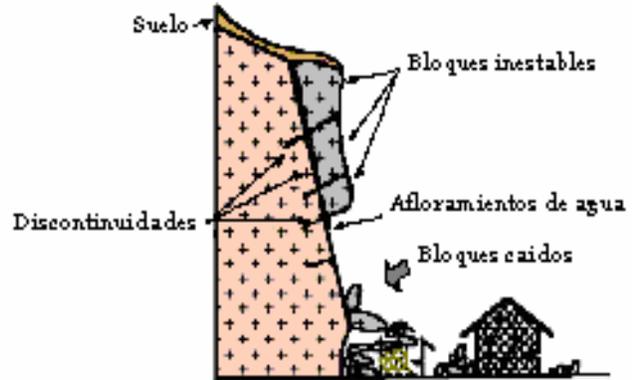
#### ***2.4.1. Desprendimientos, Caídas (Falls)***

Estos desprendimientos corresponden a movimientos extremadamente rápidos de porciones de terreno o de una masa separada de un talud de gran pendiente o acantilado, rocoso o no, en forma de bloques aislados o masivamente que en una gran parte de sus trayectorias descienden por el aire en caída libre, volviendo a entrar en contacto con la topografía, donde se producen saltos, rebotes y rodaduras, lo que ocasiona movimientos de terreno con resultados catastróficos. Este tipo de movimiento por lo general presenta superficies de corte pequeñas del material. (Ver fig. 2.2 y 2.3).

Estos fenómenos suelen producirse en zonas constituidas geológicamente por alternancias sedimentarias de capas resistentes y débiles. Los mecanismos que pueden conducir a estas inestabilidades, generalmente sucesivos y complementarios, son: meteorización o extrusión de capas blandas, concentración de presiones en el borde y rotura por flexo-tracción.



**Figura 2.2 Desprendimiento.**



**Fig. 2.3 Desprendimientos de Bloques por Gravedad**

Los desprendimientos suelen clasificarse en los siguientes tipos:

- *Desprendimiento por Gelifracción:* es un desprendimiento favorecido por la acción de cuñas de agua, al helarse, en las grietas existentes en las rocas y que provocan la propagación de las mismas.
- *Desprendimiento por Reblandecimiento del Pie*
- *Desprendimiento por Descalce:* es debido a la erosión de un material blando del pie y por socavación lateral.

#### **2.4.2. Vuelcos (Topples)**

Estos movimientos describen una rotación hacia delante y hacia el exterior de una ladera e implican una rotación de unidades con forma de columna o bloque sobre una base bajo la acción de la gravedad y fuerzas ejercidas por unidades

adyacentes o por inclusión de agua en las discontinuidades. Este tipo de movimientos puede culminar en otros tipos como desprendimientos, deslizamientos, etc. dependiendo de los aspectos geométricos del material involucrado según la distribución de las discontinuidades.

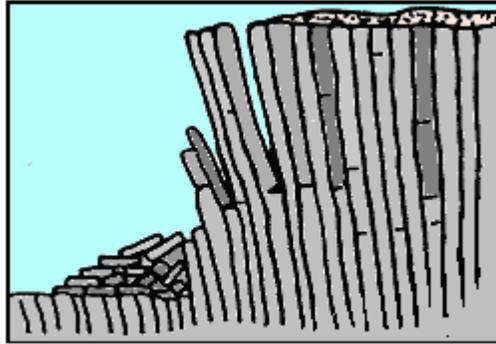
Los vuelcos se pueden considerar exclusivos de medios rocosos, condicionados por la disposición estructural de los estratos, hacia el interior del talud y un sistema de discontinuidades bien desarrollado.

Existen variedades de estos movimientos como:

➤ *Vuelco Por Flexión (Flexural Toppling)*

Tiene determinadas características que le confieren cierta singularidad entre los vuelcos. Este mecanismo tiene lugar en rocas con un sistema preferente de discontinuidades, formando columnas semicontinuas en voladizo. Las columnas continuas cuando se doblan hacia delante se rompen por flexión, así como se muestra en la fig. 2.4.

Cuando se desencadena el movimiento por transmisión de la carga en el pie del talud, el mecanismo progresa hacia el interior del macizo rocoso, originando grietas de tracción con profundidad y anchura variables.

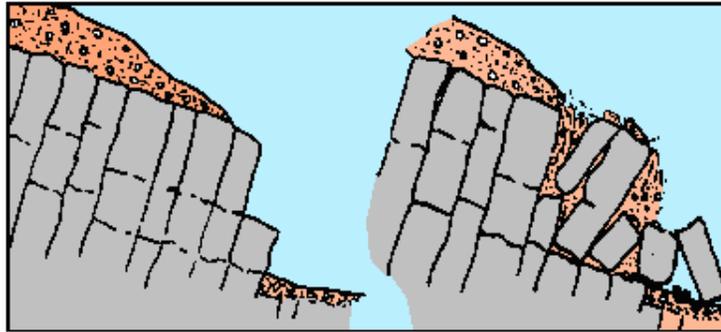


*Figura 2.4 - Vuelco Por Flexión*

➤ *Vuelco de Bloques.*

Es característico de aquellos macizos rocosos que contienen sistemas de discontinuidades ortogonales dando lugar a una geometría de columnas divididas en bloques (ver fig. 2.5).

La parte desplazada cae con un movimiento de giro, al menos inicial, apoyado en su base externa. Si una vez iniciado el movimiento, el apoyo de la arista inferior se deshace, el vuelco de bloques se combina con un movimiento vertical de colapso. Estos movimientos se producen en taludes muy inclinados de materiales rocosos o de suelos areno-arcillosos compactados.



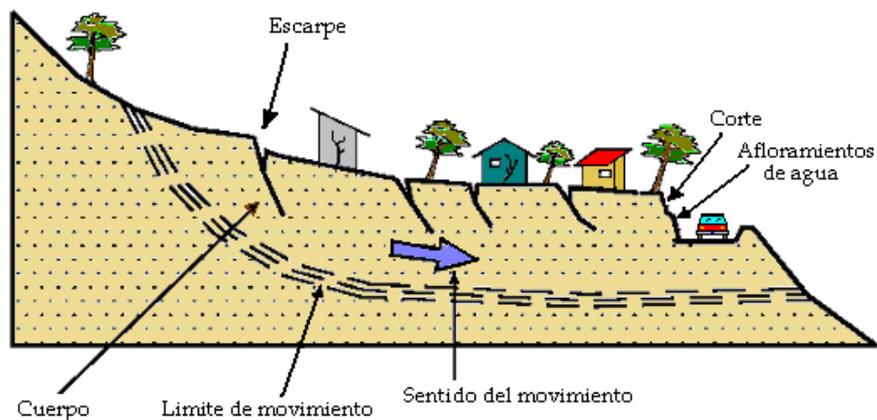
*Figura 2.5 – Vuelco de Bloques.*

### **2.4.3. Deslizamientos (Slides)**

Los deslizamientos se definen como desplazamientos ladera abajo de masas de terreno, en estado sólido, por efecto de la gravedad y a favor de niveles de despegue o superficies de falla. La masa se desplaza rígidamente, y aunque puede llegar a fragmentarse, se considera que lo hace como un bloque único. Las superficies de falla pueden estar determinadas por capas ricas en arcillas, que actúan como lubricantes cuando aumentan su plasticidad o por fracturas. A lo largo y ancho de la masa desplazada, es posible que se originen grietas y movimientos de asentamiento en rocas fracturadas. (Ver figura 2.6).

El movimiento puede ser progresivo, es decir, que no se inicia simultáneamente a lo largo de toda la superficie de falla. Los deslizamientos pueden ser de una sola masa que se mueve o comprender varias masa semi-independientes y pueden obedecer a procesos naturales o a desestabilización de masas de tierra

por el efecto de cortes, rellenos, deforestación, etc. (Ver también Secciones 3.3 y 3.4)



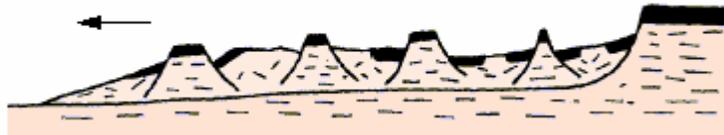
**Figura 2.6. Deslizamientos en Suelos Blandos**

#### **2.4.4. Expansiones Laterales (Lateral Spreads)**

Según Varnes (1978) se pueden distinguir dos tipos de expansiones laterales:

1. La fracturación y extensión de material compacto (tanto suelo como roca) debido a la licuefacción del material subyacente. Este mecanismo es característico de sedimentos arcillosos (arcillas sensibles) depositados en mares poco profundos y lagos situados alrededor de los antiguos casquetes de hielo en Noruega, Canadá y Alaska. Este movimiento puede ser iniciado por un deslizamiento rotacional o una sacudida sísmica, lo que remoldea la arcilla de forma casi instantánea, convirtiéndola en un líquido denso arrastrando bloques de material sobrepuesto. El

movimiento progresa retrogresivamente con gran rapidez. Algunos autores (Hutchinson 1988) consideran este mecanismo como una variante de los deslizamientos traslacionales. (Ver fig. 2.7):



*Figura 2.7. Fluencia y extrusión del material por licuefacción.*

2. Los movimientos afectan al conjunto de formación sin que se identifiquen zonas basales de cizalla o flujo plástico, o no están bien definidas. Estos suelen afectar a litologías blandas y deformables que se encuentran por debajo de materiales resistentes y densos, lo que por lo general ocurre cuando una capa de arcilla húmeda y reblandecida extruye lateralmente por el peso de las capas superiores. (Ver fig. 2.8).



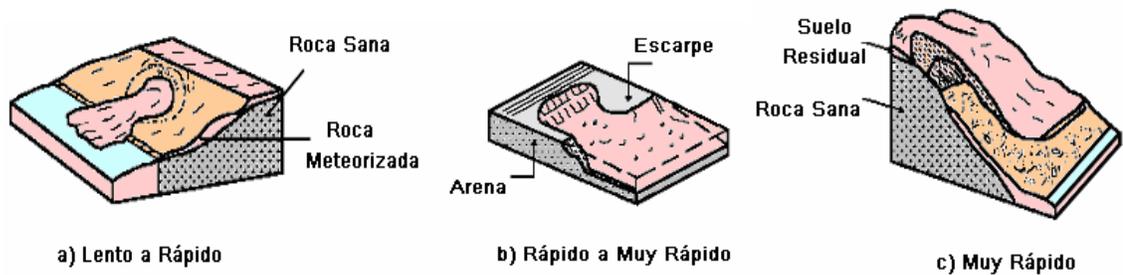
*FIGURA 2.8. Fluencia y extrusión del material subyacente.*

#### **2.4.5. *Flujos (Flows)***

Son movimientos espacialmente continuos en los que las superficies de cizalla tienen corta vida, se encuentran muy próximas y generalmente no se conservan. Los flujos pueden ser lentos o rápidos (Ver fig. 2.9), así como secos o húmedos y los puede haber de roca, de suelos residuales o de suelo.

La distribución de velocidades en la masa desplazada se parece a la que se presenta en un fluido viscoso, por este motivo la masa movida no conserva la forma en su movimiento descendente, adoptando a menudo formas lobuladas cuando se dan en materiales cohesivos, y desparramándose por la ladera o formando conos de deyección cuando se dan en materiales granulares.

Los flujos muy lentos o extremadamente lentos pueden asimilarse en ocasiones, a los fenómenos de reptación y la diferencia consiste en que en los flujos existe una superficie fácilmente identificable de separación entre el material que se mueve y el subyacente, mientras en la reptación la velocidad del movimiento disminuye al profundizarse en el perfil, sin que exista una superficie definida de rotura.



**Figura 2.9. Flujos de diferentes velocidades**

La ocurrencia de flujos está generalmente relacionada con la saturación de los materiales subsuperficiales. Algunos suelos absorben agua muy fácilmente cuando son alterados, fracturados o agrietados por un deslizamiento inicial y esta saturación conduce a la formación de un flujo. Algunos flujos pueden resultar de la alteración de suelos muy sensitivos tales como sedimentos no consolidados.

Los flujos pueden clasificarse de acuerdo al material en que se producen de la siguiente manera:

*a. Flujo en roca*

Los movimientos de flujo en roca comprenden las deformaciones que se distribuyen a lo largo de muchas fracturas grandes y pequeñas. La distribución de velocidades puede simular la de líquidos viscosos. Este tipo de movimiento ocurre con mucha frecuencia en zonas tropicales de alta montaña y poca vegetación.

Se observa la relación de estos flujos con perfiles de meteorización poco profundos, en los cuales las fallas están generalmente relacionadas con cambios de esfuerzos y lixiviación, ocasionados por la filtración momentánea del agua en las primeras horas después de una lluvia fuerte. Las pendientes de estos taludes son comúnmente muy empinadas (más de 45°). Su ocurrencia es mayor en rocas ígneas y metamórficas muy fracturadas y pueden estar precedidos por fenómenos de inclinación. Estos flujos tienden a ser ligeramente húmedos y su velocidad tiende a ser rápida a muy rápida.

*b. Flujo de suelos residuales (Detritos o Derrubios)*

Por lo general, un flujo de rocas termina en uno de suelos residuales (debris flows). Los materiales se van triturando por el mismo proceso de flujo y se puede observar una diferencia importante de tamaños entre la cabeza y el pie del movimiento.

El movimiento de los flujos de detritos puede ser activado por las lluvias, debido a la pérdida de resistencia por la disminución de la succión al saturarse el material o por el desarrollo de fuerzas debidas al movimiento del agua subterránea.

Los daños causados por los flujos de detritos abarcan áreas relativamente grandes. El flujo típico de detritos es una honda larga de materiales sólidos y líquidos mezclados entre sí, que se mueve en forma constante a través de un canal con algunas ondas menores superimpuestas que se mueven a velocidades superiores a aquellas del flujo mismo.

*c. Flujo de suelo*

Los flujos de suelo (earth flows) son más secos y lentos de acuerdo a la humedad y pendiente de la zona de ocurrencia. En zonas de alta montaña y desérticas ocurren flujos muy secos, por lo general pequeños, pero de velocidades altas.

*d. Flujos de lodo*

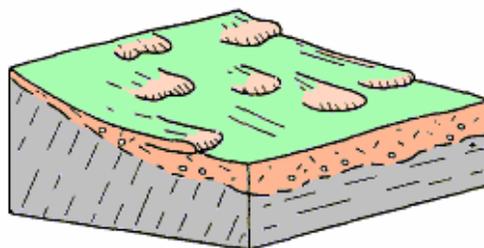
Dentro de los flujos de tierra están los "flujos de lodo" o "mudflows", en los cuales los materiales de suelo son muy finos y las humedades muy altas y ya se puede hablar de viscosidad propiamente dicha, llegándose al punto de suelos suspendidos en agua. Los flujos de lodo poseen fuerzas destructoras grandes que dependen de su caudal y velocidad.

Un flujo de lodo posee tres unidades morfológicas: un *origen* que generalmente es un deslizamiento, un *camino o canal de flujo* y finalmente una *zona de*

*acumulación*. El origen consiste en una serie de escarpes de falla o deslizamientos de rotación o traslación, el camino o canal es generalmente un área estrecha, recta o una serie de canales a través del cual fluye el material viscoso, el ancho, profundidad y pendiente del camino del flujo varía de acuerdo a las condiciones topográficas y morfológicas.

#### **2.4.6. Solifluxión (Solifluction)**

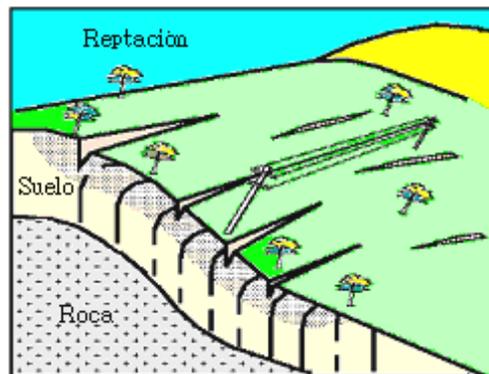
La solifluxión es un movimiento, relativamente rápido, donde toman identidad la presión del agua intersticial y la plasticidad de los materiales. La solifluxión suele desarrollarse en depósitos de acumulación (coluviones, piedemontes, y otros), en depósitos de alteración, sobre todo en formaciones margosas, de esquistos o de pizarras, y en formaciones arcillosas y limosas susceptibles a deformarse. Las coladas de barro son solifluxiones en materiales limo-arcillosos, que dejan cicatrices cóncavas en las áreas de cabecera. (Ver fig. 2.10).



**Figura 2.10. Solifluxión**

#### **2.4.7. Reptación (Creep)**

La reptación consiste en movimientos superficiales muy lentos del suelo sin una superficie de falla definida. Generalmente, el movimiento es de unos pocos centímetros al año. Este tipo de movimiento afecta a grandes áreas de terreno y por lo general se le atribuye a las alteraciones climáticas relacionadas con los procesos de humedecimiento y secado en suelos, usualmente, muy blandos o alterados, como materiales ricos en arcillas que, con una cierta periodicidad, se embeben de agua. (Ver fig. 2.11). La reptación puede preceder a movimientos más rápidos como los flujos o deslizamientos.



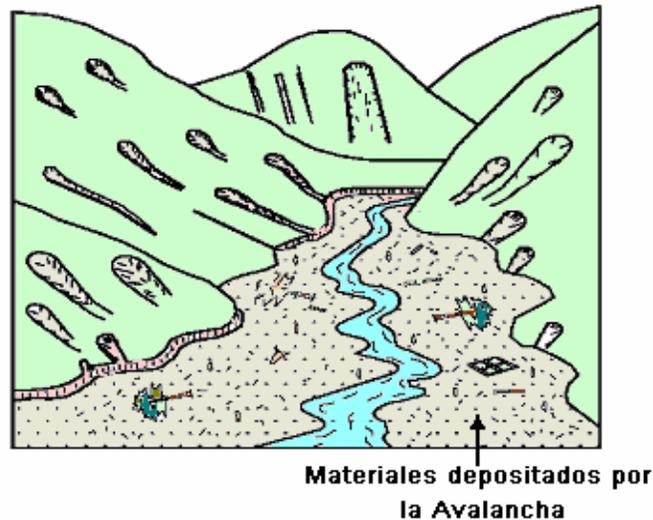
*Figura 2.11. Esquema de un proceso de reptación.*

#### **2.4.8. Avalanchas o Aludes. (Avalanches, Sturstroms)**

Las avalanchas son movimientos súbitos al ras del suelo generados a partir de un gran aporte de materiales de uno o varios deslizamientos o flujos combinados con un volumen importante de agua, los cuales forman una masa

de comportamiento de líquido viscoso que puede lograr velocidades muy altas con un gran poder destructivo y que corresponden, generalmente, a fenómenos regionales dentro de una cuenca de drenaje. Las avalanchas pueden alcanzar velocidades de más de 50 metros por segundo en algunos casos.

En las avalanchas la falla progresiva es muy rápida y el flujo desciende formando una especie de "ríos de roca y suelo" (Ver figura 2.12). Estos flujos comúnmente se relacionan con lluvias ocasionales de índices pluviométricos excepcionales muy altos, deshielo de nevados o movimientos sísmicos en zonas de alta montaña y la ausencia de vegetación; aunque este último es un factor influyente, no es un prerequisite para que ocurran.



*Figura 2.12. Avalancha en cauce de río por acumulación de materiales producto de una gran cantidad de deslizamientos ocurridos en el momento de un sismo.*

#### **2.4.9. Deformaciones sin Rotura o Previas a la Rotura**

En ocasiones, las deformaciones de la ladera no dan lugar al despegue de la masa movida ni a la formación de superficies de roturas continuas en todo el conjunto. Se trata por tanto, de deformaciones de corta extensión, aunque en los grandes movimientos pueden ser de algunos metros. Estas deformaciones pueden acelerarse hasta la rotura, reactivarse periódicamente o dejar de producirse.

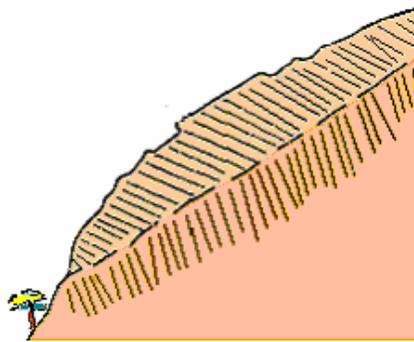
##### ➤ *Reptación Por Fluencia (Pre-Failure Creep)*

Son desplazamientos, inicialmente muy lentos, que se aceleran progresivamente y que preceden a la rotura de la ladera. En términos físicos, estos desplazamientos son el reflejo indudable del desarrollo de una rotura progresiva. La medida de las deformaciones en el tiempo puede ser utilizada para predecir el instante de rotura y para establecer sistemas de alerta.

##### ➤ *Cabeceo (Chevron Toppling)*

Se desarrolla en la parte superficial de las laderas constituidas por formaciones rocosas intensamente fracturadas (esquistos, filitas, pizarras) presentando un marcado buzamiento hacia el interior del macizo. Los primeros metros superficiales suelen encontrarse descomprimidos y alterados, condición suficiente para que si se erosiona la parte inferior de la ladera el conjunto

alterado tienda a girar hacia abajo. El cambio de inclinación da lugar a la formación de una superficie de discontinuidad que, a menudo, se convierte en una superficie potencial de deslizamiento (Ver fig. 2.13). Para algunos autores, el cabeceo se trata simplemente de procesos de alteración química y física de los macizos rocosos.



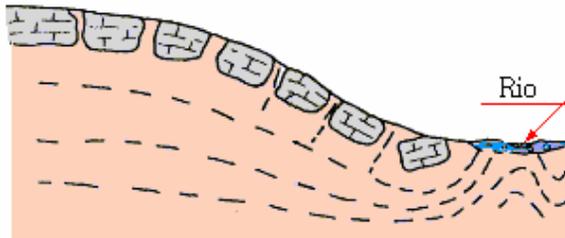
*Figura 2.13. Esquema de cabeceo.*

➤ *Combadura y Pandeo en Valle (Cambering and Bulging)*

Las combaduras aparecen asociadas con el abombamiento de los fondos de un valle. Es característico de valles excavados en estratos casi horizontales con un nivel rocoso fisurado por encima de las arcillitas, limolitas, o margas que, a su vez, reposan sobre un substrato más competente.

Las principales características del movimiento es la combadura del nivel rocoso superior hacia el valle, dando lugar al ensanchamiento de las fisuras (Ver fig. 2.14). El nivel arcilloso inferior muestra un marcado adelgazamiento hacia el valle y un plegamiento monoclinal intenso. Las partes superiores de estos

pliegues suelen coincidir con el levantamiento o pandeo (bulging) del fondo del valle.



*Figura 2.14. Esquema de una combadura.*

## 2.5. Fallas Superficiales en Taludes y Laderas.

Las fallas superficiales, en función de la profundidad en la que se presentan (consideradas hasta 1-2 m) a las que los taludes y laderas comúnmente se ven sometidos están relacionadas, directa o indirectamente, con el esfuerzo cortante de los suelos y con la capacidad de carga del terreno de cimentación, y se pueden definir como sigue:

### ➤ *Fallas por Licuación*

Las fallas por licuación se presentan en arcillas extrasensitivas y en arenas finas poco compactas. Ocurren por la pérdida rápida de resistencia al esfuerzo cortante. Las causas de la pérdida de resistencia son, por una parte, el

incremento de los esfuerzos cortantes actuantes con el desarrollo correspondiente de la presión de poros; y por otra, el desarrollo rápido de elevadas presiones en el agua intersticial, como consecuencia de una explosión o un sismo.

Los suelos granulares más susceptibles a la licuación son las arenas finas y uniformes y los suelos finos no plásticos y sus mezclas, que se encuentran sueltos y saturados. Las arenas sueltas con  $D_{10} < 0.1$  mm y coeficiente de uniformidad  $C_u < 5$  y los limos con índice de plasticidad  $IP < 6$  son los materiales más peligrosos, ya sea formando parte del cuerpo del talud, como en el terreno de cimentación.

En los suelos arcillosos, esta falla se presenta por disminución de la cohesión del material al aumentar su humedad y por la pérdida de resistencia a causa de la deformación bajo esfuerzo cortante, o por cualquier degradación estructural que ocurra, aun sin cambiar el contenido de agua.

#### ➤ *Fallas por Erosión*

Las fallas por erosión son de tipo superficial y se presentan en materiales no cohesivos, tipo limo o loess, que son susceptibles a la erosión causada por el viento y el agua (lluvia o escurrimiento superficial). Son frecuentes en

terraplenes y cortes; se manifiestan con irregularidades, socavones y canales sobre el talud. A mayor pendiente del talud, el fenómeno es más notorio.

➤ *Fallas por Tubificación*

Las fallas por tubificación se originan cuando hay arrastre de partículas de suelo en el interior del talud, por efecto de las fuerzas de filtración generadas por el flujo de agua. Una vez que las partículas comienzan a ser removidas, van quedando en el suelo pequeños canales, por los que el agua circula a mayor velocidad, con mayor poder de arrastre, de manera que el fenómeno de tubificación tiende a crecer continuamente una vez que comienza, aumentando siempre el diámetro de los canales que se van formando en el interior del terraplén o relleno. Un factor que contribuye mucho a este tipo de fallas es la insuficiencia de compactación.

## **2.6 Fallas en Taludes de Tierra Blanca.**

Este tipo de material, debido a las características particulares que posee, presenta un mecanismo de falla diferente a los mencionados anteriormente, ya que podría decirse que falla por exfoliación. Para el estudio de los procesos

desestabilizadores en taludes compuestos por este tipo de material se hace necesario estudiar las siguientes propiedades:

➤ *Intemperismo Físico*

Sobre la tierra blanca operan los procesos de meteorización física de la matriz de las ignimbritas, lo cual da paso a la exfoliación, que es el mecanismo que genera discontinuidades formadas por planos de origen mecánico con direcciones preferenciales, que se forman debido a las contracciones y expansiones diferenciales producidas por la acción térmica diaria del sol y se caracterizan por tener superficies que separan en bloques el talud.

Así también, los depósitos de flujos piroclásticos en el área metropolitana de San Salvador, se caracterizan por ser masivos e isótropos. Están compuestos por una matriz fina de cenizas, clara, de composición riolítica, que contiene fragmentos de pómez diseminados y líticos de tamaños variados. El espesor de estos flujos es variable pero por lo general son superiores a los 5 m.

Las observaciones de varios taludes dentro y fuera del área metropolitana, donde afloran los depósitos de flujos piroclásticos de tierra blanca joven, muestran el apareamiento de discontinuidades con cierta frecuencia. Estas discontinuidades que inicialmente surgen bajo la forma de fisuras, progresan a fracturas y luego a grietas, aparecen en los taludes dispuestas de manera

regular dependiendo de la granulometría de la matriz. A partir de la parte más externa de la cara del talud, se comienza a formar una fisura o discontinuidad, la cual progresa paralela a la cara del talud (Fotografía 2.1). La fisura se abre lentamente debido a varios factores como la variación diurna de la temperatura, a la acción de las lluvias, la actividad biológica por parte del emplazamiento y desarrollo de raíces en su interior, a las vibraciones y a las sacudidas producidas por los sismos. Todos estos factores operan conjuntamente para el desarrollo de las grietas.



***Fotografía 2.1. Se señalan las fisuras generadas por la exfoliación en un talud de tierra blanca***

Como este proceso es continuo, se produce la aparición de otra fisura hacia el interior de la cara del talud en forma sucesiva, hasta que aproximadamente a 1 a 1.5 m de la cara del talud y sobre la superficie del terreno ya no se observan

grietas ni fisuras porque dichos factores ya no tienen incidencia. Cuando se trata de flujos piroclásticos gruesos ricos en pómez, "pumice flow", las discontinuidades transversalmente muestran secciones en formas de cuñas alargadas, las que llegan a derrumbarse ante un disparo por lluvias y/o sismos fuertes. Los derrumbes resultantes en ambos casos corresponden a rebanadas, y los volúmenes involucrados son pequeños a moderados, en función de la altura del talud.

➤ *Efecto de la lluvia*

El agua dentro de las grietas produce un aumento de la presión de poro, así como una erosión diferencial por impacto de las gotas de lluvias, lavado de las aristas de las grietas por parte de las corrientes de agua y ensanchamiento de las grietas. Este proceso repetitivo a lo largo de varios años contribuye para que la grieta se abra, facilitando la circulación del agua, la penetración y desarrollo de raíces. En estas condiciones y ante la presencia de una lluvia torrencial, la sección formada por la discontinuidad se cae al aumentar el esfuerzo cortante por el aumento de peso del agua intersticial, venciendo así las fuerzas resistentes. Los derrumbes de los taludes de tierra blanca joven (TBJ) ocurren más frecuentemente en los meses de agosto y septiembre, que es cuando ya hay una significativa acumulación de agua en el suelo.

El proceso erosivo en materiales poco consolidados es muy grande. La erosión se ve acrecentada cuando no existe una cobertura vegetal, rasgo muy común en estos taludes, en la cual la ejecución de proyectos habitacionales acelera el proceso erosivo. Con las prácticas muy arraigadas de remoción de toda la cubierta vegetal y de la construcción de sistemas de terrazas sin un adecuado sistema de drenaje durante el proceso constructivo, se ha facilitado y acelerado la pérdida de grandes cantidades de suelo. Otra práctica que ha inducido la erosión está relacionada con las empresas lotificadoras en cuyos proyectos en el pasado pusieron en venta parcelas de terrenos "lotes", sin servicios básicos, y que en el proceso de construcción de las viviendas, se fueron generando situaciones de alta erosión y de amenazas por derrumbes a las viviendas.

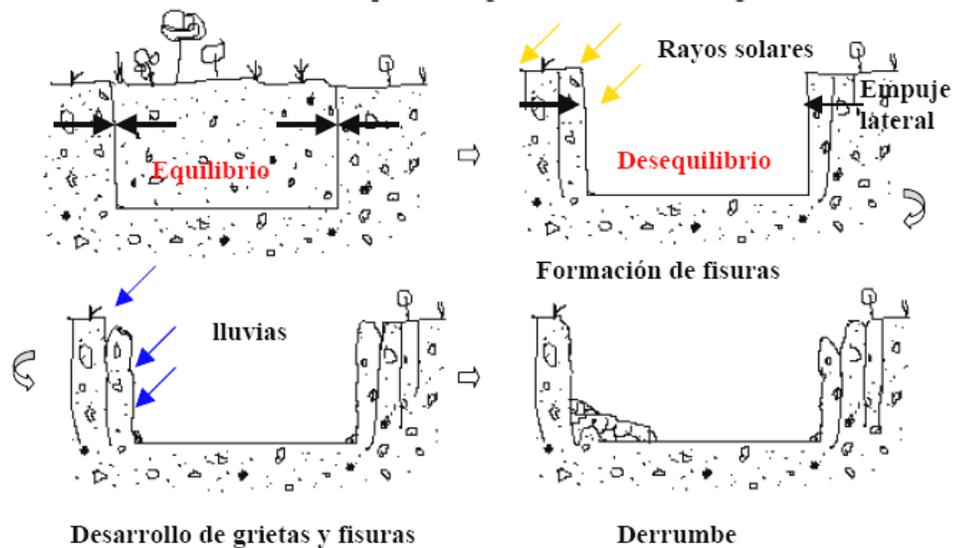
➤ *Efecto de la vegetación*

Las raíces se desarrollan más fácilmente penetrando a lo largo de las fisuras y grietas de los taludes. Cuando las raíces se tornan más gruesas producen una presión lateral en el interior de esas discontinuidades, siendo la porción más débil y más externa del talud la que se separa de la porción más fija, permitiendo que la discontinuidad quede más abierta y facilitando la infiltración del agua meteórica.

➤ *Efecto sísmico*

Las ondas generadas por los sismos al propagarse desde sus fuentes generadoras pueden ser amplificadas o atenuadas, lo cual dependerá de las características de los materiales que se encuentren en su trayectoria de propagación. El paso de una onda sísmica de un medio más duro a otro sin consolidación, como es el caso de los depósitos de tierra blanca (TBJ), produce una disminución de la velocidad de la onda al pasar por esos materiales, tal cambio de velocidad es acompañado por una amplificación de la onda sísmica en dichos materiales; teniéndose como resultado vibraciones del suelo más fuertes, lo que eventualmente llega a acentuar la abertura de las discontinuidades.

De acuerdo al Departamento de Sismología del SNET, mensualmente se reportan de entre 5 y 10 sismos percibidos por la población salvadoreña; tal frecuencia de sismos ofrece una idea de las vibraciones a las que los taludes son sometidos, lo cual, contribuye al desarrollo de las discontinuidades. Cuando un sismo es muy fuerte puede producir desprendimientos de la porción más externa de la cara del talud, apareciendo una nueva cara en la que se repetirá este proceso. El proceso del establecimiento de la exfoliación en las tierras blancas, se presenta esquemáticamente en la figura 2.15, en la cual inciden todos los factores antes mencionados.



**Figura 2.15. Mecanismo de ruptura (exfoliación) en taludes de tierra blanca.**

➤ **Cohesión**

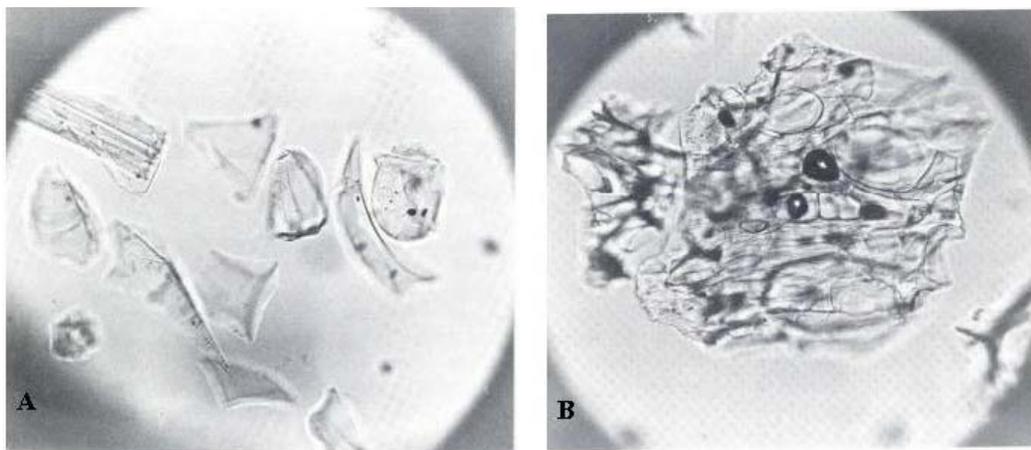
Del análisis de las partículas de la distribución granulométricas, se dice que los productos piroclásticos de TBJ son no cohesivos y en este caso,  $c=0$ , ya que están compuestos predominantemente por limos arenosos o arenas limosas (SM) y limos (ML). Estos suelos no poseen plasticidad, por tanto la cohesión es nula. Esa aseveración es correcta cuando se refiere a depósitos sedimentarios con esas características granulométricas, pero cuando se trata de suelos volcánicos, hay otros elementos que influyen para que las partículas de los suelos se mantengan unidas.

Después del estudio de varias unidades de la TBJ, se ha encontrado que existen ciertas propiedades como la microfábrica, la succión y la cementación, las que se estudiarán a continuación, las cuales operan de manera conjunta en suelos volcánicos. Cada una de esas propiedades individualmente tiene su propia influencia en esos depósitos, dependiendo del proceso eruptivo involucrado, es decir, en un tipo de suelo opera mejor una propiedad que otra.

➤ *Microfábrica*

Las partículas de TBJ constituidas principalmente por vidrio volcánico, poseen formas muy particulares llamadas trizas o esquirlas vítreas (glass shard), cuyas formas son angulares, alargadas, muy irregulares y arqueadas (Véase figura 2.16 a), las formas geométricas provienen únicamente de los cristales que son escasos. Estas partículas cuando se entremezclan con fragmentos de variados tamaños en pómez vesicular (Figura 2.16 b), cenizas tamaño arena, limo y arcilla y hasta partículas coloidales de sílice, todas se entrelazan y se amarran entre sí manteniéndose unidas, constituyendo lo que se denomina microfábrica. Esa variedad de formas y tamaños de partículas vítreas hacen del conjunto algo complejo y es una característica muy importante, sobretodo en los suelos que componen las ignimbritas de la TBJ. Las partículas coloidales y/o geles de sílice juegan un papel importante en estos suelos volcánicos parcialmente saturados, mejorando la unión entre las partículas en presencia de humedad al producir

una débil cementación. Los suelos como los depósitos de caída de TBJ desde el punto de vista geotécnico son descritos como mal graduados (SP), por lo que producen taludes inestables y la cohesión por la microfábrica es muy baja, debido a que tienden a ser suelos relativamente uniformes y cuando están lejos del centro de emisión no poseen cementación por silicatos de calcio y sulfatos de calcio.



Fuente: Hart, W. y Steen-McIntyre, V.1983.

***Figura 2.16. Fragmentos piroclásticos de vidrio volcánico, tamaño arena fina, colocados en base de aceite y vistas a través del microscopio. A) Trizas de vidrio alargadas, curvadas y plaquitas con puntas. B) Fragmento de pómez vesicular.***

En la microfábrica están relacionadas la distribución granulométrica, la forma de los granos, orientación, presencia o no de cemento y su empaquetadura. La empaquetadura de casi todos los suelos de TBJ no es compacta, característica que se refleja en la porosidad alta y densidad del suelo relativamente baja, lo

que causa que sean fácilmente erosionables. La microfábrica está relacionada con cierta cohesión que presentan los materiales de TBJ y a eso se refirieron Guzmán y Melara (1996), quienes la relacionaron con la verticalidad que presentan los taludes de TBJ.

➤ *Succión*

La microfábrica produce cierta cohesión la que es aún mejorada por la humedad natural en este tipo de suelos parcialmente saturados. Bommer et al. (1998, 2001) y Rolo et al. (2003), estudiaron las propiedades mecánicas como la succión y han llevado a cabo mediciones para conocer la fuerza que opera en ella en las unidades superiores de la TBJ. El agua se encuentra formando meniscos entre los fragmentos piroclásticos produciendo fuerzas capilares que mantienen unidas las partículas tan finas como los limos y arcillas y gruesas como las gravas y bloques de pómez.

La succión es una fuerza activa que participa en el mantenimiento de los taludes verticales estables mientras no lleguen al punto de saturación, de lo contrario la succión desaparece por pérdida de los meniscos, los taludes entran en inestabilidad y el derrumbe puede ocurrir por el aumento de peso debido al agua. Este mismo comportamiento se esperaría en el caso de la pérdida de agua por desecación, por pérdida de los meniscos (Bommer, et al. 1998), lo cual

frecuentemente ocurre en los depósitos de caída cuando no están cementados. Sin embargo en la zona cercana al Aeropuerto de Ilopango los taludes se encuentran verticales, aún cuando han perdido totalmente la humedad por evaporación, sin embargo se produce cierta exfoliación. Otro factor que contribuye a la verticalidad de taludes de TBJ a lo largo del tiempo y a pesar de sismos y fuertes precipitaciones es el asociado al proceso post-deposicional, conocido como *cementación secundaria* que se da en las cercanías al centro eruptivo.

➤ *Cementación*

Durante la fase eruptiva, el volátil dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) en la zona de difusión reacciona con el hidróxido (OH) catalizado por la energía solar, para dar lugar al ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Otro gas importante es el ácido clorhídrico (HCl) que reacciona con agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) para formar un ácido diluido. Ambos ácidos entran en contacto con los depósitos piroclásticos a los cuales atacan e intercambian iones, principalmente con los minerales (piroxenos, anfíboles, plagioclasas y magnetita). De ese intercambio iónico surgen los primeros compuestos que posteriormente precipitan formando minerales sulfatados que cristalizan entre los poros de los suelos volcánicos, produciendo la cementación de los mismos. Los ácidos también reaccionan con las partículas de vidrio volcánico más finas como las arcillas y los coloides para formar minerales silicatados, que también

producen un sellado de los poros donde estos se forman, dando más firmeza a los suelos.

## **CAPÍTULO 3: DESLIZAMIENTOS**

### **3.1 INTRODUCCIÓN.**

Los deslizamientos son uno de los problemas que más preocupan a los salvadoreños, ya que cada año con la llegada de la época lluviosa los efectos destructivos que éstos producen se ven incrementados, causando pérdidas humanas y materiales de gran magnitud.

Considerando lo anterior, en este capítulo se trata de manera más específica la temática de deslizamientos, comenzando con una breve reseña histórica de los deslizamientos en El Salvador en las últimas décadas. Posteriormente se describen las diferentes partes que conforman un deslizamiento y la clasificación de los diferentes tipos de deslizamientos en base a su mecanismo de falla: rotacionales y traslacionales. Finalmente se exponen los diversos factores que influyen en la ocurrencia de los deslizamientos, pudiéndose clasificar en condicionantes y desencadenantes.

### **3.2 RESEÑA HISTÓRICA DE LOS DESLIZAMIENTOS EN EL SALVADOR**

Los deslizamientos son una problemática que se ha dado desde siempre en nuestro país, debido a su localización geográfica y al clima al que se ve sometido, ya que se reúnen cuatro de los elementos que propician su ocurrencia, tales como son la topografía, la sismicidad, la meteorización y las lluvias intensas

En los últimos veinticinco años se han reportado los siguientes deslizamientos considerados como los más importantes, a raíz de movimientos sísmicos:

**Junio 1982.** Se reportan deslizamientos en Apaneca y Ataco, los cuales destruyeron grandes extensiones de cultivo de café. También se vieron afectados por deslizamientos los municipios de Comasagua (La Libertad), Apopa (San Salvador) y Cojutepeque (Cuscatlán).

**19 de Septiembre de 1982.** Se produjo un derrumbe de grandes proporciones en la zona alta del volcán de San Salvador, afectando varias colonias ubicadas en la zona noroeste de San Salvador, entre ellas están: Reparto Montebello Poniente, Colonia Vilanova, Colonia Lorena, Reparto El Triunfo, Colonia San Mauricio, Lotificación Mónico, y Colonia Santa Margarita.

Este desastre se atribuyó al desprendimiento de grandes masas de tierra debido a las intensas lluvias que se registraron desde el 10 de Septiembre, y al alto grado de deforestación en que se encontraba el volcán (*Fuente: Diagnostico Situacional sobre la Gestión Ecológica del Riesgo en El Salvador*).

La combinación de ambos factores, junto con falta de planificación de los asentamientos humanos, favoreció a la generación de un desastre que dejó un saldo de 500 muertos, 2400 damnificados, y 120 viviendas dañadas o destruidas, 65 del sector formal y 55 del sector informal. Las pérdidas en el sector vivienda se estimaron en un monto aproximado de \$418,765 y además se perdieron 20 hectáreas de cultivos permanentes. Sumado a esto se tuvo que enfrentar otras consecuencias como: problemas de salud entre los damnificados, destrucción de fuentes de trabajo, reducción de los ingresos familiares, y aumento del gasto público para la reconstrucción de la zona afectada. (*Fuente: Diagnostico Situacional sobre la Gestión Ecológica del Riesgo en El Salvador*).

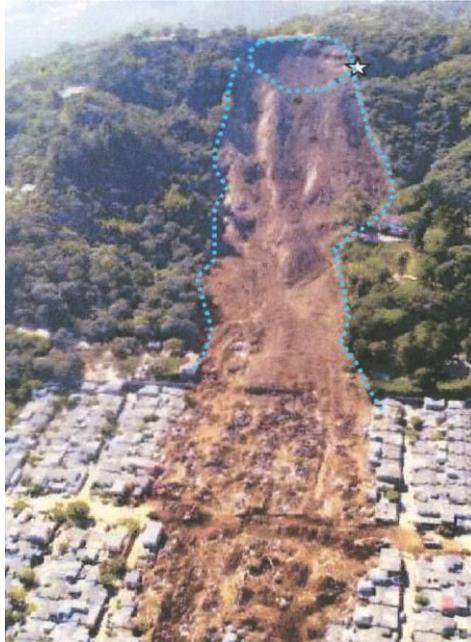
**10 de Octubre de 1986.** A raíz del terremoto ocurrido se produjeron 52 deslizamientos entre los municipios de San Salvador, Mejicanos, Ayutuxtepeque y Cuscatancingo. (*Fuente: Diagnostico Situacional sobre la Gestión Ecológica del Riesgo en El Salvador*).

A raíz de los sismos del **13 de Enero y 13 de Febrero del 2001**, se registraron 623 deslizamientos de relativa y gran magnitud. (*Fuente: Diagnostico Situacional sobre la Gestión Ecológica del Riesgo en El Salvador*). La mayor cantidad de deslizamientos y derrumbes ocurrió en los departamentos de La Libertad, San Salvador, La Paz, Sonsonate y Usulután.

**13 de Enero del 2001.** Este terremoto causó daños severos en una amplia área al sur de la zona volcánica de El Salvador, afectando fundamentalmente a las zonas rurales, si bien la mayor parte de víctimas mortales se debió al deslizamiento de la zona de Las Colinas en Santa Tecla, con más de 600 muertos. En total, en El Salvador se reportaron 800 muertos, y más de un millón de personas damnificadas. Los mayores daños se produjeron en los departamentos de La Paz, Usulután y La Libertad. El departamento en que hubo más derrumbes fue el de San Salvador, con un total de 133, seguido de Sonsonate y La Paz con 82 y 75 respectivamente.

Entre todos los casos ocurridos, destacan cuatro deslizamientos por su impacto en vidas, y bienes privados y públicos.

1. El acaecido en la Cordillera del Bálsamo en Santa Tecla al norte de San Salvador, que sepultó a la colonia Las Colinas y provocó la muerte de unas 600 personas del lugar. (Ver fotografías 3.1, 3.2 y 3.3)



***Fotografía 3.1 Vista panorámica del deslizamiento en Col. Las Colinas, Depto. de La Libertad- Año 2001***



***Fotografías 3.2 y 3.3. Deslizamiento en Col. Las Colinas visto desde abajo- Año 2001***

2. El ocurrido en la Carretera Panamericana a la altura del lugar conocido como Los Chorros, en el departamento de La Libertad, donde se desplazaron unos 100,000 mts<sup>3</sup> de tierra, materiales pétreos y otros,

ocasionando la pérdida de vidas humanas y de viviendas, así como la pérdida y deterioro de suelos productivos y graves daños en la infraestructura vial de la zona.

3. El deslizamiento que se produjo en la Carretera Panamericana en la conocida como Curva La Leona, del departamento de San Vicente, donde hubo un desprendimiento de materiales de aproximadamente un millón de metros cúbicos, provocando graves daños a la infraestructura vial *(Fuente: informe general de la Asistencia Técnica Española en El Salvador a raíz del terremoto del 13 de enero del 2001.)* Ver fotografía 3.4.



**Fotografía 3.4** *Deslizamiento ocurrido en Curva La Leona, Carretera CA-2 a San Vicente*

4. El ocurrido en el desagüe que conecta el Lago de Ilopango con el Río Jiboa, provocando el embalse de aguas que regularmente irrigan zonas medias y bajas de los departamentos de Cuscatlán, La Paz y San Vicente,

incidiendo en el incremento irregular de las aguas en las zonas de tránsito y cultivo y en la pérdida de caudal pesquero fluvial en esas mismas zonas (*Fuente: Diagnóstico Situacional sobre la Gestión Ecológica del Riesgo en El Salvador*).

**13 de Febrero del 2001.** Este sismo causó graves daños en un área más restringida que el del 13 de Enero, siendo los departamentos más afectados Cuscatlán, La Paz y San Vicente, pertenecientes a la zona central del país. El mayor porcentaje de fallecidos (52%), de lesionados (41%) de viviendas dañadas (58%), y de deslizamientos (62%) se produjo en el departamento de Cuscatlán. (*Fuente: informe general de la Asistencia Técnica Española en El Salvador a raíz del terremoto del 13 de enero del 2001.*)

También se han registrado tragedias por deslizamientos ocasionados por precipitación excesiva, lo que hace que los suelos se saturen y se desestabilicen. Ejemplo de esto fue el caso del **Huracán Mitch**, que provocó precipitaciones de hasta 300 mm diarios, lo que contribuyó a generar desbordamientos de los ríos e importantes deslizamientos de tierra, destrucción de puentes y caminos y severos daños en la zona norte y oriental del país. Esto trajo consigo grandes pérdidas tanto humanas como materiales, dejó a muchas familias sin hogar y arrasó con grandes extensiones de cultivo.

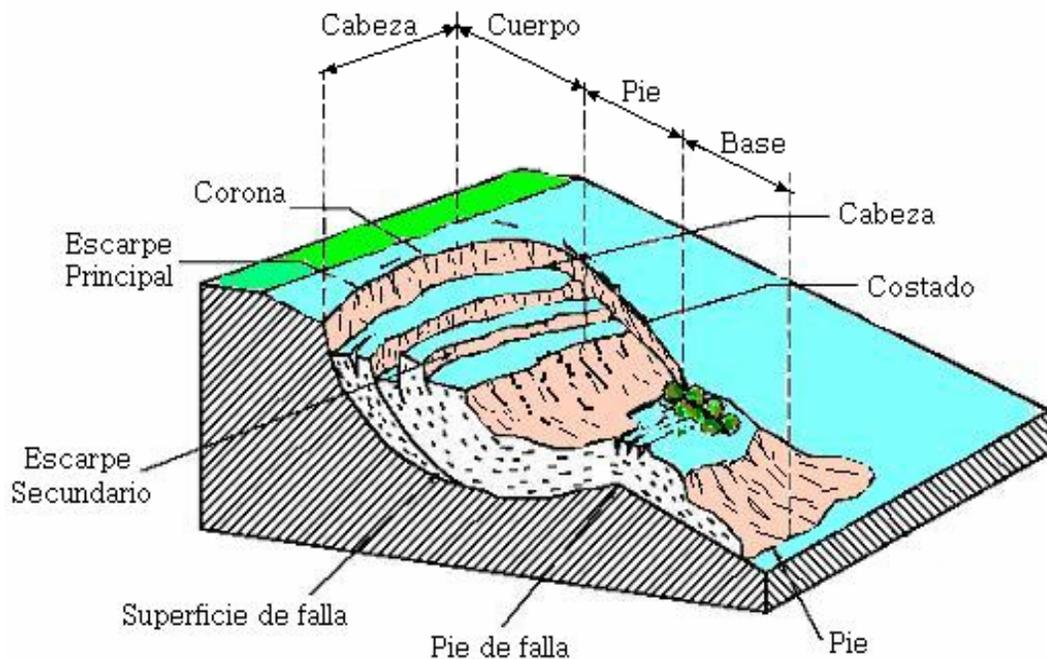
Recientemente se presentó otra tragedia debido al **Huracán Stan**, a principios de Octubre del 2005, que si bien no entró con fuerza al territorio nacional, sus efectos secundarios causaron grandes estragos, principalmente en lugares tales como Santo Tomás y San Jacinto, en las zonas costeras: Ahuachapán, La Unión, etc. Esto provocó la muerte de más de 50 personas a raíz de los deslizamientos producidos, además de grandes daños a la infraestructura vial, como el caso de la Carretera a Los Chorros, al Puerto de La Libertad, a Suchitoto, a los Planes de Renderos, a Huizúcar, y la antigua calle a Soyapango, y algunos puentes (Ver fotografías 3.5 y 3.6). Las pérdidas a raíz de esta tragedia se estiman en millones de dólares. *(Fuente: Reporte del Centro de Protección Para Desastres San Salvador, 5 de Octubre del 2005).*



***Fotografías 3.5 y 3.6. Deslizamientos producidos en la carretera a Suchitoto, Depto. de Cuscatlán.***

### 3.3 NOMENCLATURA DE UN DESLIZAMIENTO.

Los *deslizamientos* son movimientos que se producen al superarse la resistencia al corte del material y tienen lugar a lo largo de una o varias superficies o a través de una franja relativamente estrecha del material; generalmente las superficies de deslizamientos son visibles o pueden deducirse razonablemente; la velocidad con que se desarrollan estos movimientos es variable, dependiendo de la clase de material involucrado en el mismo. (Ver también sección 2.4.4)



**Figura 3.1 Nomenclatura de un deslizamiento**

En la figura 3.1 se muestra un deslizamiento o movimiento en masa típico, con sus diversas partes cuya nomenclatura es la siguiente:

*1. Escarpe principal*

Corresponde a una superficie muy inclinada a lo largo de la periferia del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material fuera del terreno original. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material forma la superficie de falla.

*2. Escarpe secundario*

Es una superficie muy inclinada producida por desplazamientos diferenciales dentro de la masa que se mueve.

*3. Cabeza*

Las partes superiores del material que se mueve a lo largo del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.

*4. Corona*

Es el material que se encuentra en el sitio, prácticamente inalterado y adyacente a la parte más alta del escarpe principal.

### *5. Superficie de falla*

Corresponde al área debajo del movimiento que delimita el volumen de material desplazado. El volumen de suelo debajo de la superficie de falla no se mueve.

### *6. Pie de la superficie de falla*

Es la línea (algunas veces oculta) donde se intercepta la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.

### *7. Base*

Es el área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.

### *8. Pie*

Es el punto de la base que se encuentra a mayor distancia de la corona.

### *9. Costado o flanco*

Un lado (perfil lateral) del movimiento.

### *10. Superficie original del terreno*

La superficie que existía antes de que se presentara el movimiento.

### **3.4 TIPOS DE DESLIZAMIENTOS (Según el Tipo de Falla)**

Las fallas por deslizamientos son típicas de los taludes artificiales y se presentan con superficies de falla que en unos casos, penetran profundamente las masas de suelo que constituyen el talud, originadas por movimientos bruscos.

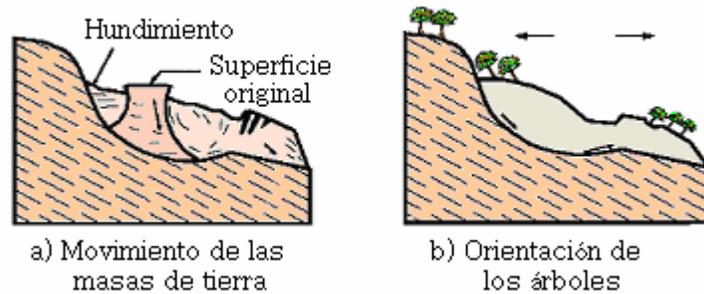
Estos deslizamientos se pueden dividir en dos subtipos denominados *deslizamientos rotacionales y traslacionales o planares*. Esta diferenciación es importante porque puede definir el sistema de análisis y estabilización a emplearse.

#### ***3.4.1 Deslizamientos Rotacionales***

Los deslizamientos estrictamente rotacionales ocurren usualmente, en suelos homogéneos, sean naturales o artificiales y por su facilidad de análisis son el tipo de deslizamiento más estudiado en la literatura. Frecuentemente la forma y localización de la superficie de falla está influenciada por las discontinuidades, juntas y planos de estratificación. El efecto de estas discontinuidades debe tenerse muy en cuenta en el momento que se haga el análisis de estabilidad.

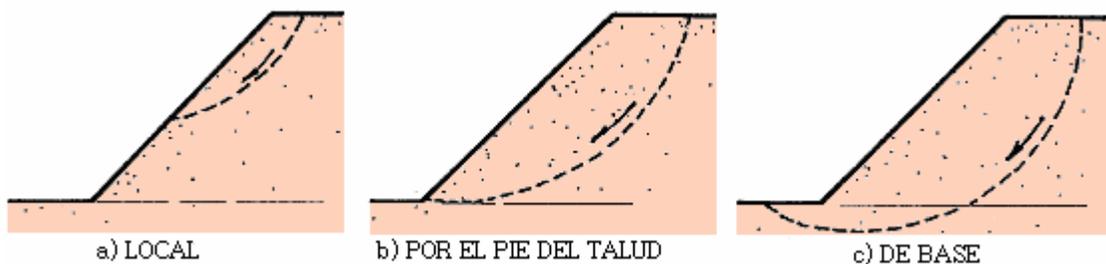
En los deslizamientos rotacionales, el movimiento ocurre a lo largo de una superficie de falla curva que se desarrolla en el interior del cuerpo del talud,

afectando o no, al terreno de cimentación. Dichas fallas se originan cuando los esfuerzos cortantes actuantes sobrepasan la resistencia del material. (Ver figura 3.2).



**Figura 3.2. Deslizamiento rotacional típico.**

En los deslizamientos rotacionales pueden presentarse las llamadas *fallas locales*, que ocurren en el cuerpo del talud afectando zonas relativamente superficiales (fig. 3.3.a). Además, se presentan también pasando la superficie de falla por el pie del talud, sin interesar el terreno de cimentación (fig. 3.3.b) o pasando delante del pie, afectando el terreno en el cual el talud se apoya. (fig. 3.3.c)



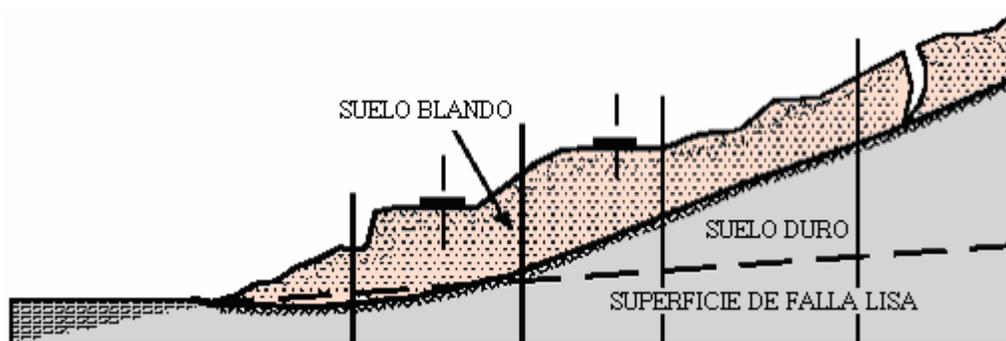
**Figura 3.3. Tipos de fallas en deslizamientos rotacionales**

En zonas tropicales este tipo de suelos no es común y cuando existe rotación, la superficie de falla es usualmente curva pero no circular; sin embargo, en zonas de meteorización muy profunda y en rellenos de altura significativa algunas superficies de falla pueden asimilarse a círculos.

Dentro del deslizamiento comúnmente, ocurren otros desplazamientos curvos que forman escarpes secundarios y ocasionalmente ocurren varios deslizamientos sucesivos en su origen pero que conforman una zona de deslizamientos rotacionales independientes.

### ***3.4.2. Deslizamientos Traslacionales***

En el deslizamiento de traslación el movimiento de la masa se desplaza hacia fuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo (Ver figura 3.4).



***Figura 3.4. Deslizamiento Traslacional.***

La diferencia importante entre los movimientos de rotación y traslación está principalmente, en la aplicabilidad o no de los diversos sistemas de estabilización, sin embargo, un movimiento de rotación trata de autoestabilizarse, mientras que uno de traslación puede progresar indefinidamente a lo largo de la ladera hacia abajo. Por su forma de falla también se pueden diferenciar en que en un deslizamiento rotacional la masa de material se separa de la superficie de falla, en cambio en un deslizamiento traslacional la masa de material se desplaza hacia abajo sobre la superficie de falla.

Los movimientos de traslación son comúnmente controlados por superficies de debilidad tales como fallas, juntas, fracturas, planos de estratificación y zonas de cambio de estado de meteorización que corresponden en términos cuantitativos a cambios en la resistencia al corte de los materiales o por el contacto entre la roca y materiales blandos o coluviones. En muchos deslizamientos de traslación la masa se deforma y/o rompe y puede convertirse en flujo.

Los deslizamientos sobre discontinuidades sencillas en roca se les denomina *deslizamientos de bloque*, cuando ocurren a lo largo de dos discontinuidades se le conoce como *deslizamiento de cuña* y cuando se presentan sobre varios

niveles de una familia de discontinuidades se le puede denominar *falla en escalera*.

### 3.5 FACTORES INFLUYENTES EN LOS DESLIZAMIENTOS.

La estabilidad de un talud está determinada por factores geométricos (altura e inclinación), geológicos (que condicionan la presencia de planos y zonas de debilidad en el talud), hidrogeológicos (presencia de agua) y geotécnicos o relacionados con el comportamiento mecánico del terreno (resistencia y deformabilidad).

La combinación de los factores citados anteriormente puede determinar la condición de rotura a lo largo de una o varias superficies, y que sea cinemáticamente posible el movimiento de un cierto volumen de masa de suelo o roca. Estos factores los podemos clasificar como **condicionantes y desencadenantes**.

Los *factores condicionantes (o pasivos)* son intrínsecos a los materiales naturales del talud; éstos son parámetros no susceptibles de cambiar rápidamente y que constituyen las predisposiciones naturales de las pendientes a presentar inestabilidades. Dentro de ellos están: la litología, estructura,

cobertura de terrenos blandos, pendiente, etc. Para el caso de *suelos*, los factores que determinan las propiedades resistentes y el comportamiento del talud son la litología, estratigrafía y las condiciones geológicas. En el caso de *rocas*, el principal factor condicionante es la estructura geológica: la disposición y frecuencia de las superficies de discontinuidad y el grado de fracturación. En el caso de materiales blandos como pizarras o lutitas, los factores predominantes son la litología y el grado de alteración.

Los *factores desencadenantes* están relacionados a las variaciones de las precipitaciones y de la temperatura a medio y largo plazo, a la alteración de suelos y rocas, a la erosión fluvial, a las fluctuaciones de las capas freáticas, o a las acciones antrópicas (ejemplos de esto serían la deforestación y la explotación intensiva de suelos). Estos parámetros provocan la reducción progresiva o rápida del factor de seguridad hasta un valor próximo a 1 y llevan las pendientes a un estado potencialmente inestable y en algunos casos provocan la rotura.

Estos son factores externos que actúan sobre los suelos o sobre los macizos rocosos, modificando sus características, propiedades y condiciones de equilibrio del talud e iniciando el movimiento, haciendo pasar una pendiente de un estado de equilibrio precario a la ruptura (cuando el factor de seguridad es menor que

1). Los factores más representativos de este tipo son esencialmente acontecimientos meteorológicos de corta duración, tales como fuertes precipitaciones diarias o mensuales, alternancia de congelamiento-descongelamiento del suelo (considerado solamente en regiones de clima frío), las actividades antrópicas, tales como excavaciones en el pie del talud, sobrecarga en la cabecera, etc., o vibraciones debidas a sismos o explosiones.

### ***3.5.1 Factores Condicionantes***

#### *1. Estratigrafía y Litología*

La naturaleza del material que forma un talud está íntimamente relacionada con el tipo de inestabilidad que éste puede sufrir, presentando las diferentes litologías distinto grado de susceptibilidad potencial ante la ocurrencia de deslizamientos o roturas. Las propiedades físicas y resistentes de cada tipo de material, junto con la presencia de agua, gobiernan su comportamiento tenso-deformacional y por tanto su estabilidad.

Aspectos como la alternancia de materiales de diferente litología, competencia y grado de alteración, o la presencia de capas de material blando o de estratos duros, controlan los tipos y la disposición de las superficies de rotura. En los suelos, que generalmente se pueden considerar homogéneos en comparación

con los materiales rocosos, las diferencias en el grado de compactación, cementación o granulometría predisponen zonas de debilidad y de circulación de agua, que pueden generar inestabilidades. En los macizos rocosos, la existencia de capas o estratos de diferente competencia implica también un diferente grado de fracturación en los materiales, lo que complica la caracterización y el análisis del comportamiento del talud.

## *2. Estructura geológica y discontinuidades*

La estructura geológica juega un papel definitivo en las condiciones de estabilidad de los taludes en macizos rocosos. La combinación de los elementos estructurales con los parámetros geométricos del talud, altura e inclinación, y su orientación, define los problemas de estabilidad que se pueden presentar.

La estructura del macizo queda definida por la distribución espacial de los sistemas de discontinuidades, que individualizan bloques más o menos competentes de matriz rocosa que se mantienen unidos entre sí por las características y propiedades resistentes de las discontinuidades. La presencia de estos planos de debilidad (como superficies de estratificación, diaclasas, fallas, etc.) buzando hacia el frente del talud supone la existencia de planos de rotura y deslizamiento potenciales, y su orientación y disposición condiciona los tipos, modelos y mecanismos de inestabilidad.

La influencia de la estructura geológica va más allá del condicionamiento geométrico de las roturas, pudiendo afectar a la estabilidad de los taludes a causa de las modificaciones inducidas por la excavación por ejemplo, en estructuras de tipo compresivo o distensivo. La existencia de esfuerzos tectónicos residuales puede inducir procesos desestabilizadores.

### *3. Condiciones hidrogeológicas y comportamiento hidrogeológico de los materiales.*

La mayor parte de las roturas se producen por lo efectos del agua en el terreno, así como la generación de presiones intersticiales, o los arrastres y erosión, superficial o interna, de los materiales que forman el talud. En general, puede decirse que el agua constituye el agente natural de mayor incidencia como factor condicionante y desencadenante en la aparición de inestabilidades.

La presencia de agua en un talud reduce su estabilidad al disminuir la resistencia del terreno y aumenta las fuerzas tendientes a la inestabilidad. Sus efectos más importantes son:

1. Reducción de la resistencia al corte de los planos de rotura al disminuir la tensión normal efectiva
2. La presión ejercida sobre las grietas de tracción aumenta las fuerzas que tienden al deslizamiento.

3. Aumento del peso del material por saturación
4. Erosión interna por flujo subsuperficial o subterráneo.
5. Meteorización y cambios en la composición mineralógica de los materiales.

La forma de la superficie freática en un talud depende de diferentes factores, entre los que se encuentran: la permeabilidad de los materiales, la geometría o forma del talud y las condiciones de contorno.

El nivel freático puede sufrir cambios, ya sea por las estaciones o como consecuencia de dilatados períodos lluviosos o de sequía. Si bien la modificación del nivel freático obedece generalmente a cambios lentos y períodos largos, en el caso de materiales muy permeables puede llegar a producirse un ascenso relativamente rápido como consecuencia de precipitaciones intensas.

Además del agua en el interior del terreno, hay que considerar el papel del agua superficial (por precipitación, escorrentía, etc.), que puede causar problemas importantes de estabilidad al crearse altas presiones en las discontinuidades y grietas por las que se introduce, y en la zona más superficial del terreno; de hecho, las roturas en taludes conformados por suelos son más frecuentes en períodos de lluvias intensas. Los fenómenos de erosión y lavado en materiales

blandos o poco consistentes aparecen asimismo asociados a la presencia de agua superficial.

La influencia del agua en las propiedades de los materiales depende de su comportamiento hidrogeológico. El efecto más importante es la presión ejercida, definida por la altura del nivel piezométrico.

Los aspectos más importantes que deben conocerse para evaluar la magnitud y la distribución de las presiones intersticiales en el talud y los efectos del agua son:

*Comportamiento hidrogeológico de los materiales.*

- ✓ Presencia de niveles freáticos y piezométricos.
- ✓ Flujo de agua en el talud.
- ✓ Parámetros hidrogeológicos de interés: coeficiente de permeabilidad o conductividad hidráulica, gradiente hidráulico, transmisividad y coeficiente de almacenamiento.

Las presiones intersticiales actuando en el interior de un talud pueden medirse directamente con piezómetros. Estas medidas proporcionan el valor de la presión que ejerce el agua en un punto en el interior de un sondeo, o el nivel piezométrico de las capas o formaciones interceptadas por la tubería (si son

varias, el nivel medido corresponderá al de la formación con mayor altura piezométrica).

#### *4. Propiedades Físicas, Resistentes y Deformacionales*

La posible rotura de un talud a favor de una determinada superficie depende de la resistencia al corte de la misma. En primera instancia, esta resistencia depende de los parámetros resistentes del material: *cohesión y rozamiento interno*.

La influencia de la naturaleza de los *suelos* en sus propiedades mecánicas, implica que la selección de los parámetros resistentes representativos de la resistencia al corte, debe ser realizada teniendo en cuenta la historia geológica del material.

En *macizos rocosos*, son las propiedades resistentes de las discontinuidades y de la matriz rocosa las que controlan el comportamiento mecánico. En función de las características y estructura del macizo, de su red de fracturación y de la naturaleza de los materiales y de las discontinuidades, la resistencia vendrá controlada por las propiedades de las discontinuidades, por las propiedades de la matriz rocosa o por ambas.

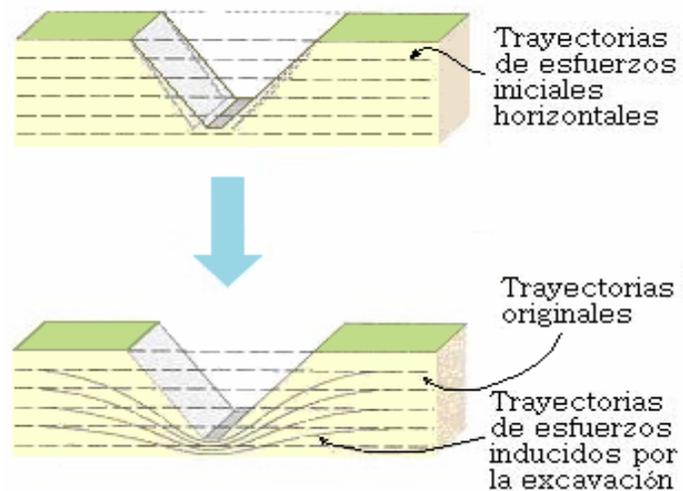
El comportamiento de un macizo rocoso competente depende, generalmente, de las características de las discontinuidades, además de su litología e historia geológica evolutiva. La resistencia al corte de planos de debilidad depende de su naturaleza y origen, continuidad, espaciado, rugosidad, tipo y espesor de relleno, presencia de agua, etc., y es el aspecto importante para determinar la estabilidad del macizo rocoso.

#### *5. Tensiones Naturales y Estado Tenso-Deformacional*

Las tensiones naturales pueden jugar un papel importante en la estabilidad de los taludes rocosos. La liberación de tensiones que puede suponer la excavación de un talud puede originar tal descompresión que el material se transforma y fragmenta por las zonas más débiles y pasa a comportarse como un suelo.

El estado tensional de un talud depende de su configuración geométrica y del estado de tensiones del macizo rocoso previo a la excavación. En la figura 3.5 se presenta un ejemplo de la distribución de los esfuerzos litostáticos después de realizar una excavación. En excavaciones profundas, las elevadas tensiones que se generan en zonas singulares como el pie del talud pueden dar lugar a condiciones de desequilibrio, llegando incluso a producirse deformaciones plásticas. También en la cabecera del talud se generan estados tensionales

anisótropos con componentes traccionales que provocan la apertura de grietas verticales.



**Figura. 3.5** *Modificación de las trayectorias de los esfuerzos horizontales originales como consecuencia de una excavación.*

Si un macizo rocoso está sometido a tensiones de tipo tectónico, al realizarse una excavación tiene lugar la liberación y redistribución de las mismas. Esta modificación del estado tensional previo contribuye a la pérdida de resistencia del material.

### ***3.5.2 Factores Desencadenantes***

#### *1. Deforestación*

El desarrollo de los países incluye un conjunto de actuaciones adecuadas a crear una infraestructura que permita el progreso de los mismos. Debido a esto, las personas tienen que hacer un mayor uso de los recursos naturales para cubrir sus necesidades, lo que genera una exigencia mayor de materia prima y espacio, lo que conlleva a la deforestación.

La deforestación de ciertos taludes incide adversamente en el régimen de agua en las capas más superficiales, contribuyendo a la actuación de otros factores desestabilizadores.

#### *2. Lluvia.*

Las variaciones de la lluvia constituyen un factor desencadenante de las inestabilidades, contribuyendo a aumentar la acción de diversos factores condicionantes tales como: la meteorización, la acción de aguas subterráneas, etc. Este fenómeno se ve incrementado cuando las precipitaciones se dan por un período de tiempo prolongado, lo que produce la saturación de los suelos.

El impacto de las gotas de lluvia sobre los suelos produce salpicaduras que levantan y dejan caer las partículas, tendiendo a transportarlas a niveles inferiores de la vertiente. Consecuentemente se origina una removilización superficial de los suelos, que puede disminuir la capacidad de infiltración del mismo, ya que las partículas desplazadas tienden a taponar las aberturas naturales de éste.

### *3. Subsistencia Regional.*

Diversos estudios y evidencias han puesto de manifiesto los movimientos que existen en la corteza terrestre, en orden a establecer un equilibrio de la misma. Uno de los reflejos de estos movimientos es la subsidencia, la cual tiene cierta importancia en la estabilidad de taludes debido a que produce ciertas fluctuaciones en las capas freáticas. Esta actúa como un factor que interfiere gradualmente en la estabilidad de los taludes y desencadena movimientos, cuando está asociada a fenómenos sismo-tectónicos.

Se consideran como subsidencias regionales, los desplazamientos verticales que se producen en los niveles del mar y de la tierra en grandes áreas de la corteza terrestre. También existen subsidencias estrechamente relacionadas con grandes accidentes tectónicos y otras que acompañan a movimientos más

violentos y que constituyen acciones de reajuste posterior. Estas tienen un carácter local.

Las subsidencias tienen una desigual distribución espacial y se desarrollan de forma gradual y muy lenta, prácticamente imperceptibles, salvo las que acompañan a seísmos. El efecto que causa es un progresivo aumento del ángulo del talud, que contribuye a la aparición de algunos deslizamientos. Esto produce un cambio de los esfuerzos existentes en el interior del terreno, alterando las condiciones de equilibrio por un aumento del esfuerzo de corte. Es necesario que el talud esté próximo a las condiciones de equilibrio límite para que este pequeño y lento movimiento tenga efectos notables.

#### *4. Meteorización*

En determinados tipos de suelos o macizos rocosos blandos, los procesos de meteorización juegan un papel importante en la reducción de sus propiedades resistentes, dando lugar a una alteración y degradación intensas al ser expuestos los materiales a las condiciones ambientales como consecuencia de una excavación. Esta pérdida de resistencia puede dar lugar a la caída del material superficial y, si afecta a zonas críticas del talud, como su pie, puede generar roturas generales, sobre todo en condiciones de presencia de agua.

### 5. *Sobrecargas Estáticas*

Las sobrecargas estáticas que se ejercen sobre los taludes modifican la distribución de las fuerzas y pueden generar condiciones de inestabilidad. Estas sobrecargas son un factor condicionante de los movimientos que modifican el entorno natural en el que se produce dicha acción.

Las sobrecargas estáticas son el resultado del incremento del peso debido a diversos tipos de construcciones sobre el terreno natural, tales como rellenos y terraplenes, estructuras o edificios, paso de vehículos pesados, acopio de materiales de diversa índole, etc. También puede producirse por el peso del agua infiltrada en el terreno como consecuencia de fugas en conducciones, alcantarillado, canales, depósitos, etc.

El efecto producido es generalmente un incremento del esfuerzo de corte del terreno, y cuando se trata de suelos con alto contenido de arcilla se origina un aumento de la presión intersticial. De esta forma se modifican las condiciones de equilibrio existentes en el terreno, pudiendo darse diferentes tipos de movimientos.

## *6. Cargas Dinámicas*

Las cargas dinámicas se deben, principalmente, a los movimientos sísmicos y a vibraciones producidas por voladuras cercanas al talud. El principal efecto en los macizos rocosos fracturados es la apertura de las discontinuidades preexistentes, con la consiguiente reducción de su resistencia al corte, y la individualización y caída de bloques rocosos. En casos de fuertes movimientos sísmicos, las fuerzas aplicadas de forma instantánea pueden producir la rotura general del talud si existen condiciones previas favorables a la inestabilidad.

### ➤ *Sismos*

Cuando ocurre un sismo se genera una serie de vibraciones que se propagan como ondas de diferentes frecuencias. La aceleración horizontal y vertical asociada a esas ondas origina una fluctuación del estado de esfuerzos en el interior del terreno afectando el equilibrio de los taludes. Así se puede producir una perturbación de la trabazón intergranular de los materiales, disminuyendo su cohesión.

Esta acción sísmica es compleja y origina unos fenómenos de deformacionales que pueden ser de tipo *sismotectónico* o *sismogravitacional*. El primer tipo es manifestación de los movimientos que se producen en la corteza a lo largo de fallas, plegamientos, etc., producidos durante terremotos de intensidad mayor

de 6.5 (Escala de Mercalli). Las características de la deformación dependen de la naturaleza de los esfuerzos con independencia de las fuerzas gravitacionales.

Los fenómenos deformacionales de tipo sismo-gravitacional tienen una dinámica específica. Los materiales movilizados se extienden sobre áreas mucho mayores que los movimientos debidos a la gravedad, particularmente si ha habido vibraciones de larga duración. Estos originan grandes deslizamientos, avalanchas, desprendimientos y coladas.

El factor sísmico de mayor incidencia en los movimientos de los taludes es la *intensidad de la sacudida*, a partir de 6.5 (en escala de Mercalli) y en menor medida su duración. Un sismo de una intensidad igual o superior a VII MSK (magnitud 5 de Richter) puede ya activar movimientos de terrenos si las condiciones intrínsecas y los factores agravantes han llevado las pendientes a un equilibrio precario. En las regiones sísmicamente activas como la nuestra, los terremotos son la causa predominante de los movimientos de taludes.

➤ *Voladuras y Explosiones.*

Los efectos inmediatos de las voladuras son los derivados de las características de la onda que se propaga y de los gases que se originan. Pueden actuar como

desencadenantes de los movimientos, condicionando y disminuyendo la estabilidad de los macizos rocosos.

El comportamiento del terreno, como medio transmisor, depende principalmente de sus características resistentes a la tracción, existencia de discontinuidades que supongan superficies de reflexión de la onda, contenido de agua, etc. La onda de compresión origina la apertura de grietas radiales alrededor de la carga y la de tracción fragmenta el material. También se pueden producir plastificaciones del mismo.

Las vibraciones producidas actúan como pequeños sismos y pueden darse proyecciones de diversos tamaños de material. Como consecuencia se amplía la red de fracturación preexistente en el terreno, creando nuevas superficies potenciales de deslizamiento.

### *7. Vulcanismo*

Los volcanes en actividad llevan asociados movimientos sísmicos de características específicas en cuanto a su intensidad, frecuencia, etc. Originan modificaciones en las laderas que forman sus conos y en los materiales depositados sobre los mismos (hielo, nieve, derrubios, etc).

El campo de esfuerzos existente en los conos volcánicos puede modificarse como resultado de una dilatación de las cámaras magmáticas, cambios en el nivel del magma de los mismos y aumento en los temblores armónicos que continuamente se dan. Dichos fenómenos alteran el equilibrio de los taludes que rodean a los cráteres, produciendo generalmente fallas y colapsos.

#### *8. Cambios en las Condiciones Hidrogeológicas*

Entre estos cambios se pueden mencionar:

- Modificación de las condiciones naturales del agua superficial por medio de canales, zanjas, represas, etc.
- Modificación de las condiciones naturales del agua subterránea por medio de pozos de bombeo, concentración de las infiltraciones, etc.
- Infiltración de ductos de agua, especialmente acueductos y alcantarillados.
- Aceleración de infiltración por la presencia de depósitos de basura y residuos sobre el talud.
- Negligencia en el drenaje superficial y subterráneo.
- Cambio general en el régimen de aguas superficiales.

### *9. Factores Climáticos*

Las precipitaciones y el régimen climático influyen en la estabilidad de los taludes al modificar el contenido de agua del terreno. La alternancia de períodos de sequía y lluvia produce cambios en la estructura de los suelos que dan lugar a pérdidas de resistencia. Se pueden establecer criterios de riesgo de inestabilidad de taludes en función de la pluviometría.

Las condiciones meteorológicas susceptibles de activar los movimientos de terrenos varían fuertemente en función de los tipos de inestabilidades. Por ejemplo, un acontecimiento único de fuertes precipitaciones ( $P > 50$  mm en un día) provoca siempre deslizamientos superficiales o coladas de escombros pero no engendran sistemáticamente otros fenómenos de inestabilidades. Los deslizamientos profundos necesitan períodos prolongados (de algunos días o varios meses) de fuertes precipitaciones para sufrir aceleraciones sensibles de los movimientos.

### *10. Variaciones en la geometría.*

La modificación de la topografía del terreno mediante cortes o rellenos en un talud puede producir la activación de un deslizamiento, ya que al realizarlos se producen varios cambios sustanciales en el estado de la formación residual, rompiendo el equilibrio natural existente en la masa de suelo.

### *11. Cambios en la Cobertura Vegetal*

Cuando se producen cambios en la estructura y condiciones de la capa superficial de suelo por prácticas de agricultura, pastoreo, tala de bosques, etc., o si hay una modificación del uso del suelo el riesgo por deslizamientos puede verse incrementado.

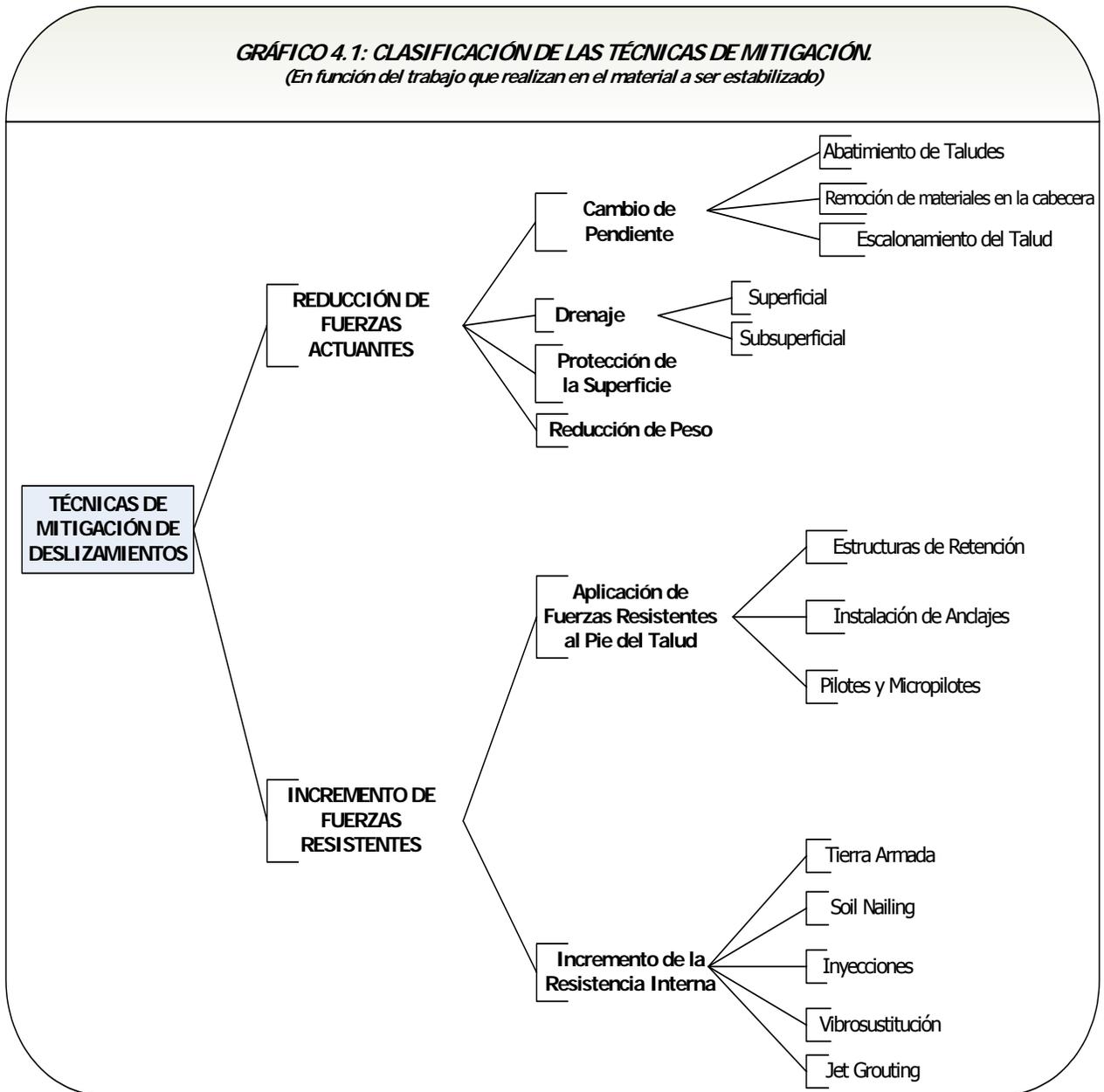
## **CAPÍTULO 4. TÉCNICAS DE MITIGACIÓN DE** **DESLIZAMIENTOS.**

### **4.1 CLASIFICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE MITIGACIÓN**

Las técnicas de mitigación de deslizamientos en taludes se suelen agrupar de acuerdo a diferentes criterios, tales como la función que realizan, su método de ejecución, etc, pero a la vez una técnica podría desempeñar más de una sola función.

Debido a esto se presenta a continuación una clasificación general de las técnicas de acuerdo a la función que desempeñan sobre el material a ser estabilizado, la cual consideramos más apropiada (Ver Gráfico 4.1):

**GRÁFICO 4.1: CLASIFICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE MITIGACIÓN.**  
(En función del trabajo que realizan en el material a ser estabilizado)



## **4.2 DESCRIPCION DE LAS TÉCNICAS DE MITIGACIÓN**

### **4.2.1 REDUCCION DE FUERZAS ACTUANTES**

Es el procedimiento por medio del cual se tiende a lograr el equilibrio de las masas del talud, reduciendo las fuerzas desestabilizadoras que producen el movimiento.

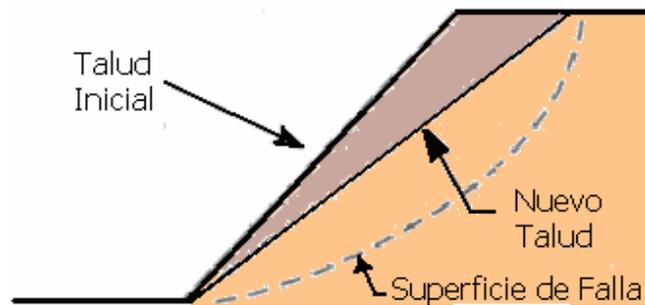
#### ***a. MODIFICACIÓN DE LA GEOMETRÍA DEL TALUD***

Mediante la modificación de la geometría de los taludes se logra redistribuir las fuerzas debidas al peso de los materiales, obteniéndose una nueva configuración más estable.

##### ***a.1 Abatimiento o cambio de pendiente de Taludes.***

El abatimiento de taludes es la modificación de su pendiente con el fin de lograr que esta sea menor para aumentar su estabilidad; este método puede ser aplicado tanto a taludes de corte como de relleno.

Este método funciona tanto para materiales sueltos como rocosos, aunque resulta más efectivo en suelos friccionantes. Su uso no es recomendado para taludes de gran altura debido al elevado costo que esto implicaría.



**Figura 4. 1. Esquema de proyección de cambio de pendiente de un 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 el factor de seguridad.

Cuando su aplicación sea en taludes de relleno el objeto del trabajo será:

- a. Aumentar la estabilidad del relleno.
- b. Alejar de la corona el pie del talud, disminuyendo el peligro de la erosión al reducir la velocidad de escurrimiento del agua.

✓ ***Abatimiento en taludes 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, y en ocasiones el abatimiento por relleno no es posible por falta de espacio en el pie del talud.

### ***Material y Equipo.***

A continuación se menciona una lista de materiales y equipos generalmente empleados en el abatimiento de taludes.

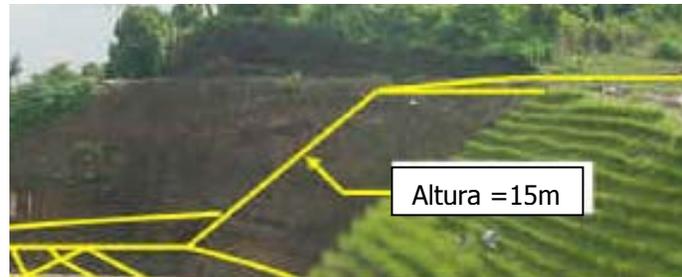
- Camiones de volteo.
- Retroexcavadora.
- Cargador.
- Compactadoras.
- Camión Cisterna.
- Equipo de topografía.
- Herramientas básicas: palas, piochas, pisones, carretillas, etc.



**Figura 4.2. Maquinaria comúnmente utilizada en los métodos de reducción de fuerzas actuantes. a) tractor, b) retroexcavadora, c) motoniveladora, d) camiones de volteo, e) mini cargador, f) pala mecánica, g) rodillo liso, h) rodillo pata de cabra, i) rodillo liso liviano, j) compactador manual (bailarina), k) perforadora y l) mezcladora.**

***Proceso Constructivo.***

1. Se inicia con el trazo del nuevo talud, haciendo las proyecciones de cómo quedará la nueva inclinación.



***Fotografía 4. 1. Proyección futura de talud por relleno, Col Las Colinas, La Libertad.***

2. Luego se comienza a escalonar el talud para la conformación de las terrazas que se van a compactar, haciendo uso del cargador (Fotografía 4. 2), de la retroexcavadora (Fotografía 4. 3) y de los camiones de volteo para el desalojo del material. Para efectuar los trabajos de mejoramiento en la estabilización de taludes será necesario desmontar el talud hasta la zona de terreno que quedará cubierta con la nueva terracería, y se deberá iniciar desde el pie del talud hacia la corona.



***Fotografías 4. 2 y 4.3: Cargador y retroexcavadora realizando trabajos para la conformación del talud, Col. Las Colinas, La Libertad.***



***Fotografía 4. 4: Conformación de futuras terrazas a compactar en talud, Col. Las Colinas, La Libertad.***

3. Posteriormente se comienza a colocar el material a emplear en el relleno, partiendo de la base hacia la cabeza; el espesor de la capa de material esparcido deberá ser adecuado al equipo de compactación y cada terraza se compactará hasta alcanzar un grado de compactación mínimo del 85% de acuerdo al ensayo proctor de comparación.
4. Al terminar el relleno del nuevo talud (Fotografía 4. 5) este debe ser afinado, proceso al que tradicionalmente se le conoce con el nombre de perfilado, el cual consiste en retirar las partículas sueltas de la superficie del talud.



***Fotografía 4. 5: Talud en proceso de perfilado, Col. Las Colinas, La Libertad.***

✓ ***Abatimiento de taludes por corte.***

La operación de abatir taludes por medio de cortes es una labor difícil y costosa, por lo que para su ejecución deberá estudiarse a fondo el problema; datos como la frecuencia, número y volumen de los derrumbes, pueden normar el criterio para proceder a la ejecución.

Este método es aplicado con mayor éxito en deslizamientos en el cuerpo del talud, aunque su eficiencia no es de alcance universal, ya que se debe tener presente que el comportamiento del talud abatido es diferente al original, por lo que con los resultados del factor de seguridad determinado se deberá hacer un nuevo análisis de estabilidad del talud abatido.

Si el terreno que constituye el talud es clasificado como suelo puramente friccionante, la estabilidad aumenta con la inclinación del talud; pero si el suelo es cohesivo los beneficios de este método serán escasos ya que la estabilidad de estos taludes está condicionada por la altura de los mismos. En suelos cohesivos y friccionantes el abatimiento de taludes produce un aumento de la estabilidad en general.

### ***Material y Equipo.***

A continuación se menciona una lista de materiales y equipos generalmente empleados en el abatimiento de taludes por corte:

- Camiones de volteo.
- Tractor
- Retroexcavadora.
- Cargador.
- Compactadoras.
- Camión Cisterna.
- Equipo de topografía.
- Herramientas básicas: palas, piochas, pisones, carretillas, etc.

### ***Proceso Constructivo.***

1. Se establece en campo las dimensiones del corte a realizar en el talud.
2. Luego se procede a la disminución de la pendiente empleando una retroexcavadora para alturas de taludes de hasta 25m. (Según Ing. Palma, NHA Cía. de Ingenieros). Al contrario del abatimiento de taludes por relleno, en los de corte se inicia en la cabeza del talud con el proceso.
3. Al finalizar se procede al afinado del talud.



*Fotografía 4. 6: Proceso de abatimiento en taludes de Corte,  
Col. Las Colinas, La Libertad*

✓ *Abatimiento de taludes en rocas o suelos duros.*

*Uso de explosivos.*

La superficie de falla sobre la cual ocurre un deslizamiento es de una profundidad considerable; el caso típico de este fenómeno es el de una masa de suelo cohesivo que desliza sobre mantos de roca o suelos mucho más duros. Este tipo de contactos constituyen también una superficie potencial de deslizamiento.

En tales situaciones se ha recurrido a veces a utilizar explosivos para romper y hacer rugosa la superficie de contacto de tal manera que se proporciona un mejor agarre entre los dos materiales en contacto.

En la utilización de este método debe cuidarse el manejo de los explosivos, ya que de otra manera se corre el riesgo de que la explosión acelere el deslizamiento sobre cualquier superficie previamente formada, o lo genere sobre una superficie potencial. Los explosivos se pueden usar también en derrumbes y caídas, pero no como método de corrección, sino de remoción. Este método se usa principalmente en canteras.

Es probable que el aspecto más sugestivo del uso de explosivos sea su costo, que suele ser muy inferior al de otras soluciones, al grado que aún suele ser ventajoso económicamente un programa que incluya varias aplicaciones sucesivas del procedimiento a lo largo de varios años.

La ejecución de este método consiste en la fracturación de la roca y en la construcción de cortes finales estables en la misma, utilizando *voladura controlada* y técnicas de *voladura para producción*. La voladura controlada utiliza explosivos para producir planos de corte en la roca a lo largo de superficies específicas. La voladura de producción utiliza explosivos para fracturar la roca.

### ***Material y Equipo***

- Explosivos y accesorios de voladura.

- Barrenos rotativos u otro equipo similar de perforación.
- Cargador.
- Camión de volteo.
- Equipo topográfico.
- Equipo de seguridad personal (guantes, lentes, etc.)

### ***Plan de voladura.***

Se debe realizar un plan de voladura por lo menos dos semanas antes del inicio de las operaciones de perforación o cuando haya un cambio en los procedimientos propuestos de perforación o voladura. Se deben incluir los detalles completos de los patrones de perforación y voladura, así como las técnicas que se proponen para la voladura controlada y de producción incluyendo las previsiones para introducir los explosivos dentro de los agujeros bajo el nivel de agua.

El plan de voladura debe contener como mínimo:

- a) Máxima longitud y ancho del área de voladura, así como profundidad de la detonación.
- b) Planta típica y sección del patrón de perforación para las perforaciones de voladura controlada y agujeros de voladura de producción. Se debe mostrar la cara libre, sobrecarga de terreno, diámetros de agujeros,

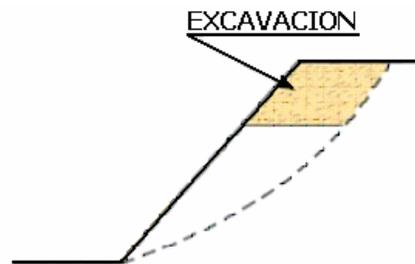
profundidades, espaciamentos, inclinaciones y profundidad de perforación adicional, si es necesario.

- c) Patrón de carga, usando un diagrama que muestre:
- Localización de cada agujero
  - Localización y cantidad de cada tipo de explosivo en cada agujero, incluyendo fulminantes e iniciadores.
  - Localización, tipo y profundidad del retaque.
- d) Información del fabricante para todos los explosivos, fulminantes, iniciadores y otros aparatos usados en la voladura.
- e) Procedimientos de trabajo y medidas de seguridad para almacenamiento, transporte, y manipulación de explosivos.
- f) Procedimientos de trabajo y medidas de seguridad para realizar las voladuras.
- g) Un control de calidad y con el propósito de disponer de un sistema de registros.

### ***a.2 Remoción de Materiales de la Cabecera.***

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, y es muy efectivo

en la mitigación de deslizamientos rotacionales, aunque si los movimientos son muy grandes la masa a remover será de gran magnitud (Ver Figura 4. 3).



*Figura 4. 3: Área de remoción de material en la cabecera de un talud.*

La cantidad de material a remover y el equipo que se requiere, dependen del tamaño y características del movimiento así como de la geotecnia del sitio. (Ver Fotografía 4. 7)



*Fotografía 4. 7: Descabezamiento de Talud en Av. Juan Pablo II*

Antes de iniciar el proceso de corte debe calcularse la cantidad de material que se requiere remover con base en un análisis de estabilidad y para un factor de seguridad propuesto. El cálculo se realiza generalmente por un sistema de

ensayo y error. Finalmente la efectividad técnica del sistema y el factor económico van a determinar su viabilidad.

### ***Material y Equipo.***

A continuación, una lista de materiales y equipos generalmente empleados en la remoción de material en la cabecera de taludes:

- Camiones de volteo.
- Retroexcavadora.
- Cargador.
- Compactadoras.
- Camión Cisterna.
- Equipo de topografía.
- Herramientas básicas: palas, piochas, pisones, carretillas, etc.

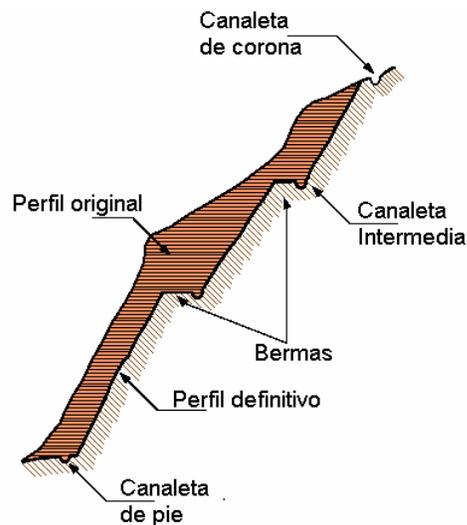
### ***Proceso constructivo.***

1. Se establecen en campo las dimensiones del corte a realizar en el talud.
2. Luego se procede a la remoción del material de la cabeza, haciendo uso de una retroexcavadora. Dependiendo de la topografía y de las dimensiones del talud, se puede emplear el tractor en el proceso de corte.
3. Se retiran las partículas sueltas sobre el talud (proceso de perfilado).

4. Posteriormente, se procede al desalojo del material de la zona empleando cargadores y camiones de volteo para tal fin.

### ***a.3 Escalonamiento del Talud***

El escalonamiento de taludes consiste en la construcción de descansos planos en las zonas medias de los taludes conocidas con el nombre de "bermas". Se llama berma a las masas de tierra que se cortan o compactan adecuadamente en el lado exterior del talud, con el fin de mejorar su estabilidad; para su construcción generalmente se usan materiales similares a los del talud que se trata de mejorar.



***Figura 4. 4: Conformación de bermas por medio del corte de material exterior del talud.***

La berma ayuda a la estabilización de un talud en base a su propio peso. Para su diseño no existen reglas fijas en cuanto a sus dimensiones, sino que estas se calculan por medio de aproximaciones sucesivas.

Este tipo de medida suele decidirse antes de la conformación del talud; dado que las bermas sirven también para retener bloques que se desprendan y roturas locales del talud, para instalación de medidas de drenaje y acceso para las obras de saneamiento y control del talud. Además el escalonamiento del talud, con la construcción de bancos y bermas contribuye a evitar que se produzcan roturas superficiales que afecten a todo el frente del talud.



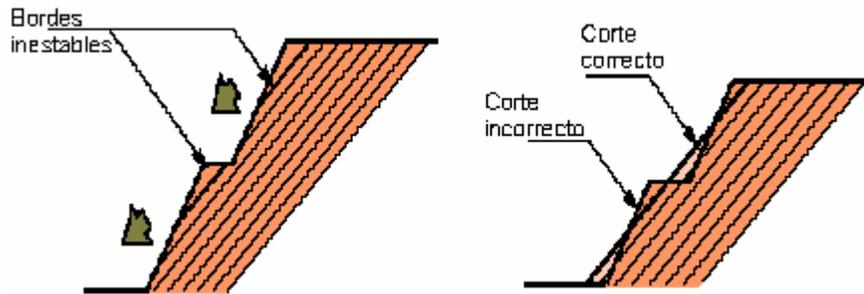
***Fotografía 4. 8: Berma conformada en talud, contiguo al Instituto Emiliani, Antigua Cuscatlán.***

Al construir las bermas, el talud puede quedar dividido en varios taludes de comportamiento independiente, los cuales a su vez deben ser estables. El efecto

de las bermas es el de disminuir las fuerzas actuantes en la zona más crítica del talud, 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.

El terraceo se puede realizar a un talud 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 subsuperficial es usualmente el menos resistente. Las terrazas generalmente, son muy útiles para el control de las 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.



**Figura 4. 5: Forma adecuada de realizar el corte en talud, paralelamente a la topografía del mismo.**

*Criterios generales en el diseño de bermas y pendientes.*

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

1. Formación Geológica

A mayor competencia de la roca se permiten mayores pendientes y mayores alturas. Las areniscas, calizas y rocas ígneas duras y sanas permiten taludes casi verticales y grandes alturas. Los esquistos y lutitas no permiten taludes verticales.

2. 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 se permiten alturas entre bermas superiores a 7 metros y requieren anchos de berma de un mínimo de 4 metros.

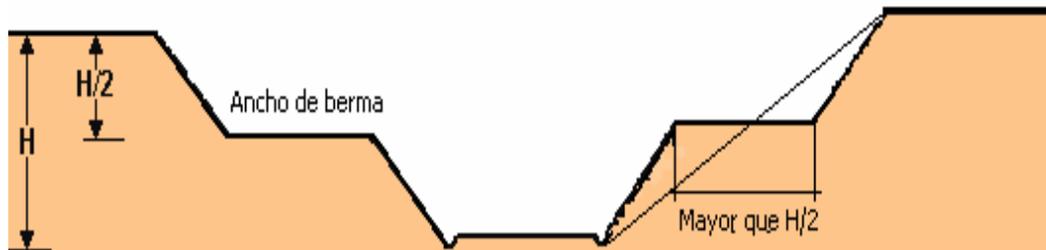
Para cortes en materiales meteorizados, la pendiente en la parte más profunda del corte permite ángulos superiores a la cabeza del talud. Se recomienda para cortes de gran altura establecer ángulos de pendiente diferentes para el pie y la cabeza del corte adaptándolos a la intensidad del proceso de meteorización.

### 3. Microestructura y estructura geológica

A menos que las discontinuidades se encuentren bien cementadas las pendientes de los taludes no deben tener ángulos superiores al buzamiento de las diaclasas o planos de estratificación. Entre menos espaciadas estén las discontinuidades se requieren pendientes menores en el talud. Para materiales muy fracturados se requieren taludes, alturas y bermas similares a los que se recomiendan para materiales meteorizados.

### 4. Minerales de arcilla.

Los suelos que contengan cantidades importantes de arcillas activas, tipo Montmorillonita, requieren de pendientes de talud inferiores a 2H:1V. Los suelos con Caolinita permiten generalmente, taludes hasta 1H: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.



*Figura 4. 6. Escalonamiento en taludes en suelos cohesivos.*

#### 5. Niveles freáticos y comportamiento hidrológico

Los suelos saturados no permiten taludes superiores a 2H:1V a menos que tengan una cohesión alta.

#### 6. Sismicidad.

En zonas de amenaza sísmica alta no se deben construir taludes semiverticales o de pendientes superiores a 1/2H:1V, a menos que se trate de rocas muy sanas.

#### 7. 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.

#### 8. Elementos en riesgo

Los taludes con riesgo de vidas humanas deben tener factores de seguridad muy altos.

### ***Material y equipo.***

A continuación una lista de materiales y equipos generalmente empleados en el escalonamiento de taludes.

- Camiones de volteo.
- Retroexcavadora.
- Cargador.
- Compactadoras.
- Equipo de topografía.
- Herramientas básicas: palas, piochas, cintas, carretillas, etc.

### ***Proceso constructivo.***

1. Se establecen en campo las dimensiones del corte a realizar en el talud.
2. Luego se establecen las dimensiones a proporcionarles a las bermas, midiendo cada tramo para verificar un adecuado dimensionamiento.

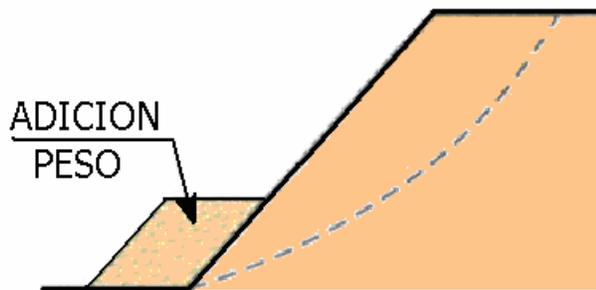


***Fotografía 4.9: Medición en campo para la conformación de bermas, talud contiguo al Instituto Emiliani, Antigua Cuscatlán.***

3. Posteriormente se procede al corte del material.
4. Finalmente, se procede al desalojo del material de la zona empleando cargadores y camiones de volteo para tal fin.

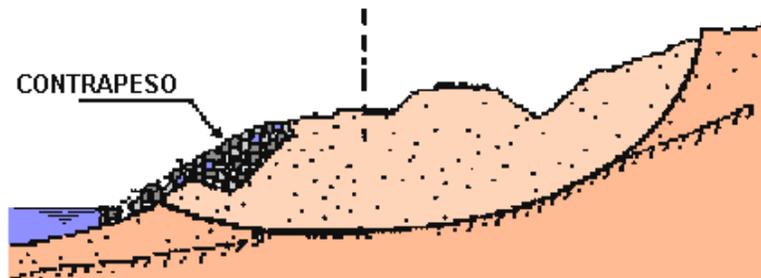
#### **a.4 Empleo de Contrapesos al Pie del Talud.**

Al colocarle carga adicional a la base de un talud con una inestabilidad de deslizamiento de tipo rotacional se genera un momento en dirección contraria al movimiento, el cual produce un aumento en el factor de seguridad (Ver Figura 4. 7).



*Figura 4. 7: área de colocación de material al pie del talud*

El efecto del sistema de contrapeso es el de hacer que el círculo crítico en la parte inferior del talud se haga más largo. (Figura 4. 8). Los contrapesos pueden ser estructuras con un muro de contención o rellenos de tierra armada, llantas, etc.



*Figura 4. 8. Colocación de Contrapeso en talud*

Se debe hacer un análisis del peso requerido para lograr un factor de seguridad determinado. La adecuada cimentación de estos contrapesos debe ser requisito para que el sistema sea exitoso.

Las bermas o contrabermas son usadas para colocar una carga al pie de un terraplén sobre suelo blando y en esta forma aumentar la resistencia abajo del pie. La berma se coloca en el área que de acuerdo al análisis de estabilidad se puede levantar.

La contraberma debe diseñarse de tal forma que sea efectiva para garantizar la estabilidad del terraplén principal y que al mismo tiempo sea estable por sí misma. El efecto de la contraberma es crear un contrapeso que aumente la longitud y profundidad del círculo crítico de falla.

Una apropiada forma de la superficie de falla (de preferencia que tienda a elevarse bajo el contrapeso) y que el terreno en la zona de colocación tenga suficiente resistencia para soportar el peso que se le impone, son probablemente las dos condiciones básicas para que pueda pensarse en el empleo de esta solución.

***Material, equipo y procedimiento.***

Se pueden generalizar como los procesos empleados en los de abatimiento de taludes de relleno, con la única diferencia que sólo se realizan en el pie del talud.

***b. SISTEMAS DE DRENAJE.***

Las medidas de drenaje tienen por finalidad eliminar o disminuir el agua presente en el talud y, por tanto, las presiones intersticiales que actúan como factor desestabilizador en las superficies de rotura y grietas de tracción. Estas medidas son generalmente las más efectivas, ya que el agua es el principal agente desencadenante de los problemas de inestabilidad en taludes, aumentando el peso de la masa inestable, elevando el nivel freático y las

presiones intersticiales, creando empujes hidrostáticos, reblandeciendo el terreno, erosionándolo, etc.

### ***b.1 Drenaje Superficial.***

Se llama drenaje superficial a todas las obras civiles que captan el agua que corre por la superficie para conducirlos a lugares donde por su propia ubicación ya no es considerada como dañina a la estabilización de un talud.

Los drenajes superficiales deben ser diseñados para evitar la llegada y acumulación de agua en el talud, sobre todo en la zona de la cabecera y en el caso de taludes escalonados, en las bermas, ya que es frecuente que se produzcan encharcamientos en la época de lluvia en estas zonas planas.

Al construir un drenaje se debe de constatar que el diseño y el procedimiento de ejecución sean los adecuados, para evitar en lo posible problemas como los mostrados en la Fotografía 4. 10.



**Fotografía 4. 10: Erosión de talud bajo una medida de drenaje superficial (canal de concreto) Calle El Carmen, Col. Escalón.**

Las principales obras de drenaje superficial son:

- b.1.1 cunetas
- b.1.2 contracunetas
- b.1.3 cajas

***Material y equipo.***

El material y equipo a utilizar es el mismo para cada uno de los elementos, ya sea cuneta, contracuneta o caja.

- Concreto
- Tuberías de concreto.
- Capa de base
- Relleno de juntas
- Mortero
- Acero de refuerzo

- Compactadoras manuales
- Cortadora de concreto
- Palas y piochas
- Retroexcavadora

### **b.1.1 Cunetas.**

Las cunetas son las zanjas de sección determinada construidas a uno o ambos lados de la corona de un talud en los cortes. (Ver Fotografías 4.11 y 4. 12). También se pueden definir como un conducto abierto, revestido o no revestido, que sirve para conducir aguas de plataforma a las cajas, puede ser de sección triangular, trapezoidal, rectangular y semicircular.



***Fotografías 4.11 y 4.12: Construcción de cunetas en bermas y en la corona de un talud, utilizando elementos prefabricados de concreto.***

### ***Proceso constructivo.***

1. Se inicia haciendo la proyección en campo de donde se construirá la cuneta. Ver fotografía 4.13.



***Fotografía 4.13: Proyección de futura canaleta,  
Col. Las Colinas, La Libertad.***

2. Luego se realizará la excavación para la conformación del canal.
  - ✓ Las cunetas se pueden construir a mano o por medios mecánicos (niveladora). Cuando las cunetas están sujetas a erosión se usa un revestimiento. El revestimiento de las cunetas puede hacerse utilizando diferentes materiales que van desde boleos o cantos rodados, ligados con mortero arena-cal, o arena-cemento, hasta placas de concreto hidráulico prefabricadas o coladas en el lugar.
  - ✓ La construcción de elementos superficiales se realizará siempre del desagüe hacia aguas arriba, evitando especialmente la formación de encharcamientos en puntos intermedios.
  - ✓ Durante la construcción de cunetas revestidas se tomarán las medidas oportunas para impedir erosiones antes de colocar el revestimiento.
  - ✓ Se evitará la erosión de los taludes, dando salida provisional al agua en los mismos puntos en que se construirán las bajadas definitivas.

3. Posteriormente se procede a la colocación de la capa de base, la cual debe estar limpia y humedecida y se compacta.



*Fotografía 4. 14. Compactación del material base de la cuneta.*

4. Colocación de encofrado, si se construirá la cuneta in-situ, en caso contrario se procede al cortado y colocado de tubería (si es prefabricada).
5. Colado de concreto o ubicación y pegado de secciones de canal prefabricado, cuyas juntas deberán tener de 10 a 25 milímetros de ancho y deberán ser rellenadas con mortero. (Según Especificación 609 de la Secretaría de Integración Económica Centroamericana, SIECA). En las Fotografías 4.15 y 4.16 se puede observar el proceso de colocación de canal prefabricado que consiste en la mitad de una tubería pvc circular de 48" de diámetro y construcción in situ de una cuneta.



***Fotografía 4. 15: Colocación de cuneta circular prefabricada,  
Col. Las Colinas, La Libertad.***



***Fotografía 4. 16: Construcción de cuneta rectangular de concreto "in situ",  
Col. Las Colinas, La Libertad.***

6. Curado y acabado final del sistema de drenaje. Se acabará el concreto en forma lisa y pareja con una llana de madera y se terminará con cepillo. Se dejarán los encofrados en su sitio durante 24 horas, o hasta que el concreto haya fraguado lo suficiente, de tal manera que los encofrados pueden ser removidos sin dañar el cordón.

### ***b.1.2 Contracunetas.***

Las contracunetas son zanjas, generalmente paralelas al eje de la carretera, construidas a una distancia mínima de 1.50 metros de la parte superior de un talud en corte. Su sección transversal es variable, siendo comunes las de forma triangular o cuadrada. Su ubicación, longitud y dimensiones deben ser indicadas por personal con experiencia en el campo de las carreteras.



***Fotografía 4. 17: Contracuneta en base de talud,  
Col. Las Colinas, La Libertad.***

Se acostumbra a construir las contracunetas cuando el agua que llega al talud es abundante, y para taludes que sobrepasan los 4 metros de alto. Las contracunetas tienen la función de evitar que las aguas superficiales se desplacen por el talud de corte, erosionando y recargando a su vez la capacidad de la cuneta.

### ***Proceso constructivo.***

1. Se inicia realizando la proyección en campo de la línea de construcción de la contracuneta.
2. Luego se realiza la excavación para la conformación de la contracuneta en el talud.
3. Las contracunetas se pueden construir a mano o por medios mecánicos. Cuando las contracunetas estarán sujetas a erosión se usa un revestimiento. El revestimiento de las contracunetas puede hacerse utilizando diferentes materiales que van desde boleos o cantos rodados ligados con mortero arena-cal o arena-cemento, hasta placas de concreto hidráulico prefabricadas o coladas en el lugar.
4. Luego se procede a tomar medidas oportunas para impedir erosiones antes de colocar el revestimiento.
5. Posteriormente se procede a la colocación de la capa de base, la cual debe estar limpia y humedecida para su posterior compactación.
6. A continuación se procede al encofrado y colado de concreto o a la ubicación y pegado de secciones de canal prefabricado. Las juntas deberán tener de 10 a 25 milímetros de ancho.
7. Se realiza el afinado y acabado de la contracuneta, para garantizar el flujo libre del agua.

### ***b.1.3 Cajas.***

Son estructuras hechas de material resistente, ya sea de mampostería o concreto, que tienen por finalidad cambiar la dirección del agua que conduce una cuneta o contracuneta. (Ver Fotografía 4. 18)



***Fotografía 4. 18: Caja generando cambio de dirección de flujo de agua en talud, Col. Las Colinas, La Libertad.***

### ***Proceso constructivo.***

1. Se procede a la ubicación en campo de la caja, en donde exista un cambio en la dirección de la cuneta o contracuneta.
2. Se realiza la excavación en el sitio, ya sea manual o mecánicamente.
3. Posteriormente se construye una capa base, empleando material que posea características adecuadas para compactar (principalmente sin presencia de materia orgánica).
4. Se encofra el sitio a colar, o se preparan los materiales de mampostería.
5. Se procede al colado, afinado y acabado final de la caja. Ver fotografía 4.19.



*Fotografía 4. 19: Caja de concreto terminada en talud,  
Km. 12 Carr. a La Libertad.*

### ***b.2 Drenaje subterráneo o subdrenaje.***

El drenaje subterráneo en un talud se proyectará para controlar y/o limitar la humedad de la superficie y de los diversos elementos de un talud.

Sus funciones son las siguientes:

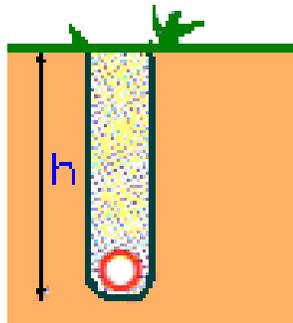
- Interceptar y desviar corrientes subterráneas.
- Hacer descender el nivel freático.
- Sanear las capas del talud, de material suelto y basura.

Un eficaz sistema de drenaje está compuesto por tres elementos básicos: el drenante, que capta y conduce las aguas de infiltración/percolación, saneando el suelo; el filtrante, que impide el arrastre de partículas de suelo para el interior

del elemento drenante, lo que provocaría su colmatación y consecuente pérdida de flujo y un colector, que conduce el agua drenada para la descarga.

### ***b.2.1 Drenaje longitudinal de zanja.***

Son estructuras que consisten en una zanja cuya profundidad oscila generalmente entre 1.00 a 1.5 metros rellenas de un material filtrante debidamente compactado y provistas de un tubo perforado en su fondo que colecta el agua y por gravedad la conduce a lugares donde la descarga no ocasione peligro.



***Figura 4. 9: Detalle Transversal de un drenaje longitudinal de Zanja.***

Lo que se pretende al hacer uso de estas estructuras es dar protección a los taludes mediante la acción de interceptar el flujo de las aguas subterráneas que en muchos casos proviene del nivel freático. Ver fotografía 4.20.



***Fotografía 4. 20: Zanja para la colocación de tubería de un drenaje longitudinal.  
Tomado de libro "Ingeniería Geológica".***

Se debe definir el trazado y las características geométricas de las zanjas drenantes, ya que se pueden ubicar bajo cunetas revestidas siempre que se adopten medidas para que no se produzcan filtraciones bajo las mismas. Cuando el trazo en planta de una zanja drenante y de un colector coincidan, este último se situará en general en la parte inferior de la zanja, bajo la tubería drenante.

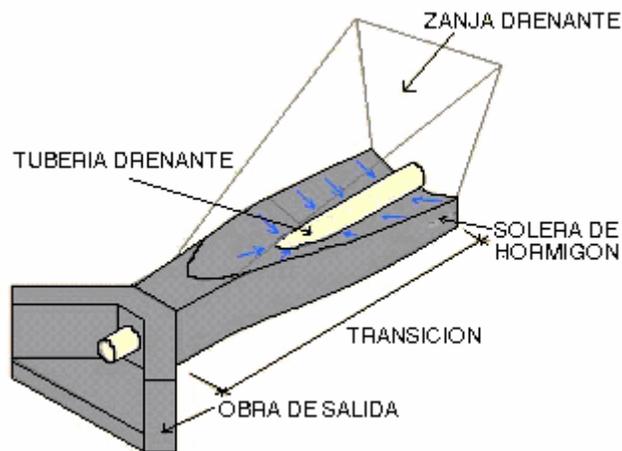
El colector se dejará embebido en una sección de hormigón que sirva a la vez de solera a la tubería drenante. La distancia entre arquetas o pozos de registro recomendada es menor a cincuenta metros (50 m).

Se utilizarán geotextiles para la función de separación filtro del agua drenada. Salvo justificación expresa en contra del proyecto, las zanjas se proyectarán con

tubería drenante en el fondo, la cual resulta muy conveniente para canalizar las aguas captadas y posibilitar los trabajos de limpieza y conservación.

El proyecto deberá estudiar la estabilidad local de la zanja y global de las obras, antes, durante y después de su construcción.

Una vez en el pozo de registro o arqueta, las aguas se evacuarán a cauce natural, al sistema de drenaje superficial cuando estuviera previsto, o a colectores.



**Figura 4. 10. Esquema de desagüe directo de una zanja drenante**

Cuando en las operaciones de inspección y limpieza en zanjas drenantes, se detecten fugas o roturas en el sistema, se deberá proceder -siempre que sea posible- a la apertura de la zanja, la extracción y sustitución de los elementos inutilizados, y la posterior restitución del sistema a su estado inicial.

Asimismo deberá tenerse en cuenta que las zanjas drenantes constituyen recintos subterráneos de elevada porosidad y permeabilidad, que en caso de fallo del sistema de desagüe, podrían saturarse produciendo acumulaciones de agua indeseables.

En la terminación de la zanja drenante se proyectará una transición geométrica en la que la parte superior se acerque a la inferior que deberá estar impermeabilizada, hasta quedar la sección reducida al propio tubo embebido preferiblemente en hormigón. Asimismo se proyectará una solera y embocadura en la sección de vertido, adecuada a los trabajos de limpieza y conservación previstos.

### ***Material y Equipo.***

- Tuberías perforadas, con juntas abiertas o porosas.
- Palas.
- Piochas.
- Cintas métricas.
- Compactadora manual.

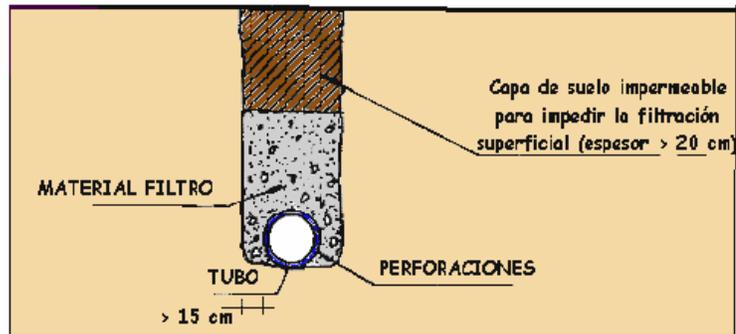
### ***Proceso constructivo.***

1. Se inicia realizando las mediciones y proyecciones necesarias sobre el terreno inalterado.

2. Una vez efectuado el trazo de las zanjas, se procede a realizar las obras de excavación. La excavación continuará hasta llegar a la profundidad señalada en el proyecto y obtenerse una superficie firme y limpia a nivel o escalonada.
3. Se vigilarán con detalle las franjas que bordean la excavación, especialmente si en su interior se realizan trabajos que exijan la presencia de personas.
4. Se tomarán las precauciones necesarias para impedir la degradación del terreno de fondo de la excavación durante el intervalo de tiempo entre la excavación y la ejecución de la cimentación u obra de que se trate.
5. No se depositará el material procedente de la excavación en cursos de agua. Asimismo, no se acopiará el material excavado a menos de sesenta centímetros (60 cm.) del borde de la excavación.
6. Una vez abierta la zanja de drenaje, el lecho de asiento se compactará, si fuese necesario, hasta conseguir una base de apoyo firme en toda la longitud de la zanja y tendrá la debida pendiente, recomendando un valor de 0.5 % como mínimo.
7. Luego se procede a la colocación de la tubería, para lo cual se tienden en sentido ascendente, con las pendientes y alineaciones indicadas en los planos.
8. Si la tubería se coloca sobre un lecho de asiento impermeable, la zanja se rellenará a uno y otro lado de los tubos con el material impermeable que se utilizó en su ejecución hasta llegar a cinco centímetros (5 cm.) por debajo

del nivel más bajo de las perforaciones, en caso de que se empleen tubos perforados, o hasta la altura que marquen los planos, si se usan tubos con juntas abiertas. Si se emplean tubos porosos, el material impermeable se limitará estrictamente al lecho de asiento.

9. A partir de las alturas indicadas, se proseguirá el relleno con material drenante hasta la cota fijada.
10. En el caso de que el lecho de asiento sea permeable, una vez colocada la tubería la zanja se rellenará con material drenante. En el caso de una tubería de juntas abiertas dichas juntas deberán cerrarse en la zona de contacto con su lecho de asiento.
11. Antes de proceder a realizar la compactación se comprobará que el material a utilizar es homogéneo y que su humedad es la adecuada para evitar la segregación durante su puesta en obra y para conseguir el grado de compactación exigido.
12. La parte superior de la zanja se rellenará con material impermeable, cuando no lleve inmediatamente encima cuneta de hormigón ni capa drenante del firme, para impedir la colmatación por arrastres superficiales y la penetración de otras aguas diferentes de aquellas a cuyo drenaje está destinada la zanja.
13. Es importante recalcar que durante la compactación se cuidará especialmente de no dañar los tubos ni alterar su posición.



*Figura 4.11. Esquema constitutivo de un dren subterráneo tipo zanja.*

#### Drenes de penetración transversal.

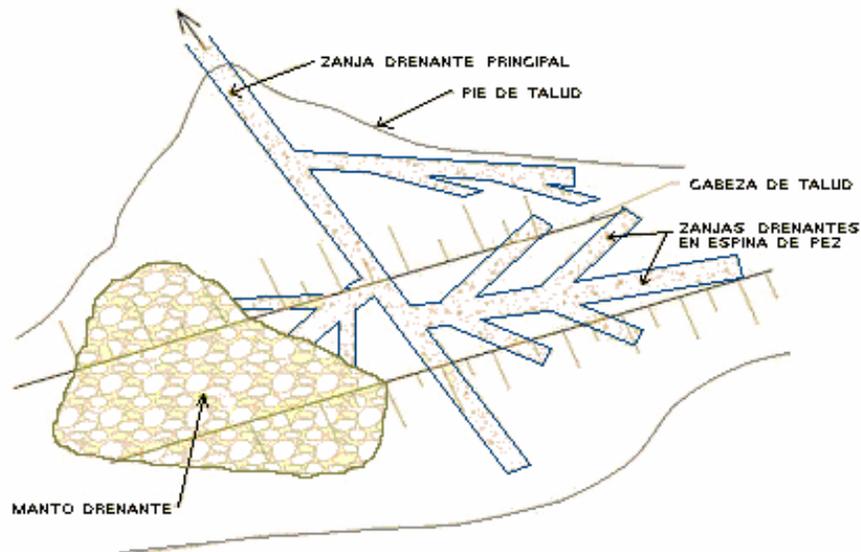
Los drenes de penetración transversal son estructuras de subdrenaje que responden a la necesidad de abatir el interior de los taludes de corte y las presiones generadas por el agua que sean capaces de provocar la falla por corte. Consiste básicamente en un sistema de tubos perforados. Este tipo de drenes es generalmente de 10 m. de longitud, pero en masas de suelo con difícil comunicación interna pueden colocarse a 5m. Estos tubos son colocados con pendientes que oscilan entre el 5% al 20% inclinados hacia la vía. En la Fotografía 4. 21 se muestra un ejemplo de drenes transversales al talud.



***Fotografía 4. 21. Ejemplo de un sistema de drenes transversales, tomado del libro "Ingeniería Geológica".***

#### *Drenes en espina de pez*

Para la captación de un conjunto localizado de manantiales, los mantos drenantes pueden sustituirse por una red, generalmente arborescente o con forma de espina de pez, constituida por zanjas drenantes que confluyen a una principal que funciona como emisario y que, normalmente, alojará tubería drenante y colector en su interior. Los entronques deberán definirse en el proyecto, mediante piezas especiales entre tuberías, transiciones entre zanjas, arquetas, etc.



*Figura 4. 12: Detalle de ubicación de drenes en espina de pez en un talud.*

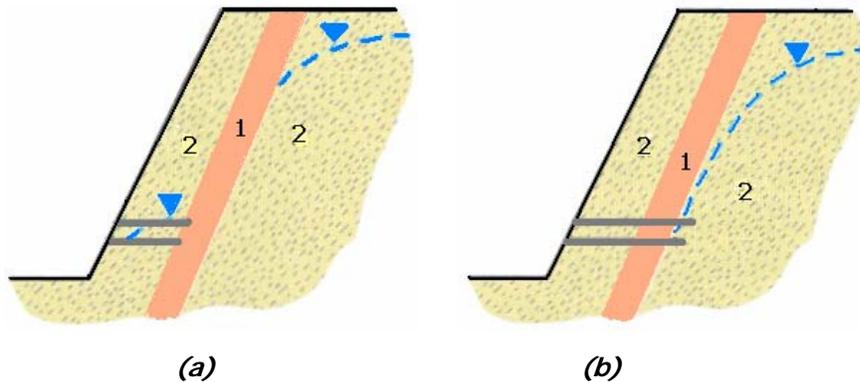
El trazo de esta red se determinará de acuerdo con la ubicación de los manantiales o afloramientos que hubieran de captarse en cada caso, pudiendo combinarse los drenes en espina de pez con los mantos drenantes. En la Figura 4. 12 se muestra un manto drenante en combinación con el dren espina de pez.

### ***b.2.2 Subdrenes horizontales.***

En años recientes los diámetros pequeños en subdrenes superficiales se han vuelto muy comunes en la estabilización de deslizamientos, como es el caso de los túneles de subdrenaje. Estos son instalados en primera instancia como medida correctiva y aunque estos son usados para este propósito, los subdrenes horizontales son ahora principalmente instalados como método preventivo en

taludes inestables. Son muy efectivos para interceptar y controlar aguas subterráneas relativamente profundas. Para su ejecución se requieren equipos especiales de perforación y su costo puede ser alto.

Aunque estos drenes son comúnmente llamados drenes horizontales, éstos en realidad son subhorizontales, ya que son típicamente instalados en taludes formando aproximadamente 2 a 5 grados con respecto a la horizontal. Un ejemplo de estos, son los drenes californianos.



**Figura 4. 13. Esquemas de colocación de sistemas de drenes horizontales:  
a) Inadecuado, b) adecuado**

En la Figura 4. 13 se muestran ejemplos de drenes horizontales inadecuados y adecuados, donde el suelo 1 es poco permeable ( $10^{-7}$  cm/s) y el suelo 2 es un material permeable ( $10^{-3}$  cm/s).

### ***Material y Equipo.***

- Tubería de acero corrugada, con recubrimiento metálico.
- Tubería de polietileno.
- Tubería de cloruro de polivinilo (PVC).
- Tubería de acero.
- Geotextil.
- Compactador manual o vibratorio.
- Equipo de rotación.

### ***Proceso constructivo.***

1. Se proveerá tubería perforada, con 2 filas de perforaciones, cortadas en la circunferencia de la tubería sobre dos de tres segmentos a 120 grados. Se harán perforaciones de 0.5 milímetros de diámetro, con una abertura total de perforaciones igual a 4200 milímetros cuadrados por metro de tubería.
2. Los puntos de instalación de los drenajes horizontales, mostrados en planos, son aproximados. Las ubicaciones exactas, se determinarán en el campo.
3. Se perforarán agujeros con un equipo de rotación capaz de perforar agujeros de 75 a 150 milímetros de diámetro, en suelo o roca (Ver Fotografía 4. 22).



***Fotografía 4. 22. Máquina perforadora para la instalación de drenajes horizontales en taludes, tomada de libro "Ingeniería Geológica".***

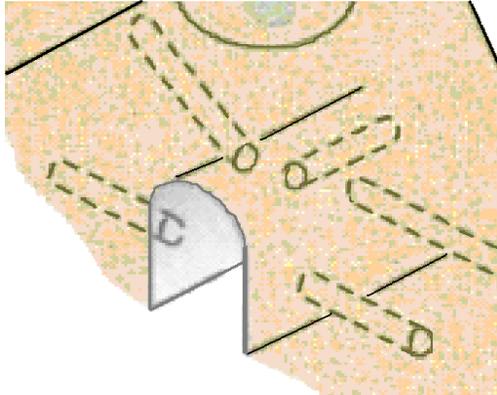
4. Se determinará la elevación del final de arriba del agujero del drenaje horizontal completo, insertando tubos y midiendo el nivel del líquido, o por otros medios satisfactorios.
5. Se botará el agua de perforación en tal forma que no contamine la superficie de los drenajes superficiales.
6. Se sellará la entrada de la tubería perforada con un tapón que no se extienda más de 150 milímetros del final de la tubería. Se insertará la tubería dentro del agujero del barreno, con las perforaciones hacia arriba.
7. Se secarán los barrenos de tal forma que el agujero perforado quede totalmente encamisado con la tubería perforada. Se conectarán tuberías adicionales, según sea necesario, para formar un conducto continuo.
8. Se usará tubería sin perforar, por lo menos en los 3 a 6 metros finales de salida.

9. Se sellará el espacio entre el agujero perforado y la tubería sin perforar, en por lo menos los 3 metros finales de salida, con un material impermeable aprobado.
10. Se fijará la tubería de salida, a las salidas de todos los drenes horizontales, por medio de piezas en T o codos. Se instalará un sistema colector.

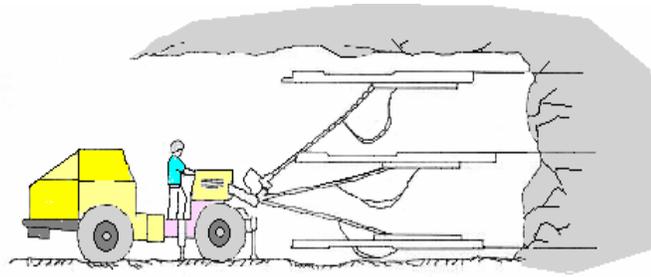
### ***b.2.3 Galerías o túneles de subdrenaje.***

Son galerías con excavaciones generalmente subhorizontales en el terreno natural, dotadas de dispositivos de captación y evacuación de aguas subterráneas. Son efectivas para estabilizar deslizamientos profundos en formaciones con permeabilidad significativa y aguas subterráneas.

Cuando la profundidad del agua superficial es muy grande, las trincheras o pozos drenantes son extremadamente caros, por lo que se recurre al uso de túneles drenantes tal como los ejemplos mostrados en las Figuras 4.14 y 4.15.

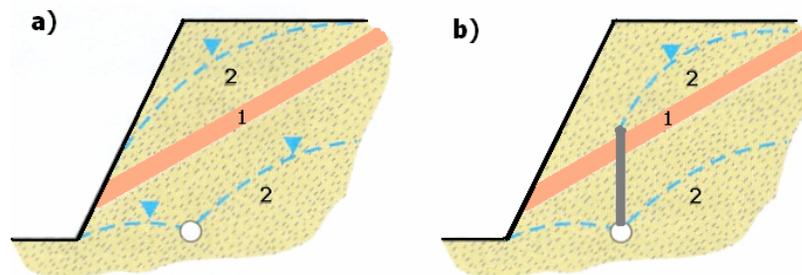


*Figura 4. 14. Esquema de captación de las galerías de drenaje en un talud.*



*Figura 4. 15, Instalación de galerías de drenaje haciendo uso de carro de perforación con sistema de inyección de agua.*

Aunque originalmente es un tratamiento correctivo, los túneles drenantes son algunas veces construidos como medida preventiva. En algunos casos la gravedad puede ser insuficiente para posibilitar el drenaje, por ese motivo el bombeo quizás sea requerido.



**Figura 4. 16. a) Galería de drenaje inadecuada., b) Galería con drenaje vertical adecuada, donde: 1. Material poco permeable (10-7cm/s)  
Y 2. Material permeable (10-3cm/s).**

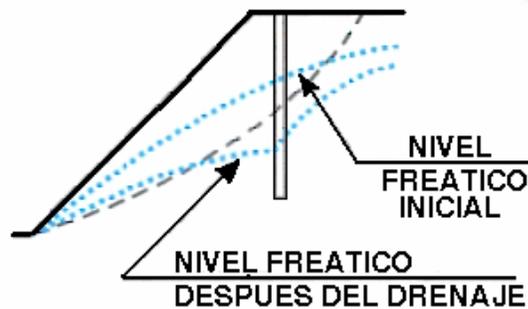
***Proceso constructivo.***

1. Las galerías drenantes son obras poco frecuentes, por lo que primeramente se debe tener un buen conocimiento previo de la estructura geológica y del comportamiento hidrogeológico de la zona; su éxito depende en buena medida de tal conocimiento.
2. Las galerías se proyectarán para favorecer la estabilización de taludes, procurando la interceptación de las aguas subterráneas, el rebajamiento de los niveles freáticos y la disminución de las presiones intersticiales en el interior de los terrenos en cuestión.
3. Se debe definir, en función de las características geológicas y geotécnicas del talud, al menos el trazado en planta y alzado de la galería, su sección transversal, el procedimiento constructivo a emplear, los tipos de sostenimiento y revestimiento en su caso y los sistemas de captación y desagüe.

4. En función de las características de los terrenos atravesados las paredes de las galerías podrán precisar diferentes tipos de sostenimiento y revestimiento en su caso, debiendo presentar permeabilidad suficiente que puede conseguirse incluso mediante oquedades, discontinuidades o perforaciones en las paredes, para dejar pasar el agua a su interior, donde habrán de proyectarse sistemas para garantizar la evacuación de las aguas captadas por gravedad, al exterior.
5. Para incrementar su eficacia, las galerías drenantes suelen equiparse con baterías de drenes californianos dispuestos en forma de abanico hacia zonas concretas, o disponerse en combinación con pozos de drenaje, etc.
6. En general es recomendable disponer una solera de concreto con una ligera pendiente transversal y un canal para la evacuación de las aguas con pendiente longitudinal suficiente.
7. Siempre que sea posible las galerías serán accesibles, permitiendo sus dimensiones y demás características el acceso del personal y equipos de conservación. La entrada de la galería se cerrará con una puerta o reja, de tal modo que se posibilite la evacuación de las aguas y se impida el acceso de animales.

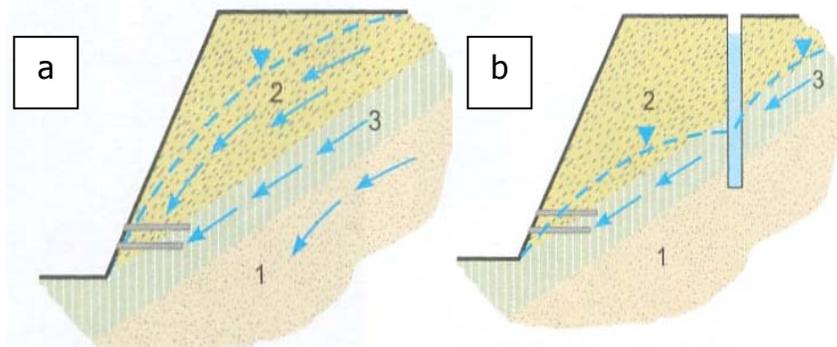
#### ***b.2.4 Pozos profundos de subdrenaje.***

Los pozos profundos son cada vez más usados en drenaje de taludes inestables de grandes proporciones, particularmente con los requisitos de drenaje profundos; son también más económicos que las trincheras drenantes. En la Figura 4. 17 se observa la disminución en la altura del nivel freático al emplear un pozo profundo de subdrenaje.



***Figura 4. 17. Disminución del nivel freático en un talud, haciendo uso de pozo drenante.***

El empleo de los pozos profundos de subdrenaje es limitado debido a la necesidad de operación y mantenimiento permanente que requieren. Algunas veces los pozos son taladrados justamente al final, esencialmente para formar una galería drenante. En ocasiones se utilizan pozos verticales con diámetros mayores a los 2 metros. (Ver Figura 4. 18 a y b)



**Figura 4. 18. a) Drenes horizontales inadecuados, b) Pozo de bombeo y drenes horizontales adecuados. Donde: 1. Material poco permeable (10-7cm/s), 2. Material permeable (10-3cm/s), 3. Material de permeabilidad media (10-5cm/s)**

**Proceso constructivo.**

1. Se inicia realizando las mediciones necesarias sobre el terreno inalterado.
2. Una vez efectuado el trazo y ubicación de los pozos, se procede a realizar las obras de excavación. La excavación continuará hasta llegar a la profundidad señalada y obtenerse una superficie firme y limpia a nivel o escalonada.
3. Posteriormente, se tomarán las precauciones necesarias para impedir la degradación del terreno de fondo de la excavación durante el intervalo de tiempo entre la excavación y la ejecución de la obra.
4. Los pozos de drenaje se dispondrán de forma que se interpongan en el flujo de agua hacia el elemento a proteger. La profundidad, separación, diámetro y caudal en los mismos dependerá de las características

hidrogeológicas de la zona a drenar, debiendo efectuarse, siempre que sea posible, ensayos de campo previos.

5. En el caso más general, los pozos se revestirán con tubos perforados o ranurados, rellenando el espacio anular exterior con material granular drenante.
6. Cuando exista una superficie de deslizamiento, o zona inestable, deberá procurarse que ni los propios pozos, ni sus posibles conexiones, la atraviesen. En caso contrario, este aspecto deberá tenerse en cuenta efectuando un dimensionamiento de su sección, puesto que la rotura de un pozo o conexión implicaría la acumulación de agua en una zona de donde pretende evacuarse.
7. Siempre que sea factible y en todo caso en el fondo de los pozos accesibles, el proyecto dispondrá de una solera de concreto con un espesor de al menos cincuenta centímetros (50 cm).
8. Se realizarán perforaciones de drenes horizontales desde el interior de los pozos para conectar a otro pozo contiguo, empleando para tal fin un equipo de perforación (Ver Fotografía 4. 23).
9. Se rellenará con concreto el espacio anular en la zona en la que se dispongan las conexiones, galerías o perforaciones de evacuación del agua en la comunicación entre pozos.

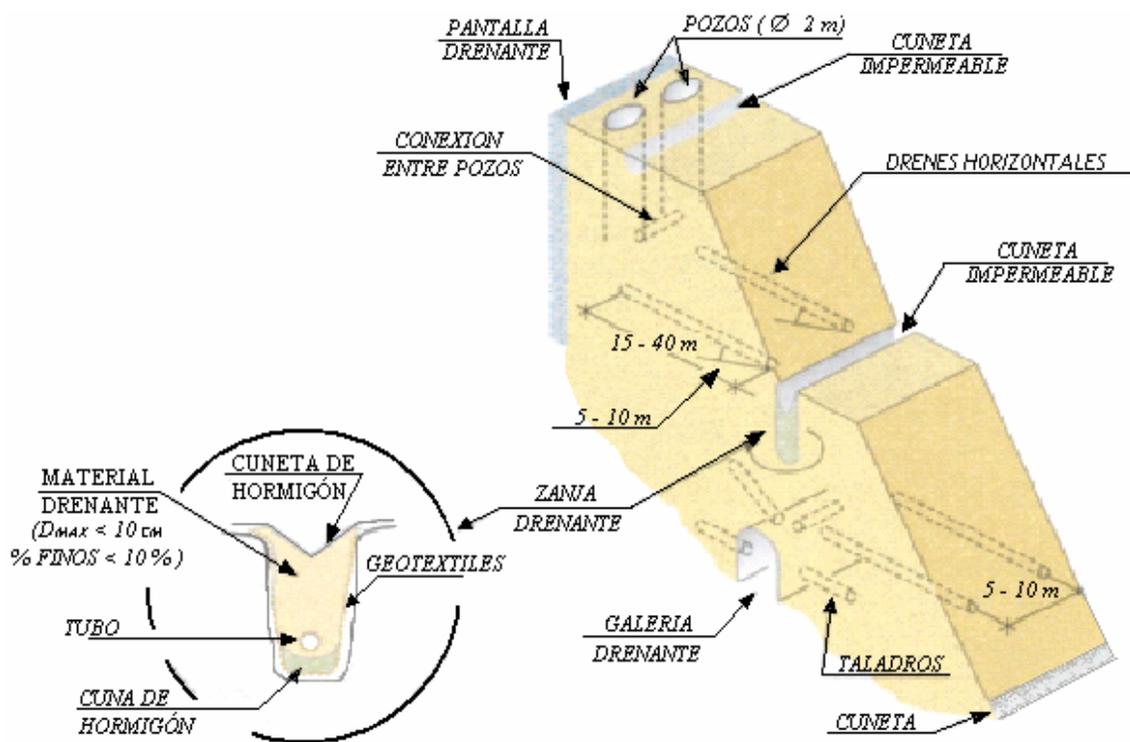


***Fotografía 4. 23. Perforación de drenes horizontales desde el interior de un pozo de drenaje para conectar a un pozo contiguo.***

10. Cuando los pozos sean accesibles, sus dimensiones y demás características deberán permitir el acceso del personal y equipos de conservación.
11. Los pozos se cerrarán con tapas que impidan la entrada de agua de lluvia o escorrentía superficial.
12. Los pozos pueden comunicarse entre sí mediante perforaciones o galerías ejecutadas desde la superficie del terreno o desde otros pozos, con el fin de que dispongan de drenaje por gravedad o de centralizar el sistema de bombeo. En caso de que no dispusieran de conexión, deberán desaguar independientemente o dotarse de sistemas de bombeo individuales.
13. Se definirá el sistema de desagüe a utilizar tanto durante la vida útil de las obras, como durante su construcción, debiendo ponderarse la factibilidad del drenaje gravitatorio, con las necesidades de conservación, mantenimiento y explotación de los sistemas de bombeo.

14. En las inmediaciones de los pozos equipados con sistemas de bombeo, se dispondrán armarios o casetas para albergar los equipos y sistemas auxiliares.
15. Si el desagüe se efectuara individualmente y por gravedad, su interior en lugar de ser hueco, podría rellenarse con material granular drenante.

A continuación se resumen de forma gráfica las diferentes medidas de drenaje que pueden implementarse en taludes:



**FIGURA 4. 19. Esquema de las medidas de drenaje en taludes descritos anteriormente. En el se puede observar que para darle solución a la saturación del talud, muchas veces es necesario aplicar más de una técnica de drenaje.**

### **c. PROTECCIÓN DE LA SUPERFICIE**

Las técnicas de protección de la superficie o revestimiento de taludes, es utilizada para la prevención y protección de erosión en los mismos, protegiendo sus zonas críticas y cumpliendo las funciones de disminución de la infiltración y mantenimiento del suelo en condiciones estables de humedad. Estas estructuras de revestimiento son aplicables a taludes geotécnicamente estables.

Las obras para el control de la erosión buscan la adecuada evacuación de las aguas de escorrentía, un mejoramiento de la infiltración, la disminución de la velocidad de escurrimiento, la protección de los suelos al impacto de la lluvia y el reestablecimiento de coberturas vegetales.

Los revestimientos de las superficies de los taludes con concreto lanzado, suelo cemento o mampostería, se utilizan cuando las pendientes de los mismos son mayores al 100% (45°), así como es posible utilizarlos en la parte baja de las estructuras de contención y requieren ser complementadas con obras de control de drenaje superficial.

A continuación se describen las principales prácticas de protección de la superficie de un talud utilizadas para tal fin:

### ***c.1 Geosintéticos***

En general, son elementos planos y flexibles que se acomodan y adhieren a la superficie del terreno, evitando que el agua y el viento (aunque este último no tenga mayor impacto en El Salvador) entren directamente en contacto con el suelo y provoquen erosiones. La función secundaria de estas intervenciones es la de promover la integración del talud al medio circundante, reconstituyendo, cuando sea posible, la vegetación local (ver Fotografías 4.24 y 4.25).

En el caso de taludes o laderas formados por rocas inestables, estos revestimientos deben fijar las rocas sueltas, evitando que las mismas se desprendan y rueden cuesta abajo.



***Fotografía 4. 24. Estabilización de un talud con geosintéticos: a) superficie del talud antes de usar geosintéticos y b) se observa el crecimiento de vegetación beneficiado por el material geosintético utilizado.***



*Fotografía 4. 25. Talud estabilizado utilizando geosintéticos*

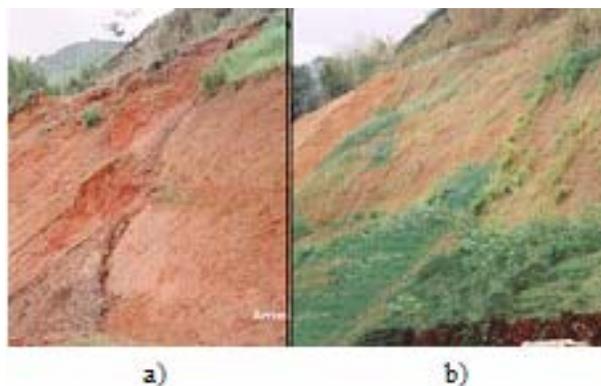
Cabe destacar que estas obras, además de preservar bienes y vidas humanas, proporcionan, principalmente en centros habitados y obras viales, una gran economía con la eliminación de las operaciones de mantenimiento y limpieza del talud.

Muchas veces en los taludes también se encuentran brotes de agua. Es importante por lo tanto no crear barreras impermeables para evitar la acumulación de agua y la consiguiente desestabilización del macizo.

Por otra parte, es un hecho que el aspecto de los taludes debe ser lo más natural e integrado posible con el medio circundante, por lo que los revestimientos deben favorecer el crecimiento de la vegetación, principalmente cuando la superficie del talud sea poco fértil.

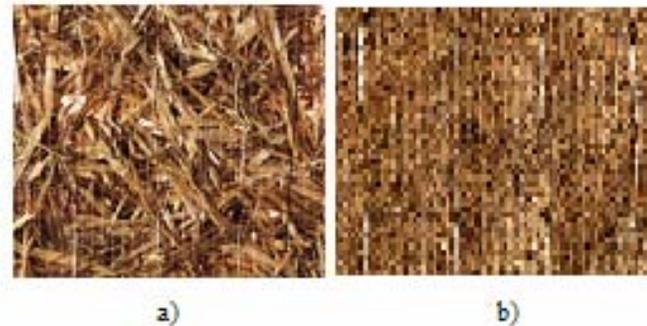
## Biomantas

En muchos casos son requeridas soluciones que no solamente permitan el desarrollo de la vegetación, sino que desaparezcan después de que la superficie del talud se haya estabilizado. En estos casos es recomendado utilizar biomantas, que son revestimientos totalmente biodegradables, producidos con fibra de coco u otras fibras naturales, pero con vida útil suficiente para desarrollar esta función (ver Fotografía 4.26). Su función principal es la de servir de protección y abono para las especies vegetales que serán sembradas en el talud, antes de la colocación de la misma. Después de pocos meses de su aplicación, la biomanta desaparece por completo y la protección contra la erosión es proporcionada por la vegetación que se habrá desarrollado en el propio talud.



***Fotografía 4.26. Utilización de una biomanta para estabilizar un talud con problemas de erosión. a) Sin la utilización de biomanta y b) después de usada la biomanta***

Existen algunas variedades de biomantas que se adecúan a las condiciones de escorrentía, pendientes, precipitación y tendencia erosiva del suelo (ver Fotografía 4. 27).

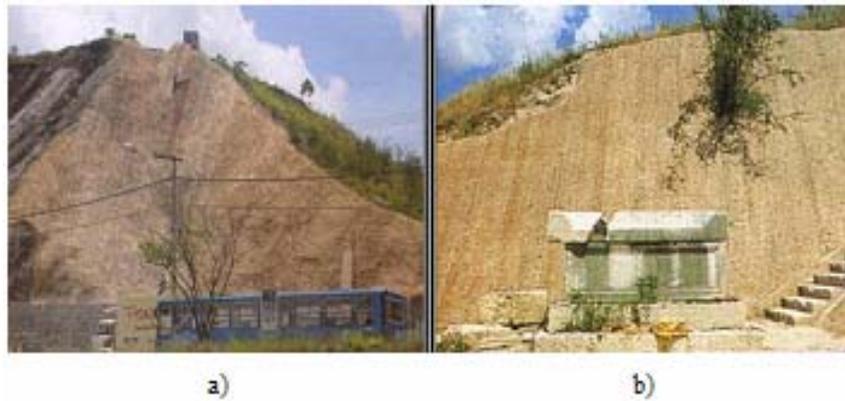


***Fotografía 4.27. Biomantas construidas de diferentes materiales: a) biomanta fabricada de una combinación de fibra de coco y paja y b) biomanta fabricada de fibra de coco usada para condiciones de escorrentía, precipitación y erosión más desfavorables.***

La biomanta es apoyada directamente sobre el talud conformado y se sujeta a éste con pequeñas estacas de madera (ver Fotografía 4. 28 a y b). Cuando la inclinación del talud es muy acentuada, el agua lluvia puede dejar la biomanta muy pesada e inestabilizarlo, en estos casos debe ser utilizada una red en malla hexagonal de doble torsión para mantenerla estable (ver Fotografía 4. 29)



**Fotografía 4. 28 Instalación de biomantas: a) Proceso de instalación de una biomanta y b) vista de un talud después de colocada una biomanta**



**Fotografía 4. 29 Utilización de biomanta reforzada con malla de doble torsión debido a la gran inclinación de los taludes. a) Talud de una carretera b) Talud en un lugar de gran afluencia de personas.**

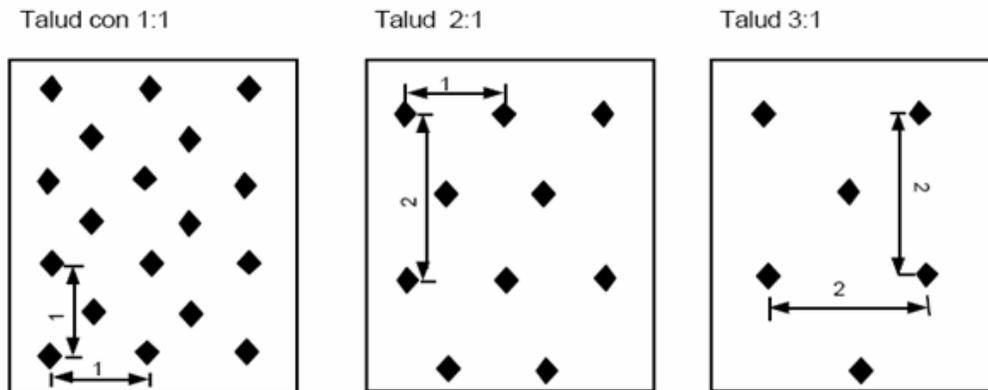
Un ejemplo de biomanta que se utiliza y se encuentra disponible en el mercado es la BIOMAC, distribuida por Maccaferri. A continuación se describen los pasos para su instalación.

### ***Proceso de instalación de la biomanta***

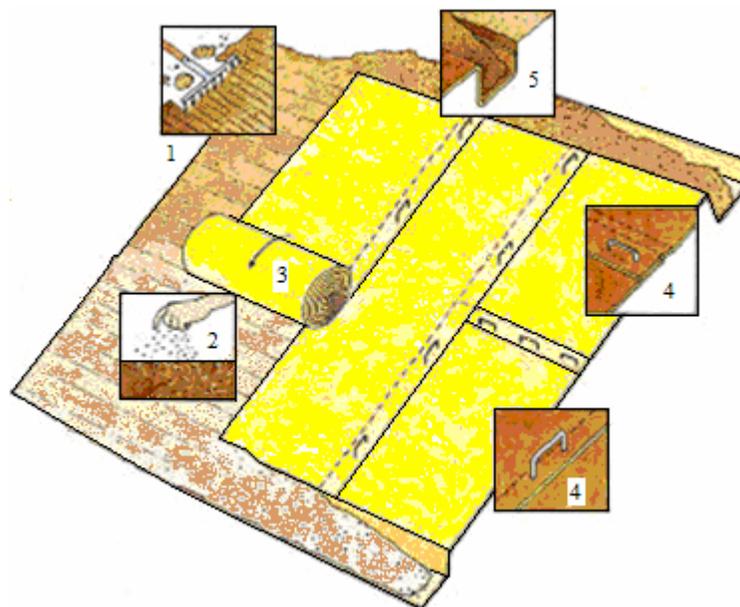
La manta BIOMAC se recomienda que sea desenrollada y sujeta utilizando grapas de acero galvanizado o estacas de madera, dependiendo del tipo de suelo del talud o de la longitud a cubrir, y separadas entre sí según se establece en la Figura 4. 20.

### ***Proceso Constructivo:***

1. Rectifique el área de manera que quede en forma plana y pareja, debiendo remover las piedras grandes. Aplique una cubierta superficial. (Figura 4. 21)
2. Use rastrillo ligero para la colocación de las semillas. (Figura 4. 21)
3. Desenrolle la biomanta BIOMAC y coloque los anclajes (Figura 4. 21). Si la pendiente del talud es 2:1 es necesario colocar un ancla cada 1 m<sup>2</sup> dispuestas en tresbolillo (Figura 4. 20).
4. Los traslapes deben realizarse cuidando la dirección de escurrimiento de agua o la dirección predominante del viento. En las zona de traslape las anclas deben ser colocadas cada metro. (Figura 4. 21)
5. Deben colocarse dos canaletas en las partes superior e inferior del talud, los cuales deberán ser llenados posterior a la colocación de las anclas y de la biomanta con el mismo material. (Figura 4. 21)



**Figura 4. 20. Esquema de la ubicación de los sujetadores al colocar las biomantas (según inclinaciones de talud, unidades en metros).**



**Figura 4. 21. Esquematación del proceso de instalación de las biomantas**

Si se requiere una malla de alta resistencia para permitir un adecuado desempeño de la biomanta, ésta deberá colocarse de acuerdo a lo establecido en la sección c.2. Redes de Alta Resistencia.

## Geomantas

En el caso de taludes en suelos finos sin cohesión e inclinación suave, la mejor opción de revestimiento es una geomanta producida con filamentos de nylon. Ésta se aplica directamente sobre el talud ya conformado y es anclado a éste mediante grapas metálicas; posteriormente es sembrado y cubierto con tierra vegetal. (Ver Fotografías 4.30 y 4.31).

Su función es la de confinar las partículas con las cuales es colmatado, facilitando el crecimiento de la vegetación y garantizando la buena interacción suelo-material a través del anclaje de las raíces (ver Fotografía 4. 30). En casos particulares puede ser necesario recurrir al hidrosembado para acelerar el crecimiento de la vegetación (ver Fotografía 4. 32).



***Fotografía 4. 30. Esparcimiento de tierra sobre una geomanta para ayudar al crecimiento de la vegetación que protegerá al talud.***

### ***Proceso para la instalación de la geomanta***

El proceso de instalación de las geomantas es similar al que se utiliza para la colocación de biomantas, por lo que se recomienda seguir los mismos pasos.

En el caso de taludes con gran inclinación (mayores a 45°), estériles, de granulometría fina, y por lo tanto muy susceptibles a la erosión, el revestimiento ideal estará compuesto por una red en malla hexagonal de doble torsión envuelta por una geomanta. En este caso el revestimiento vegetal deberá ser creado a través de hidrosembado (ver Fotografía 4.32) y el proceso de colocación será similar al abordado en la sección c.2. Redes de Alta Resistencia.



***Fotografía 4. 31. Proceso de estabilización de un talud en tres fases: colocación de la geomanta y esparcimiento de semillas, cubierta de tierra sobre la geomanta y capa vegetal desarrollada.***

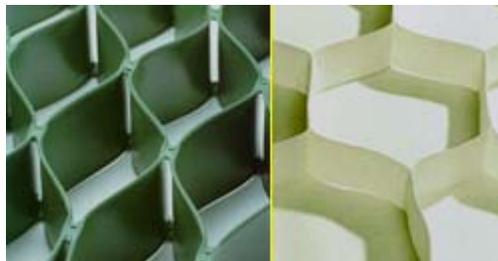


*Fotografía 4. 32. Hidrosiembra sobre un talud de gran inclinación.*

#### **Geoceldas o Geocélulas**

Son formadas por células yuxtapuestas producidas por costura o soldadura de tiras de materiales sintéticos con una altura próxima a 100 mm., formando una estructura en forma de colmena o similar (Fotografía 4. 33).

La principal función de las geocélulas es la contención del terreno o de otros materiales sueltos en ellas colocados. También son utilizadas para evitar el deslizamiento superficial en pendientes suaves y pronunciadas.

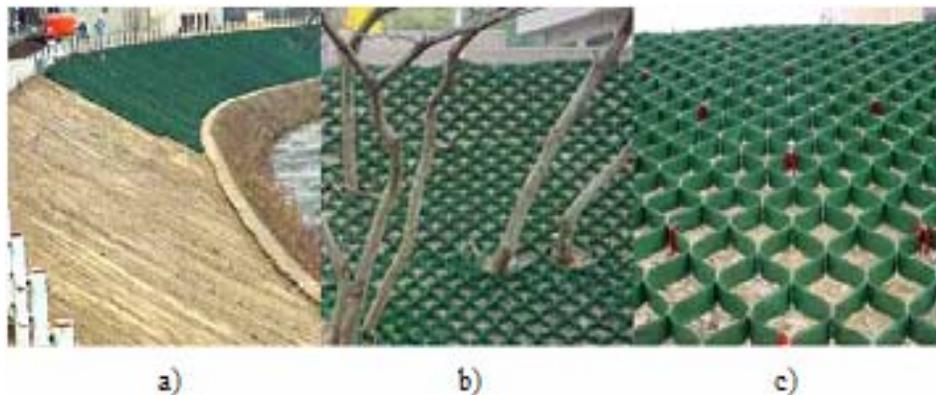


*Fotografía 4. 33. Geoceldas o Geocélulas*

### *Aplicaciones*

El suelo que forma un talud en ocasiones tiene una composición árida (debido a la escasez de material orgánico); esto ocurre por ejemplo, cuando se corta roca, y en algunos casos, taludes áridos durante caminos en construcción. Bajo estas condiciones, es necesario asegurarse que se disponga de un adecuado espesor de suelo superficial que permita el crecimiento de vegetación. Ya que este suelo tiene propiedades mecánicas pobres, puede fácilmente deslizarse del talud y deslavarse de la superficie por efecto de las lluvias antes del crecimiento de vegetación.

Las geoceldas permiten la estabilización del suelo superficial en pendientes muy pronunciadas, asegurando el confinamiento lateral del talud mismo (Fotografía 4.34 a, b y c).



**Fotografía 4. 34. Estabilización de un talud usando geoceldas. a) Vista general del talud, b) colocación cuando existen árboles y c) geoceldas sobre el talud.**

Una vez se abren las geoceldas en su máxima extensión y se llenan con suelo superficial ligeramente compactado, se forma una estructura estable para ser vegetada. La superficie de esta cara puede ser protegida contra la erosión superficial mediante el uso de geomantas y biomantas (Fotografía 4. 35 a y b).



*Fotografía 4.35. Uso de geoceldas: a) Llenado de geoceldas con tierra y b) geoceldas cubiertas con una geomanta para facilitar el germinado de las semillas sembradas.*

### ***c.2 Redes de Alta Resistencia***

Son revestimientos que funcionan como protección ante la caída de piedras en taludes rocosos. En estas intervenciones, es necesario el máximo nivel de seguridad, siendo que cualquier desprendimiento puede afectar seriamente bienes y personas. En estos casos se exigen materiales de alta resistencia y que al mismo tiempo sean flexibles para que puedan acompañar y adherirse a la superficie del talud (ver Fotografía 4.36 a y b).



***Fotografía 4. 36. Redes de alta resistencia usadas para evitar que las piedras que se desprenden dañen a) las carreteras y b) edificios cercanos.***

Por lo anterior, es necesario que estas intervenciones tengan una larga vida útil, reduciendo al máximo las operaciones de mantenimiento. Lo idóneo es que la red posea una configuración hexagonal y que sea tejida en lugar de ser soldada, además de que el material con el que esté construida muestre una excelente resistencia a la tensión, punzonamiento y corrosión.

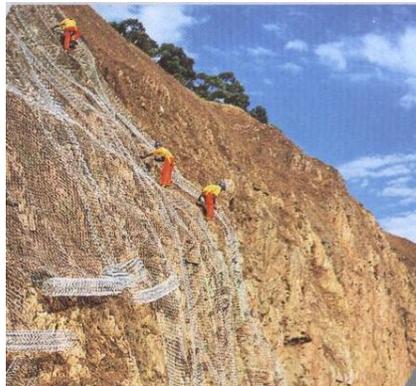
#### ***Aplicaciones***

Las redes de alta resistencia pueden emplearse en taludes rocosos para evitar la caída de piedras o en taludes de suelos para reforzar biomantas o geomantas.

#### ***Proceso de colocación de redes de alta resistencia:***

1. La red debe desenrollarse y colocarse sobre el talud en la posición final en la que quedará y luego deberá anclarse al mismo y traslapar las capas vecinas (ver Fotografía 4. 37).

2. La colocación de los anclajes (Fotografía 4.38 a), que deben ser muy firmes, es muy simple y rápida, no necesitando equipamientos especiales. Para las perforaciones es necesario solamente un taladro y los instaladores; para movilizarse a lo largo de la red extendida se utilizan solamente cuerdas y equipamientos de seguridad (Fotografía 4.38 b).



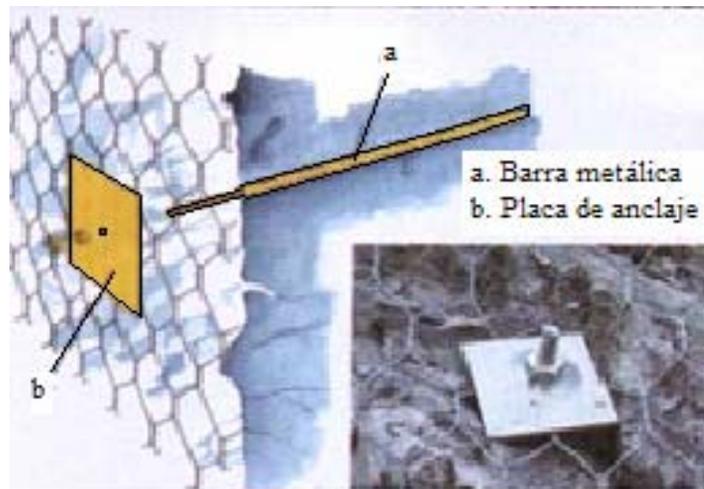
***Fotografía 4.37. Los rollos de la red deben desenrollarse y luego ser colocados sobre el talud.***



***Fotografía 4.38. Colocación y fijación de una red de alta resistencia sobre un talud.  
a) colocación b) equipo de seguridad empleado.***

2.1 En los casos de roca sana, los anclajes pueden ser compuestos por barras de expansión o químicos, o también por barras de acero

cementadas en las perforaciones realizadas. La extremidad externa de la barra debe ser fileteada de manera que, a través de una placa metálica y una tuerca, se garantice la adherencia de la red al talud (Figura 4. 22).



**Figura 4. 22. Elementos de anclaje con los que se fija la red de alta resistencia a un talud**

2.2 En los casos de roca fracturada o en presencia de tierra o piedras sueltas, la red puede ser sujeta a través de barras de acero clavadas en el talud. En estas situaciones, el revestimiento permite el crecimiento de la vegetación. A través de las mallas pueden crecer hasta árboles, de tal manera que en poco tiempo el talud revestido tendrá la apariencia de una ladera natural (Fotografía 4. 39).

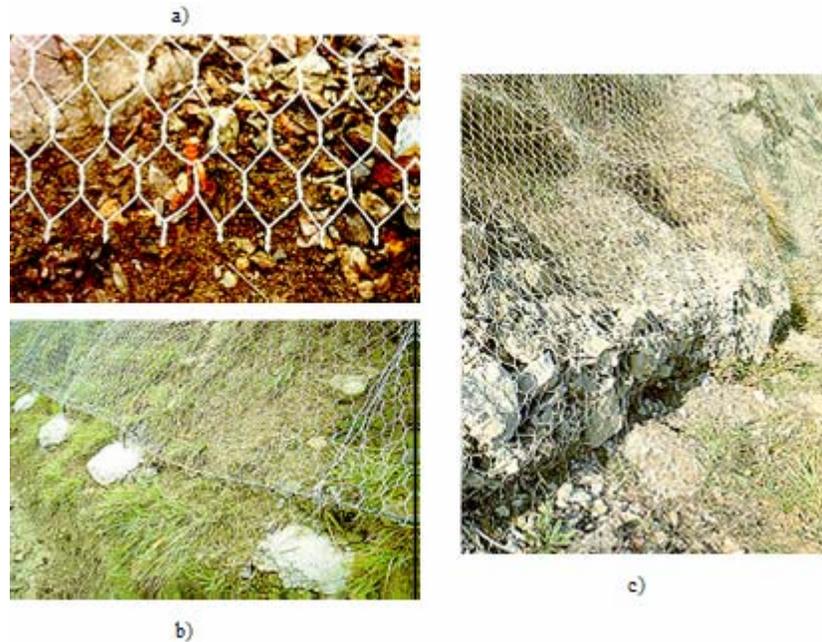


***Fotografía 4. 39. Talud con la apariencia de una ladera natural; sin embargo, es un talud estabilizado usando una red de alta resistencia.***

#### *Tratamiento al pie del talud*

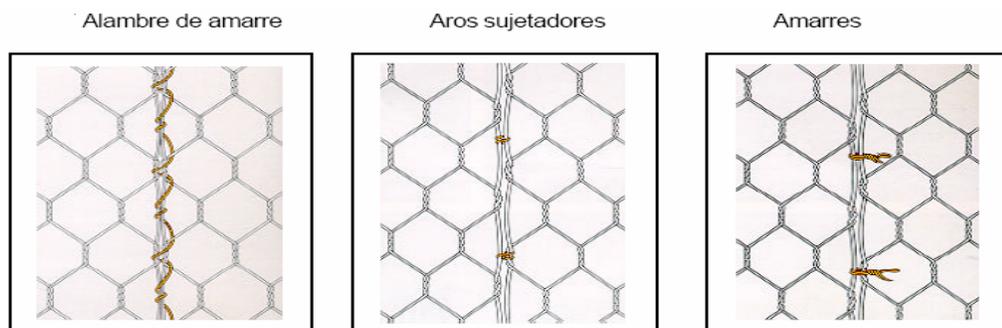
Cuando es probable que solo una pequeña cantidad de material vaya a ser recolectada en la base del talud, las siguientes alternativas pueden ser empleadas:

- ✓ Simplemente dejar una abertura en la parte final de la malla, cerca de 0.30 m, para facilitar la remoción de escombros depositados (Fotografía 4. 40 a y b);
- ✓ Coser la malla al pie para contener el material. La unión en la base debe permitir una periódica remoción del material acumulado, después de la cual la malla debe ser anclada nuevamente (Fotografía 4. 40 c).



**Fotografía 4. 40. Diferentes terminaciones de la malla al pie del talud: a) y b) la malla tiene una abertura para que el material caiga suavemente y c) la malla está cosida para evitar que los desprendimientos salgan de la misma.**

3. Los lienzos de malla deben ser asegurados y unidos de manera continua empleando alambre de amarre de diámetro similar o menor al usado en la fabricación de la malla, o por medio de aros sujetadores de varios tipos (Figura 4. 23).



**Figura 4. 23. Uniones aceptables en traslapes de redes.**

### ***c.3 Concreto Lanzado***

Esta práctica tiene como objetivo revestir la superficie del talud ya conformado con una capa delgada de concreto a presión, o más bien dicho, mortero a presión, ya que la mezcla está compuesta básicamente por cemento y arena, con resistencia a la compresión de hasta 210 kg/m<sup>2</sup>, de tal manera que éste se adhiera al suelo del talud y lo proteja de la erosión causada por el flujo de agua sobre su superficie.

Esta mezcla tiene un revenimiento igual a cero, y se puede aplicar ya sea por vía seca o por vía húmeda, en función de la bomba que se utilice. Para este tipo de recubrimiento no se utiliza ningún tipo de anclaje, ya que previamente se ha considerado que el talud debe ser geotécnicamente estable, por lo que la capa que se aplica es exclusivamente para evitar la erosión. El espesor comúnmente utilizado para este tipo de recubrimiento es de 3 a 5 cms.

#### ***Aplicaciones***

Como ya se mencionó antes, el talud debe ser geotécnicamente estable; además, no deben existir brotes de agua sobre la superficie del mismo, ya que esto provocaría una presión sobre el recubrimiento que lo dañaría y causaría daños en el talud. No es recomendable utilizarse sobre suelos arcillosos ni en

superficies muy sueltas, pues la delgada capa podría despegarse fácilmente. Su implementación debe hacerse en taludes conformados principalmente por tierra blanca (arenas-limosas o limos-arenosos). Estos taludes pueden ser hasta de 90°.

La ventaja de utilizar el concreto lanzado para recubrir taludes es que la superficie del mismo puede ser irregular y aún así lograr un revestimiento adecuado (Fotografía 4. 41).

### ***Proceso Constructivo***

1. Debe verificarse que en la superficie del talud no se encuentren piedras de gran tamaño, de lo contrario deberán retirarse, ni material suelto.
2. Cuando la superficie del talud se encuentra lista (según lo establecido en 1), se procede a lanzar la capa de concreto a presión; el espesor de la capa debe ser de entre dos y tres centímetros.
3. Al final, se procede al afinado de la superficie de tal manera que ésta quede lisa, ya que debido a la presión con que el concreto es lanzado la superficie obtenida es rugosa y con irregularidades. Dependiendo de la altura del talud, será o no necesario combinarlo con obras de drenaje superficiales.



*Fotografía 4. 41. Este talud ha sido revestido con concreto lanzado para evitar que la superficie del mismo quede a la intemperie y afecte los trabajos futuros. A pesar de las irregularidades en ciertas partes del talud, debidas al material que lo constituye, el concreto lanzado las ha cubierto.*

#### ***c.4 Mortero***

Esta técnica es una de las más utilizadas por las personas, aunque su implementación, por lo general no toma en cuenta ningún conocimiento más que la experiencia. El objetivo que tiene esta práctica, es el mismo que el del concreto lanzado, con la única diferencia que el espesor es menor, además no es necesario ningún equipo en especial, basta con las herramientas de un albañil.

A pesar de su sencillez, los resultados son enormemente satisfactorios considerando que la escorrentía puede provocar daños severos sobre un talud

de material propenso a la erosión como la tierra blanca. En la Fotografía 4. 42 puede observarse la enorme diferencia entre la parte de un talud revestida con mortero y la otra expuesta al ambiente. En las fotografías 4.43 y 4.44 se puede observar la superficie que se logra con un recubrimiento con mortero.



***Fotografía 4.42. La parte superior de este talud fue protegida con un revestimiento de mortero; sin embargo, la parte inferior al haber quedado expuesta presenta un deterioro notorio que posiblemente hará colapsar la parte superior.***



***Fotografías 4.43 y 4.44 . Revestimiento de mortero para la estabilización de un talud ubicado en Santo Tomás, sobre la Carretera Panamericana.***

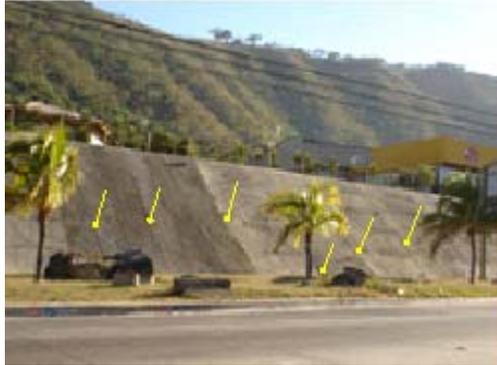
### *Aplicaciones*

Esta técnica es aplicable bajo las mismas condiciones que para el concreto lanzado; es decir, para taludes geotécnicamente estables y principalmente conformados por tierra blanca.

### *Proceso Constructivo*

El proceso constructivo que se sigue es el mismo que el utilizado para repellar cualquier superficie vertical o inclinada:

1. Para evitar que el suelo absorba demasiada agua del mortero, éste debe humedecerse antes, pero sin saturarlo.
2. Deben hacerse fajas guías, paralelas a la dirección de la corriente del agua en el talud. Éstas darán el espesor de la capa (0.5 a 1.0 cm.). Muchas personas no realizan la conformación del talud antes y realizan el azotado con mortero sobre la superficie del terreno tal y como se encuentra; en estos casos es imposible construir las fajas y el espesor es determinado según quien lo realice considere necesario (Fotografías 4. 45 y 4.46).



***Fotografía 4. 45. Talud de la planta de procesamiento de Café Rico sobre la Autopista a Comalapa protegido con una capa de mortero. Pueden distinguirse las fajas que se hicieron para su construcción, las cuales se señalan en amarillo.***



***Fotografía 4.46. El recubrimiento de taludes con mortero para evitar la erosión es utilizado con éxito inclusive en taludes de 90° como se observa en la parte con el círculo amarillo. En muchos casos ni siquiera se realiza la conformación de los taludes (zona con el círculo rojo).***

3. Teniendo las fajas, se procede al azotado con mortero de toda la superficie del talud, haciéndolo en capas delgadas para evitar que se sople.
4. Con la arista de una regla de madera o costanera bien a plomo se procede a nivelar el mortero que se ha azotado, para ello se apoya la regla en dos

fajas consecutivas y se va desplazando en toda la longitud de las mismas para eliminar el exceso de mortero e ir dejando la capa del espesor deseado.

5. Continuar azotando con el mortero y luego nivelando, hasta que la superficie quede bien definida.
6. Con una plancha de albañil, afinar la superficie.
7. Según la altura que posea el talud, así también se decidirá si necesita drenaje superficial o no.

### ***c.5 Mampostería o Piedra Pegada***

Esta técnica consiste en revestir la superficie de un talud utilizando unidades de mampostería de concreto, arcilla u otro material similar que sea resistente a la erosión o bien piedra (Fotografías 4. 47 y 4.48). Las juntas entre unidades se rellenan con mortero de cemento Pórtland.

#### ***Aplicaciones***

No se recomienda hacer este tipo de recubrimiento en taludes con demasiada inclinación (mayores a 45°), debido a la dificultad para realizar los trabajos. Es aplicado en taludes no rocosos que posean, inclusive, brotes de agua en su

superficie. La superficie del talud debe estar lisa, sin presencia de piedras grandes, y bien conformada.

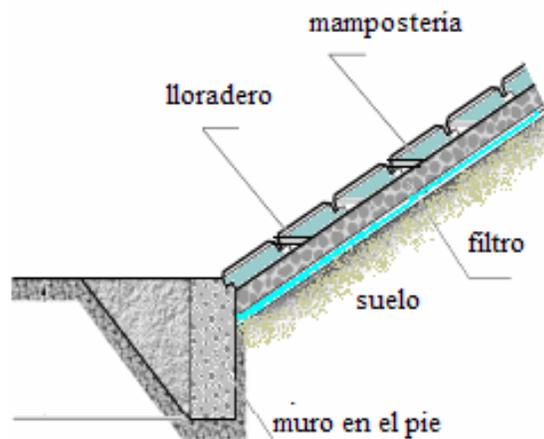


**Fotografías 4.47 y 4.48. Recubrimiento de taludes: a) utilizando piedras y b) unidades de mampostería. Los lloraderos o drenajes se hacen sólo si hay problemas de saturación.**

#### *Proceso Constructivo*

1. Justo en el pie del talud debe construirse un pequeño muro que permita apoyarse a la mampostería (Figura 4. 24).
2. Las unidades de mampostería o piedra deben apoyarse sobre un filtro, el cual debe hacerse de material granular de alta permeabilidad (arena y grava) o colocarse un geosintético que funcione como tal para evitar la fuga de los finos a través de los drenajes. Al hacerlo debe iniciarse su colocación a partir del pie del talud, es decir, de abajo hacia arriba.
3. Sobre las caras expuestas de las unidades debe colocarse mortero de manera que al colocar otras unidades vecinas se formen juntas de no más de 25 mm. cuando se trate de piedra, y de no más de 13 mm en el caso que sea otra clase de mampostería (según especificaciones de la

SIECA). Cualquier exceso de mortero que salga sobre la superficie al realizar el procedimiento anterior, deberá retirarse. Además, deberán colocarse drenajes que permitan evacuar el agua que el filtro retenga (lloraderos) para que ésta no se acumule en la masa retenida y genere presiones sobre la capa de mampostería; esto en los taludes con problemas de saturación o brotes de agua.

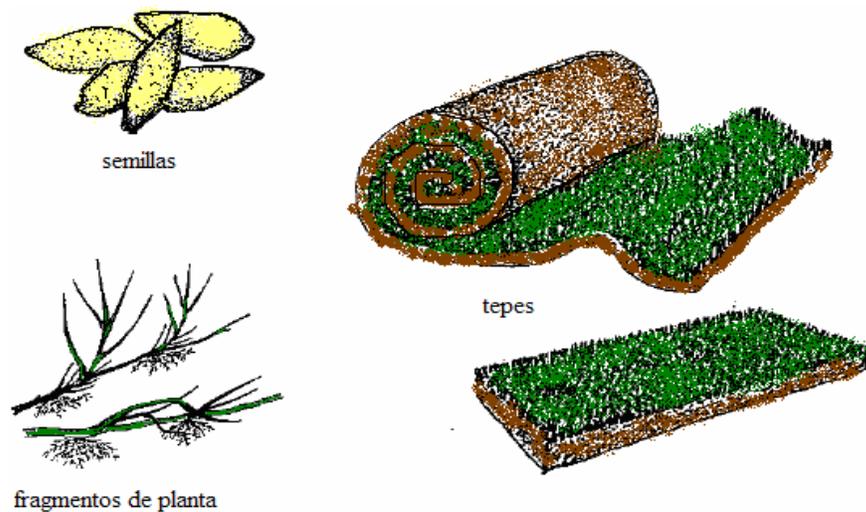


*Figura 4. 24. Esquema de recubrimiento de un talud con unidades de mampostería.*

### ***c.6 Capas Vegetales***

Consiste en la siembra de pastos, ya sea a través de la siembra por semillas, tepes o fragmentos de las plantas mismas (Figura 4. 25). Comúnmente a esta capa vegetal se le llama grama y contribuye a las funciones de: evitar el impacto directo de las gotas de lluvia sobre el suelo, disminuir el flujo superficial

del agua de escorrentía, evitar el secamiento superficial del suelo, evitar el arrastre de material y contribuir a la armonía del medio ambiente, ya que su apariencia es muy atractiva a los ojos de las personas. En taludes de gran altura deben utilizarse drenajes superficiales que colecten el agua que circula sobre la superficie de los mismos.



*Figura 4.25. Componentes vegetales de implantación de céspedes en taludes.*

Ya anteriormente se ha visto como puede revegetarse un talud utilizando biomantas o geomantas en taludes un tanto estériles; pero, en este caso, la siembra se realiza utilizando plantas vivas o semillas.

#### *Aplicaciones*

La siembra de pastos o engramillados se recomienda realizar en taludes con pendientes moderadas (15% - 30% según la Guía Técnica de Conservación de

Suelos y Agua, elaborada por PASOLAC, 2000) y que sean geotécnicamente estables, aunque es común ver este tipo de cobertura en inclinaciones mayores ( $45^\circ$  a  $60^\circ$ ), pero con drenajes superficiales que evitan los excesos de escorrentías sobre las superficies (Fotografía 4. 49).



***Fotografía 4. 49. Talud sobre el km 11 ½ de la carretera al Puerto de la Libertad, estabilizado utilizando grama y un sistema de drenaje superficial. Su altura es de 25 m con una inclinación de  $45^\circ$  aproximadamente.***

### ***Proceso de implantación***

#### ***1. Preparación del terreno.***

Antes de la siembra se aconseja realizar las siguientes labores preparatorias del terreno:

- ✓ Eliminación de piedras, tocones y raíces de árboles y malas hierbas preexistentes. Se suele realizar a comienzos del invierno.
- ✓ Nivelación del terreno. Para generar una superficie uniforme.

- ✓ Labores de drenaje del suelo. En taludes muy inclinados, de grandes dimensiones o que por las características de la escorrentía necesiten evacuar el agua que corre por el talud.
- ✓ Cavado del suelo. La cava consiste en remover el suelo hasta unos 20 cm de profundidad, o menos si el suelo es menos profundo o el talud es muy inclinado. Según el tipo de suelo se añadirá arena o turba. Los aportes superficiales usados en céspedes se pueden dividir en dos tipologías: materiales inorgánicos (arena, limo, yeso) y materia orgánica (enmiendas orgánicas). El tipo y composición de los aportes superficiales utilizados dependerá de la problemática que hay que resolver y los objetivos que se quieren conseguir.

Los objetivos principales de los aportes superficiales en las áreas de césped son las siguientes:

- Crear un lecho de siembra o usar como cobertor de la siembra (por ejemplo, con arena, tierra de jardinería y/o materia orgánica).
- Mejorar la textura del suelo (por ejemplo, con arena o arcilla).
- Mejorar la estructura del suelo, el drenaje o la retención de agua (por ejemplo, con arena o turba).
- Corregir el pH del suelo (por ejemplo, con limo o yeso).
- Aportar materia orgánica (por ejemplo, con enmiendas orgánicas).

- ✓ *Desmenuzado de los terrones.* Su objetivo es proporcionar un lecho de siembra que permita un crecimiento uniforme del césped, libre de agujeros y de prominencias.
- ✓ *Consolidación del suelo.* Con ello se consigue una capa de suelo de cultivo de 3-5 cm.
- ✓ *Tierra de jardinería para céspedes.* La tierra de jardinería apta para implantar céspedes deberá cumplir las especificaciones siguientes:
  - Granulometría* (según Norma Técnica de Implantación de Céspedes de Cataluña, España)
    - Fracción > 2 mm: < 15% P/P (porción en peso) y exento de partículas de diámetro > 25 mm
    - Textura USD A: Franco-arenosa, con los siguientes límites:
      - Arena: 50-80% P/P (25-40% de diámetro > 0,25 mm)
      - Limo: < 30% P/P
      - Arcilla: < 20% P/P

## 2. Siembra

Los componentes vegetales utilizados para este fin son: semillas, tepes y fragmentos de planta (Figura 4. 25).

Si se utilizan semillas para la implantación lo mejor sería proteger la superficie sembrada con un geosintético para optimizar el crecimiento de la vegetación. En la siembra se deben seguir una serie de pasos para obtener una capa vegetal de calidad:

- ✓ Abonado del suelo. Una semana antes de la siembra se aconseja abonar el suelo con un fertilizante que favorezca la germinación de las semillas.
- ✓ Época de siembra. La mejor época del año es a comienzos de La época lluviosa, cuando el suelo aún está templado y el riesgo a que el agua escasee va disminuyendo. La capa superficial del suelo deberá estar seca, pero el resto húmedo.
- ✓ Siembra. La proporción media será de 30 - 40 g de semilla por metro cuadrado. Si la proporción es menor, el césped se verá ralo y laxo, si es mayor habrá riesgo de abatimiento de las plantas.
- ✓ Protección de las semillas. Se aconseja rastrillar la zona cubriendo parcialmente las semillas para evitar la desecación de las mismas.
- ✓ Cuidado de las plántulas. Las plántulas aparecerán a los 7-21 días de la siembra. Se realizarán riegos suaves durante la germinación. Cuando la hierba tenga una altura de 5-8 cm, se eliminarán los restos de piedras y

la hojarasca caída mediante un rastrillo de púas finas. Más tarde se dará una siega superficial y muy suave.

Pero si se quiere que el césped cubra rápidamente el talud, es mejor sembrar mediante tepes o fragmentos de plantas, se acostumbra la colocación de estacas de madera para evitar que los tepes y/o fragmentos de planta se erosionen o deslicen (Fotografía 4. 50).



***Fotografía 4. 50. Proceso de siembra de grama sobre un talud de la Residencial Miramar en San José Villanueva, utilizando fragmentos de plantas. a) y b) siembra de fragmentos de plantas y colocación de drenajes superficiales. c) estacas de madera para ayudar a soportar los fragmentos mientras las raíces penetran en el suelo del talud.***

El tepe es un césped de alta calidad cultivado en origen hasta un estado completo de madurez, momento en el que es extraído formando rollos que son transportados y posteriormente transplantados en el terreno de destino.

El tepe se extrae en placas rectangulares de 1 metro cuadrado de superficie con

15-20 cm de sustrato para facilitar su enrollado y garantizar el perfecto enraizamiento posterior en el terreno definitivo.

### *3. Mantenimiento*

Después de implantado el césped será necesaria una labor de mantenimiento periódica consistente en la poda de la grama o segado, resiembras, riego y fertilización o abonado.

#### *Segado.*

Es la labor más importante a realizar en un césped y con su ejecución se consigue un césped vigoroso de calidad superior, con un aspecto más uniforme. La siega influye sobre el desarrollo del sistema radicular, densidad de la cubierta vegetal, homogeneidad y ausencia de malas hierbas.

Se recomienda segar con frecuencia, pero no demasiado frecuentemente. De esta forma se evita un desarrollo foliar excesivo, se disminuye la pérdida de fertilizantes y se reduce la amenaza de malas hierbas, lombrices y gramíneas gruesas. En la práctica de la siega conviene alterar el sentido y la dirección del corte, para evitar el encamado de la hierba

### *Resiembras y recebos.*

Se denomina resiembra a la operación destinada a sembrar de nuevo las zonas de la superficie que presentan una baja o nula densidad de césped. En otros casos, cuando se quiere cambiar el porcentaje de especies que forman la cubierta vegetal.

Si se hace con semilla, después de realizar la resiembra, la semilla se recubre con una capa fina de arena mezclada con una enmienda orgánica. A esta operación se le denomina recebo y permite obtener una mayor cantidad de agua retenida en la parte superficial de la capa de enraizamiento para ayudar a la germinación y nascencia de las semillas resembradas.

### *Abonado*

El abonado fortalece y engrosa la hierba, confiriéndole más resistencia a la sequedad, las enfermedades, las malas hierbas, los musgos y al desgaste intenso. También mantiene el color y la textura, pero a la vez puede incrementar la velocidad de crecimiento de la hierba y por tanto será preciso un segado más continuo.

La siega presenta una merma importante de las reservas de los principales nutrientes vegetales del suelo. El nitrógeno mantiene la planta verde y favorece el desarrollo de los brotes, el fósforo es esencial para las raíces y el potasio hace

a la planta resistente favoreciendo un crecimiento saludable. Las gramíneas pobres en nitrógeno, se amarillean y obtienen colores pálidos.

La aplicación del abonado debe ser uniforme, para evitar el parcheado o el chamuscado del césped. Se hará cuando la hierba esté seca pero el suelo húmedo, preferentemente con tiempo fresco y con chubascos. Después del abonado se dará un pequeño riego controlado. La aplicación puede ser: *manual* mezclando el fertilizante con arena seca o tierra arenosa, en *disolución* con ayuda de una regadera o un diluidor con una manguera y *mecánica* con un distribuidor estándar o lineal.

### *Riego.*

Para mantener un césped creciendo sano y verde es esencial regarlo en períodos de sequía. El exceso de agua en el césped produce aumento de materia verde, incremento de enfermedades, raíces poco profundas, desaprovechamiento de recursos valiosos, etc.

Se recomienda aplicar los riegos por la noche o a primera hora de la mañana. A esta hora el viento no interfiere en el riego y no hay prácticamente evaporación de agua. Una de las complicaciones que ocasiona el riego en horas de la tarde, es la creciente incidencia de enfermedades. Este inconveniente puede reducirse

regando únicamente cuando el césped lo necesita, esporádica pero profundamente. Regar durante el medio día no es efectivo, ya que gran cantidad de agua se evapora siendo por consiguiente muy difícil humedecer la tierra adecuadamente.

### ***c.7 Mulching***

Consiste en el revestimiento de taludes utilizando residuos inertes de plantas como rastrojos o madera triturada. La protección se lleva a cabo debido a que la capa de mulching evita que las gotas de lluvia hagan contacto directamente con el material del talud, impidiendo que las partículas del suelo se levanten por el golpe de la gota (Fotografía 4. 51).



***Fotografía 4.51. Recubrimiento de un talud (Llinars del Vallès, España), utilizando la técnica del Mulching.***

Aparentemente, parece ser un método muy poco confiable debido a su sencillez; sin embargo, en países como España es una práctica que ha ayudado a evitar pérdidas de suelo en taludes debido a lluvias muy intensas. A este método también se le conoce como el método de "almohadillados".

### *Aplicaciones*

Debido a que la técnica consiste de un recubrimiento simple, es aplicable para taludes que están constituidos por materiales finos y muy sueltos, que son fácilmente removidos por el contacto de las gotas de lluvia.

### *Proceso de colocación*

Lo único que hay que hacer es dispersar el "mulch" o material inerte a utilizar sobre la superficie del talud. En taludes con pendientes muy fuertes será necesario acompañar este revestimiento con algunas barreras muertas o vivas que ayuden a que el "mulch" permanezca en su lugar. Debido a que las capas aplicadas se irán desintegrando, serán necesarias otras capas después, a medida que se incorporen al suelo del talud.

### ***c.8 Barreras Vivas***

Son prácticas utilizadas para evitar o disminuir la velocidad de la escorrentía sobre laderas y por tanto, la erosión y desestabilización de la misma. Estas prácticas son utilizadas por los agricultores para proteger sus propiedades; pero constituyen medidas preventivas de mucha ayuda.

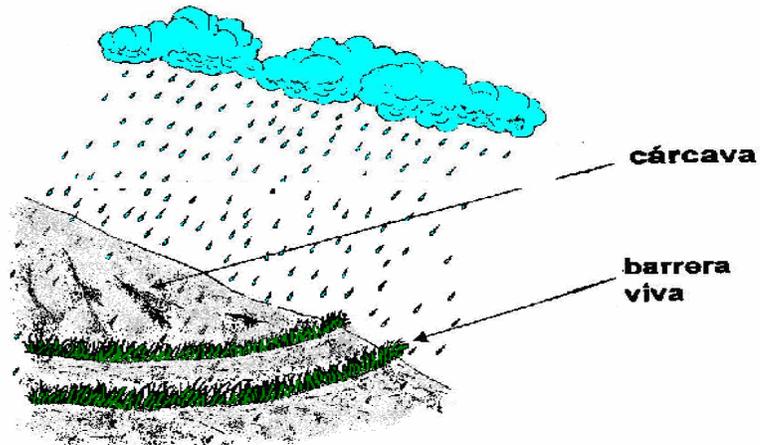
Las barreras vivas son hileras simples, dobles o triples de especies vegetales preferiblemente perennes y de crecimiento denso, establecidas en curvas a nivel y a distanciamientos cortos. Los espaciamientos máximos recomendados entre barreras vienen dados según la tabla 4.1.

***Tabla 4.1. Distancias entre barreras vivas y muertas según su pendiente.***

Tipo de barrera	Pendiente suave hasta 15%	Pendiente moderada 15-30%	Pendiente fuerte 30-50%
Barreras vivas	15 – 30 mts.	10 – 15 mts.	6 -10 mts.
Barreras muertas	10 – 20 mts.	6 – 10 mts.	4 – 6 mts.

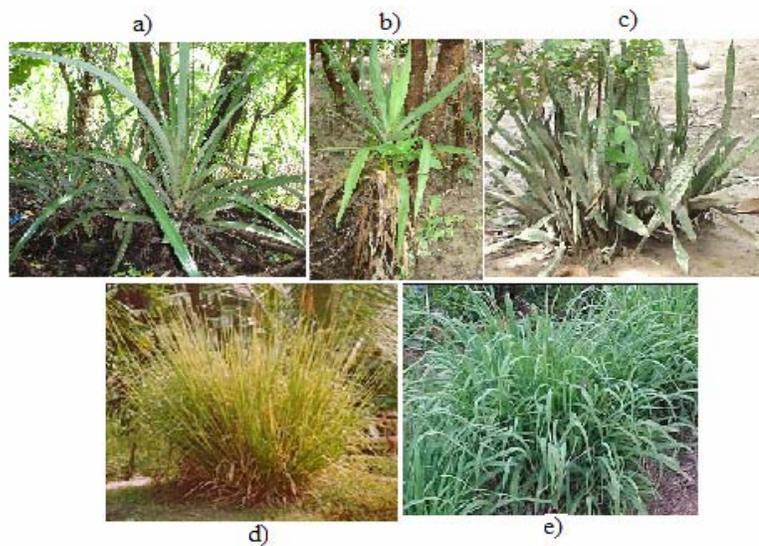
***Fuente: Guía Técnica CSA, PASOLAC 2000.***

El objetivo principal de las barreras vivas es el de reducir la velocidad de escorrentía superficial y retener el suelo que en ella se transporta. Para que este objetivo se cumpla, las especies se plantan lo más unidas posibles, para que en el menor tiempo la barrera sea continua (Figura 4.26).



*Figura 4. 26. Esquema de una barrera viva*

En nuestro país, las especies más utilizadas son: Izote (Yuca elephantipes), piña (Ananas comosus), zacate limón (Andropogon citratus), zacate vetiver (Vetiveria zizanioides), espada de San Miguel (curarina, lengua del diablo), etc. (Ver Fotografía 4. 52)



*Fotografía 4. 52. Especies más utilizadas en El Salvador para barreras vivas a) piña, b) izote, c) espada de San Miguel, d) zacate vetiver y e) zacate limón.*

Al disminuir la velocidad de escorrentía y retener mayor humedad en los suelos, las barreras vivas permiten la conservación y restauración de suelos y agua. Con un sistema de barreras vivas, se disminuyen los efectos nocivos causados por la escorrentía superficial y por lo tanto, se contribuye a conservar la productividad de los recursos naturales (Ver Fotografías 4. 53 y 4.54).



***Fotografía 4.53. Sectores aledaños a Las Colinas en Santa Tecla. Se han utilizado barreras vivas para estabilizar taludes en dichas zonas***



***Fotografía 4.54. Utilización de barreras vivas con izote para la estabilización de un talud.***

### *Campos de aplicación.*

Las barreras vivas son prácticas que se pueden establecer en todo el territorio nacional, de acuerdo a la especie a utilizar; son recomendadas para pendientes hasta del 15 %; arriba de esta inclinación, deben combinarse con otras actividades de manejo sostenible de suelos y agua.

### ***Material y Equipo.***

Los materiales y herramientas necesarias para construir barreras vivas son:

- ✓ Material vegetativo o semilla
- ✓ Estacas
- ✓ Azadones
- ✓ Piochas
- ✓ Cintas métricas
- ✓ Corvo, cuma o cuchillo
- ✓ Nivel (eclímetro, tipo A, etc.)

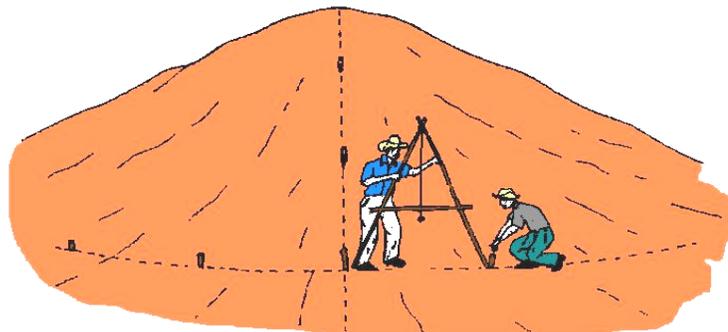
### *Ventajas*

- ✓ Disminuyen la velocidad de escorrentía
- ✓ Retienen suelo
- ✓ Mejoran la infiltración de agua en el terreno
- ✓ Constituyen una fuente alternativa de forraje

- ✓ Sirven de guía para la siembra apropiada de cultivos
- ✓ Bajos costos de establecimiento
- ✓ Alto porcentaje de aceptación por parte de los agricultores

### ***Procedimiento para la construcción de barreras vivas***

1. Trazo y estaquillado de línea guía: Se ubica a favor de la pendiente y en el sector del terreno con inclinación representativa. Las estacas, se colocarán de arriba hacia abajo y a un distanciamiento de 10 a 12 metros, que es el recomendado para esta práctica (Figura 4. 27).



***Figura 4.27. Trazo y estaquillado de línea guía***

2. Preparación del material que se sembrará (Figura 4.28)



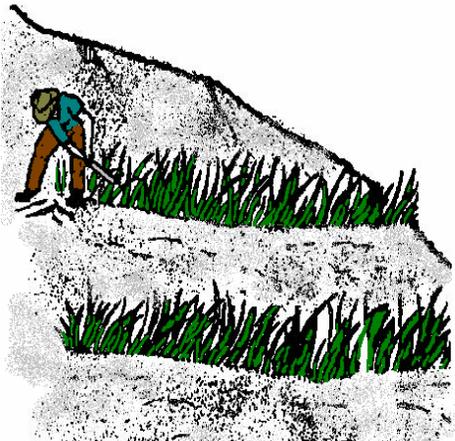
*Figura 4. 28. Selección y preparación del material*

3. Plantación o siembra del material vegetativo.
4. Sobre la curva, se hace una zanja de 0.05 a 0.10 metros de ancho y 0.10 metros de profundidad y luego, se planta el material a un distanciamiento apropiado. En el caso de semilla, se hace un rayón sobre la curva y se siembra a chorro seguido (Figura 4. 29). Los espaciamientos entre posturas de material sobre la curva, son los siguientes: Izote, 0.20 metros; piña, 0.50 metros; zacate limón y zacate vetiver, 0.10 metros, zacate elefante, cadena continua; gandul, chorro seguido; etc.



*Figura 4. 29. Siembra de la especie que formará la barrera.*

5. Darle mantenimiento a la barrera. Hay que podarla y hacer resiembras (Figura 4. 30).



*Figura 4. 30. Mantenimiento de la barrera viva.*

#### *Recomendaciones*

- No utilizar especies invasoras
- Iniciar el establecimiento en la parte alta de los terrenos
- Podarlas periódicamente, por lo menos dos veces por año
- Utilizar especies de usos múltiples, principalmente forrajeras

Dado que en la actualidad, las barreras vivas más utilizadas para estabilizar laderas y taludes en muchos países y en El Salvador, son las construidas con zacate vetiver debido a sus propiedades (Fotografía 4. 55), a continuación se describe el procedimiento para realizarlas:



**Fotografía 4.55. Sector Las Colinas en Santa Tecla. Se observa el crecimiento de zacate vetiver y los trabajos de conformación de terraza para su siembra.**

**Nombre Común: Vetiver**

Nombre Científico: *Vetiveria zizanioides*

#### *Descripción*

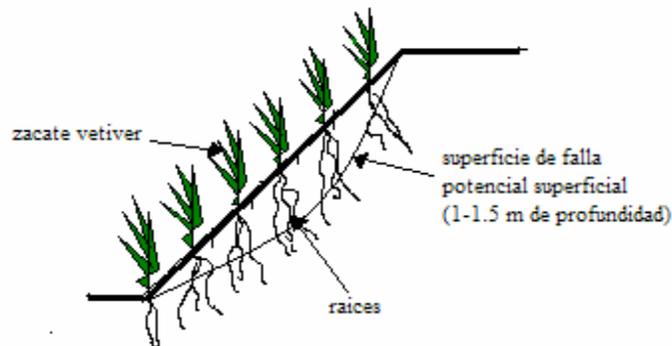
Actualmente en El Salvador el pasto vetiver ha sido ampliamente difundido por los programas de transferencia de tecnología como una alternativa para el control de la erosión en zonas de ladera, lo cual favorece grandemente la adopción por parte de los productores debido a las múltiples ventajas generadas de la utilización de este pasto como barrera viva para el control de la escorrentía y la reducción de la tasa de pérdida de suelo.

El pasto vetiver es originario del Sureste Asiático específicamente desde la India hasta China. Sus zonas de siembra son a nivel de los cinco continentes, es una gramínea perenne que pertenece a la familia Andropogoneae, su principal

característica es que posee tupida cantidad de hojas, carece de aristas, es resistente y sin vellosidades, no tiene rizomas ni estolones y se propaga mediante divisiones radiculares o manojos enraizados.

Cuando las raíces del zacate vetiver interactúan con el suelo en el cual está creciendo se forma un nuevo material integrado por raíces con unas altas resistencias a tensión y adherencia embebidas en una matriz con débil resistencia de tensión. En otras palabras, la resistencia al cortante del suelo es tomada es intensificada por la matriz de raíces (Styczen y Morgan, 1995).

Las raíces del vetiver son muy fuertes, poseen una resistencia significativa a la tensión de aproximadamente 75 MPa. Cuando la densa y masiva red radical actúa en conjunto tiene un comportamiento parecido al del suelo anclado usado comúnmente en ingeniería civil, aplicable únicamente a superficies de falla poco profunda (ver Figura 4. 31). Con su innato poder para penetrar estratos duros o capas de roca, la acción de las raíces del vetiver es análoga a anclajes del suelo vivos (Hengchaovanich, 1998).



**Figura 4. 31. Esquema del mecanismo de estabilización de taludes mediante zacate vetiver**

#### *Características Botánicas*

- Raíz: ramificada y esponjosa que alcanza hasta tres metros de profundidad.
- Tallo: erguidos con altura entre 0.5 y 1.5 metros.
- Hojas: relativamente rígidas, largas y angostas un tanto afiladas, de 75 centímetros de largo y hasta 8 milímetros de ancho.
- Flor: panícula con 15 y 40 centímetros de largo; los nudos y pedicelos sin vellosidades.
- Semilla: Básicamente el medio de propagación más utilizado con esta especie es su sistema radicular, el cual se divide dejando una parte del tallo de 15 a 20 cm de largo para luego ser sembrado.

## ***Requerimientos Climáticos y Edáficos***

### *Climáticos*

Se adapta a temperaturas que oscilan entre los -9 a 45 °C y a un rango de precipitación que varía entre 500 y 6000 mm.

### *Edáficos*

Se adapta a suelos con cualquier tipo de textura y tolera una variación del Ph excepcionalmente amplia.

### *Variedades / Cultivares De Vetiver*

Hay diez especies conocidas del pasto vetiver y cientos de cultivares diferentes que muestran diferencias fenotípicas distintas que pueden ser explotadas por los usuarios dependiendo de la necesidad. Por ejemplo, tipos gruesos, con hojas fuertes y rectas pueden soportar velocidades altas de la escorrentía y probablemente son mejores para el control de erosión en cárcavas; los tipos suaves son mejores para forraje.

### *Adaptación*

El pasto vetiver se adapta desde el nivel del mar hasta 2600 msnm; prefiere los suelos francos arenosos profundos; sin embargo puede desarrollarse en diferentes tipos de suelo.

### *Rendimiento*

El pasto vetiver bajo condiciones fértiles, buena humedad y adecuado manejo tiene un rendimiento de 315,000 manojos por hectárea.

### *Usos*

Los usos normales del pasto vetiver son el aceite aromático, material para techos, artesanías, mulch, forraje, papel, usos medicinales, almohadilla perfumada, repelente para insectos y principalmente como material para el establecimiento de barreras vivas para la conservación de suelo y agua y estabilización de taludes.

### *Preparación Del Suelo*

Es necesario efectuar el trazo, estaquillado y picado del suelo en una franja de 0.10 metros y 0.10 m de profundidad.

## **MANEJO DEL CULTIVO**

### *Época de siembra*

La siembra debe ser al inicio de la estación lluviosa hasta el mes de julio, cuando el suelo ha alcanzado un elevado nivel de humedad.

### *Siembra*

De una macolla es posible obtener de 10 a 12 manojos, y por metro lineal de barrera se deben sembrar de siete a diez pequeños manojos a una distancia de 10 a 15 cm por postura en forma tupida; la distancia entre barreras debe ser de 7 a 50 metros dependiendo de la pendiente del terreno. Deben seleccionarse manojos de buena calidad y sembrarse a más tardar tres días después de su preparación.

### *Poda*

Esta debe realizarse dos o tres veces al año a una altura de 0.30 a 0.40 metros; el follaje podado debe ser colocado en la parte superior de la barrera y/o en el caso de vivero debe distribuirse uniformemente en las calles como cobertura al suelo.

### *Fertilización*

Cuando se hace a nivel de vivero debe usarse 150 Kg. de nitrógeno por hectárea por año. En el caso de barreras vivas se puede aplicar fórmula 16-20-0 en cantidades de 15 kg/100 metros lineales de barrera; asimismo puede usarse estiércol bovino en cantidad de 100 Kg. por cada 100 metros lineales de barrera.

### *Establecimiento de Barreras*

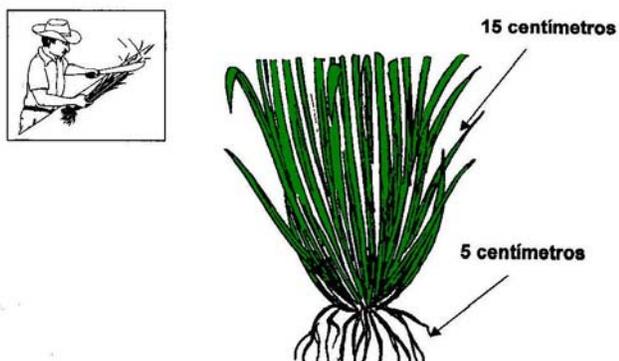
Para obtener resultados óptimos, los manojos deben plantarse en hileras dobles o triples de manera que formen barreras perpendiculares a la escorrentía.

#### **Procedimiento.**

1. Trazo y estaquillado de la curva a nivel: Ver tabla 4.2 para la separación entre las barreras vivas de zacate vetiver, de acuerdo a la pendiente.
2. Selección del material: Se deben seleccionar macollas de buena calidad, extrayéndose cuidadosamente con un azadón.
3. Las macollas son separadas en manojos de aproximadamente dos centímetros de grosor.
4. Preparación de los manojos: Las hojas de los manojos enraizados deben ser cortadas a una altura de 15 a 20 cm de altura a partir de la base de la raíz (Figura 4. 32). Los manojos preparados deben ser sembrados a una distancia de 10 a 15 cm formando una barrera muy estrecha.

**Tabla 4.2. Separación entre barreras vivas de zacate vetiver, de acuerdo con la pendiente.**

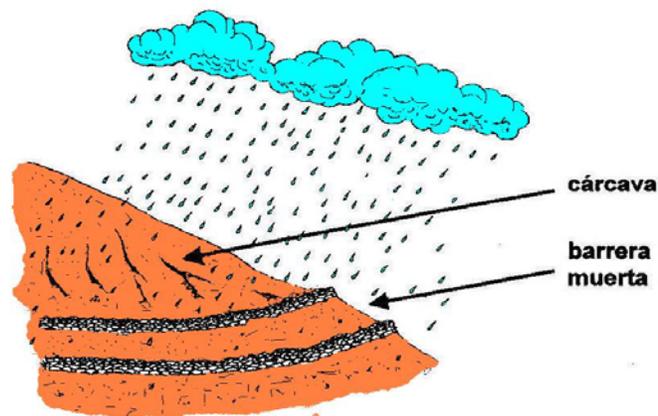
Pendiente promedio del terreno (%)	Altura de la barrera: 0.50 m	
	Distanciamiento horizontal entre barreras (m)	Longitud de barreras (m)
2	50	200
3	33	303
4	25	400
5	20	500
6	16	625
7	14	714
8	12	833
9	11	909
10	10	1000
11	9	1111
12	8	1250
13	7	1429
14	7	1429
15	7	1429



**Figura 4. 32. Dimensiones de la macolla de zacate vetiver que se utiliza en la siembra.**

### ***c.9 Barreras Muertas***

Las barreras muertas son barreras de piedra, broza, troncos u otros materiales. Son efectivas para reducir la erosión, ya que frenan la fuerza de la escorrentía del agua lluvia (Figura 4.35). Entre menor sea la velocidad de la escorrentía, menor es la cantidad de suelo que puede ser arrastrado. Por este motivo, al topar la escorrentía con la barrera muerta, mucho suelo es detenido en la parte de arriba de la misma y el nivel del suelo detrás de la barrera va subiendo formando una pequeña terraza. (Figura 4. 33)



***Figura 4. 33. Esquematización de una barrera muerta***

Entre más cerca estén las barreras, más efectivas son, ya que detienen la fuerza del agua; sin embargo, los espaciamientos máximos recomendados se muestran en la tabla 3 de la sección c.8. En terrenos más inclinados es recomendable que

las barreras estén más cerca. Las barreras muertas pueden ser combinadas con otras prácticas de conservación de suelos, tales como las barreras vivas (Figura 4. 34).



*Figura 4. 34. Combinación de barreras muertas y vivas*

Las barreras muertas son prácticas sencillas y económicas que ayudan a disminuir la velocidad de las escorrentías en las laderas. Una buena barrera muerta debe tener las siguientes características:

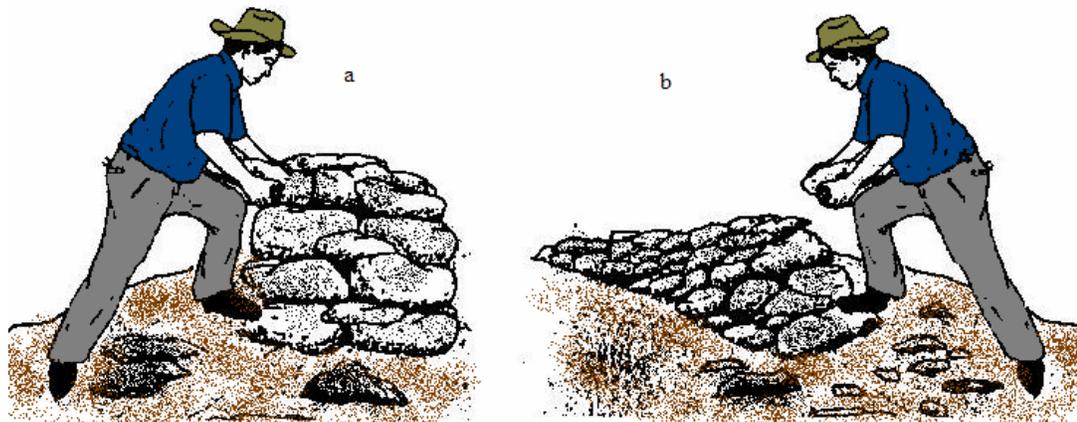
- Fácil de construir
- Altura mínima de 30 centímetros
- Debe ser bien hecha para facilitar su mantenimiento
- Aprovechar el material disponible en el terreno
- Debe seguir las curvas de nivel.

Las barreras muertas pueden ser de piedra, rastrojos o troncos de árboles (Figura 4.35). Las barreras de rastrojos son muy rápidas de levantar; sin embargo, son muy poco duraderas. Las barreras de piedra pueden ser de

cimiento o doble cara y de recostado o de una sola cara (Figura 4.36); obviamente, las primeras permiten acumular más suelo detrás de ellas.



*Figura 4. 35. Construcción de una barrera muerta usando rastrojos y piedras*



*Figura 4. 36. Construcción de barreras muertas: a) Barrera de piedra de doble cara y b) barrera de piedra de una sola cara*

**Procedimiento para levantar una barrera muerta:**

1. En la parte más empinada son colocadas las estacas de la línea guía o línea madre. Partiendo de las estacas de esta línea, son colocadas y corregidas las curvas a nivel (Figura 4. 27 sección barreras vivas).
2. Juntar el material con que se construirá la barrera. (Figura 4. 37)



*Figura 4. 37. El material para la barrera puede juntarse en el mismo terreno o traerse desde otro lugar.*

3. Preparar la franja del terreno por donde pasará la barrera muerta. (Figura 4. 38)



*Figura 4. 38. Haciendo una zanja para colocar la barrera muerta.*

4. Levantar la barrera muerta según el material a utilizar (Figura 4. 36).

#### **d. EMPLEO DE MATERIALES LIGEROS.**

Basta decir que lo que se busca es la reducción de las fuerzas motoras, empleando en el cuerpo del terraplén materiales de bajo peso volumétrico. El tezontle, la espuma basáltica volcánica, con peso volumétrico comprendido por lo general entre 0.6 y 1.2 ton/m<sup>3</sup> han sido muy utilizados para estos fines.

El uso de materiales ligeros debe comprenderse claramente cuando se compacten los terraplenes, pues muchos de ellos se degradan estructuralmente por compactación muy enérgica y pierden su característica de materiales ligeros. Otras soluciones en esta línea, tales como la substitución de parte del terraplén por tubos o cajones huecos de concreto, resultan muy costosas por lo que su uso es limitado.

#### 4.2.2 INCREMENTO DE FUERZAS RESISTENTES.

##### ***a) APLICACIÓN DE FUERZAS RESISTENTES AL PIE DEL TALUD.***

###### ***a.1 Estructuras de Retención***

La principal aplicación de este método es la prevención de deslizamientos, pero para que estas estructuras cumplan con su objetivo, es necesario que la superficie de falla formada o por formarse sea contenida por la estructura de retención; el efecto de este será nulo si no se aplica este concepto, que en muchos casos lleva a muros muy altos los cuales necesitan de una cimentación muy profunda, incrementando sus costos. También se debe garantizar un drenaje adecuado que permita la salida del agua a través del muro para evitar un posible colapso debido a la saturación del suelo.

Las estructuras de retención se construyen, por lo general, al pie de terraplenes, aunque se utilizan con éxito al pie de cortes para mejorar la visibilidad en una carretera. Las estructuras de retención tienen la ventaja de utilizar poco espacio para su erección, por lo que su uso se vuelve más común en lugares donde no existe espacio para abatir el talud.

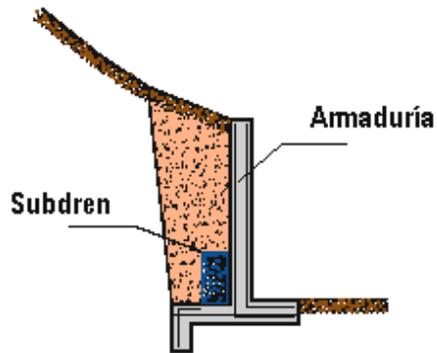
Existen varios tipos de estructuras de retención en función de su manera de transmitir las cargas, los cuales se pueden clasificar en Muros Rígidos y Muros Flexibles.

### ***a.1.1. MUROS RÍGIDOS***

Son estructuras rígidas, generalmente de concreto, las cuales no permiten deformaciones importantes sin romperse. Se apoyan sobre suelos competentes para transmitir las fuerzas desde su cimentación hacia el cuerpo del muro, y de esta forma generar fuerzas de contención. Este tipo de estructuras se pueden clasificar de acuerdo al material por el que están constituidos:

#### ***Muros de Concreto Armado.***

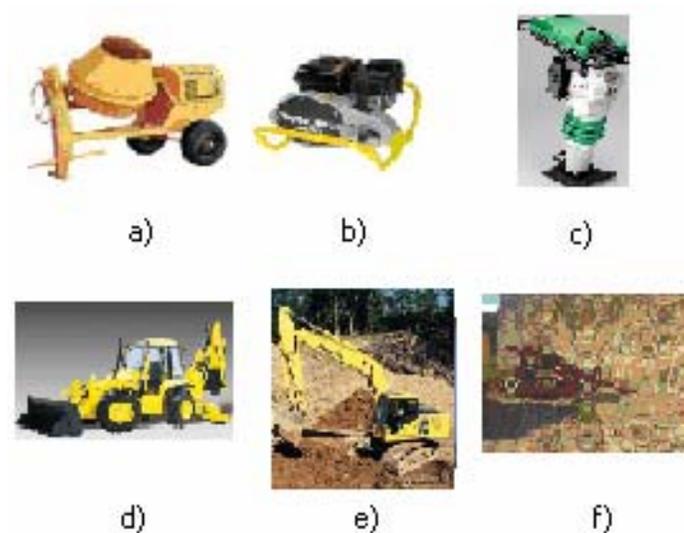
Estos pueden ser utilizados en grandes alturas (superiores a 10 metros) previo su diseño estructural y estabilidad. Utiliza métodos de construcción convencionales por lo que no necesita de grandes conocimientos para llevarlo a cabo. Este tipo de muros requiere de un buen piso de cimentación y de formaletas especiales, lo que hace que sus costos sean altos. Debido a su poco peso no son muy efectivos en casos de estabilización de deslizamientos de masas grandes de suelo. Ver Figura 4. 39.



*Figura 4.39. Esquema de un Muro de Concreto Armado para la estabilización de taludes.*

#### ***Material y Equipo.***

- Cemento, arena, grava y agua para el concreto.
- Madera y clavos para el encofrado
- Acero
- Desencofrante y aditivos para el concreto
- Mezcladora
- Vibrador
- Herramientas básicas: palas, piochas, pisones, serruchos, cucharas, etc.



**Figura 4.40.** *Maquinaria comúnmente utilizada para los métodos de incremento de resistencia interna: a) mezcladora, b) vibrador de gasolina, c) bailarina, d) retroexcavadora, e) excavadora hidráulica, f) perforadora.*

***Proceso Constructivo.***

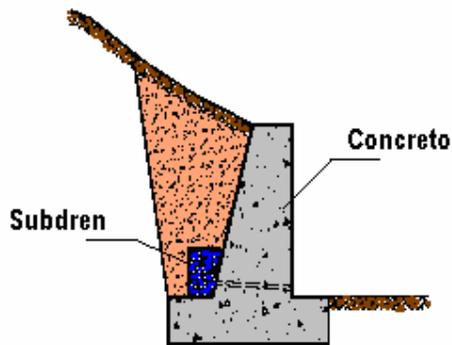
1. Hacer el trazo del muro.
2. Realizar la excavación hasta la profundidad de desplante deseada.
3. Preparar la superficie, nivelándola, y mejorando el suelo, ya sea por compactación o por sustitución del mismo.
4. Colocar la armadura de la solera de fundación que sostendrá al muro.
5. Colocar el acero vertical, uniéndolo con la armadura de la solera.
6. Realizar el colado de la solera de fundación.
7. Colocar formaletas en los extremos del muro, las cuales indiquen la forma de la sección transversal del mismo en base a los planos.
8. Terminar de colocar el encofrado a lo largo de toda la longitud del muro.

9. Colocar los tubos de drenaje.
10. Dejar juntas de expansión a cada 6 metros de longitud.
11. Realizar el colado del muro, cuidando que la mezcla tenga las proporciones adecuadas.
12. Vibrar el concreto.
13. Retirar las formaletas según especificaciones.

#### ***Muros de Concreto Simple***

Son relativamente fáciles de construir, pueden construirse en curvas y en diferentes formas para propósitos arquitectónicos y pueden colocarse enchapes para su apariencia exterior.

Este tipo de muros requiere de una buena fundación y no permite deformaciones importantes; también se requiere de grandes cantidades de concreto y de un tiempo de curado antes de que pueda trabajar de manera efectiva. Por todo esto, se considera que estos muros son totalmente anti-económicos para alturas mayores de 3 metros. Ver Figura 4. 41.



*Figura 4. 41. Esquema de un muro de Concreto Simple para la estabilización de taludes*

***Material y Equipo.***

- Cemento, arena, grava y agua para el concreto.
- Madera y clavos para el encofrado
- Acero por temperatura (si es necesario)
- Desencofrante y aditivos para el concreto
- Mezcladora
- Vibrador
- Herramientas básicas: palas, piochas, pisones, serruchos, cucharas, etc.

***Proceso Constructivo.***

1. Hacer el trazo del muro.
2. Realizar la excavación hasta la profundidad de desplante deseada.
3. Preparar la superficie, nivelándola, y mejorando el suelo, ya sea por compactación o por sustitución del mismo.

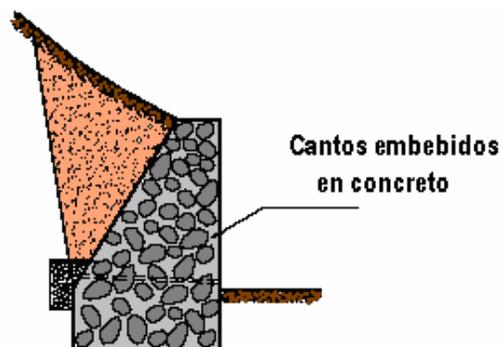
4. Colocar formaletas en los extremos del muro, las cuales indiquen la forma de la sección transversal del mismo en base a los planos.
5. Terminar de colocar el encofrado a lo largo de toda la longitud del muro.
6. Colocar los tubos de drenaje.
7. Si el muro va a tener acero por temperatura, este se coloca en el lado donde el muro quedará expuesto al sol, previamente al colado.
8. Dejar juntas de expansión a cada 6 metros de longitud.
9. Realizar el colado del muro, cuidando que la mezcla tenga las proporciones adecuadas.
10. Vibrar el concreto.
11. Retirar las formaletas según especificaciones.

#### ***Muros de Concreto Ciclópeo:***

Estos son similares a los muros de concreto simple, a diferencia que éstos utilizan bloques o cantos de roca como material embebido, lo que disminuye los volúmenes de concreto a utilizar. Estos muros no pueden soportar esfuerzos grandes de flexión.

Los muros de concreto ciclópeo actúan como estructuras de peso o gravedad, por lo que no se recomienda su uso para alturas mayores a 4 metros, debido no

solamente al aumento de costos, sino también a la presencia de esfuerzos de flexión que no pueden ser resistidos por las rocas y el concreto, pudiéndose presentar roturas por flexión en la parte inferior del muro o dentro del cimiento. Ver Figura 4. 42.



*Figura 4.42. Esquema de un muro de Concreto Ciclópeo para la Estabilización de taludes*

#### ***Material y Equipo.***

- Cemento, arena, agua y piedras de gran tamaño (boleos) para el concreto ciclópeo.
- Madera y clavos para el encofrado
- Desencofrante y aditivos para el concreto
- Mezcladora
- Herramientas básicas: palas, piochas, pisones, serruchos, cucharas, almádanas, etc.

### ***Proceso constructivo.***

1. Hacer el trazo del muro.
2. Realizar la excavación hasta la profundidad de desplante deseada.
3. Preparar la superficie, nivelándola, y mejorando el suelo, ya sea por compactación o por sustitución del mismo.
4. Colocar formaletas en los extremos del muro, las cuales indiquen la forma de la sección transversal del mismo en base a los planos.
5. Terminar de colocar el encofrado a lo largo de toda la longitud del muro.
6. Colocar los tubos de drenaje.
7. Realizar el colado del muro, dejando juntas de expansión a cada 6 metros de longitud.
8. Retirar las formaletas según especificaciones.

### ***Muros de Piedra***

Este tipo de muros se puede utilizar para contener cualquier tipo de suelos, sin embargo su uso es recomendable para alturas menores a 4 metros, ya que no resiste grandes esfuerzos de flexión, y en lugares en donde el material sea abundante, lo que permite reducir sus costos de transporte y lo que además facilita su colocación.

Este sistema consiste de piedras acomodadas a manera de formar el muro, las cuales están ligadas con mortero de proporciones por lo general de 1:3 o 1:4. Es importante hacer notar que las piedras a utilizar deben ser de origen basáltico, ya que estas poseen la rugosidad y el peso específico adecuado, lo que resulta de gran importancia debido a que este sistema trabaja por gravedad. Ver fotografías 4.56 y 4.57.



*a)*



*b)*

**Fotografía 4. 56. Muro de piedra en talud ubicado atrás de edificio de Filosofía, Universidad de El Salvador, a) vista frontal, b) vista posterior**



*(a)*



*(b)*

**Fotografía 4.57. Muro de piedra. a) Vista de las juntas, b) vista panorámica**

### ***Material y equipo.***

- Piedras de origen basáltico
- Cemento, arena y agua para la elaboración del mortero
- Madera para conformar la sección transversal
- Herramientas: palas, pisones, almádanas, serruchos, martillos, cucharas, etc.
- Mezcladora

### ***Proceso Constructivo.***

1. Hacer el trazo del muro.
2. Realizar la excavación hasta obtener la profundidad de desplante deseada, procurando dejar un espacio adicional para trabajar de aproximadamente 30-50 cms.
3. Compactar o sustituir la superficie de suelo, procurando que esta quede nivelada.
4. Colocar una base de mortero de 1 cm de espesor.
5. Colocar moldes en los extremos de la longitud del muro, los cuales conformen la sección transversal del mismo.
6. Comenzar con la colocación de las piedras, procurando llevar los materiales desde la parte más alta para facilitar su acarreo.

7. Acomodar las piedras de mayor tamaño en la parte de abajo y las de menor tamaño en la parte superior, rellendo los huecos entre ellas con piedras pequeñas. Es importante mencionar que este trabajo debe ser realizado por un albañil, para garantizar la correcta colocación de las piedras y para ahorrar mezcla de mortero. Ver Fotografía 4. 58.
8. Las piedras van ligadas con mortero de proporciones según las especificaciones del proyecto.
9. A medida se van colocando las piedras, se va dejando los espacios necesarios para el sistema de drenaje que se va a utilizar, los cuales pueden ser tubos de concreto o de pvc, generalmente con un diámetro entre 4-6 pul.



*Fotografía 4. 58. Construcción de un muro de piedra.*

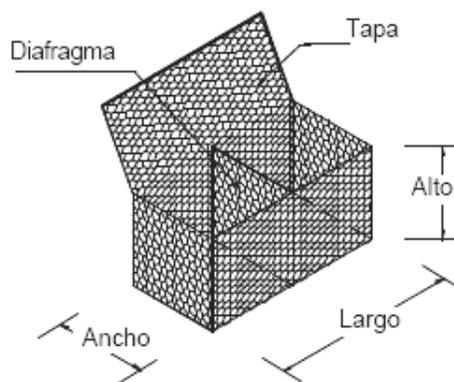
### ***a.1.2. MUROS FLEXIBLES.***

Estos son estructuras flexibles que se adaptan a los movimientos; su efectividad depende de su peso y de la capacidad de soportar deformaciones importantes sin que se rompa su estructura. Dentro de este tipo de muros están:

#### ***🌈 Muros Gaviones***

Los gaviones consisten en una caja de forma prismática regular, fabricada con malla metálica de triple torsión de alambre galvanizado, la cual tiene la rigidez necesaria para facilitar la instalación del gavión y para rellenarla de piedras.

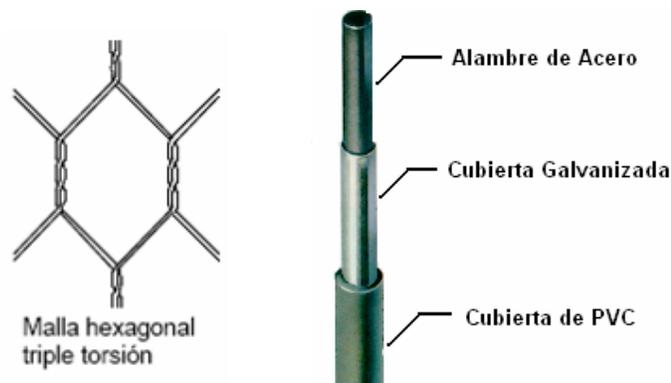
Figura 4.43.



***Figura 4.43. Esquema de un gavión tipo caja.***

Los diafragmas verticales sujetos a la base de los gaviones tienen como propósito limitar el movimiento interno del relleno de piedras y reforzar más el armazón. La tela metálica con forma de hexágonos es de triple torsión y está galvanizada para darle resistencia a la presión y la corrosión (Ver Figura 4.44).

En algunos casos donde los muros de gaviones estarán bajo el ataque de agentes perjudiciales, se les coloca un forro de PVC.



*Figura 4.44. Detalle de los componentes de la malla de los gaviones.*

Este tipo de estructura trabaja por gravedad y no necesita de cimentaciones profundas. En nuestro medio este tipo de muros es muy utilizado, ya que se puede implementar en cualquier tipo de material que conforme un corte o talud, ya sean suelos o rocas; aunque en el caso de rocas la función de los gaviones se reduce a la protección ante un posible desprendimiento.

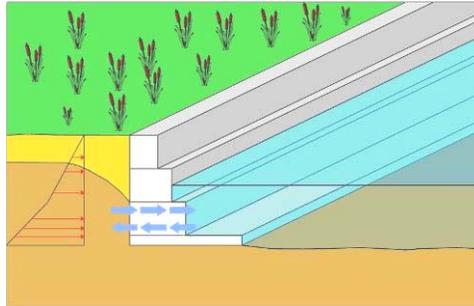
Las estructuras de gaviones, por ser de tipo flexible, pueden soportar algunos movimientos horizontales o verticales sin fallar, lo que se convierte en una ventaja ya que se puede adaptar a los movimientos de la tierra. La flexibilidad intrínseca del armazón de los gaviones, sujetos a tensión y compresión alternantes, les permite trabajar sin romperse, y así se evita que pierdan su eficacia estructural. Ver Fotografía 4. 59.



*Fotografía 4. 59. Ejemplo de la flexibilidad de las estructuras de gaviones*

Como los gaviones se sujetan entre sí, la tela metálica resiste mucho la tensión, a diferencia del concreto. El armazón de la tela metálica no es solamente un recipiente para el relleno de piedras, sino un refuerzo de toda la estructura, por lo que los gaviones proporcionan cierta resistencia a los esfuerzos de compresión, tensión y torsión.

Otra de las características importantes de los gaviones es su permeabilidad, ya que no contienen aglutinantes ni cementantes dentro de su material de relleno, por lo que quedan huecos o intersticios a través de los cuales el agua puede pasar; también disipan la energía del agua y disminuyen los empujes hidrostáticos. Ver Figura 4.45.



*Figura 4.45. Esquema de la permeabilidad de los gaviones.*

Los gaviones son efectivos en situaciones donde controlar la erosión es importante y puede ser considerado como diseño que envuelve bermas o tendido de taludes adyacentes a ríos, quebradas o arroyos donde el agua que fluye puede filtrarse dentro del talud.

Aunque resulta más fácil fabricar gaviones, siempre hay que respetar las reglas básicas de la ingeniería para asegurar la estabilidad de la estructura y su funcionalidad. En particular, los gaviones a menudo se asocian a los cortes y relleno de los terrenos y, por ende, debe garantizarse la estabilidad estática y la resistencia intrínseca de la estructura en conjunto y de todas sus partes por separado.

## Ejemplos de Aplicación en Nuestro País.



(a)

(b)

(c)

**Fotografía 4. 60. Ejemplos de muros gaviones: a) Km. 11 ½ Carr. a La Libertad, b) San Ignacio, Chalatenango, c) Fundación Padre Arrupe, Soyapango.**

### ***Material y equipo.***

Básicamente los materiales necesarios para construir muros gaviones son:

- Gaviones tipo caja
- Alambre de triple torsión para el amarre
- Piedras de relleno.
- Herramientas básicas: piochas, almádanas, pisones, etc.

Las piedras que conforman el relleno deben tener las dimensiones apropiadas las cuales varían de 1.5 hasta 2 veces la menor dimensión de la malla para evitar que estas salgan por sus aberturas; prácticamente cualquier tipo de piedras puede ser utilizado, siempre y cuando tengan un peso específico adecuado (ya que estos muros trabajan por gravedad), por lo que una

estructura de gaviones cuesta mucho menos que las estructuras convencionales.

El equipo a utilizar estará en función de la envergadura del proyecto y del tiempo disponible para realizarlo: si el muro a construir es de grandes dimensiones y se cuenta con poco tiempo para hacerlo se puede utilizar una pala mecánica para realizar el llenado de los gaviones; aunque por lo general el llenado se hace de forma manual, con herramientas básicas y sin contar con mano de obra especializada.

***Proceso Constructivo.***

1. Nivelar la base donde serán colocados los gaviones hasta obtener una superficie regular.
2. Desdoblar los gaviones sobre una superficie plana y rígida, pisando la red para eliminar las irregularidades. Ver fig. 4.46.



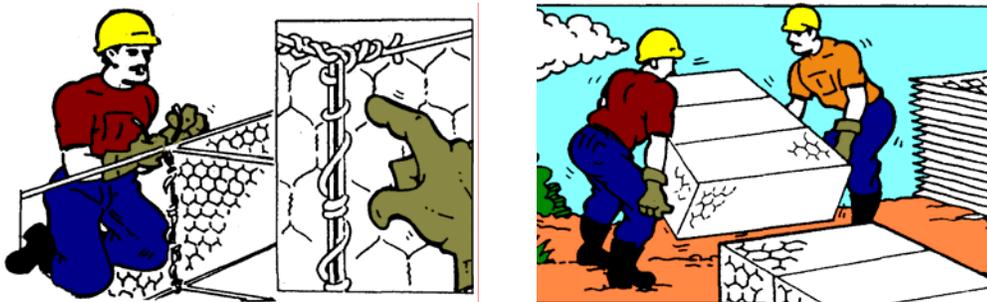
***Figura 4.46. Esquema del desdoblado de los paneles de los gaviones.***

3. Doblar los paneles para formar la caja, levantando los laterales y los diafragmas y amarrando los extremos y los diafragmas con los laterales.



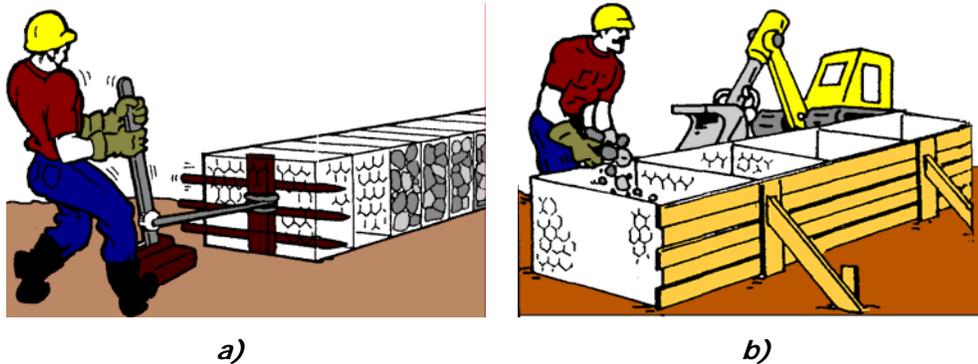
*Figura 4. 47. Esquema del doblado y amarre de los gaviones tipo caja.*

4. Amarrar varias cajas en grupos, asegurándose de unir todas las aristas en contacto.



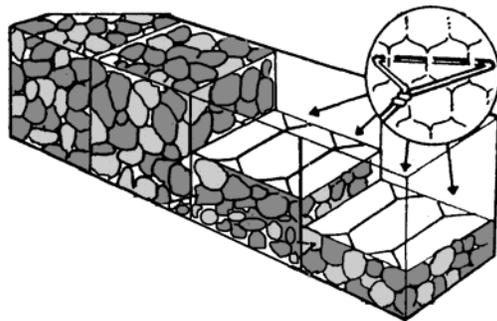
*Figura 4. 48. Esquema del amarre y colocación de los gaviones tipo caja.*

5. Para obtener un mejor alineamiento o acabado, los gaviones pueden ser tensionados con un tirfor antes del llenado, o puede ser utilizado un encofrado de madera en la cara externa. Ver fig. 4.49



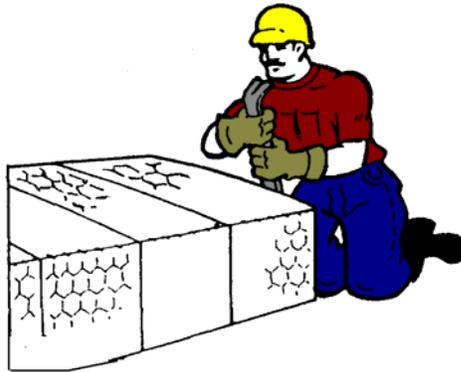
a)  
 b)  
**Figura 4. 49. Esquema alineación y tensado de los gaviones: a) haciendo uso de un tirfor, b) utilizando encofrados.**

6. El llenado de los gaviones puede hacerse de forma manual o con maquinaria, dependiendo de la envergadura del proyecto. El llenado se realiza a cada tercio de su capacidad total, fijando en cada capa dos tirantes horizontales para luego proceder con el llenado de la siguiente capa. El llenado de la capa final debe hacerse hasta una altura de 3 a 5 cm arriba de la altura de la caja.
7. No se debe llenar una caja sin que la del lado esté también parcialmente llena.



**Figura 4.50. Esquema del llenado correcto de los gaviones.**

8. El cierre de las cajas se hará doblando las tapas y amarrándolas en los bordes a los paneles verticales. Ver fig. 4.51



*Figura 4.51. Esquema del cierre de los gaviones.*

9. Los gaviones colocados arriba de una hilera previamente colocada se deben amarrar a lo largo de todas las aristas en contacto con ellas.



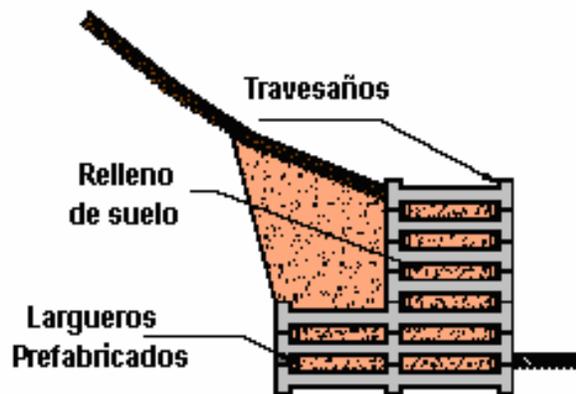
*Fotografía 4. 61. Colocación de las hileras de gaviones.*

### **Muros Tipo Criba**

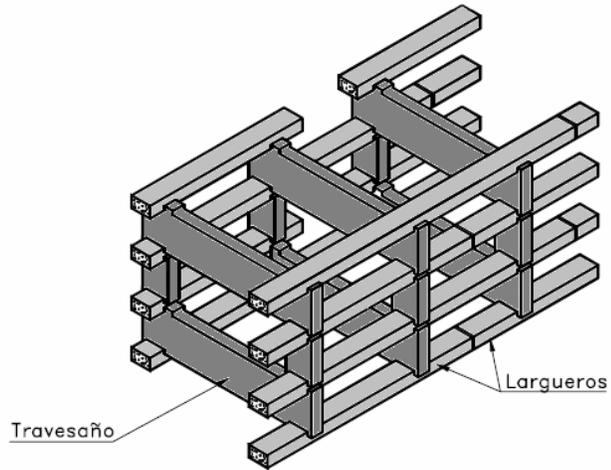
Este tipo de muros combina el uso de elementos prefabricados y suelo compactado para estabilizar taludes. Para que este sistema funcione

adecuadamente se requiere que el suelo utilizado para la compactación sea del tipo granular autodrenante. Este sistema se puede utilizar en alturas no mayores de 7 metros.

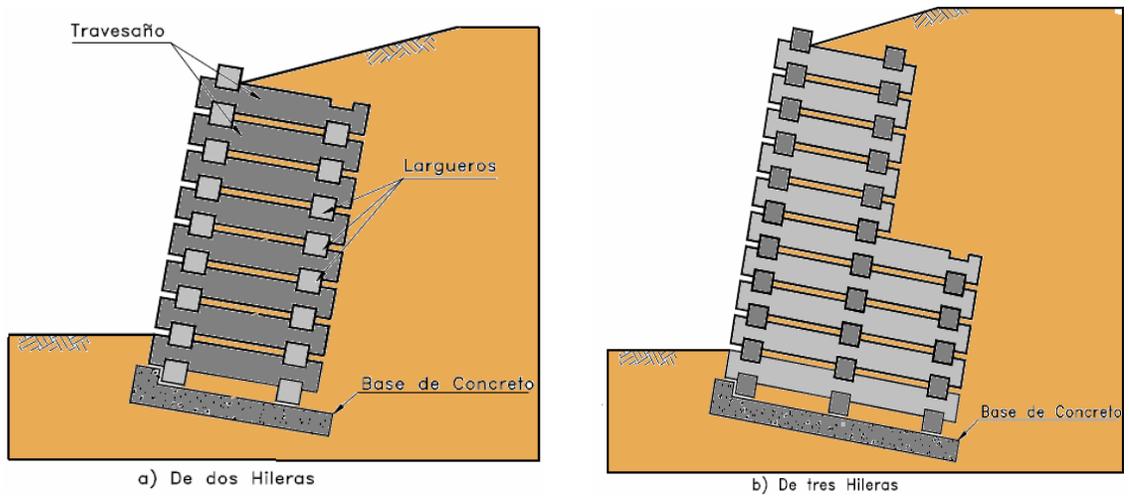
El uso de elementos prefabricados permite un mejor control de calidad, aunque en algunos casos su ejecución puede resultar costosa debido a la necesidad de prefabricar los elementos de concreto armado necesarios para solamente un muro. Estos muros requieren de un proceso constructivo simple, y su mantenimiento no resulta complicado. Ver Figuras 4. 52, 4.53 y 4.54.



*Figura 4.52. Esquema de Muro Tipo Criba en la estabilización de taludes.*



**Figura 4.53. Colocación de los largueros y travesaños para la conformación de un muro tipo criba.**



**Figura 4.54. Colocación de los travesaños y largueros de los muros tipo criba en la estabilización de taludes, en función del número de largueros utilizados.**

### **Muros de Bloques de Concreto**

Este tipo de muros están conformados por bloques de mampostería de concreto, por lo general de 20 cm de espesor, los cuales van ligados con mortero y llevan acero de refuerzo, tanto vertical como horizontal, con el fin de que sea éste el que absorba los esfuerzos de flexión producidos por el suelo.

Estructuralmente este tipo de muros trabaja como un elemento en voladizo. Teóricamente este tipo de muros puede ser utilizado hasta una altura de 7 metros, pero se requiere de grandes cantidades de acero, lo que eleva su costo, por lo que su uso podría limitarse hasta una altura de 5 metros. (Según experiencia de ingenieros estructuristas y constructores).

Por la facilidad de su construcción y por su funcionalidad, este tipo de muros resulta muy económico en comparación con otras alternativas estructurales.

### Ejemplos de aplicación.



(a)



(b)

**Fotografía 4. 62. Ejemplos de Muro de Bloques: a) Final 2º av. Norte, Mejicanos, b) Estadio Universitario, Universidad de El Salvador.**

### **Material y Equipo**

- Bloques prefabricados de concreto de buena calidad
- Acero adecuado para la armadura
- Cemento, arena y agua para la elaboración del mortero
- Palas, pisones, cucharas de albañil
- Mezcladora

### **Proceso constructivo.**

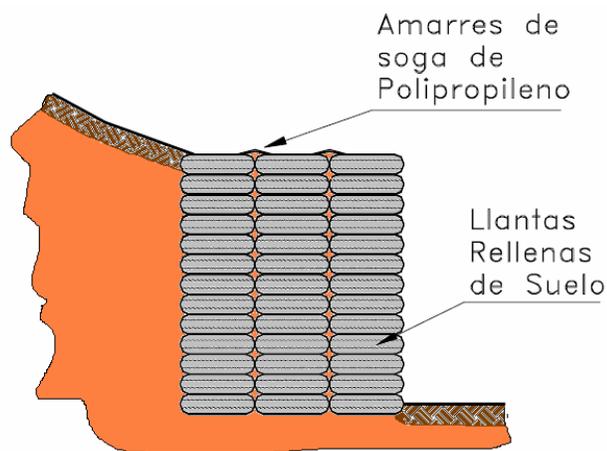
1. Realizar el trazo del muro.
2. Realizar la excavación necesaria para la zapata o solera de fundación.
3. Preparar la superficie: compactar el suelo o realizar sustitución.
4. Colocar la armadura de la solera de fundación.

5. Colocar el acero vertical necesario para satisfacer los requerimientos del diseño estructural, amarrándolo con la armadura de la fundación.
6. Colocar los bloques de concreto, ya sea de forma cuatrapeada o en pila, según requerimientos de diseño, ligándolos con mortero de proporción 1:4 en todas sus caras.
7. Colocar acero de refuerzo horizontal (por temperatura) cada dos hiladas, utilizando 2 barras No. 2 o 1 No. 3 (Según reglamento ACI 1998).
8. Realizar el llenado de las celdas con grout: por lo general se llenan solamente las celdas que llevan acero de refuerzo, aunque cuando el muro va a estar sujeto a grandes cargas verticales se recomienda llenar todas las celdas.
9. El drenaje de este tipo de sistemas se puede realizar de dos formas: se pueden perforar las unidades de concreto para introducir tuberías de drenaje, o se pueden dejar sisas verticales sin mortero a una separación horizontal de un metro en ellas.

#### **Muros de Llantas (Neusol)**

Este tipo de muros esta conformado por neumáticos rellenos con suelo compactado unidos entre sí por medio de sogas de polímero (Ver fig. 4.55). Aunque no hay estudios que comprueben la eficacia estructural de este tipo de

muros, o que especifiquen los criterios necesarios para su diseño, estos son muy utilizados por brindar una alternativa económica y ambientalmente benéfica, debido a la reutilización de las llantas en lugar de desecharlas o quemarlas.



**Figura 4.55. Esquema de un muro de llantas para la estabilización de taludes**

La implementación de este tipo de muros no es recomendada sobre suelos demasiado compresibles y con alto contenido de humedad, ya que no proporcionan una buena superficie de cimentación.

Ejemplos de aplicación:



(a)



(b)

**Fotografía 4. 63. Muros de Llantas: a) Km 12 ½ Carr. a Comalapa, b) Comunidad La Fosa, Blvd. Universitario**

***Material y Equipo.***

- Llantas usadas
- Suelo
- Sogas de polímeros resistentes
- Herramientas básicas: palas, piochas, pisones, etc.

***Proceso Constructivo.***

1. Hacer el trazo del muro de llantas.
2. Nivelar la superficie donde serán colocadas las llantas.
3. Colocar las llantas sobre la superficie de manera de formar hexágonos.
4. Atar muy bien las llantas entre si, utilizando polímeros resistentes. Ver fotografía 4.64.



*Fotografía 4. 64. Esquema de la colocación y atado de las llantas.*

5. Rellenar las llantas con suelo, brindándoles un cierto grado de compactación.
6. Colocar la fila siguiente de llantas, atándolas a la inferior.
7. Repetir el proceso de colocación y llenado con suelo para las filas subsecuentes hasta llegar al nivel deseado.

#### **Muros Milán**

Son muros que se construyen bajo la superficie del terreno, utilizando las paredes de la excavación misma como encofrados para la colocación del concreto (Ver fig. 4.56). Este sistema se caracteriza por el poco espacio necesario para su ejecución, ya que básicamente el muro es introducido en una zanja de excavación en el terreno para contener la masa de suelo, donde posteriormente es colado, y luego se procede a la excavación de parte del material para conformar la parte del muro que quedará vista.

Estos son utilizados cuando por razones de espacio en una construcción, se hace necesario realizar excavaciones en las que es imposible el desarrollo de un talud y que además los cortes alcanzan pendientes que los ponen en peligro de inestabilidad, o bien porque existen estructuras superficiales que pueden ser dañadas o que deben ser preservadas.

***Material y equipo.***

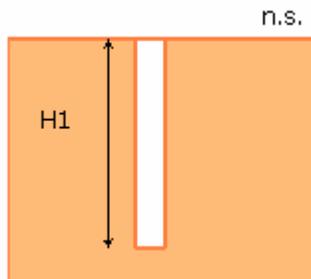
- Acero para la armadura
- Concreto
- Maquinaria de excavación
- Grúa mecánica

***Proceso Constructivo.***

1. Hacer el trazo del muro
2. Realizar la excavación de la zanja hasta la altura total donde será colocado el muro. Ver fotografía 4.65 y figura 4.56.



**Fotografía 4. 65. Excavación de zanja para la construcción de un muro milán**



**Figura 4.56. Altura total  $H1$  de excavación para la construcción de un Muro Milán.**

3. Armar el refuerzo del muro
4. Introducir el refuerzo ya armado dentro de la excavación, haciendo uso de una grúa. Ver fotografía 4.66.



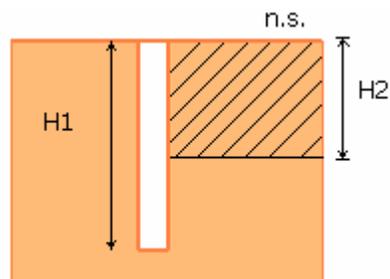
a)



b)

**Fotografía 4. 66. Colocación del refuerzo de un muro milán: a) Levantamiento del refuerzo, b) introducción del refuerzo al suelo.**

5. Una vez colocado el refuerzo se procede a colar el muro.
6. Realizar la excavación necesaria para conformar la parte que quedará vista del muro milán, ver Figura 4. 57.

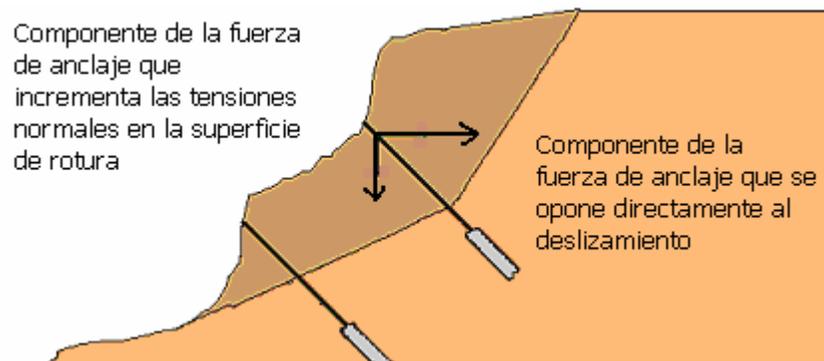


**Figura 4.57. Altura de excavación H2 para conformar la parte vista del muro milán.**

### ***a.2 Instalación de Anclajes.***

Los anclajes son armaduras metálicas, alojadas en taladros perforados desde el talud y cementadas. Estos elementos trabajan a tracción y colaboran a la estabilidad del talud de las dos formas siguientes, ver Figura 4.58:

1. Proporcionando una fuerza contraria al movimiento de la masa deslizante.
2. Produciendo un incremento de las tensiones normales en la superficie de falla potencial o existente, lo cual provoca un aumento de la resistencia al deslizamiento en la superficie de talud.

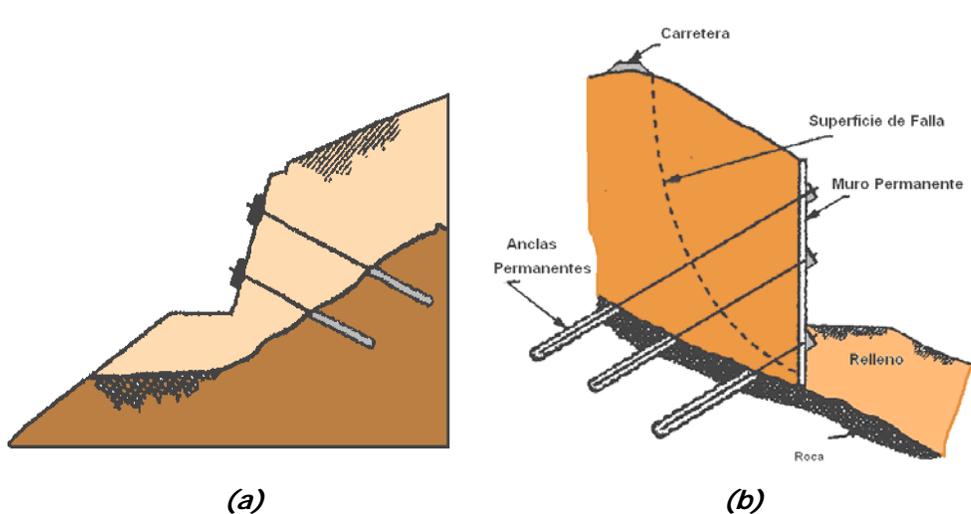


***Figura 4.58. Efecto estabilizador de un anclaje en un talud.***

Los anclajes se utilizan para aplicar fuerzas dentro de una masa de suelo o roca por medio de elementos capaces de resistir las fuerzas de empuje del suelo, del

agua y las sobrecargas, con lo cual se logra mantener o restablecer su estabilidad. Estas fuerzas son trasladadas por los anclajes a una zona detrás de la zona activa del terreno, en donde el anclaje se fija por intermedio de un bulbo de adherencia.

Este sistema se puede utilizar solo o como complemento de otras estructuras, tales como muros de retención, tablestacas, muros milán, etc. Ver fig. 4.59.



**Figura 4. 59. Esquema del funcionamiento de los anclajes: a) para la estabilización de taludes, b) como complemento de muros de retención.**

Los anclajes tienen diferentes aplicaciones según el material en el que sean implementados. En suelos se usan principalmente como complemento de estructuras de retención, para equilibrar los momentos de volteo en las cimentaciones de muros de contención, o para preconsolidar suelos inestables e

incrementar así su capacidad de carga. En el caso de rocas los anclajes se utilizan para proteger y estabilizar formaciones rocosas y taludes.

El uso de anclajes se ve limitado en zonas urbanas debido a la existencia de ductos, tuberías y túneles que pueden interferir en su instalación y buen funcionamiento. La instalación de anclajes requiere el uso de personal y equipo especializado. Para la implementación de este sistema se debe conocer muy bien la estratigrafía y las propiedades mecánicas de los materiales del lugar, lo que implica un mayor costo de exploración y muestreo.

La longitud de los anclajes suele oscilar entre 10 y 100 m y el diámetro de perforación entre 75 y 125 mm.

El tipo de anclas a utilizar depende en gran medida de las características y propiedades del medio donde serán instaladas, y de las particularidades y necesidades de cada proyecto.

En la figura 4.60 se muestran los componentes básicos de un ancla en la estabilización de taludes.

### Componentes de un Ancla:

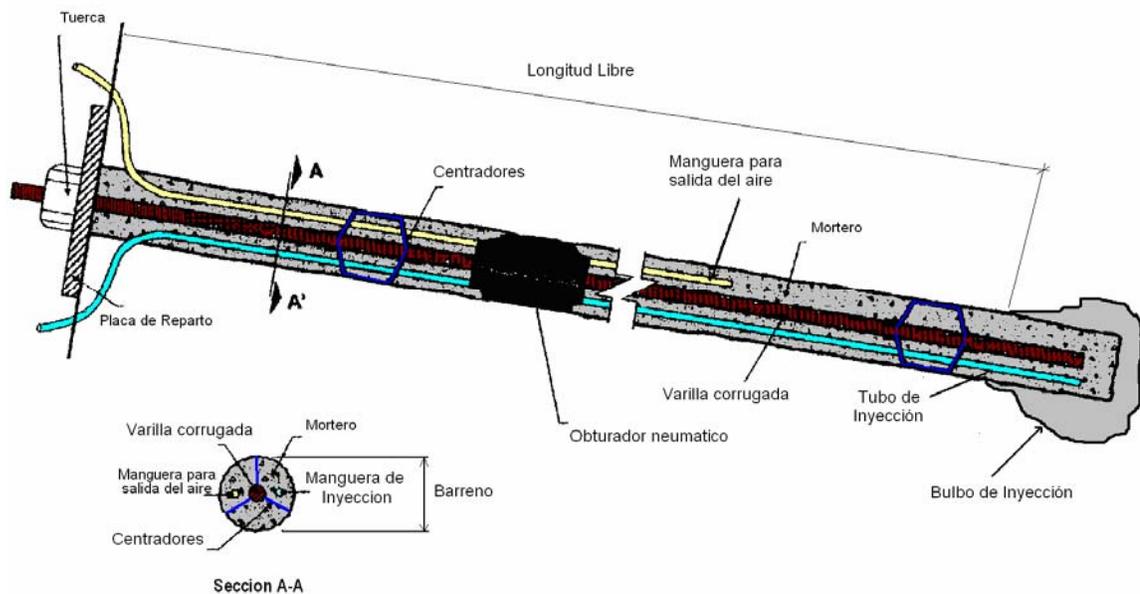


Figura 4. 60. Componentes de un ancla

- ✓ *Barreno o agujero para alojar el ancla:* el barreno se perfora en la cara del talud donde se va a colocar el ancla, este debe tener el diámetro suficiente para que penetren libremente las varillas, además de permitir la entrada del mortero que circunda al ancla.
- ✓ *Bulbo de Inyección:* este define la longitud del anclaje, y esta situado en el fondo del barreno y se extiende una longitud suficiente para que se desarrollen las fuerzas de diseño. El terreno que circunda al bulbo está sometido a esfuerzos cortantes en la interfaz bulbo-suelo que equilibran a

las fuerzas de tensión en la barra. Dentro de este bulbo se inyecta mortero a presión con el objeto de incrementar los esfuerzos dentro del mismo y en el terreno circundante.

- ✓ *Longitud libre:* Es la longitud del barreno en la cual no se aplica mortero o lechada a presión (lechada secundaria). La longitud libre se puede rellenar por gravedad con mortero de menor calidad. En la zona de la longitud libre no hay transferencia de cargas entre el ancla y el terreno circundante.
- ✓ *Longitud de Tensado:* Es la longitud expuesta que se requiere para tensar el ancla o para efectuar pruebas de anclaje.
- ✓ *Funda de protección:* es un tubo liso, comúnmente de pvc, dentro del cual se alojan las barras en la longitud libre del barreno. Esta funda comienza en la boca del barreno y termina conectada firmemente al obturador. La funda se rellena con lechada secundaria o con grasa para evitar la corrosión.
- ✓ *Tubo de Inyección:* es un tubo provisto de manguitos (una serie de agujeros cubiertos por bandas de hule), el cual se coloca en el centro del barreno y permite la salida de la lechada de inyección a través de esos agujeros. Las barras de acero se instalan alrededor del tubo de inyección abarcando toda la longitud del barreno.

- ✓ *Obturador:* su función es sellar y aislar al bulbo de inyección del resto del barreno. El obturador está constituido por un tapón de hule por el cual pasa el tubo de inyección. El obturador se infla con aire para lograr un sello adecuado, lo cual se puede complementar inyectando el tramo superior del tubo.
- ✓ *Separadores:* son placas de material plástico con perforaciones circulares, las cuales pueden tener secciones circulares o en forma de estrella. A través de la perforación central pasa el tubo de manguitos, pero las barras pasan por las perforaciones alrededor. Los separadores se colocan dentro del bulbo de inyección a distancias suficientes para evitar que las barras se toquen entre si durante su manejo y para evitar toquen al bulbo de inyección.
- ✓ *Opresores:* su función es oprimir los cables para evitar movimientos no deseados durante su instalación.

### ***Clasificación de los Anclajes***

Los anclajes se pueden clasificar en función de varios criterios, como se muestra a continuación:

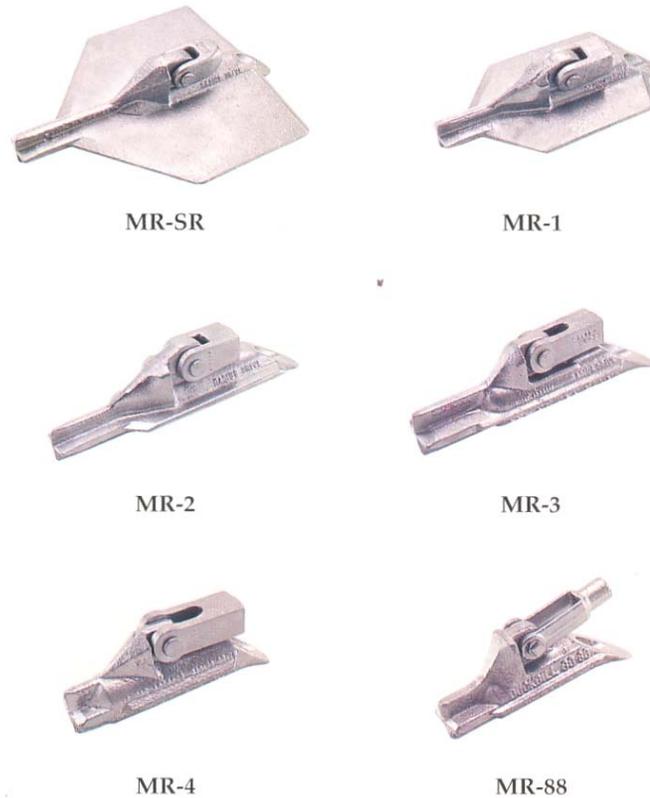
*Según su Vida Útil:*

- *Anclajes Temporales:* Se utilizan para estabilizar taludes o cortes verticales que después se cierran o se sostienen con otras estructuras de carácter permanente.
- *Anclajes permanentes:* La permanencia de un sistema de anclaje debe garantizarse protegiendo los elementos degradables (aceros, morteros y lechadas de inyección) contra el ataque de agentes agresivos. En algunos casos su permanencia depende de las previsiones que se tomen para darles mantenimiento, incluyendo la posibilidad de ajustar las cargas de tensión en las anclas.

*Según su Funcionamiento:*

- *Anclas Activas o de Tensión:* proporcionan activamente fuerzas externas para lograr la estabilidad de taludes. Estas comienzan a trabajar cuando se aplican fuerzas axiales mediante dispositivos especiales, por lo que también se les conoce como elementos activos de refuerzo. Las anclas de tensión son fuerzas actuantes cuya protección a lo largo de la superficie de deslizamiento es de sentido contrario a las que provocan el deslizamiento. Dentro de este tipo de anclajes se encuentran los tipos "Manta Ray", (Ver fig. 4.61), los cuales una vez introducidos en el terreno son tensionados a la resistencia deseada con lo que sus cabezales se

expanden automáticamente proporcionando el agarre necesario con el suelo.



**Figura 4. 61. Diferentes cabezales de anclajes tipo Manta Ray**

- *Anclas Pasivas o de Fricción:* Son elementos pasivos que proporcionan fuerzas externas para lograr la estabilidad de taludes con lo que contribuyen a incrementar las fuerzas resistentes. Este tipo de anclas comienza a trabajar cuando el suelo o roca que las circunda sufre desplazamientos o deformaciones.

### *Según la Presión de Inyección:*

La presión de inyección que se aplica en el bulbo depende del tipo de material en el que se perfora el barreno y constituye el factor limitante de su magnitud.

En función de eso las anclas se pueden clasificar en:

- *Anclas de Alta Presión:* Se utilizan en rocas, gravas o en suelos arenosos compactos. La presión de inyección es mayor a 10 Kg/cm<sup>2</sup> con objeto de lograr optimizar la transferencia de carga del ancla al medio circundante. Este tipo de inyección se realiza por medio de un sistema de manguitos, y la perforación se realiza por medio de brocas helicoidales.
- *Anclas de Baja Presión con Bulbo Recto:* Se utilizan en prácticamente cualquier tipo de suelo o roca fisurada. La presión ejercida no excede de 10 Kg/cm<sup>2</sup> y se requiere de un obturador. Se pueden utilizar diversas técnicas para la barrenación; el barreno puede requerir ademe, dependiendo de las condiciones del medio.
- *Anclas con Inyección Posterior:* en estas anclas se efectúa una primera etapa de inyección por gravedad, posteriormente se reinyecta el bulbo sucesivamente, dejando de uno a dos días entre cada etapa de reinyección. Las reinyecciones se realizan con un tubo sellado instalado junto con el tendón, el cual está provisto de válvulas check a lo largo de la longitud del bulbo de inyección. La lechada reinyectada fractura la lechada inicial vaciada por gravedad para ensanchar el bulbo.

- *Anclas con Reinyección Posterior:* Se utilizan en suelos cohesivos de baja plasticidad. En suelos granulares o en rocas las reinyecciones se aplican para mejorar la transferencia de carga entre el bulbo inyectado y el material circundante.

*Según la Forma del Fuste:*

Las anclas con ensanchamientos en el fondo o a lo largo del barreno tienen por objeto aumentar su capacidad, sin embargo su uso está limitado por la dificultad constructiva que requiere de un nivel elevado de supervisión y especialización.

Estas se pueden clasificar en:

- *Anclas con Campana en el Fondo:* se utilizan para anclar suelos cohesivos firmes o muy consistentes. Los barrenos son generalmente de gran diámetro y sin ademe, los cuales se rellenan con lechadas de arena y cemento, o puede utilizarse concreto colado por gravedad.
- *Anclas con Campanas Múltiples:* Se utilizan en suelos cohesivos rígidos o en rocas débiles. El espaciamiento entre las campanas se selecciona para minimizar la posibilidad de fallas por cortante a la largo de la superficie perimetral de las campanas.

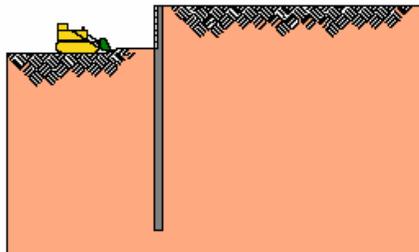
### ***Material y Equipo***

Básicamente lo que se necesita para la implementación de un sistema de anclaje es:

- Anclas
- Equipo de perforación, ya sea rotatorio o de percusión

### ***Proceso Constructivo.***

1. Cortes previos en el talud (si es necesario)
2. Instalación de drenes, si se han hecho cortes previos en el talud.



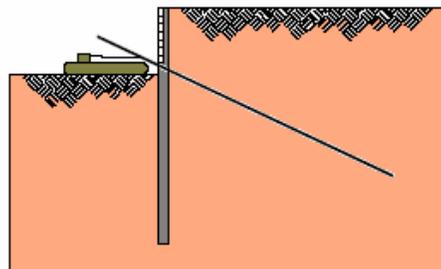
***Figura 4. 62. Esquema del proceso de excavación para la instalación de anclajes.***

3. Ubicación de puntos de anclaje y de bancos de nivel para control topográfico. Ver Fotografías 4. 67 y 4.68.



***Fotografía 4.67 y 4.68. Ejemplos del trazado de puntos de anclaje (Cortesía de CPK consultores)***

4. Perforación para la colocación de las anclas. Si el medio circundante es inestable, se hace necesario cementarlo con una lechada gruesa de baja resistencia para reperfurar posteriormente. Ver fotografía 4.69 y figura 4.63.



***Fotografía 4. 69 y Figura 4. 63. Esquema del proceso de perforación para alojar el ancla.***

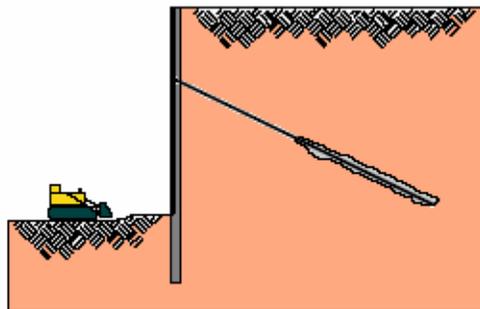
5. Instalación de malla de refuerzo para la pantalla.

6. Instalación de las anclas, transportándolas a la boca del barreno e insertándolas manualmente dentro del mismo, cuidando de que el barreno esté limpio y seco. Ver fotografías 4.70 y 4.71.



*Fotografías 4.70 y 4.71. Instalación de anclajes*

7. Realizar la inyección del bulbo (ver Figura 4.64), inflando el obturador para garantizar que se realiza el sello entre la longitud libre y el bulbo mismo. Luego se introduce el mortero controlando la presión de inyección con un manómetro en la boca del barreno. El mortero debe tener una resistencia entre 120-220 kg/cm<sup>2</sup>.



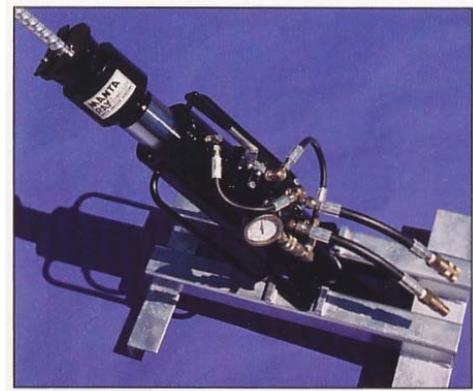
*Figura 4.64. Inyección del bulbo*

8. Luego se procede a habilitar el cabezal del ancla, realizando también el colado de la zapata de apoyo, colocando además la placa de apoyo, cuñas de alineamiento, y cuñas de sujeción o tuercas. Ver fotografía 4.72.



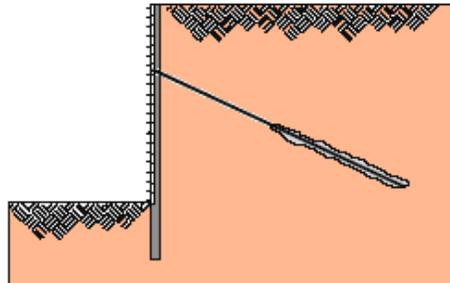
*Fotografía 4. 72. Cabezal del ancla con el refuerzo de la placa de apoyo colocado para su posterior colado.*

9. Realización del tensado inicial, haciendo uso de un gato hidráulico el cual sujeta los extremos de los cables y les aplica una fuerza de tensión controlada, ver Fotografías 4.73 y 4.74. El tensado se lleva a cabo después del fraguado del bulbo. Primero se aplica la carga de asiento, colocando un gato en el cabezal del ancla, posteriormente se aplica la carga de trabajo la cual es normalmente 1.2 veces la carga de diseño.



*Fotografías 4.73 y 4.74. Tensado de anclaje convencional haciendo uso de un gato hidráulico, Equipo de tensado para un anclaje tipo Manta Ray.*

10. Después se realiza la inyección secundaria con un colado por gravedad de un mortero de menor calidad y resistencia pero que posee una mayor deformabilidad que el de la inyección primaria, cuya función es la de proteger la longitud libre, ver Figura 4. 65.



*Figura 4.65. Inyección secundaria*

11. Como protección externa a los componentes del cabezal de tensado se le aplica una capa de pintura epóxica anticorrosivo y se engrasan. Además todo el conjunto queda dentro de un tubo de pvc junto con su

capuchón. Este tipo de anclas permite la revisión de la tensión y una posible post-inyección de mortero, haciendo uso de un tubo de manguitos. Su mantenimiento se reduce únicamente a la revisión periódica del capuchón y del cabezal de reacción.

12. Se realiza el lanzamiento de concreto para la conformación de la pantalla.

Ver fotografía 4.75.



*Fotografía 4.75. Colocación de concreto lanzado para la conformación de una pantalla en un talud.*

### ***a.3 Pilotes y Micropilotes***

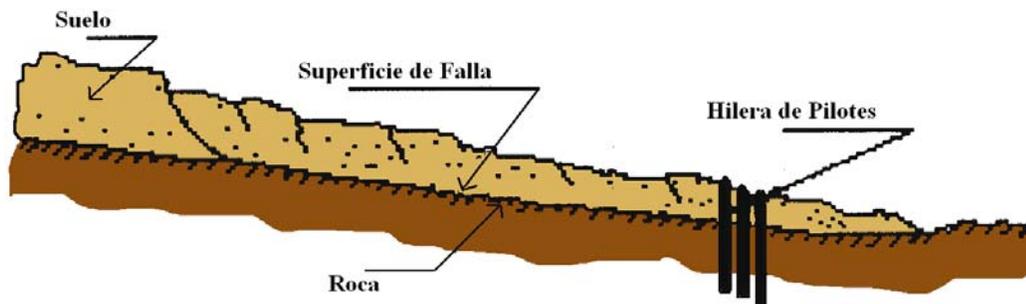
Un pilote es un elemento esbelto que generalmente posee un diámetro comprendido entre 0.65 y 2.0 metros, a diferencia de los micropilotes cuyo diámetro oscila entre 15 y 40 cms. Básicamente la función de los pilotes y micropilotes consiste en transmitir las fuerzas de la superestructura a través de

suelos inconsistentes hasta que tengan una capacidad de carga suficiente para soportar la estructura completa.

La aplicación de pilotes y micropilotes en la estabilización de taludes se recomienda para controlar fallas de deslizamientos superficiales, ya que éstas generan fuerzas pequeñas; para su anclaje se recomienda que su altura no sea mayor de 5 metros, evitando el uso de pilotes muy esbeltos. Por lo general estos elementos trabajan en la estabilización de taludes formando pantallas.

Los pilotes se suelen colocar en hileras escalonadas (ver Figura 4.66) y se comportan como columnas. En ocasiones se colocan losas de concreto o cualquier otra estructura que complemente su acción de retención. En estos casos los pilotes constituyen una estructura relativamente continua que atraviesa la zona a deslizar y que se empotra en la zona estable.

Para la implementación de pilotes y micropilotes en la estabilización de taludes se debe conocer la superficie de falla del terreno para calcular de manera adecuada la distribución y longitud que éstos deberán poseer, así como la resistencia necesaria para soportar los esfuerzos a los que se verán sometidos.



*Figura 4.66. Esquema de colocación de pilotes para la estabilización de taludes.*

Los pilotes se pueden usar como compactadores de suelos y son más efectivos de forma cónica debido a su acción de cuña, ya que al hincarse un pilote se establece una fuerte presión lateral total.

Los pilotes se pueden clasificar en función de su método constructivo, ya que pueden ser *prefabricados* o *colados in situ*. Los *pilotes prefabricados* se introducen en el terreno mediante un proceso de hincado hasta alcanzar la profundidad deseada, por lo que también se les conoce como *de desplazamiento*, ya que a medida que penetran en el terreno desplazan el suelo que ocupaba su lugar.

Los *colados in situ* requieren de una excavación previa con el diámetro y la longitud requerida, en la cual se introduce la armadura para posteriormente realizar el colado de concreto. Estos pilotes también se conocen como *pilotes de*

*sustitución*, ya que es necesario extraer un volumen de suelo para construir el pilote.

***Material y Equipo.***

- Pilotes del material que se vaya a utilizar: acero, madera, concreto, etc.
- Equipo para la colocación de los pilotes: perforadora en el caso de pilotes de concreto, y equipo de hincado en caso de pilotes de otro material.

***Proceso constructivo:***

El proceso constructivo de pilotes y micropilotes estará en función del tipo a utilizar.

***Pilotes Prefabricados:***

1. Los pilotes son llevados al sitio y son instalados mediante un equipo de hincado, por lo general un martillo de vibropercusión neumático.
2. Se repite este procedimiento a cada distancia donde estarán ubicados los pilotes hasta formar la pantalla que brinde la continuidad necesaria.

***Pilotes colados in situ:***

1. Se realiza una perforación en el terreno, con el diámetro y longitud requerida. Ver fotografía 4.76.



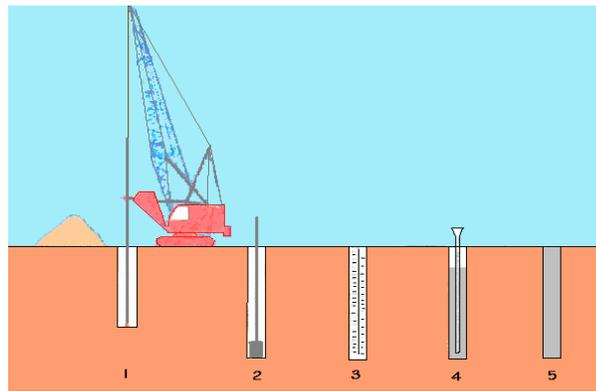
*Fotografía 4. 76. Perforación para la instalación de un pilote.*

2. Algunas veces se hace necesaria la limpieza del fondo de la perforación, dependiendo del material.
3. Se introduce la armadura de refuerzo del pilote. Ver fotografía 4.77.



*Fotografía 4. 77. Colocación de la armadura de un pilote.*

4. Haciendo uso de un tubo tremie, se procede a realizar el colado del pilote.
5. Se repite el mismo procedimiento para cada pilote a ser instalado.

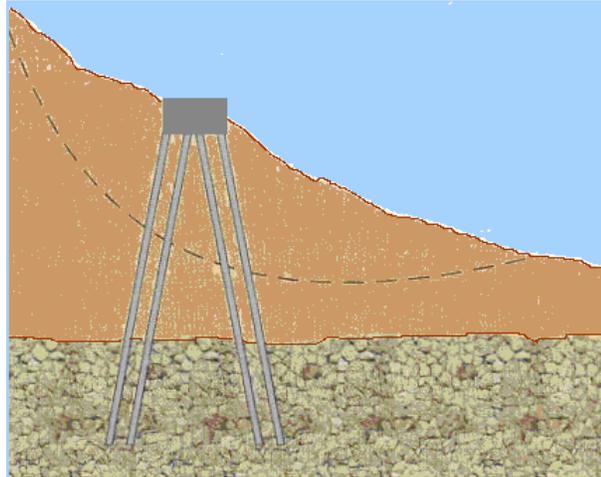


**Figura 4. 67. Proceso constructivo de pilotes colados in situ.**

### *Micropilotes.*

Debido a su pequeño diámetro de perforación, los micropilotes permiten su colocación en cualquier condición utilizando un equipo más pequeño en comparación con el de los pilotes. La colocación de micropilotes para la estabilización de taludes se hace de forma reticular hasta una profundidad que atraviese la superficie de falla para aumentar el factor de seguridad del talud.

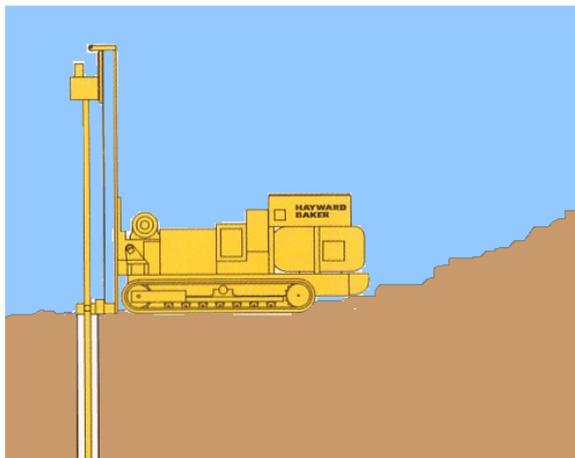
Ver figura 4.68.



**Figura 4.68** Esquema del funcionamiento de micropilotes en la estabilización de taludes.

**Proceso Constructivo:**

1. Se realiza la perforación donde irá colocado el micropilote.



**Figura 4.69** Esquema de la perforación para la instalación de un micropilote en un talud.

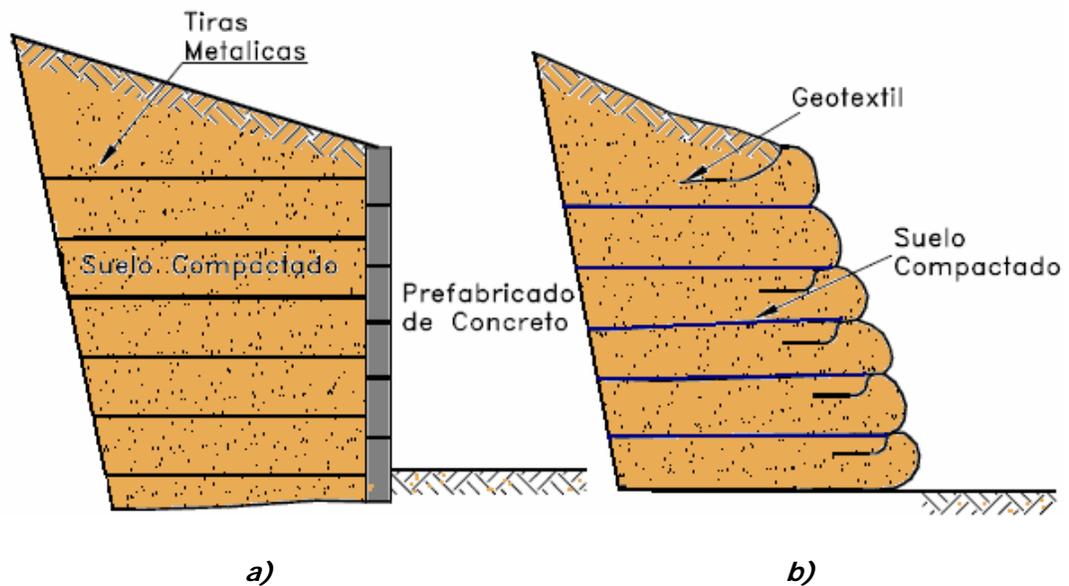
2. Se coloca un tubo tremie, y se limpia la perforación con agua a presión.
3. Se coloca el refuerzo del micropilote.

4. Se procede a inyectar la lechada de mortero a presión y se retira el ademe (en algunos casos este se deja en el lugar para protección del refuerzo).
5. Se realiza el mismo procedimiento para cada pilote hasta formar la retícula requerida del diseño.
6. Se procede a colar el elemento de unión para la retícula de micropilotes, generalmente conformado por una losa.

## **b. INCREMENTO DE LA RESISTENCIA INTERNA.**

### ***b.1 Tierra Armada***

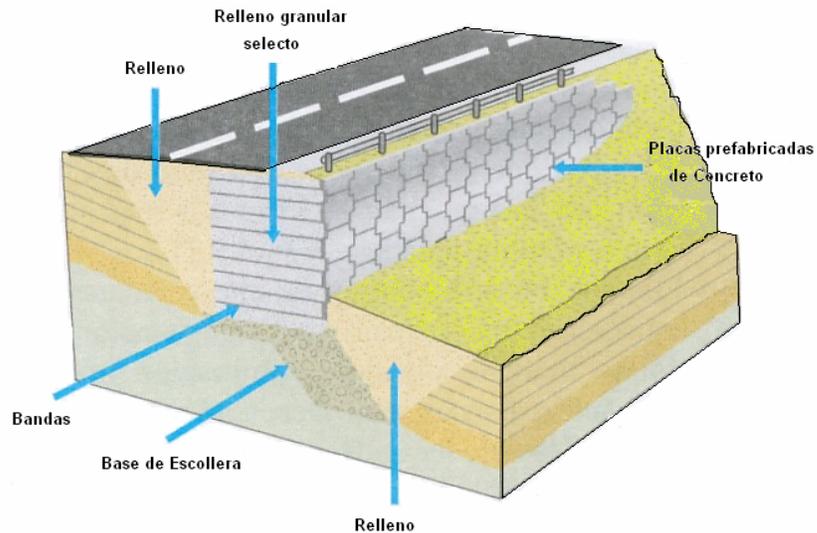
El sistema de tierra armada es la combinación de elementos de concreto armado prefabricados o geotextiles, suelo compactado y refuerzos con geomallas, (Fig. 4.70) y está basado en el principio fundamental de la fricción generada entre el suelo y los elementos de refuerzo, debido a que las fuerzas de tensión desarrolladas dentro de la masa de suelo se transmiten a los refuerzos por medio de la fricción producida en las interfaces. En la figura 4.70 se puede observar el funcionamiento general de un muro de tierra armada.



**Figura 4.70. Tipos de muros de tierra armada: a) utilizando elementos prefabricados de concreto con anclajes, b) utilizando geotextiles**

#### **🚧 Muros de Tierra Armada utilizando Elementos Prefabricados de Concreto.**

La tierra armada es una técnica constructiva de menor costo comparada con las técnicas regulares de contención, retención y cimentación, además se la ejecuta en menor tiempo y con mayor seguridad. Los sistemas de tierra armada con elementos prefabricados de concreto permiten paredes verticales que habilitan el 100% del área a ser construida, y permiten la construcción de casi todo tipo de estructura directamente sobre la zona del relleno reforzado. El esquema de su funcionamiento se muestra en la figura 4. 71.



**Figura 4.71. Esquema general de un muro de tierra armada con elementos prefabricados de concreto.**

**Material y Equipo:**

Este sistema constructivo es la unión de tres elementos principales:

- Pantalla de placas de concreto armado prefabricadas
- Refuerzos de geomallas
- Relleno compactado con materiales "adecuados"

Además de:

- Tubos de polietileno de alta densidad o de pvc reforzado para la unión de las placas
- Grúa para la colocación de las placas

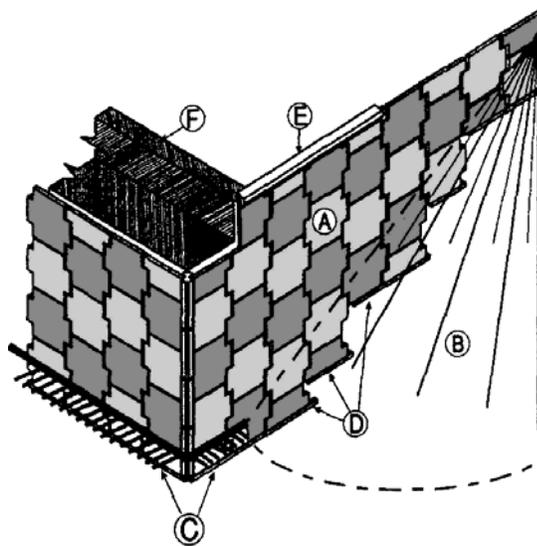
*Pantalla con placas de concreto armado prefabricadas:* Son los elementos de cara que permiten el confinamiento y soportan parte del empuje lateral del suelo y de las cargas superiores que están siendo retenidas. Cada placa es prefabricada de concreto armado con resistencia  $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ , con acero de refuerzo de  $f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$ , de malla electro soldada y ganchos protegidos contra la corrosión embebidos en el concreto, que sirven para unir la placa con la geomalla. Las placas tienen bordes machihembrados ó dentados, para garantizar el trabe entre ellas; las medias placas son similares a las enteras pero sin los ganchos de unión. Las placas pueden ser de forma hexagonal ó cuadrada, de 0.25, 0.50 y 1.0 m<sup>2</sup> de área.

*Refuerzo con geomallas:* Las geomallas sirven como refuerzo para el relleno y como el anclaje para cada placa; éstas deben tener una resistencia al 2% ó al 5% de elongación en una rango de 15 a 40 kN/m. La resistencia, longitud y ancho de cada banda de la geomalla viene dada por el análisis de estabilidad y el diseño.

*Relleno compactado:* En la mayoría de casos se utiliza el material proveniente de las excavaciones, ó préstamo local; en raras ocasiones se utiliza material selecto. El relleno es compactado al 95% del valor máximo del ensayo Proctor Modificado, en capas de 25 a 30 cm. de espesor y con la humedad más cercana

posible a la óptima. Para la compactación se utilizan compactadores mecánicos, (vibro-compactadores), planchas vibratorias y rodillos entre 3 a 10 toneladas de peso.

*Componentes de un muro de tierra armada:*

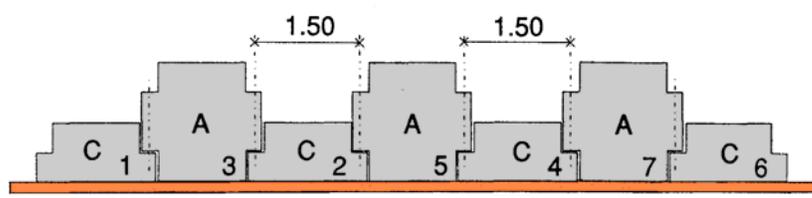


**Figura 4. 72. Componentes de un muro de tierra armada: a) placas de concreto armado, b) placas de concreto sin armar, c) excavación, d) solera de desplante o arranque, e) remate, f) cargadero.**

### ***Proceso Constructivo.***

1. Realizar la excavación para la cimentación del muro de tierra armada. Esta por lo general es una capa de suelo cemento compactado o una cama de grava, aunque también se puede utilizar una plancha de concreto armado.

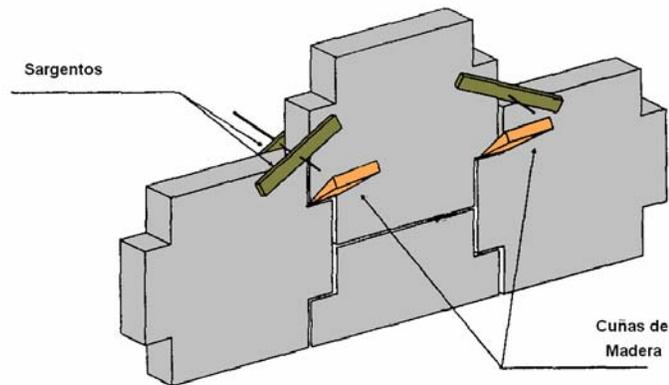
2. Verificar la horizontalidad de la cimentación.
3. Colocar la primera hilada de placas de concreto directamente sobre la solera. Se colocan primero las medias placas (tipo C) entre las cuales se machihembran las placas enteras (tipo A). Ver Figura 4.73.



**Figura 4. 73. Esquema de la colocación de la primera hilada de placas de concreto en muro de tierra armada.**

4. Colocar las placas de concreto armado sobre toda la longitud de la obra, por medio de capas horizontales, las cuales van espaciadas a cada 0.75 m, procurando no empezar la capa sin que la inferior esté terminada en toda su altura.
5. Siempre que se coloque una placa, debe verificarse la distancia entre barra y tubo de las placas contiguas con el escantillón de colocación
6. Sostener las placas por medio de sargentos, mientras las armaduras son colocadas.
7. Después de colocar cada placa, esta se debe nivelar y plomear con la ayuda de pequeñas cuñas de madera. Conforme se va avanzando en

altura, las cuñas y los sargentos son utilizados sucesivamente. Ver fig. 4.74.



**Figura 4.74. Sargentos y cuñas de madera para la colocación de las placas de concreto.**

8. Este tipo de muros requiere de la inclusión de columnas en las esquinas, las cuales solamente requieren de un proceso de armado y colado convencional.
9. Colocar las armaduras de forma perpendicular al paramento, en capas horizontales. Cada armadura está sujeta al arranque correspondiente con un tornillo de 1/2" x 1 1/4 ".
10. A medida se va avanzando en la colocación de las placas, se va colocando un filtro-dren vertical de grava contiguo a la superficie interior de las placas, con un espesor mínimo de 20 cm, el cual puede estar conectado a un dren inferior que puede ser una zanja rellena de la

misma grava con una ligera pendiente, ó un dren con tubo perforado recolector embebido en material granular.

11. Efectuar el relleno detrás de las placas por medio de capas horizontales de 37.5 cm paralelas a la solera, cuyos niveles corresponden al nivel de los arranques y al de las armaduras y las partes altas de las placas.

12. La nivelación de las capas debe ser ejecutada paralelamente al paramento para que el empuje de la máquina y el movimiento de tierra no se transmita directamente a las placas. Los compactadores pesados se deben limitar a una distancia de 1 metro del paramento. El complemento de la compactación debe realizarse con máquinas manuales ligeras de compactación.

### ***Muros de Tierra Armada utilizando Geotextiles***

En este caso se utilizan geotextiles en la conformación de las capas del terreno del talud, las cuales se encargan de estabilizar el mismo. Para esto se puede hacer uso de geotextiles solos o en combinación con mallas de doble torsión. Este último es el que se utiliza con mayor frecuencia en nuestro país.

Esta técnica es conocida como sistema Terra Mesh (Distribuido por Maccaferri S.A. de C.V.), el cual consta de elementos de dos o tres metros de largo por uno de ancho, de los cuales la mitad de la longitud está cubierta con fibra natural

(fibra de coco) para permitir el crecimiento de especies vegetativas sobre la superficie del talud, y otra mitad está conformada por una simple malla de acero de doble torsión que sirve para ir uniando las capas de suelo compactadas. Ver fotografía 4.78.



*Fotografía 4.78. Elementos utilizados para la conformación de taludes con el sistema Terra Mesh*

### ***Material y Equipo.***

- Elementos de recubrimiento para sistema Terra Mesh
- Cemento
- Equipo de compactación adecuado
- Herramientas básicas: tenazas, palas, piochas, etc.

### ***Proceso Constructivo.***

1. Se realiza el trazo previo para la conformación de la superficie del talud.

2. Se colocan los elementos de recubrimiento, dejando la parte con fibra natural sobre la superficie del talud. Ver Fotografía 4.79.
3. Se desdoblán los pines que poseen los elementos para facilitar su colocación. Ver fotografía 4.79.



***Fotografía 4.79. Colocación de los geotextiles que conforman el sistema Terra Mesh sobre la superficie de un talud.***

4. Cada elemento de recubrimiento debe ser unido al adyacente mediante "costuras" con alambre galvanizado en la malla de doble torsión.



***Fotografía 4.80. Amarrado de los elementos del Sistema Terra Mesh, haciendo uso de alambre galvanizado de alta resistencia.***

5. Cuando los elementos están unidos entre sí, se va colocando el material en capas que van siendo compactadas hasta alcanzar la altura de la porción del elemento cubierta con fibra natural. El material a utilizar para esta compactación puede ser proveniente del mismo talud, siempre y cuando le sea esparcido para mejorar sus propiedades resistentes, o se puede utilizar material selecto. Ver fotografías 4.81 y 4.82.



*Fotografías 4.81 y 4.82. Proceso de compactación de las capas de suelo para el sistema Terra Mesh.*

6. Una vez que se ha alcanzado la altura del elemento cubierto con fibra vegetal, se desdobra la mitad del elemento de malla de doble torsión sobre la superficie horizontal que ha sido conformada. Ver fotografía 4.83.



***Fotografía 4.83. Colocación y desdoblado de los elementos del sistema Terra Mesh.***

7. Cuando se ha desdoblado esta porción, se procede a colocar un nuevo elemento, cuidando de atar muy bien las porciones con mallas de doble torsión y dejando la porción cubierta con fibra vegetal sobre la superficie inclinada del terreno, para la conformación de la siguiente capa.



***Fotografía 4.84. Colocación de los elementos del Sistema Terra Mesh para la conformación de las capas siguientes.***

8. Este procedimiento se repite para la conformación de todas las capas del talud.

## ***b.2 Soil Nailing***

El concepto fundamental del soil nailing consiste en reforzar el terreno mediante inclusiones pasivas, cercanamente espaciadas, para crear en el terreno una estructura de gravedad coherente que permita incrementar la resistencia global del suelo in situ y que la fricción entre el nail y el suelo restrinja los desplazamientos del mismo.

El diseño de este sistema esta basado en la transferencia de las fuerzas resistentes a tensión generadas en las inclusiones hacia el terreno mediante la fricción que se produce entre las caras en contacto. Los nails colocados a través de una superficie potencial de falla pueden tomar el cortante y el momento flexionante al desarrollar resistencia pasiva. Por lo general los nails se colocan con una inclinación de 15-25° respecto a la horizontal, aunque siempre se debe realizar un diseño preliminar.

El sistema soil nailing está compuesto básicamente por tres elementos principales: El *terreno* a estabilizar, los *nails* resistentes a tensión, y el *revestimiento*.

Por lo general los *nails* utilizados para este sistema son barras de acero u otros elementos metálicos capaces de resistir esfuerzos de tensión y de corte y

momentos flectores. Estos elementos son colocados en agujeros previamente perforados para ser luego colados con grout en toda su longitud dentro del suelo. Los nails no son elementos pretensados, a diferencia de los sistemas de anclaje, por lo que se llaman elementos pasivos, ya que comienzan a trabajar en la medida que el suelo se deforma lateralmente. Los nails se deben colocar cercanamente espaciados (por ejemplo, se puede colocar un nail por cada 2.5 pies<sup>2</sup>) para proporcionar una cohesión anisótropa aparente al suelo.

El revestimiento de la estructura de soil nailing no es un elemento estructural resistente a grandes cargas, sin embargo debe asegurar la estabilidad local del suelo entre las capas de refuerzo y proteger el terreno de la erosión de la superficie y de los efectos climáticos. Por lo general, el revestimiento está conformado por una capa delgada de concreto lanzado (de 4-6 pulgadas de espesor) sobre una malla estructural, construido incrementalmente desde la parte superior hasta la parte inferior. También se pueden utilizar elementos o paneles de concreto prefabricado, sobre todo si las obras serán permanentes, para satisfacer los requerimientos de durabilidad y estética y para acomodar de una mejor manera el sistema de drenaje superficial.

Para la implementación del sistema soil nailing se requiere que el suelo a ser estabilizado sea capaz de resistir cortes verticales de 1 a 2 metros de altura sin

ser soportado por algún otro elemento, además de que la superficie del terreno a estabilizar debe estar libre de percolación, ya que esto afectaría la adherencia del revestimiento de concreto lanzado al suelo. También es importante hacer notar que este método no se puede aplicar en suelos que se encuentren bajo el nivel freático.

Los tipos de suelo en los que la aplicación del soil nailing es recomendada son:

- ✓ Suelos residuales y rocas intemperizadas
- ✓ Suelos cohesivos cuyos contenidos de limos arcillosos y arcillas de baja plasticidad no sean propensas a procesos de reptación.
- ✓ Arenas y gravas naturalmente cementadas.
- ✓ Arenas homogéneas de finas a medias con una cohesión de al menos 5 KN/m<sup>2</sup> asociada a un contenido de humedad mínimo de 5 %.
- ✓ Suelos heterogéneos y estratificados.

La implementación del sistema soil nailing NO se recomienda para las siguientes condiciones:

- ✓ En suelos granulares cuyo valor N resultante de una penetración estándar sea menor de 10, o en suelos con densidades relativas menores del 30%, ya que estos tipos de suelo son muy sensibles a las vibraciones inducidas por el equipo de construcción utilizado.

- ✓ En suelos granulares sin cohesión y pobremente graduados, con un coeficiente de uniformidad menor de 2, ya que durante la construcción este tipo de suelos tiende a desmoronarse.
- ✓ En suelos saturados, ya que se generan problemas de estabilidad en la superficie.
- ✓ En suelos orgánicos y arcillosos con un índice líquido mayor que 0.2 y una resistencia al corte en condiciones no drenadas menor que 50 KN/m<sup>2</sup>, ya que estos suelos son muy propensos a procesos de reptación y pueden presentar un decremento significativo en la adherencia del suelo con el nail.
- ✓ En rocas con alto grado de fracturación o con juntas muy abiertas y en materiales granulares gruesos, tales como guijarros, ya que la introducción de los nails en estos casos resulta muy complicada.
- ✓ En zonas urbanas, donde las tuberías de servicios básicos podrían interferir con la instalación de los nails.

Los nails se pueden clasificar según el proceso de instalación de los mismos. La *instalación de los nails* se puede llevar a cabo por los siguientes métodos:

a) *Método de Hincado.*

En este método se utilizan barras de diámetros pequeños, generalmente de 15-46 mm, hechas de acero con esfuerzo de fluencia de 350 Mpa (50 ksi). Los nails se hincan en el terreno con espacios reducidos entre ellos, por lo general de 2 a 4 nails por m<sup>2</sup>, con la inclinación que dicta el diseño utilizando un martillo hidráulico o de vibropercusión neumático sin perforaciones previas. Su instalación es rápida y económica, ya que se pueden colocar de 4 a 6 nails por hora, sin embargo se ve limitado a longitudes máximas de 20 metros

b) *Método de Inyección.*

En este método se utilizan barras de acero de diámetro entre 15 y 46 cms, con un esfuerzo de fluencia de 4200 Kg/cm<sup>2</sup> (60 ksi). Estos se colocan dentro de perforaciones previamente realizadas con separaciones verticales y horizontales típicas de 1 a 3 metros, dependiendo el tipo de suelo que se está estabilizando. Los nails se inyectan por gravedad o por medio de presiones bajas. También se pueden utilizar varillas corrugadas para incrementar la adherencia entre el nail y la inyección.

c) *Jet Nails.*

Son inclusiones compuestas hechas con suelo inyectado con una barra central de acero, cuyo diámetro puede oscilar entre 30 y 40 cms. Los nails se instalan

utilizando un martillo de vibropercusión de alta frecuencia (hasta 70 Hz) y se inyecta lechada de cemento durante la instalación a través de un canal longitudinal a la barra, de unos cuantos milímetros de diámetro, con una presión suficiente para causar el fracturamiento hidráulico del suelo alrededor.

En suelos granulares se han utilizado satisfactoriamente presiones relativamente bajas (40 Kg/cm<sup>2</sup>). Los nails se protegen contra la corrosión utilizando un tubo metálico. Esta técnica provoca una compactación y mejoramiento del suelo alrededor del nail, lo que incrementa de manera significativa la resistencia a la tensión de la inclusión.

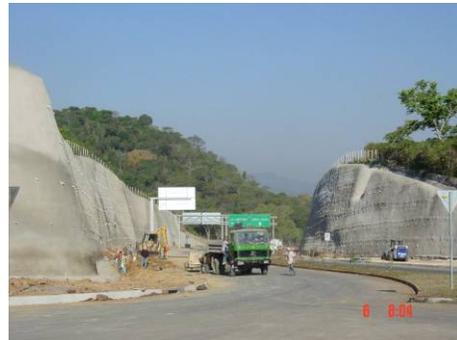
d) *Nails Protegidos Contra La Corrosión.*

Estos generalmente utilizan un esquema de protección doble, similar al que se utiliza en los anclajes convencionales. Para aplicaciones permanentes se recomienda utilizar un recubrimiento mínimo de 3.75 cms en toda la longitud del nail. Posteriormente se puede aplicar una protección secundaria con resina epóxica aplicada electrostáticamente en la barra, con un espesor mínimo de 14 milésimas (según ASCE 1997). En ambientes agresivos se recomienda un encapsulamiento completo, que se puede alcanzar con un tubo corrugado de plástico o de acero inyectado en el suelo.

*e) Nails lanzados.*

Este método de instalación de nails consiste en disparar directamente al suelo nails con diámetro entre 25 y 38 mm y longitudes de 6 metros o mas, utilizando un lanzador de aire comprimido a velocidades hasta de 320 Km/hr, con una transferencia de energía de hasta 100 KJ (ASCE 1997, Juran y Levy 2001). Esta técnica de instalación permite una optimización del proceso con una alteración mínima del sitio. Durante la penetración, el suelo alrededor del nail se ve comprimido y desplazado.

*Ejemplos de Aplicación en Nuestro País.*



**Fotografías 4.85 y 4.86. Taludes estabilizados con la técnica de Soil Nailing, Boulevard Orden de Malta, Santa Elena.**

***Material y Equipo.***

- Elementos que constituirán los nails: barras o tubos de acero.
- Cemento, arena y agua para el concreto lanzado

- Maquinaria para la excavación
- Maquinaria para la instalación de los nails: perforadora rotatoria o maquinaria para el hincado (martillo de vibropercusión)
- Mezcladora y lanzadora del concreto en función de la vía de aplicación: seca o húmeda.

***Proceso Constructivo:***

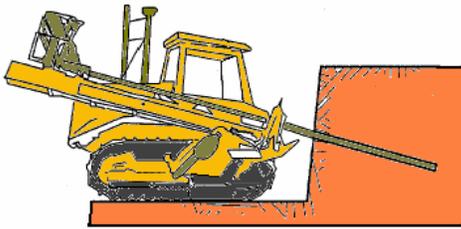
Básicamente el proceso de construcción de soil nailing para cada profundidad de excavación sigue la secuencia que se muestra a continuación:

1. Excavación de 1-2 metros en el terreno a ser estabilizado. Ver fig. 4. 75 y fotografía 4.87.



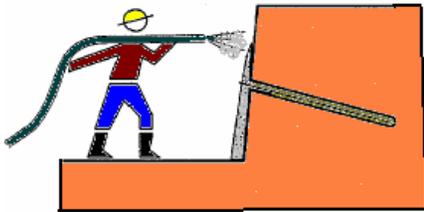
**Figura 4. 75 y Fotografía 4. 87. Esquema y Ejemplo del proceso de excavación en el terreno.**

2. Instalación de los nails (Ver figura 4.76 y fotografía 4.88)



**Figura 4. 76 y Fotografía 4. 88. Esquema y Ejemplo de perforación para la introducción de los nails**

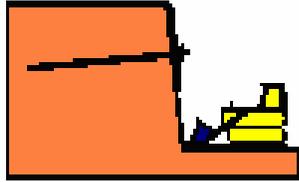
3. Colocación del revestimiento: electromalla y concreto lanzado.



**Figura 4. 77 y Fotografía 4. 89. Esquema y Ejemplo del concreto lanzado aplicado sobre malla estructural**

4. Excavación o corte para la capa subyacente del terreno a ser estabilizado.

Ver Figura 4.78 y fotografía 4.90.



**Figura 4. 78 y Fotografía 4. 90. Esquema y Vista del terreno en la capa siguiente de excavación, utilizando el sistema Soil Nailing.**

5. Acabado final de la superficie.



***Fotografía 4.91. Esquema del acabado final en un talud, aplicando la técnica de Soil Nailing***

Los pasos 2 y 3 se pueden invertir en función del tipo de suelo que se esté estabilizando, ya que en suelos granulares se acostumbra colocar primero el revestimiento y luego se instalan los nails para evitar desprendimientos del suelo.

### ***b.3 Inyecciones.***

La técnica de estabilización de suelos mediante inyecciones consiste en introducir un agente cementante u otro suelo con diferentes características a las del talud a ser estabilizado con el fin de aumentar su resistencia a la deformación, disminuir su permeabilidad, controlar la erosión y los cambios de volumen. Esta técnica puede ser utilizada cuando se vaya a cimentar una estructura sobre un talud, para mejorar las propiedades resistentes de los materiales que componen el mismo.

La estabilización puede ser mecánica o química. En la *estabilización mecánica* se mezclan dos suelos diferentes para obtener las características necesarias en cuanto a granulometría, plasticidad, permeabilidad, etc. En la *estabilización química* se introducen agentes químicos con los cuales se logra alcanzar un mayor grado de estabilización. Los aditivos más utilizados son:

- ✓ Cemento
- ✓ Cal
- ✓ Escorias granuladas
- ✓ Yeso
- ✓ Cenizas volantes
- ✓ Ligantes hidrocarbonados fluidos
- ✓ Cloruro sódico

- ✓ Cloruro cálcico

En este tipo de estabilización, el grado de estabilidad alcanzado dependerá fundamentalmente de:

- ✓ Tipo de suelo
- ✓ Aditivo utilizado
- ✓ Cantidad añadida

#### **Estabilización con Cal.**

La estabilización de suelos con cal se obtiene por la mezcla del suelo con cal aérea (viva o apagada) y agua. Los suelos más apropiados para este tipo de estabilización son los de granulometría fina, con plasticidad apreciable y con elevada humedad natural. Según el tipo de suelo se pueden emplear proporciones sobre la masa seca del suelo que oscilan entre 2-5%.

Uno de los efectos más importantes de la cal en un suelo es el de cambiar apreciablemente su plasticidad. Con suelos de baja plasticidad (índice plástico  $IP < 15$ ) aumenta tanto su límite líquido (LL) como su límite plástico (LP), en cambio, en suelos de plasticidad media y elevada ( $IP > 15$ ) disminuye el IP. También se ve incrementada la humedad óptima de compactación, lo que permite la densificación de suelos de elevada humedad natural. Con la adición

de cal el suelo se vuelve más friable y granular, además de que el aumento del LP y el de la humedad óptima de compactación permiten su puesta en obra con una mayor facilidad.

Otra de las características de la estabilización con cal es que su densidad máxima proctor es inferior a la del suelo original debido al bajo peso específico de la cal, aunque esto no es de trascendencia, ya que su resistencia al esfuerzo cortante es superior a la del suelo original y aumenta con la proporción de cal añadida, el tiempo transcurrido, la temperatura del curado y la disgregación conseguida en el suelo durante la ejecución.

### **Estabilización con Cemento**

Los suelos que son estabilizados con cemento disminuyen su permeabilidad y aumentan su capacidad de soporte, lo que permite el aprovechamiento de suelos con mediana plasticidad.

La mezcla se realiza in situ empleándose proporciones de cemento generalmente menores del 3% sobre la masa seca del suelo (en caso de mejoramiento), agua y suelo granular suficientemente disgregado, seguido de una compactación y curado adecuados. La calidad final del material depende de los siguientes factores:

- ✓ Tipo de suelo
- ✓ Proporción de cemento y agua
- ✓ Proceso de ejecución
- ✓ Curado y edad de la mezcla compactada

Los suelos más adecuados para la estabilización con cemento son los suelos granulares con finos de baja plasticidad (tipos A-1, A-2 y A-3 de la clasificación AASHTO), con los cuales la proporción de cemento para una estabilización propiamente dicha oscila entre el 3-8% sobre la masa seca del suelo.

#### **Estabilización con ligantes hidrocarbonados**

Los suelos más apropiados para realizar este tipo de estabilización son los suelos granulares con pocos finos y de baja plasticidad ( $IP < 10$ ). Los ligantes utilizados son betunes fluidificados de viscosidad media, emulsiones bituminosas de rotura lenta y aceites pesados. En ocasiones se hace necesario añadir agua al suelo para facilitar la mezcla in situ.

Particularmente la estabilización con ligantes bituminosos puede presentar ventajas técnicas cuando se trate de arenas de granulometría uniforme. Esta técnica tiene un elevado costo, por lo que no es muy utilizada en nuestro país.

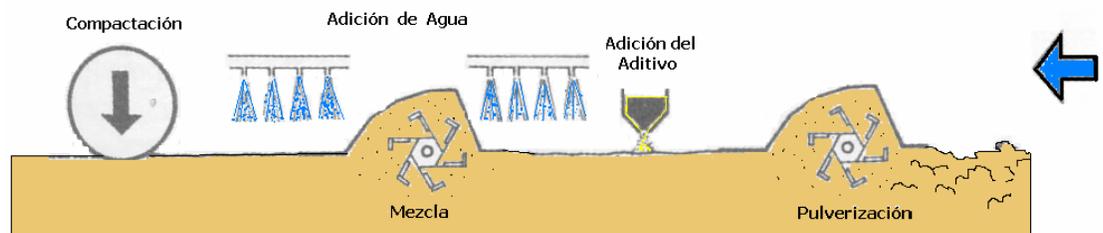
### ***Material y Equipo***

- Material para la estabilización (suelo o aditivo)
- Perforadora hidráulica
- Equipo de inyección
- Equipo de disgregación del suelo: gradas de discos, pulvimezcladores (para espesores menores de 15 cm) y estabilizadores con rotofresador (para espesores hasta de 40 cm).

### ***Procedimiento***

#### *Para capas de suelos:*

1. Preparación de la superficie a estabilizar
2. Se realiza la disgregación adecuada del suelo, haciendo uso de pulvimezcladores o estabilizadores.
3. Humectación o desecación del suelo, en función de su contenido de humedad natural.
4. Se realiza la distribución del aditivo de manera uniforme sobre la superficie. Para cal o cemento la distribución se hace en forma de lechada.
5. Se procede a mezclar el material hasta que sea homogéneo.
6. Se realizan trabajos de compactación hasta llegar al valor de diseño. Ver esquema resumen en figura 4.79.



**Figura 4.79. Esquema del proceso constructivo para la estabilización de suelos en capas.**

*Para puntos específicos:*

1. Se trazan los puntos donde se realizarán las inyecciones, espaciadas según diseño geotécnico.
2. Se realiza la perforación con el equipo adecuado en función del diámetro de la misma.
3. Se procede a la inyección de la mezcla en el terreno (Ver fotografías 4.92 y 4.93).
4. Se repite el mismo procedimiento para cada punto de inyección.



**Fotografías 4. 92 y 4.93. Trazo y perforación de puntos de inyección, terraplén de presa hidroeléctrica (Cortesía de Rodio-Swissboring)**

#### ***b.4 Vibrosustitución.***

La vibrosustitución constituye un método de mejora del terreno mediante la rigidización que produce la introducción de columnas de grava en los orificios creados por el vibrador. La grava proporciona una mejor transmisión de la fuerza vibratoria al suelo circundante y por lo tanto incrementa el efecto de densificación; además ayuda a controlar la presión de poros, ya que la columna de grava actúa como dren, y ayuda a reducir los esfuerzos cortantes en el suelo; debido a una concentración de esfuerzos en la columna por poseer ésta una mayor rigidez que el suelo adyacente, con lo que se aumenta la resistencia del conjunto, disminuyendo a la vez las deformaciones, y haciéndose más uniforme.

Esta técnica puede ser utilizada cuando se necesite cimentar una estructura sobre un talud, aunque en nuestro medio no se aplica debido a los altos costos de ejecución.

Los dos métodos de instalación más comunes son: *vibrosustitución por vía húmeda* y *vibrosustitución por vía seca (vibrodesplazamiento)*.

El método de "*vibrosustitución por vía seca*" se utiliza para mejorar suelos finos blandos, creando perforaciones mediante el desplazamiento del terreno

producido por las fuerzas horizontales impartidas por el vibrador, ayudado por aire comprimido en cada punto del tratamiento.

Los procesos de "*vibrosustitución por vía húmeda*" y "*vibrodesplazamiento*" implican la realización de la perforación por medio de agua y aire a presión, respectivamente, hasta una profundidad específica, alimentando la perforación con grava; a partir de esta profundidad se empieza a introducir y extraer el vibrador con una vibración de 30 Hz, por lo que la grava se empieza a densificar y adherir en el suelo circundante.

### ***Material y Equipo***

El material de relleno (grava) depende de la técnica de ejecución utilizada, ya que es función del tipo de terreno y de la posición del nivel freático.

*Vibrosustitución por vía húmeda:* Debido a que el relleno se deja caer desde la superficie, se utiliza grava con tamaño desde  $\frac{3}{4}$ " hasta 4", incluyendo cantos rodados y grava triturada. Se recomienda utilizar grava bien graduada en lugar de una grava uniforme, con el fin de lograr una columna con menos vacíos y por lo tanto más rígida.

*Vibrosustitución por vía seca:* La grava debe ser bien graduada, con tamaños entre 1/4" y 3/4"; esta puede ser de origen natural o procedente de trituración, siempre y cuando sea dura, limpia y libre de finos.

- Equipo de perforación adecuado
- Vibrador tipo S
- Brazo mecánico para la colocación de la grava dentro de la máquina de vibrodesplazamiento.

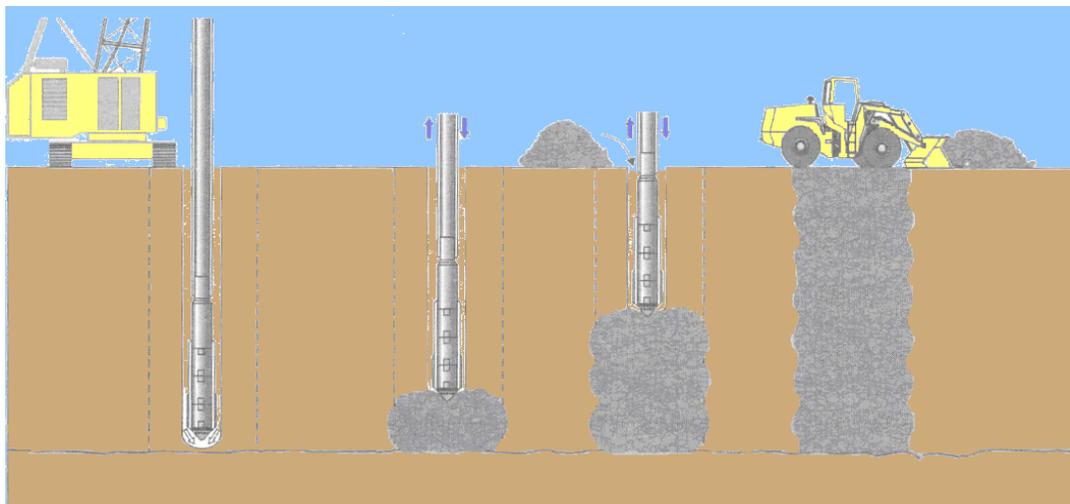
### ***Proceso Constructivo.***

#### *Vibrosustitución por vía húmeda*

1. Penetración: Asistido por la inyección de agua, el vibrador oscilante penetra por peso propio hasta la profundidad deseada, según las características del terreno. El agua provoca un flujo hacia el exterior, removiendo y arrastrando las partículas de arcilla y creando un espacio anular alrededor del vibrador y del tubo de suspensión.
2. Sustitución: Una vez alcanzada la profundidad a mejorar, se procede al relleno de grava por tramos de unos 50 cm, siendo compactada y penetrada por la vibración en las paredes del terreno natural.
3. El movimiento del vibrador en ascenso y descenso, aunado a las fuerzas horizontales de la propia vibración y al flujo de agua a presión por las

boquillas superiores, no permiten que se desarrolle el efecto de arqueado entre las paredes de la perforación, el relleno y el vibrador, este efecto aumentaría la resistencia a la penetración del vibrador.

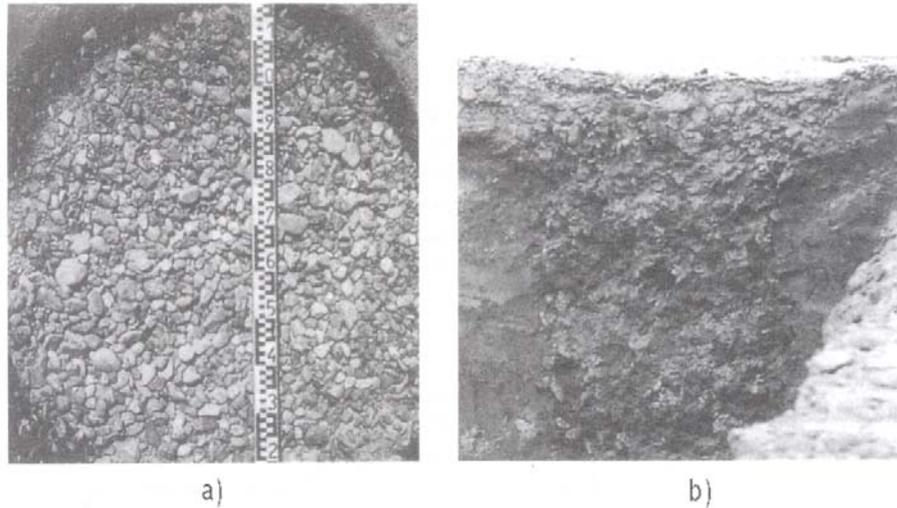
4. Terminado: El fin de cada escalón de ascenso y relleno es indicado por la resistencia al bajar el vibrador, ésta es medida por el consumo de corriente eléctrica (amperes).
5. Este proceso de ascenso y relleno se repite hasta alcanzar la superficie del terreno, obteniéndose una columna de grava compactada, ver Figura 4. 80.



*Figura 4. 80. Proceso constructivo de la técnica de vibrosustitución por vía húmeda en el terreno.*

Si las paredes del suelo son inestables, el flujo de agua y el movimiento de la grava remueven el material fino y permiten a la grava expandirse hasta alcanzar el equilibrio. Es por ello que el diámetro de las columnas varía en su altura,

coincidiendo en los estratos más blandos con los diámetros mayores. Los diámetros normales de las columnas de grava obtenidas mediante esta técnica son de 0.8 a 1.10 m. Ver Figura 4.81.

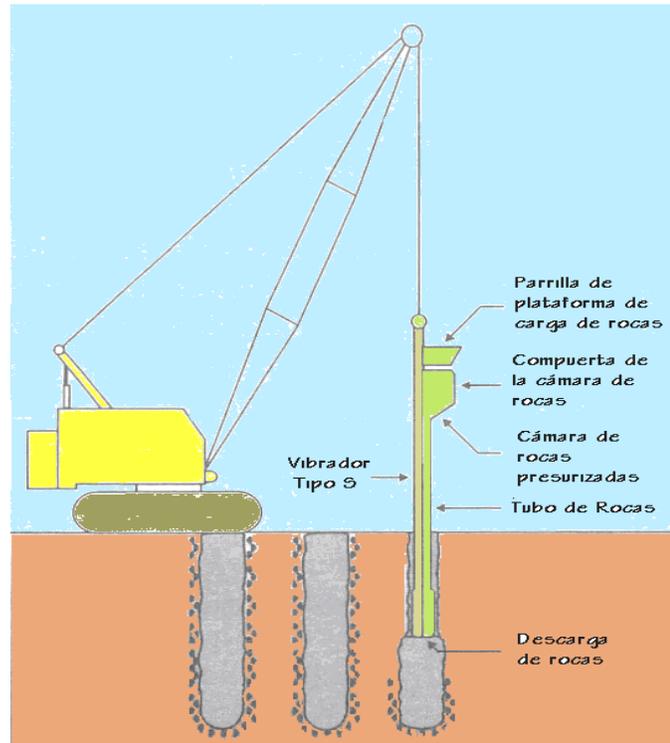


**Figura 4.81. Columnas de grava por vibrosustitución: a) Vista en planta, b) vista en sección. Tomado de Manual de Construcción Geotécnica.**

#### *Vibrosustitución por vía seca o vibrodesplazamiento*

1. Penetración: En esta técnica el vibrador penetra en el terreno por el efecto de la vibración y del peso propio del vibrador, así como de los tubos de extensión. El terreno es desplazado lateralmente y se va creando una perforación de paredes estables, necesaria para la extracción del vibrador, ayudado por la inyección de aire comprimido por la punta del vibrador.

2. El aire comprimido sirve para mantener las paredes de la perforación estables y ayuda a la penetración; si el caudal y presión de aire son considerables pueden causar daños a la estructura de las arcillas normalmente consolidadas.
3. Relleno: Cuando se alcanza la profundidad requerida se extrae el vibrador y se realiza el primer relleno de grava, siendo de unos 50 cm cuando se compacta.
4. Para compactar el relleno el vibrador es introducido de nuevo, como si se tratara de una masa vibratoria, desplazándose la grava hacia abajo y lateralmente.
5. Durante la extracción del vibrador, la succión creada por el peso del aparato en sus ascensos puede crear inestabilidades en las paredes de los tramos inferiores de la perforación. El aire comprimido compensa la succión y ayuda al izado del vibrador.
6. El proceso de relleno se repite hasta completar la columna. El diámetro de la columna de grava comúnmente obtenido es de 60 a 75 cms. Así, con un mismo vibrador el diámetro de la columna resultante es menor en esta técnica que por vía húmeda. Ver fig. 4.82.



*Figura 4.82. Esquema del equipo y proceso de vibrosustitución por vía seca en el terreno.*

### ***b.5 Jet Grouting.***

Esta técnica se define como un método que propone cortar, mezclar y excavar el material in situ a través de energía hidráulica a una alta velocidad, y reemplazarlo por una mezcla de suelo cemento o lodocreto. Este sistema se utiliza para mejorar el comportamiento mecánico de un suelo, ya sea en términos de capacidad de carga o de compresibilidad, o para controlar la filtración del agua.

Las consideraciones básicas al momento de usar esta técnica se encuentran referidas tanto al diámetro efectivo que resulta al final de la inyección y a la configuración que deben tomar las columnas de suelo cemento para que el mejoramiento del suelo sea el más eficiente. Ambas consideraciones están sujetas en general, a los parámetros del suelo e inyección de la lechada, pero a continuación se exponen algunas consideraciones al respecto. Las dimensiones efectivas de una columna son determinadas básicamente por los siguientes parámetros:

- ✓ *Inyección*, la cual involucra la presión, relación de flujo y peso volumétrico de la mezcla, además de la presión del chorro de aire.
- ✓ *Extracción de la barra*, que considera la velocidad de extracción y rotación de la barra.
- ✓ *Suelo*, donde se contempla la formación geológica, tamaño de la partícula y distribución granulométrica (graduación), densidad o consistencia y estructuras presentes en el suelo (fisuras, estratos, laminación, etc.).

La técnica del jet grouting puede ser usada en un amplio rango de suelos inorgánicos, desde arenas hasta arcillas, y solo se ve limitada por el equipo de perforación. En general las arenas son mejores de tratar, pues aquí la erosión de las partículas requiere de una menor energía, debido a la falta de cohesión que hay entre ellas. En estos suelos, las partículas son relativamente grandes y

su susceptibilidad a la erosión depende fundamentalmente de la graduación y densidad, y se ha visto que la compacidad relativa es más importante que la graduación, especialmente cuando el coeficiente de uniformidad es alto. Consecuentemente, las arcillas presentarán diámetros menores debido a la presencia tan acentuada de la cohesión, de tal forma, que el diámetro de las columnas de jet grouting en este tipo de suelos dependerá de la resistencia al esfuerzo cortante que posean.

*Criterios a considerar:*

- ✓ El tiempo requerido para la máxima penetración es menor en suelos granulares que en suelos cohesivos.
- ✓ El volumen de suelo afectado es mayor que el diámetro de la perforación y se incrementa al aumentar el tamaño de las partículas.
- ✓ Al incrementar la densidad seca se produce una disminución en la profundidad de penetración en un suelo. Esto se atribuye al correspondiente incremento en la resistencia y decremento en la permeabilidad del suelo. Este efecto es insignificante en arenas limpias pero llega a ser muy pronunciado en suelos cohesivos.
- ✓ El efecto del grado de saturación juega un papel muy importante en la profundidad de penetración. En arenas limpias la penetración máxima se obtiene a una saturación del 50%, la penetración decrece al aumentar o

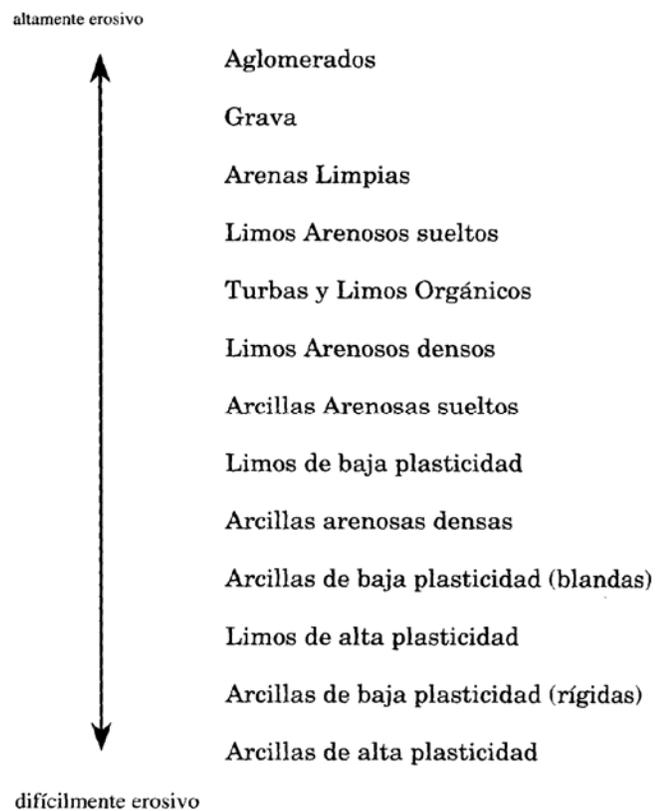
disminuir la saturación a partir de este valor, alcanzando valores mínimos para arenas saturadas o secas. En arcillas, limos y arenas con finos la penetración máxima se alcanza a una saturación del 100% y la penetración mínima a un grado de saturación entre 40 y 50%.

- ✓ La profundidad de penetración de un suelo varía linealmente con el coeficiente de permeabilidad del suelo, es decir, al incrementar la permeabilidad aumenta la profundidad de penetración. El efecto de la variación de la permeabilidad en la profundidad de penetración es más importante a medida que el tamaño de las partículas decrece.
- ✓ Al incrementar la resistencia del suelo, la profundidad de penetración disminuye.

### ***Sistemas de Jet Grouting.***

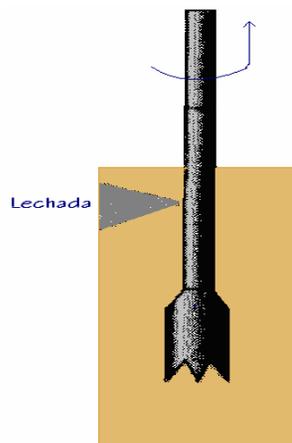
Son conocidos tres sistemas en esta técnica, y la implementación de cualquiera generalmente está en función del suelo in situ y de las características mecánicas requeridas para su aplicación. Cada uno de estos sistemas inyecta una lechada de cemento a presión que corta y mezcla el suelo en el lugar, para formar columnas o paneles de suelo cemento (suelocreto). El corte o erosión del suelo es producto de la energía de impacto generada por el fluido a alta velocidad, debido a la presión de bombeo originada por el paso del fluido por la boquilla.

La distribución de lechada inyectada se realiza a través de un monitor localizado en la punta de la barra de perforación. Los sistemas difieren en la capacidad erosiva que pueden desarrollar durante su desempeño, teniendo presente las diferentes susceptibilidades a la erosión que poseen los diversos tipos de suelos como se muestra a continuación:



***Figura 4.83. Capacidad erosiva de los diferentes tipos de suelo a considerar en los sistemas de jet grouting.***

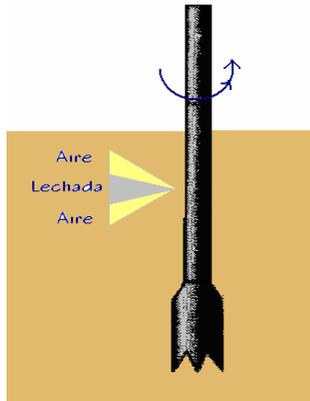
**Sistema Jet grouting de barra simple (sistema S):** Es la forma más simple; aquí la lechada es inyectada por una o varias boquillas con presiones de alrededor de 40 Mpa (Ver Fig.4.84), que simultáneamente corta el suelo y lo sustituye por lechada. El proceso continúa, con la extracción y rotación de la barra de inyección o monitor, a una relación constante en cualquier estrato, para crear una columna de suelo-cemento. Este sistema no es muy efectivo en suelos cohesivos.



**Figura 4. 84. Esquema del sistema de jet grouting de barra simple (S)**

**Sistema Jet grouting de barra doble (sistema D):** Es una forma más avanzada en la cual los efectos erosivos del jet grouting son considerablemente mayores por la adición de un chorro de aire comprimido, generalmente con presiones que varían entre 0.2 y 1.5 MPa. En este caso, se tienen dos sistemas alternos de barras para separar el suministro de lechada y aire, donde la función de la lechada es erosionar y mezclar el suelo, y la del aire es incrementar el

poder erosivo. Este sistema es más efectivo en suelos cohesivos que el sistema S. Ver fig. 4.85.

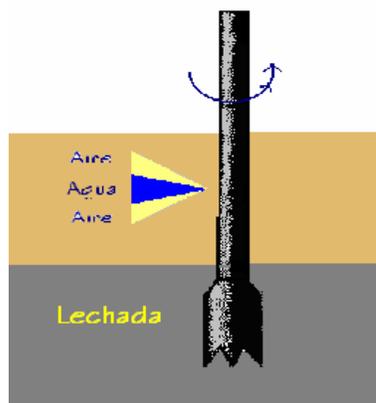


*Figura 4.85. Esquema del sistema jet grouting de barra doble (D)*

**Sistema Jet grouting de barra triple (sistema T):** Este sistema usa un chorro de aire y agua para el corte del suelo que está separado de la boquilla de inyección de la lechada. Este arreglo necesita de 3 tubos concéntricos para separar las diferentes fases: aire, agua y lechada. La presión y la relación de flujo de lechada, agua y aire pueden variar independientemente para dar la geometría deseada y la mezcla de suelo cemento requerido. Es el sistema más efectivo para aplicaciones en suelos cohesivos. La presión de agua está alrededor de los 50 MPa, y la presión de aire varía entre 0.2 y 1.5 MPa. No es necesario que la presión de la lechada sea alta, generalmente ésta se encuentra entre los 0.5 y 3 MPa. Dependiendo de la velocidad de extracción y los parámetros de inyección seleccionados, el sistema puede ser diseñado para

mezclar el suelo con la lechada, o remover el suelo y remplazarlo por la lechada.

Ver fig. 4.86.



*Figura 4.86. Esquema del sistema jet grouting de barra triple (T)*

**Sistema SuperJet Grouting:** Actualmente existe un cuarto sistema que puede alcanzar diámetros superiores (hasta 5 m) llamado **Superjet grouting**, el cual maneja presiones hasta de 40 Mpa y, a diferencia del Jet grouting, éste permite precisar el foco de energía del inyector, incrementando considerablemente la fuerza de erosión. Además esta tecnología muestra un refinamiento en calidad y economía sobre los métodos convencionales de jet grouting (Ver tabla 4.3).

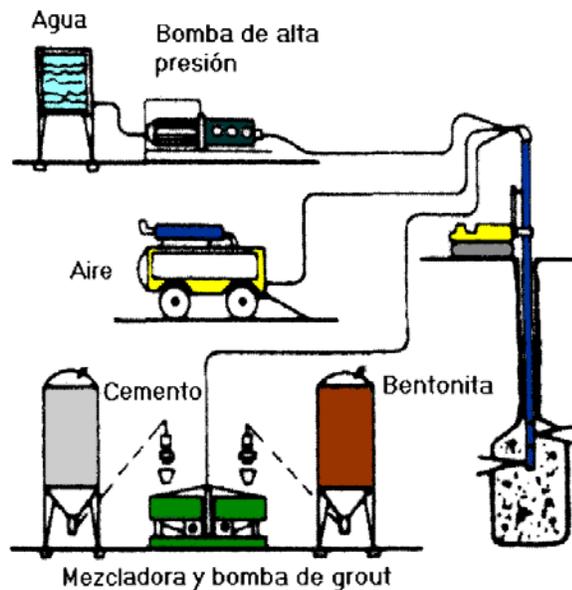
A continuación se expone un resumen de los diferentes sistemas jet grouting en cuanto a las especificaciones de cada uno:

**Tabla 4.3. Especificaciones de los diferentes sistemas de jet grouting.**  
(Tomada de Manual de Construcción Geotécnica)

Método	Sistema S	Sistema D	Sistema T	
Sistema	Inyección de lechada	Inyección aire-lechada	Inyección agua-aire	Inyección de lechada
Presión	20-40 MPa	20 Mpa	40 MPa	2-3 Mpa
Descarga	60 l/min	60 l/min	70 l/min	180-200 l/min
Diámetro de la boquilla	2-3 mm	2-3 mm	2-3.5 mm	
Aire	No se usa	1-2 m <sup>3</sup> /min	1-3 m <sup>3</sup> /min	
Rotación de la barra	10-20 rpm	5-10 rpm	5 rpm	
Diámetro de la columna	50-100 cm	80-150 cm	150-300 cm	
Velocidad de extracción	3-5 min/m	6-20 min/m	20 min/m	

**Material y Equipo.**

- Material para la producción de lechada: Cemento Pórtland, Arena, bentonita y arcilla natural (en casos donde se requiera reducir el asentamiento de las partículas de cemento de la lechada)
- Mezcladora y turboagitador
- Bomba de alta presión para inyectar la lechada
- Perforadora
- Generador de energía eléctrica
- Compresor de aire (para sistemas D y T)
- Bomba de agua (para sistema T)



*Figura 4. 87. Planta típica de sistema jet grouting de barra triple (Sistema T)*

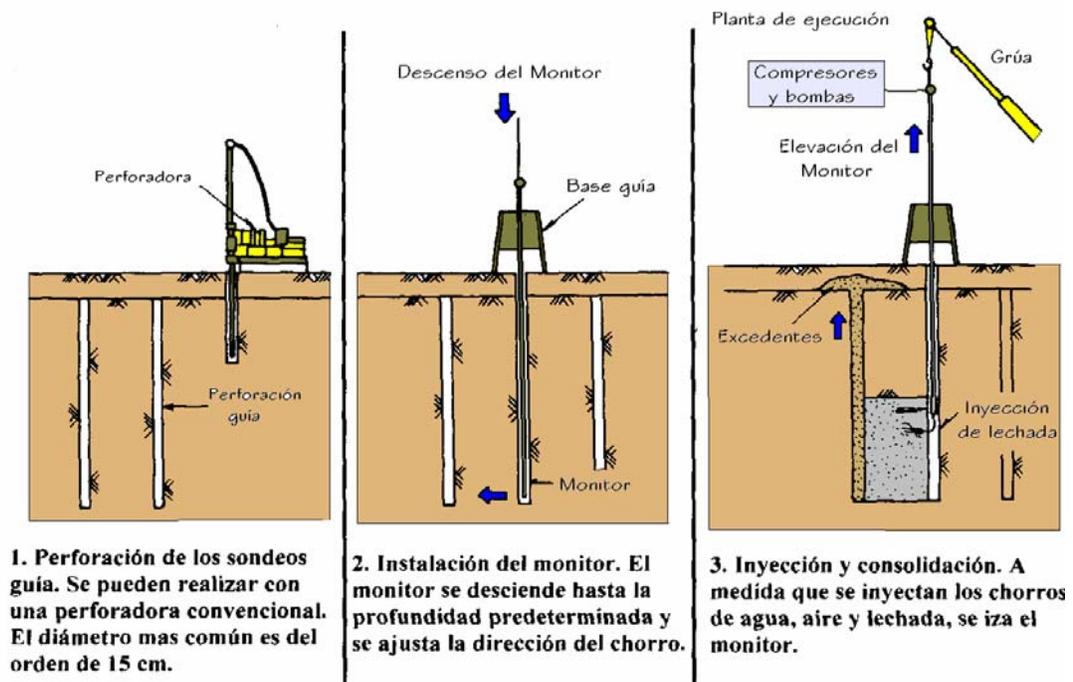
***Proceso Constructivo.***

1. Realizar proceso de perforación, generalmente con diámetros entre 10-15 cm y hasta la profundidad requerida, de manera que el tubo de inyección (monitor) sea insertado.
2. Colocación del monitor, encargado de la inyección de la lechada, a la profundidad máxima de diseño y se procede con la inyección.
3. Extracción del monitor a una velocidad establecida con anterioridad, según la estratigrafía de la zona.
4. Se determina la geometría de la columna de suelo cemento rotando la tubería de inyección a una velocidad controlada durante el levantamiento.

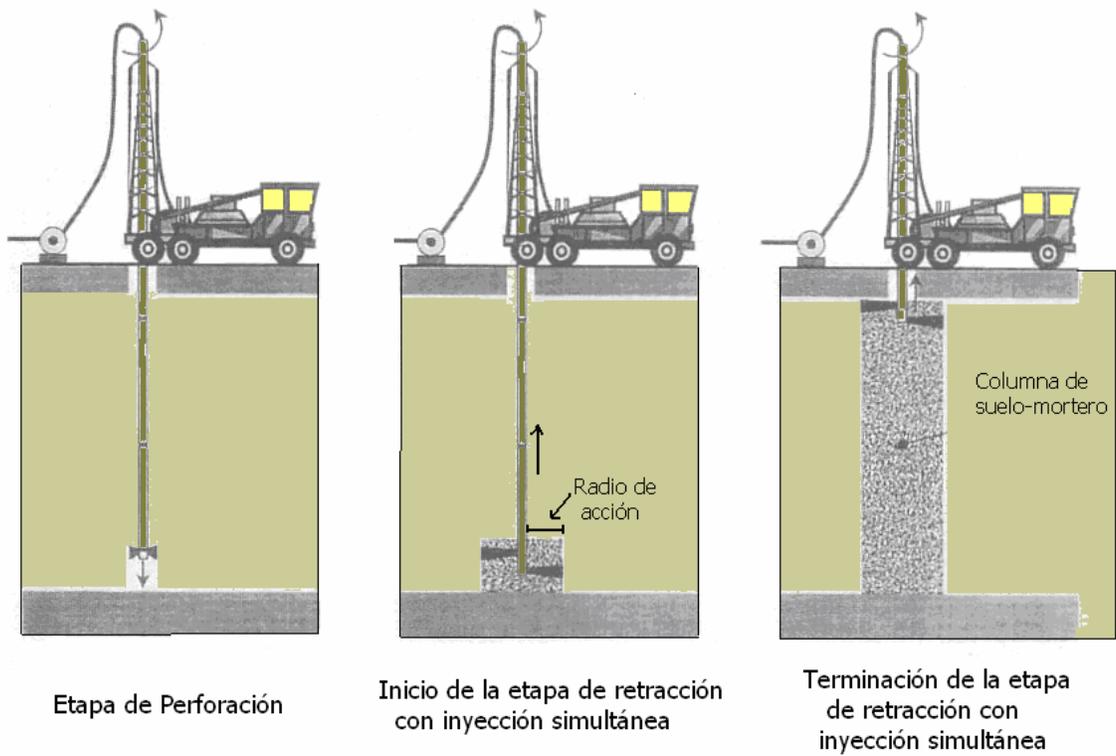
De esta manera se va erosionando el material y simultáneamente se va reemplazando la cavidad por la lechada de abajo hacia arriba.

- Una vez que la masa de suelo cemento ha sido formada a la profundidad de interés, el monitor de inyección puede trasladarse a otra posición de la columna para traslaparlas. Esto requiere de una secuencia de construcción determinada para asegurar la estabilidad temporal.

Una ilustración resumen del proceso constructivo anterior es la siguiente:



**Figura 4. 88. Proceso constructivo con perforaciones guía (perforación previa)**



**Figura 4.89. Procedimiento constructivo sin perforaciones guía.**

## **CAPÍTULO 5: ESTUDIO DE TALUD ESPECÍFICO.**

### **5.1 EVALUACIÓN DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS EN TALUDES Y LADERAS.**

En la investigación amenaza por deslizamiento en un talud o ladera es necesario obtener toda la información posible sobre sus características topográficas, geológicas, geotécnicas y ambientales, que permitan analizar los problemas que lo afectan de la forma más precisa posible para brindar un diseño de solución adecuado, en base a los parámetros geotécnicos básicos influyentes en la estabilidad del talud para el cálculo del factor de seguridad, el cual expresa la situación del talud en función de las fuerzas que actúan en él.

El factor de seguridad se define de forma sencilla como se muestra a continuación:

$$\text{F.S.} = \frac{\text{Fuerzas resistentes}}{\text{Fuerzas Actuantes}}$$

Dentro de las fuerzas resistentes podemos mencionar: la resistencia al corte del material, dada por la cohesión y el ángulo de fricción interna; como fuerzas

actuales de mayor relevancia podemos mencionar el peso propio del material, el grado de saturación, movimientos sísmicos y factores antrópicos. Las primeras son determinadas a partir de la extracción de muestras y ensayos de laboratorio (prueba triaxial y prueba de corte directo). Las segundas se pueden determinar conociendo el tipo de suelo, la geometría y geología del talud, así como por sus antecedentes de deslizamientos.

Para calcular el factor de seguridad de un talud es necesario realizar un análisis de estabilidad, ya sea por medio de programas de computadora o haciendo los cálculos de una forma manual, que permita conocer de forma cuantitativa el estado de un talud. En este tipo de análisis se estudian diferentes superficies de falla y se toma el mínimo valor de factor de seguridad obtenido. Si al calcular el factor de seguridad se obtiene un valor inferior a 1.0 el talud es inestable y existe la posibilidad de que ocurra un deslizamiento, mientras que si este factor es mayor a 1.1, el talud puede ser considerado como estable (Según Norma Técnica para Diseño de Cimentaciones y Estabilidad de Taludes de nuestro país, Año 1994).

El realizar un análisis de estabilidad de un talud es de gran importancia, ya que por medio de este podemos conocer la superficie de falla potencial por

deslizamiento, lo que permite escoger de una forma más precisa las medidas de mitigación a ser utilizadas.

En este trabajo se presenta una herramienta alterna para la evaluación de la amenaza por deslizamiento en taludes, haciendo uso de un formato sencillo con el fin de obtener una idea preliminar del estado de un talud, de manera que permita evaluar si es necesario o no llevar a cabo un análisis de estabilidad. En el caso de que un talud sea estable, se puede evitar el costo económico que implica la realización de un análisis de estabilidad, lo que beneficiaría a las personas afectadas, quienes por lo general son de escasos recursos económicos.

Este formato utiliza parámetros geométricos, geotécnicos y ambientales del talud que se pueden obtener a partir de observaciones y de simples mediciones en campo, a los cuales les asigna un valor de atributo relativo y al final se realiza la sumatoria de ellos y se compara con un rango de valores en los que se define el grado de amenaza por deslizamiento que posee el talud en estudio.

Con el valor del grado de amenaza obtenido del formato para el talud, se evalúa si será necesario llevar a cabo un estudio geotécnico más detallado para realizar

un análisis de estabilidad (en los casos de amenaza alta y muy alta) para lo cual se deberán realizar los ensayos de laboratorio necesarios.

A continuación se presenta el formato para la evaluación de amenaza por deslizamientos en taludes y laderas, el cual se ha retomado de una metodología mexicana (elaborada por M. J. Mendoza López), el cual ha sido adecuado a las condiciones particulares de nuestro país. Además se ha elaborado una guía práctica para su comprensión e implementación, lo que permitirá que este pueda ser utilizado aún por personas que no estén necesariamente involucradas en el área de la geotecnia, pero que conozcan sobre criterios básicos de ingeniería.



2.3 Antecedentes deslizantes \_\_\_\_\_ Atributo relativo \_\_\_\_\_

ANTECEDENTES	ATRIBUTO RELATIVO
No se sabe	0.3
Algunos	0.4
Si se tienen registrados	0.6

### 3. FACTORES GEOTÉCNICOS

3.1 Tipo de material

#### 3.1.1 Suelos

Tipo de suelo \_\_\_\_\_ Atributo relativo \_\_\_\_\_

TIPO DE SUELO	ATRIBUTO RELATIVO
Suelos granulares medianamente compactos a sueltos (tierra blanca). Suelos que se reblandecen con la absorción de agua (arcillas)	1.5 - 2.5
Suelos arcillosos consistentes o arenas limosas compactas. Talpetates	0.5 – 1.0

Espesor de la capa de suelo \_\_\_\_\_ Atributo relativo \_\_\_\_\_

ESPESOR DE LA CAPA DE SUELO	ATRIBUTO RELATIVO
Menor a 5 m	0.5
5 a 10 m	1.0
10 a 15 m	1.4
15 a 20 m	1.8

3.1.2 Rocas

Tipo de formación rocosa \_\_\_\_\_

Atributo relativo \_\_\_\_\_

TIPO DE FORMACIÓN ROCOSA	ATRIBUTO RELATIVO
Rocas metamórficas (lutitas, pizarras) de poco a muy intemperizadas	1.2 a 2.0
Rocas sedimentarias (areniscas, calizas, conglomerados), tobas competentes, talpetates	0.3 a 0.6
Rocas ígneas sanas (granito, basalto, andesita, riolita)	0.2 a 0.4

Aspectos estructurales de la formación \_\_\_\_\_

Atributo relativo \_\_\_\_\_

ASPECTO ESTRUCTURAL DE LA FORMACIÓN	DESCRIPCIÓN	ATRIBUTO RELATIVO
Buzamiento de la discontinuidad	Menos de 15°	0.2
	25° a 35°	0.4
	Mayor de 45°	0.6
Angulo entre el buzamiento de las discontinuidades y la inclinación del talud	Mayor a 10°	0.3
	0° a 10°	0.5
	0°	0.7
	0° a -10°	0.8
	Mayor a -10°	1.0
Angulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud	Mayor de 30°	0.2
	10° a 20°	0.3
	Menor de 5°	0.5

**4. FACTORES GEOMORFOLÓGICOS Y AMBIENTALES**

4.1 Evidencias de huecos en el talud/ladera \_\_\_\_\_

Atributo relativo \_\_\_\_\_

EVIDENCIA DE HUECOS	ATRIBUTO RELATIVO
Inexistentes	0.0
Volúmenes moderados	0.5
Grandes volúmenes faltantes	1.0

4.2 Vegetación y uso de la tierra \_\_\_\_\_ Atributo relativo \_\_\_\_\_

USO DE LA TIERRA Y VEGETACIÓN	ATRIBUTO RELATIVO
Zona urbana	2.0
Cultivos anuales (maíz, frijol, etc)	1.5
Vegetación intensa	0.0
Vegetación moderada	0.8
Área deforestada	2.0

4.3 Régimen de agua en el talud/ladera \_\_\_\_\_ Atributo relativo \_\_\_\_\_

REGIMEN DE AGUA	ATRIBUTO RELATIVO
Nivel freático superficial, escurrimientos superficiales (nacimientos, brotes)	1.0
Nivel freático inexistente	0.0
Zanjas o depresiones donde se acumule el agua en la plataforma del talud/ladera	1.0

5. SUMATORIA DE ATRIBUTOS Total: \_\_\_\_\_

*EVALUACIÓN DE LA SUMATORIA DE LOS ATRIBUTOS RELATIVOS PARA CONOCER EL GRADO DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTO EN EL TALUD/LADERA:*

GRADO DE AMENAZA	DESCRIPCIÓN	SUMATORIA
1	Amenaza muy alta	Mayor a 10.0
2	Amenaza alta	8.5 a 10.0
3	Amenaza moderada	7.0 a 8.5
4	Amenaza baja	5.0 a 7.0
5	Amenaza muy baja	Menor de 5.0

### **5.1.2 Guía de implementación del Formato de Evaluación de Amenaza por Deslizamientos en Taludes y Laderas.**

Para tener una mayor claridad de los parámetros y procedimientos a utilizar en la implementación del formato de evaluación de amenaza por deslizamientos en taludes y laderas, se exponen a continuación los diferentes criterios que serán útiles para tal fin:

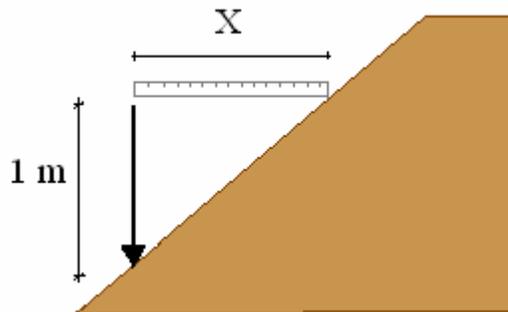
#### ***FACTORES TOPOGRÁFICOS E HISTÓRICOS***

##### **1. Inclinação del talud/ladera.**

Para la determinación de la pendiente o inclinación de un talud o ladera no se requiere del uso de equipo sofisticado, ya que se puede obtener utilizando herramientas comunes y unas simples fórmulas matemáticas. A continuación se presenta un procedimiento sencillo que se puede realizar en campo, utilizando solamente una plomada y una cinta métrica:

- Se debe marcar una señal sobre el cordel de la plomada, midiendo un metro de longitud desde la punta de la plomada.
- Se debe observar un tramo de la superficie del talud en el cual la pendiente sea representativa, y luego colocar la plomada sobre este tramo, como se muestra en la figura 5.1.

- Una vez ubicada la plomada se procede a medir la distancia horizontal que hay entre la superficie del talud y la plomada, haciendo uso de una cinta métrica. A este valor para efectos de cálculo se le denominará "X", y estará expresado en metros. Ver figura 5.1.



*Figura 5.1 Determinación de la pendiente de un talud en el campo.*

Para encontrar el valor de la pendiente basta con dividir 100 entre el valor de X obtenido, así:

$$S \% = 100 / X$$

Donde X está expresado en metros.

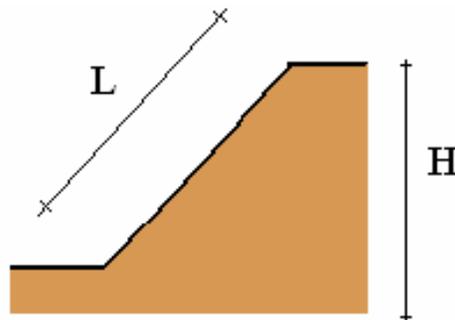
Si se requiere que el dato de la pendiente sea expresado en grados, se calculará la tangente inversa de 1/X, así:

$$S = \tan^{-1} ( 1/X )$$

El valor así encontrado se compara con los que se encuentran en el numeral 2.1 del formato de evaluación para asignarle el atributo relativo correspondiente.

## 2. Altura del talud/ladera

Para medir la altura de un talud o ladera solamente se requiere hacer uso de un lazo, cuya longitud sea lo suficientemente larga para cubrir la distancia entre el pie y la corona del talud, a la cual para efectos de cálculo llamaremos "L". Ver Fig. 5.2



*Figura 5.2. Esquema de dimensiones para el cálculo de la altura de un talud/ladera en el campo.*

La altura "H" del talud/ladera se calcula utilizando "L" (expresada en metros) y "S" (expresada en porcentaje), determinado anteriormente, así como se muestra a continuación:

$$H = \frac{L * S}{\sqrt{S^2 + 10000}} \text{ (metros)}$$

Luego se compara este valor con los rangos presentados en el numeral 2.2 del formato de evaluación de amenaza por deslizamientos y se le asigna el valor de atributo relativo correspondiente.

### **3. Antecedentes de deslizamientos.**

Esto se puede llevar a cabo de varias maneras: en base a entrevistas con los lugareños, a una inspección y recorrido por el talud que nos permita observar si existe algún indicio de deslizamientos anteriores (cárcavas o residuos de material deslizado), o bien mediante la consulta a registros de la alcaldía de la municipalidad, periódicos u otras fuentes.

## ***FACTORES GEOTÉCNICOS.***

### **1. Tipo de Material**

Según el tipo de material por el que está conformado un talud lo podemos clasificar en suelo o roca, aunque frecuentemente encontramos combinaciones de ambos. En estos casos será necesario considerar el material que presente un valor de atributo relativo más desfavorable (el mayor valor), además de observar cuidadosamente las superficies de contacto entre ellas.

## 1.1 Suelos

Se pueden clasificar en 2 tipos, según el grado de consolidación que presenten:

- Suelos granulares medianamente compactos a sueltos y suelos que se reblandecen con la absorción de agua donde podemos agrupar los limos arenosos o arenas limosas, tal como la tierra blanca que se encuentra predominantemente en el área de San Salvador, además de los suelos arcillosos, cuyo comportamiento varía en función de su contenido de agua.
- Suelos arcillosos consistentes o arenas limosas compactas, de las cuales podemos verificar su consistencia tomando una porción de material y apretándolo con la palma en la mano y observar la facilidad o resistencia que presenta a desmoronarse. Si se necesita de un esfuerzo considerable para desmoronar la porción de material, entonces debe incluirse dentro de esta categoría.

Además de conocer el tipo de suelo es importante considerar el *espesor de las capas de suelo* que conforman el talud, ya que estas tienden a definir el tipo de movimiento que pueda llegar a producirse en el mismo. En el caso de un talud con diversas capas de suelo, se tomará el mayor espesor del material más representativo del talud, ya que este proporcionará un valor de

atributo relativo más desfavorable para el talud. El espesor de las capas de suelo se obtiene mediante observaciones en el lugar y mediciones, ya sea con inclinómetro o con cinta.

### *1.2 Rocas*

Resulta de suma importancia observar el tipo de formación rocosa que conforma un talud. Estas las podemos clasificar en tres tipos según su origen:

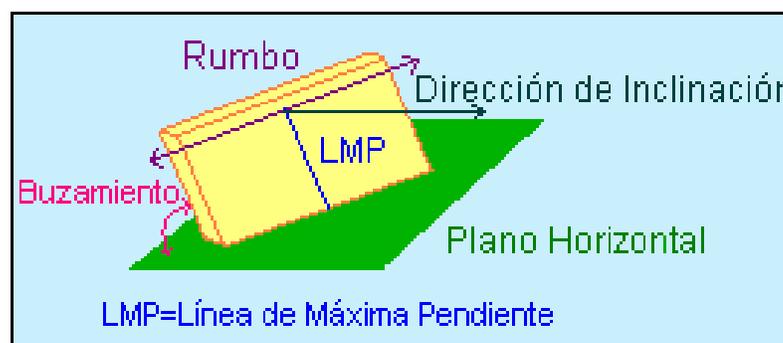
- Rocas metamórficas, las cuales no se encuentran comúnmente en nuestro país.
- Rocas sedimentarias, cuya formación ha sido originada por sedimentos. Como ejemplos podemos citar las rocas calizas y las areniscas. Dentro de esta categoría también se incluyen las tobas competentes y los talpetates, debido a que por su consistencia este tipo de suelo presenta un comportamiento similar al de una roca.
- Rocas ígneas sanas, las cuales tienen un origen volcánico y dentro de las cuales podemos mencionar las andesitas, riolitas, los granitos y basaltos.

Se deben conocer además ciertos aspectos estructurales de la formación rocosa, para luego compararlos con los establecidos en el numeral 3.1.2 del formato de evaluación de amenaza por deslizamiento, entre los que están:

- *Buzamiento de la discontinuidad*, el cual se define como el ángulo que forma la máxima pendiente de la discontinuidad respecto a la superficie horizontal. Para su determinación se requiere hacer uso de un clinómetro. El procedimiento para su determinación consiste básicamente en observar las discontinuidades que presenta el talud rocoso y tomar aquella que sea más representativa. Habiendo escogido la discontinuidad se procede a colocar el clinómetro sobre la superficie de la misma, tomando la lectura que muestra respecto a un plano horizontal. Luego este valor es comparado con los rangos establecidos en el formato de evaluación de amenaza para asignarle el valor de atributo relativo correspondiente.
  
- *Angulo entre el buzamiento de las discontinuidades y la inclinación del talud*. La inclinación del talud se obtiene tal y como se describió anteriormente, y una vez conociendo este valor se procede a calcular la diferencia entre éste y el valor de buzamiento de la discontinuidad; posteriormente se compara con los valores presentados en el formato de evaluación de amenaza por deslizamientos para asignarle el valor de

atributo relativo correspondiente. Cabe mencionar que el ángulo entre el buzamiento de la discontinuidad y la inclinación del talud también puede tomar un valor negativo. Esto se dará cuando la inclinación del talud sea mayor al buzamiento de las discontinuidades.

- *Angulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud.* Para conocer estos dos valores se debe hacer uso de una brújula; en el caso del rumbo de las discontinuidades basta con colocar la brújula sobre una de las discontinuidades (la más representativa) y leer el valor del rumbo obtenido. Para conocer el rumbo de la dirección del talud se debe trazar una línea sobre éste y colocar ahí la brújula para obtener su valor. Una vez conocidos los dos rumbos se procede a calcular la diferencia y luego se compara con los valores presentados en el formato de evaluación de amenaza por deslizamiento para asignarle el atributo relativo correspondiente. Ver Figura 5.3.



**Figura 5.3 Componentes de las discontinuidades de un talud: buzamiento y línea de máxima pendiente.**

## ***FACTORES GEOMORFOLÓGICOS Y AMBIENTALES***

### **1. Evidencias de huecos en talud/ladera**

Es importante observar si el talud presenta cárcavas o huecos en la superficie, ya que esto indica antecedentes de deslizamientos, lo cual puede influir en su posterior incidencia. Según el volumen de material faltante así se le asignará el valor de atributo relativo, indicado en el numeral 4.1. Se puede considerar un gran volumen faltante si el hueco abarca un área superficial significativa sobre el talud, o si el espesor de la capa del material faltante es notorio.

### **2. Vegetación y uso de la tierra.**

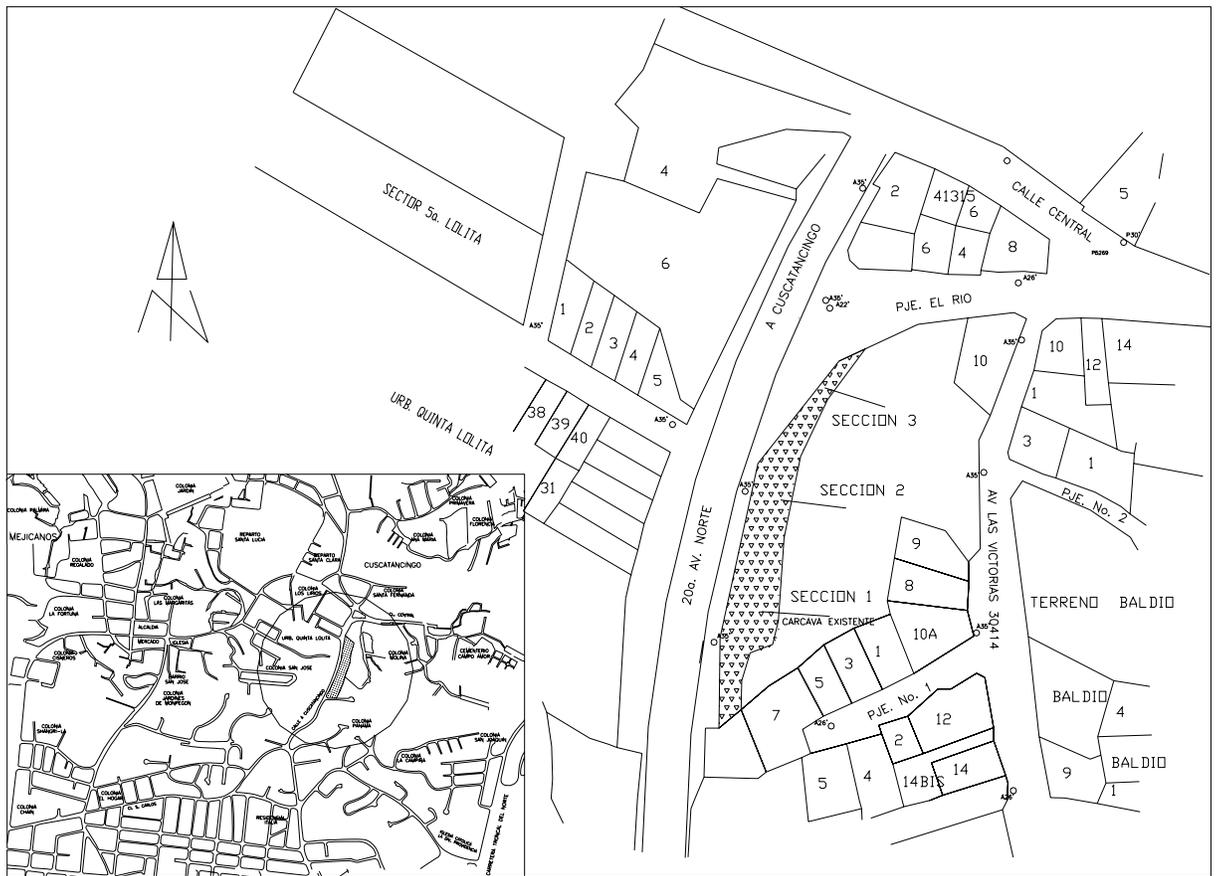
El uso del suelo y la vegetación presente en el área del talud/ladera es de importancia ya que puede ayudar a estabilizar de cierta forma el talud, y en algunos casos puede llegar a ser un factor desencadenante para la ocurrencia de un deslizamiento. Se debe considerar si existen asentamientos humanos, ya sea estructuras o viviendas en el área del talud, o si el talud es utilizado para diferentes tipos de cultivos. También se debe considerar la magnitud de la vegetación presente en el talud, dependiendo el área de éste. En función del uso de suelo e intensidad de vegetación se le asignará el valor de atributo relativo según el numeral 4.2 del formato de evaluación de amenaza por deslizamiento.

### **3. Régimen de agua en el talud/ladera**

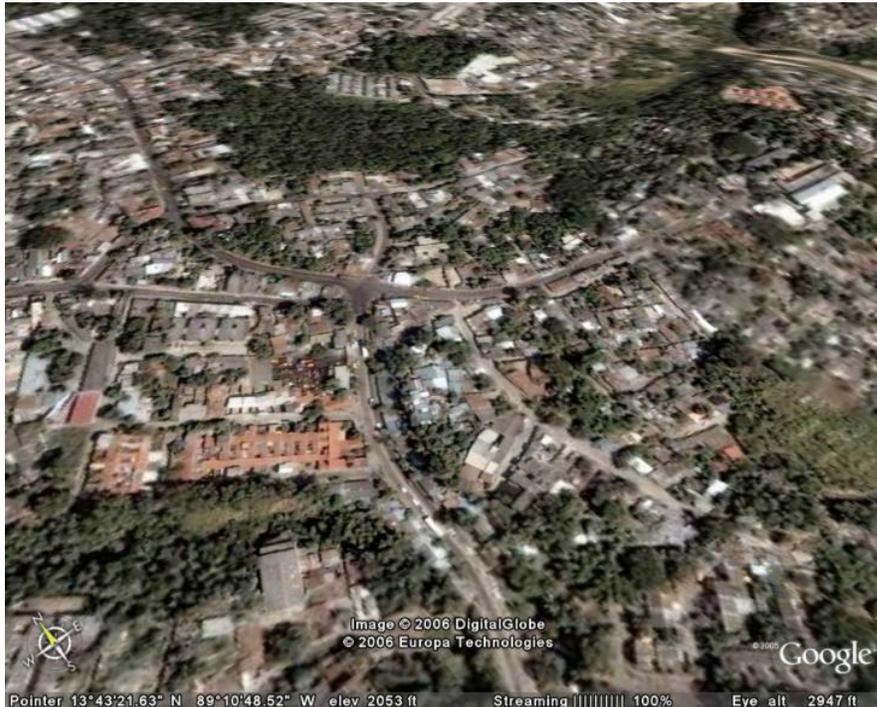
Ya que el agua es el factor desencadenante de mayor influencia en un deslizamiento, resulta de suma importancia la determinación de este parámetro. El agua presente sobre la superficie de un talud/ladera se puede obtener mediante observaciones en el lugar, notando si hay escurrimientos superficiales de agua, tales como nacimientos o brotes, o notando la ausencia de los mismos. También es importante observar si hay acumulaciones de agua sobre la plataforma del talud, pudiéndose considerar cárcavas o depresiones donde se estanque el agua proveniente de la lluvia o de las personas.

### **5.2 DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA DEL TALUD EN ESTUDIO.**

La comunidad "La Providencia" está ubicada en el municipio de Cuscatancingo sobre la 20ª Av. Norte frente a la urbanización Quinta Lolita (Ver Figura 5.4 y fotografía 5.1) y está compuesta por más de 200 familias de escasos recursos económicos cuyas viviendas están construidas básicamente con láminas y madera.



**Figura 5.4. Esquema de ubicación del talud comunidad “La Providencia”, municipio de Cuscatancingo.**



***Fotografía 5.1. Vista aérea de la zona del talud en estudio (Tomado de Google Earth)***

La distribución espacial de las viviendas no tiene un orden determinado, lo que produce accesos peatonales irregulares y estrechos, dificultando a las personas de tercera edad el ingreso hasta sus viviendas. Además, esta comunidad no posee un sistema de aguas servidas, por lo que se ha optado por desalojarlas hacia los pasajes, sin contar con ningún tipo de conducto para este fin. Ver fotografía 5.2.



a)

b)

***Fotografía 5.2 a y b: Estado general de los pasajes en la comunidad La Providencia, en los que se muestra los drenajes superficiales provenientes de las viviendas.***

Sin embargo, por su ubicación y trascendencia, el principal problema de la comunidad es el talud situado al costado poniente de la comunidad, ya que existen al menos 15 viviendas dentro del área de influencia del mismo, ubicadas tanto en el pie del talud como en parte de la corona, expuestas a ser destruidas por un deslizamiento. (Ver fotografía 5.3 a y b). En octubre de 2005, las lluvias intensas y prolongadas del huracán "Stan" causaron varios deslizamientos que dañaron algunas viviendas de la comunidad.



**a)**  
**Fotografía 5.3. a) Viviendas que se ubican al pie del talud y que reciben todo el material que se desprende desde el talud, corriendo el riesgo de ser soterradas. b) Pérdida de una porción de la vivienda mostrada debido a un deslizamiento ocurrido durante el huracán Stan.**

El talud tiene una altura promedio de 11.5 m, una inclinación promedio de  $69^\circ$  y se extiende a lo largo de 92 metros de longitud, además, éste muestra evidencias de deslizamientos anteriores, debidos principalmente a la erosión provocada por las lluvias intensas y a las descargas de agua que se hacen sobre el mismo sin ningún control. El material que constituye dicho talud es una ceniza volcánica, mejor conocida en nuestro medio como "tierra blanca", la cual es muy erosionable si se expone directamente a corrientes de agua, formando rápidamente cárcavas o zanjas de erosión que luego propician desprendimientos o deslizamientos del material como consecuencia del debilitamiento del estrato. Ver fotografía 5.4 a, b y c.



**Fotografía 5.4. Fallas comunes en taludes de tierra blanca observadas en Comunidad La Providencia: a) y b) Cárcavas o zanjas provocadas por la erosión, c) Exfoliación o caída por capas del material debido al intemperismo.**

La proximidad de las viviendas al pie y a la corona del talud es un factor que incrementa el riesgo de la zona. Sumado a lo anterior, algunas personas han removido parte del material al pie del talud con el fin de incrementar el área de su terreno y tener más espacio para sus viviendas; otros han tratado de construir por su cuenta algunos muros con el fin de mitigar los efectos de los deslizamientos sobre sus viviendas. Ver fotografía 5.5.



a) b)  
**Fotografía 5.5. Viviendas ubicadas en el pie del talud en la comunidad La Providencia: a) Algunas personas intentan expandir el área de su terreno haciendo cortes al pie del talud, b) la preocupación de las personas les lleva a construir muros o barreras que retengan un poco el material que se desliza.**

En la parte alta del talud el riesgo más grande lo tiene una de las viviendas, la cual perdió parte de la misma al ocurrir un deslizamiento ocasionado por el huracán "Stan" y además ha quedado expuesta a caer en su totalidad; sin embargo existen al menos otras cuatro viviendas que, si bien es cierto no están por caer, tienen el mismo problema y a medida que pase el tiempo sin hacerse ninguna obra de mitigación, estas caerán. El efecto se duplica debido a que el material que se desprende del talud, además de dañar a las viviendas de la parte alta, perjudica también a las que se encuentran abajo, soterrando en la mayoría de los casos sus bienes o causando la caída de árboles sobre éstas. Ver fotografía 5.6 a y b.



a)

b)

***Fotografía 5.6. Peligros a los que se exponen las viviendas en la Comunidad “La Providencia”: a) para las casas ubicadas en el pie del talud los deslizamientos llevan la posibilidad de soterrar sus viviendas y quitarles la vida, se señala con rojo el material deslizado un par de días antes de tomar la fotografía; b) Vivienda ubicada en la corona del talud, la cual se considera que caerá con el próximo deslizamiento que ocurra en ese preciso lugar.***

Otro factor relevante en la problemática de dicho talud es la incontrolada disposición de aguas servidas a través de una canaleta de tierra hacia la superficie del talud, lo que ha provocado un deterioro considerable sobre la parte de éste donde el agua cae, propiciando desprendimientos de material sobre las viviendas (Ver fotografía 5.7 a y b). Este efecto lo ha tenido que sufrir en especial una de las viviendas que se encuentra en la parte baja del talud, cuyos habitantes han colocado una tubería de 10” para desalojar dicha agua hacia la calle y evitar que ésta corra por el interior de su casa. Ver fotografía 5.8 a y b.



a)

b)

***Fotografía 5.7. Daño provocado al talud por la descarga inadecuada de las aguas servidas. a) Los desprendimientos se han propiciado debido a la saturación del material, b) el agua cae por gravedad y su fuerza ha creado un agujero en donde se acumula el agua, minando el material al pie del talud.***



a)

b)

***Fotografía 5.8. a) Caída de material sobre casa al pie del talud, b) tubería que los habitantes de la vivienda afectada por la descarga de aguas servidas han colocado para tratar de evacuarlas y que no pase a través de su casa.***

### 5.3 ANALISIS DE ESTABILIDAD EN TALUD COMUNIDAD “LA PROVIDENCIA”, MUNICIPIO DE CUSCATANCINGO, SAN SALVADOR

#### 5.3.1 Formato de Evaluación de Amenaza por Deslizamientos en Taludes y Laderas

Lugar: Comunidad La Providencia, municipio de Cuscatancingo, San Salvador  
 Responsable de la inspección: R. Alberti, R. Canales, B. Sandoval  
 Institución/Organización: Universidad de El Salvador

#### 1. DESCRIPCIÓN FÍSICA

- 1.1 Existencia de grietas en la corona o en plataforma si ( ) no (X)  
 Abertura \_\_\_\_\_ m Longitud \_\_\_\_\_ m
- 1.2 Depósitos de escombros al pie del talud si ( ) no (X)
- 1.3 Flujos de agua en el talud/ladera si (X) no ( )
- 1.4 Presencia de estructuras o viviendas
- |              |        |        |
|--------------|--------|--------|
| En la corona | si (X) | no ( ) |
| Al pie       | si (X) | no ( ) |

#### 2. FACTORES TOPOGRÁFICOS E HISTÓRICOS

2.1 Inclinación del talud/ladera 69° Atributo relativo 2.0

INCLINACIÓN	ATRIBUTO RELATIVO
<b>Mayor de 45°</b>	<b>2.0</b>
35° - 45°	1.8
25° - 35°	1.4
15° - 25°	1.0
Menor de 15°	0.5

2.2 Altura del talud/ladera 11.52 Atributo relativo 0.6

ALTURA	ATRIBUTO RELATIVO
<b>Menor de 50 m</b>	<b>0.6</b>
50 – 100 m	1.2
100 – 200 m	1.6
Mayor de 200 m	2.0

2.3 Antecedentes deslizantes SI Atributo relativo 0.6

ANTECEDENTES	ATRIBUTO RELATIVO
No se sabe	0.3
Algunos	0.4
<b>Si se tienen registrados</b>	<b>0.6</b>

### 3. FACTORES GEOTÉCNICOS

#### 3.1 Tipo de material

##### 3.1.1 Suelos

Tipo de suelo tierra blanca Atributo relativo 2.0

TIPO DE SUELO	ATRIBUTO RELATIVO
<b>Suelos granulares medianamente compactos a sueltos (tierra blanca). Suelos que se reblandecen con la absorción de agua (arcillas)</b>	<b>1.5 - 2.5</b>
Suelos arcillosos consistentes o arenas limosas compactas. Talpetates	0.5 – 1.0

Espesor de la capa de suelo 11.52 Atributo relativo 1.4

ESPESOR DE LA CAPA DE SUELO	ATRIBUTO RELATIVO
Menor a 5 m	0.5
5 a 10 m	1.0
<b>10 a 15 m</b>	<b>1.4</b>
15 a 20 m	1.8

### 3.1.3 Rocas

Tipo de formación rocosa NO APLICA Atributo relativo -

TIPO DE FORMACIÓN ROCOSA	ATRIBUTO RELATIVO
Rocas metamórficas (lutitas, pizarras) de poco a muy intemperizadas	1.2 a 2.0
Rocas sedimentarias (areniscas, calizas, conglomerados), tobas competentes, talpetates	0.3 a 0.6
Rocas ígneas sanas (granito, basalto, andesita, riolita)	0.2 a 0.4

Aspectos estructurales de la formación NO APLICA Atributo relativo -

ASPECTO ESTRUCTURAL DE LA FORMACIÓN	DESCRIPCIÓN	ATRIBUTO RELATIVO
Buzamiento de la discontinuidad	Menos de 15°	0.2
	25° a 35°	0.4
	Mayor de 45°	0.6
Angulo entre el buzamiento de las discontinuidades y la inclinación del talud	Mayor a 10°	0.3
	0° a 10°	0.5
	0°	0.7
	0° a -10°	0.8
	Mayor a -10°	1.0
Angulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud	Mayor de 30°	0.2
	10° a 20°	0.3
	Menor de 5°	0.5

#### 4. FACTORES GEOMORFOLÓGICOS Y AMBIENTALES

4.1 Evidencias de huecos en el talud/ladera SI Atributo relativo 0.5

EVIDENCIA DE HUECOS	ATRIBUTO RELATIVO
Inexistentes	0.0
<b>Volúmenes moderados</b>	<b>0.5</b>
Grandes volúmenes faltantes	1.0

4.2 Vegetación y uso de la tierra URBANA Atributo relativo 2.0

USO DE LA TIERRA Y VEGETACIÓN	ATRIBUTO RELATIVO
<b>Zona urbana</b>	<b>2.0</b>
Cultivos anuales (maíz, frijol, etc)	1.5
Vegetación intensa	0.0
Vegetación moderada	0.8
Área deforestada	2.0

4.3 Régimen de agua en el talud/ladera escurrimientos Atributo relativo 1.0

REGIMEN DE AGUA	ATRIBUTO RELATIVO
<b>Nivel freático superficial, escurrimientos superficiales (nacimientos, brotes)</b>	<b>1.0</b>
Nivel freático inexistente	0.0
Zanjas o depresiones donde se acumule el agua en la plataforma del talud/ladera	1.0

5. SUMATORIA DE ATRIBUTOS

Total: 10.1

Evaluación de la sumatoria de los atributos relativos para conocer el grado de amenaza por deslizamiento en el talud/ladera:

GRADO DE AMENAZA	DESCRIPCIÓN	SUMATORIA
1	<b>Amenaza muy alta</b>	<b>Mayor a 10.0</b>
2	Amenaza alta	8.5 a 10.0
3	Amenaza moderada	7.0 a 8.5
4	Amenaza baja	5.0 a 7.0
5	Amenaza muy baja	Menor de 5.0

Con el valor de sumatoria de atributos relativos obtenida se observa que el talud presenta un grado de amenaza por deslizamientos **muy alto**, por lo que es necesaria la implementación de medidas de mitigación, para lo cual se recomienda realizar un estudio geotécnico que proporcione los parámetros necesarios para llevar a cabo un análisis de estabilidad.

### ***5.3.2 Análisis de Estabilidad haciendo uso del programa SNAILZ WIN.***

Para comprobar de manera cuantitativa los resultados obtenidos con el formato de evaluación de amenaza por deslizamiento en taludes se hizo uso de un software para análisis de estabilidad de taludes, diseñado por el Departamento de Transporte de California, Centro de Servicio de Ingeniería, División de Materiales y Fundaciones, llamado SNAILZ WIN. Se escogió este programa debido a que su metodología de análisis está basada en superficies de falla en forma de cuñas, las cuales son más aplicables para el tipo de material en estudio (tierra blanca), y no en superficies de falla de tipo rotacional. Esto permite obtener diferentes factores de seguridad en diversos puntos sobre el cuerpo del talud, mostrando el factor de seguridad mínimo, considerado como de diseño.

Para hacer uso de este programa solamente se necesita conocer los parámetros geométricos del talud (altura e inclinación), los que se pueden obtener a partir de mediciones en campo, y los factores geotécnicos del material (cohesión, peso específico y ángulo de fricción interna), los cuales se obtienen a partir de pruebas de laboratorio (ensayo triaxial, prueba de corte directo).

En el estudio del talud de la Comunidad "La Providencia" se analizaron las tres secciones críticas del talud, y se consideraron valores promedio de los factores geotécnicos, tomados de mapas para el área metropolitana de San Salvador\* (Fuente: Tesis "Caracterización Geotécnica de las Formaciones Geológicas del Área Metropolitana de San Salvador y Aplicación a la Evaluación de Amenaza por Deslizamientos", Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas", Año 2003). Los valores utilizados para los parámetros geotécnicos fueron:

- ✓ Peso específico:  $\gamma = 81.84 \text{ lb/pe}^3 = 12.6 \text{ KN/m}^3$
- ✓ Angulo de fricción interna:  $\phi = 31^\circ$
- ✓ Cohesión:  $C = 0.15 \text{ T/m}^2 = 0.015 \text{ Kg/ cm}^2$

*\* Ver mapas en Anexo 1*

Cada una de las secciones del talud se analizó por gravedad y por sismo. El valor  $K$  utilizado para el análisis sísmico fue de 0.16 (Tomado de Norma Técnica para el Diseño de Cimentaciones y Estabilidad de Taludes de El Salvador). A continuación se presentan los resultados de los factores de seguridad obtenidos para cada sección, con los cuales se confirma el grado de inestabilidad que presenta el talud. (ver anexo 2)

Gráfico 5.1 Análisis Gravitacional, Sección 1

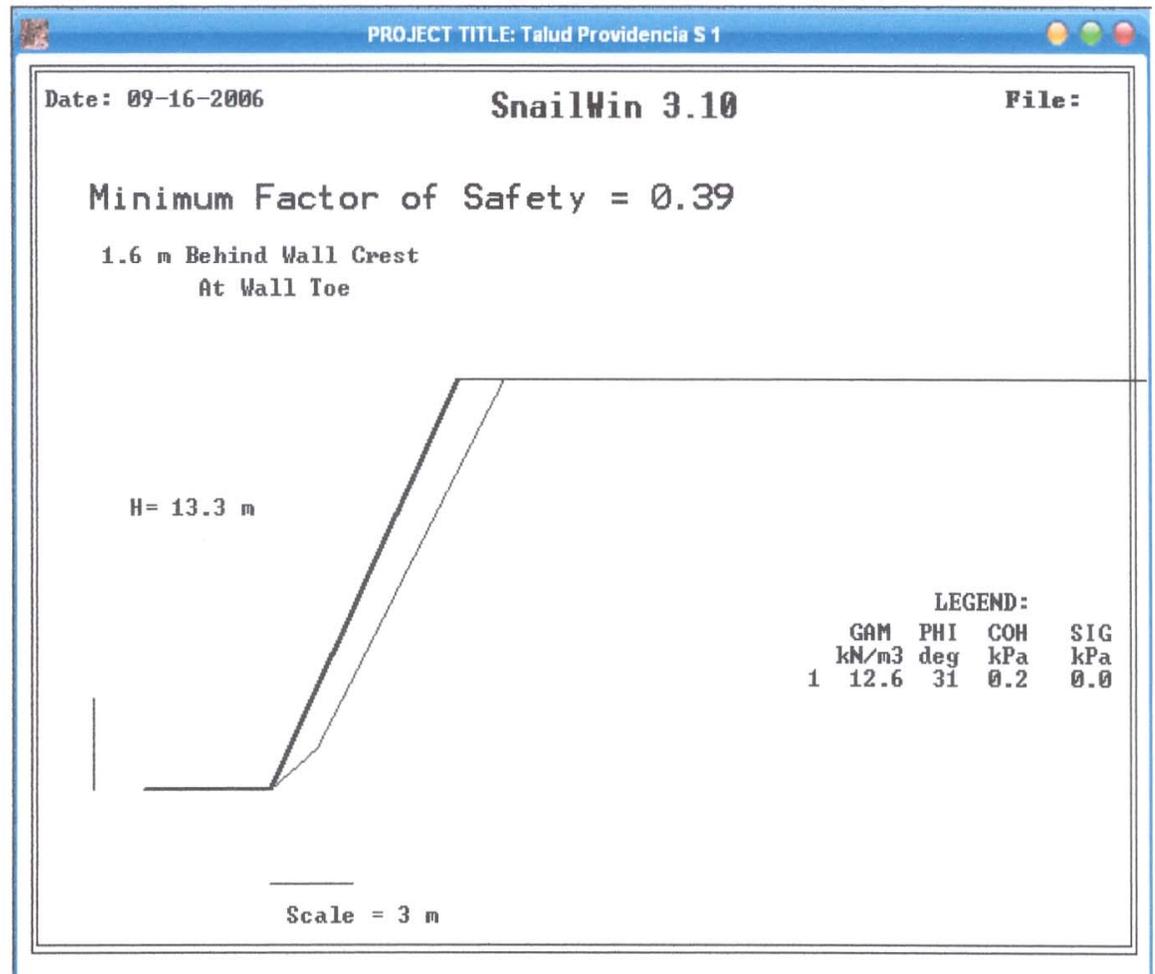


Gráfico 5.2 Análisis Sísmico, Sección 1

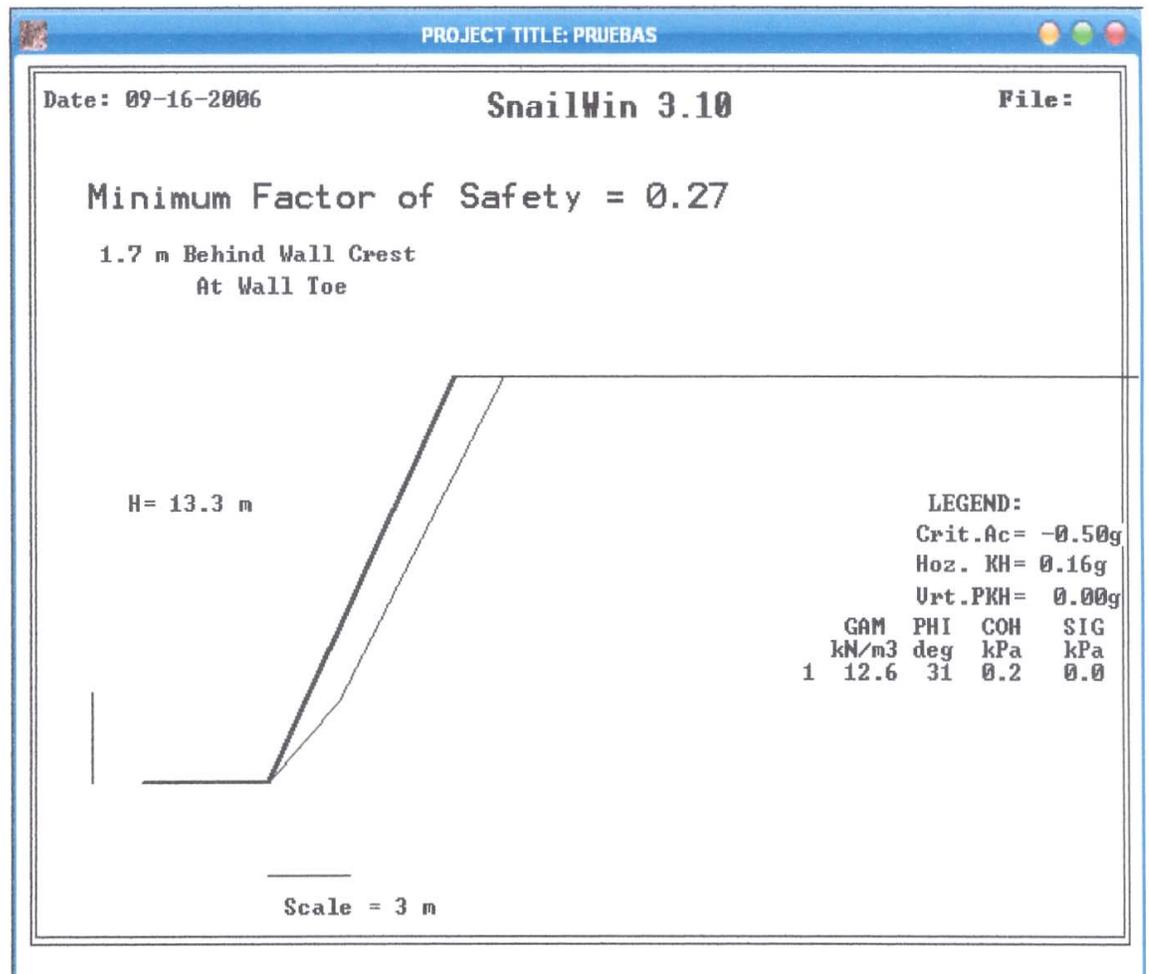
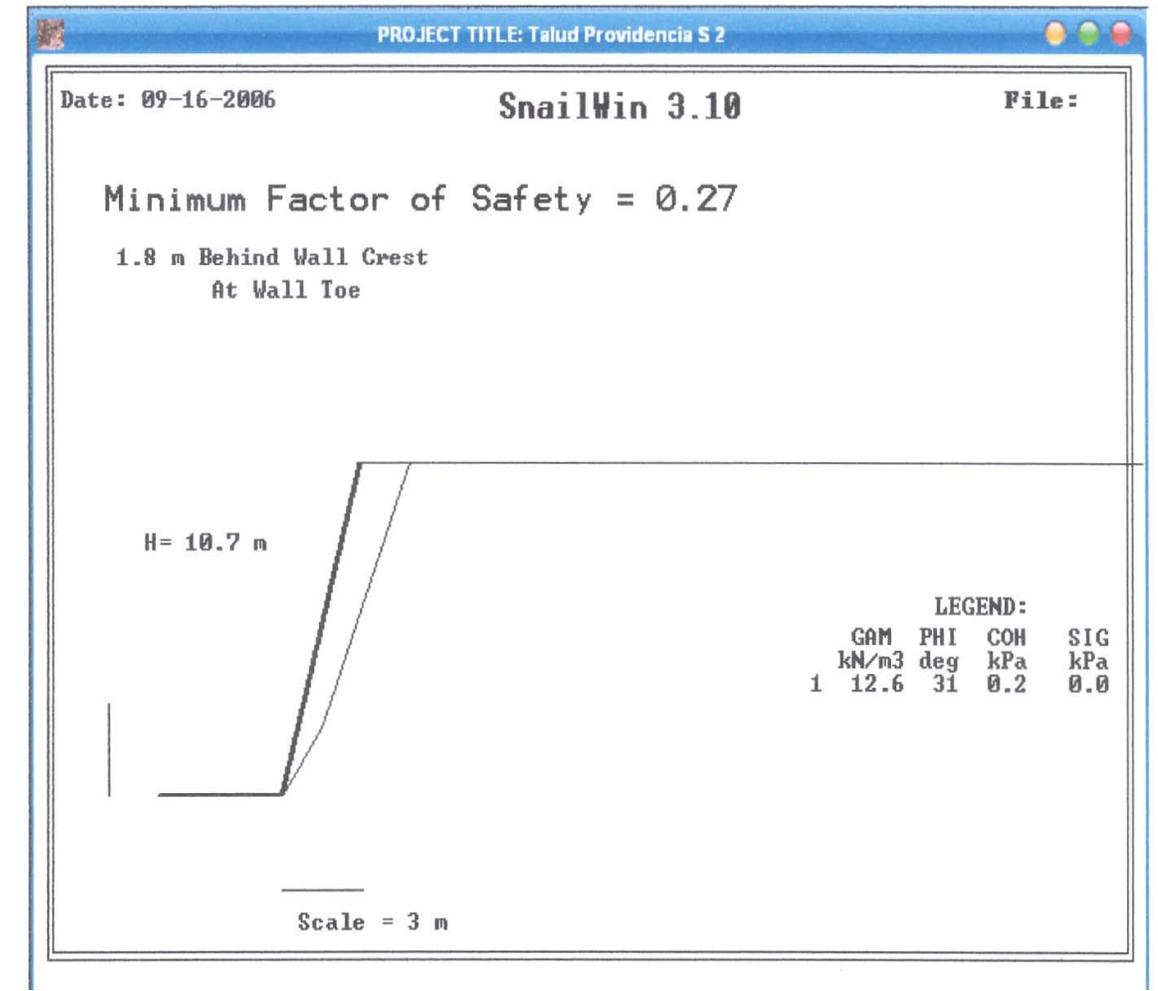


Gráfico 5.3. Análisis Gravitacional, Sección 2



### Gráfico 5.4. Análisis Sísmico, Sección 2

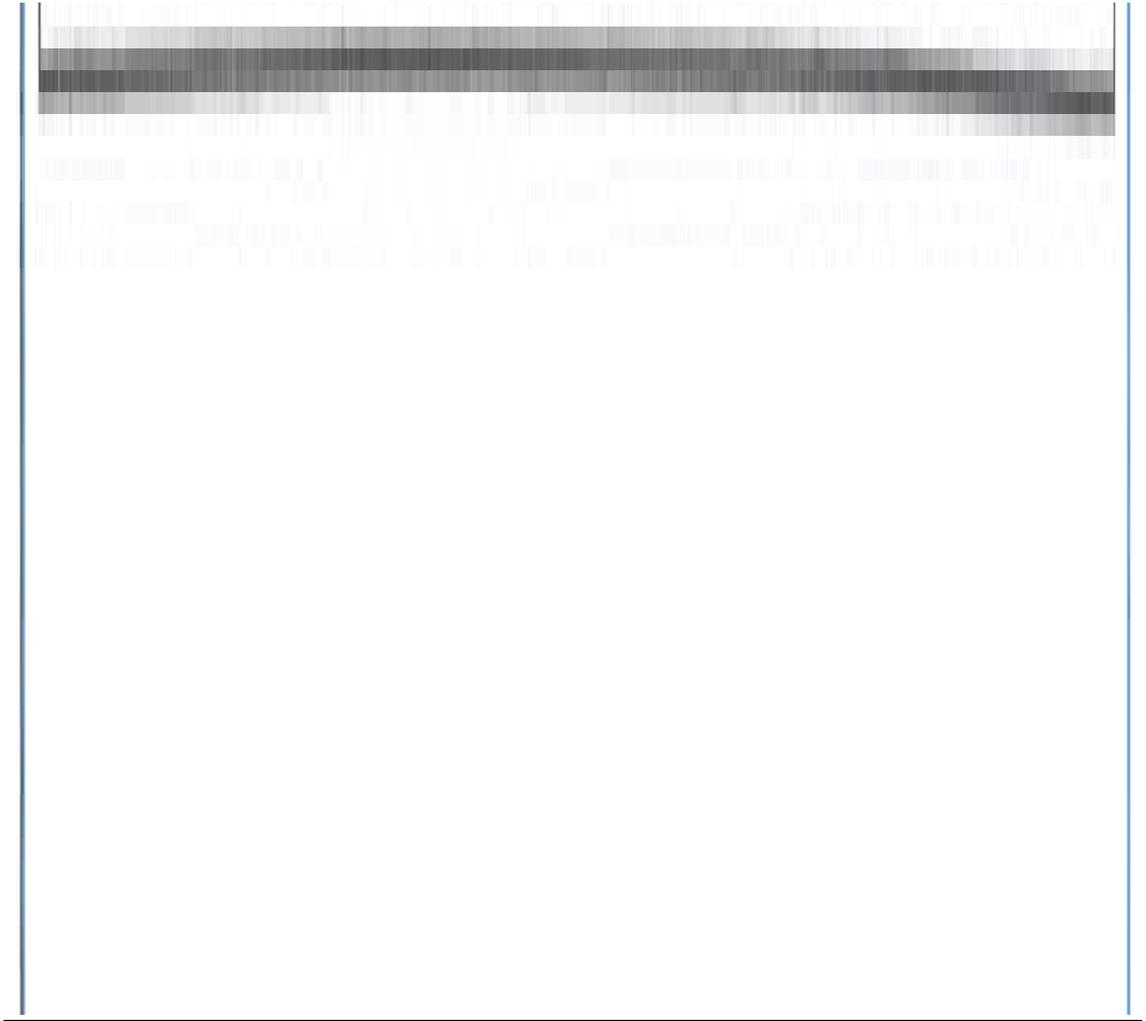


Gráfico 5.5. Análisis Gravitacional, Sección 3

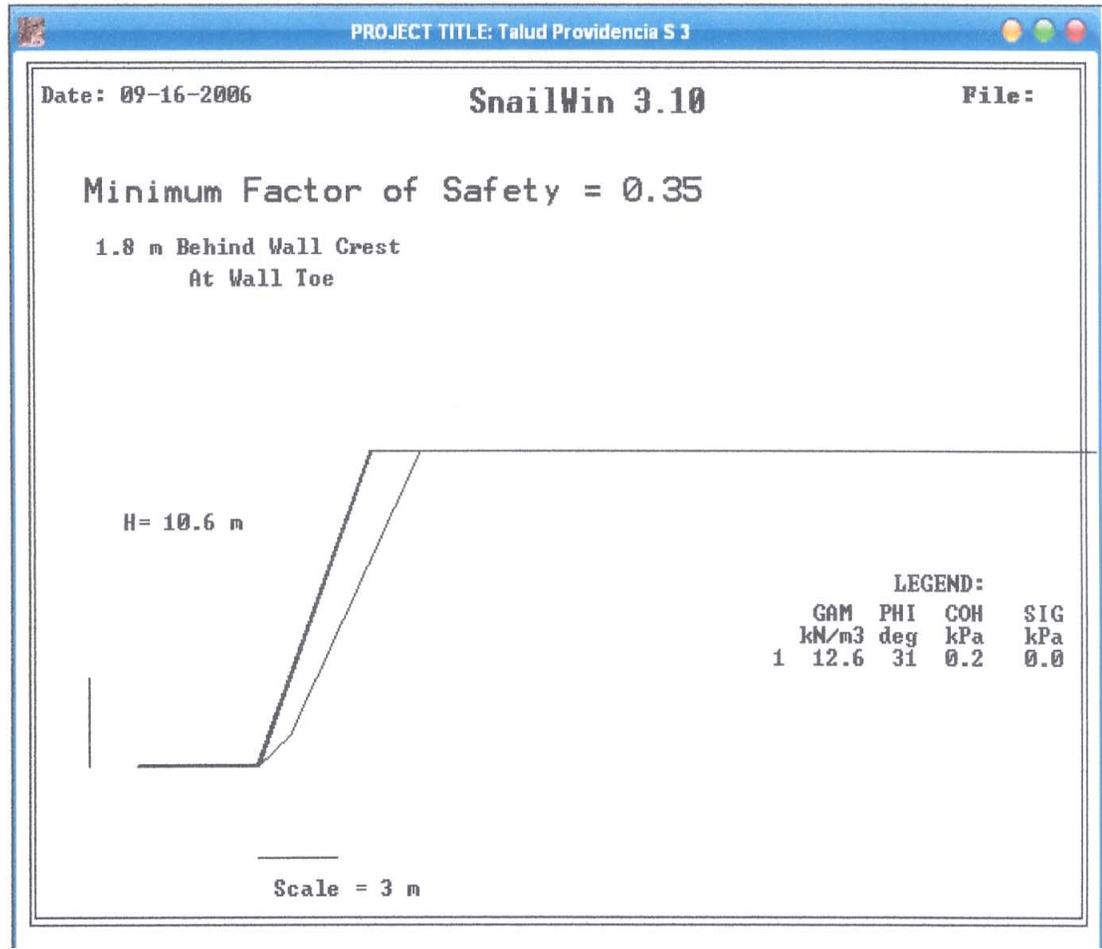
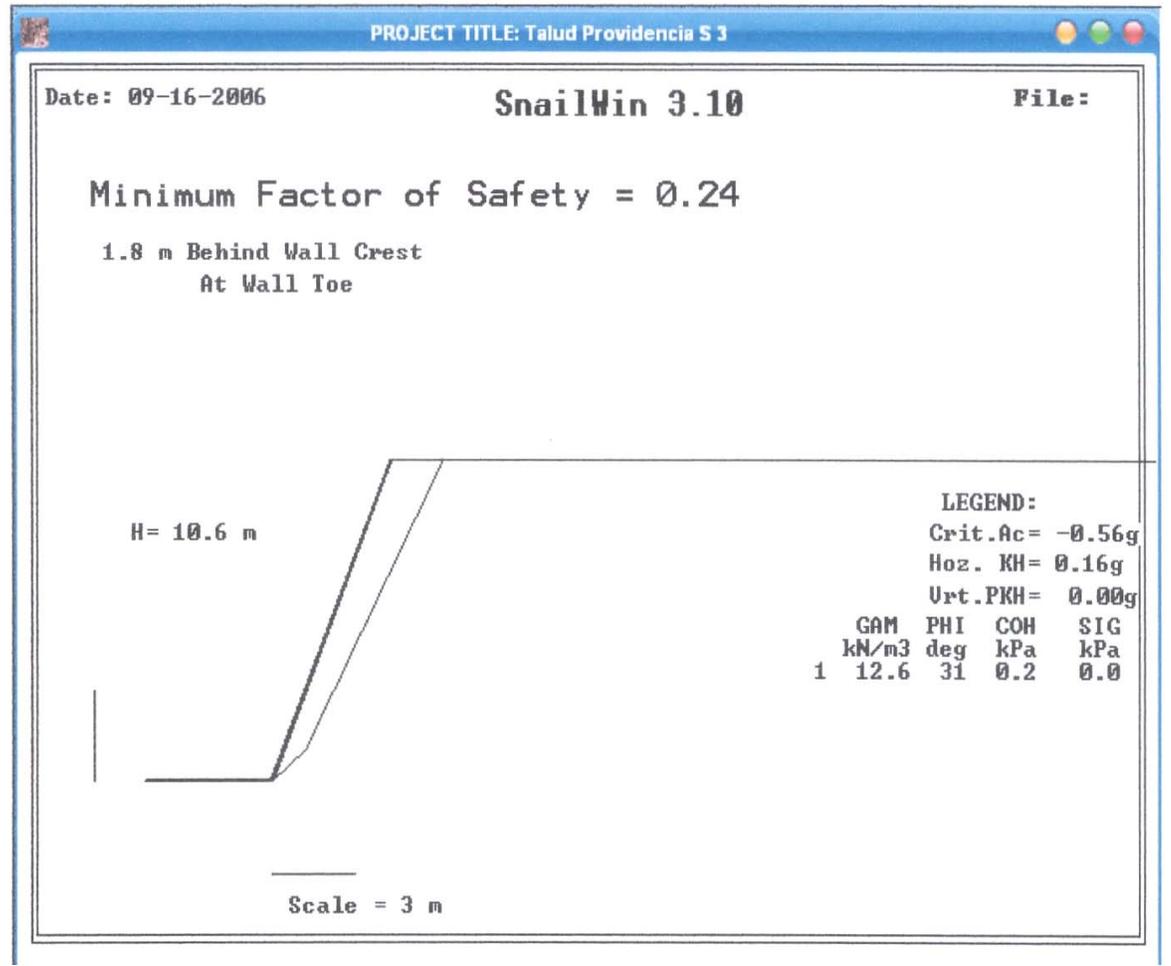


Gráfico 5.6. Análisis Sísmico, Sección 3.

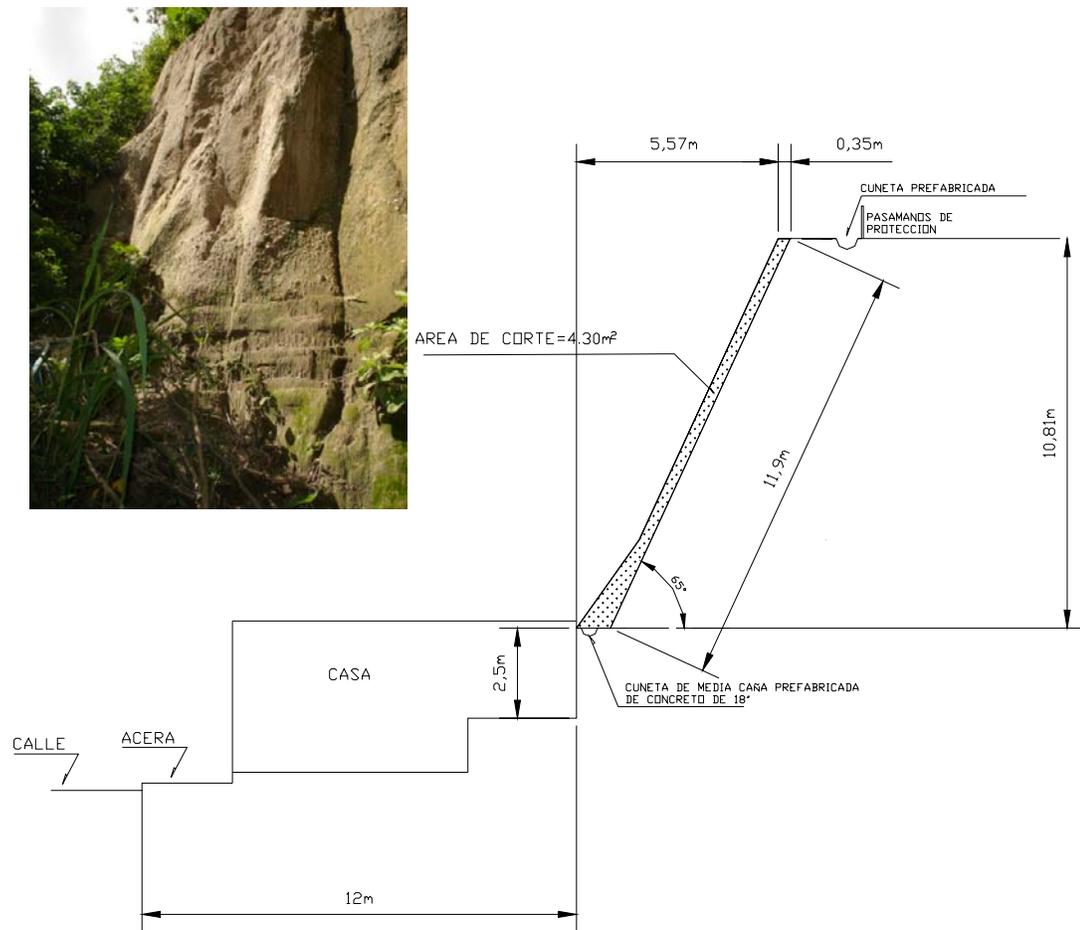


## **CAPÍTULO 6: PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS DE**

### **SOLUCIÓN**

#### **6.1 SECCIONES DE ANÁLISIS EN EL TALUD.**

A partir de visitas y observaciones realizadas en campo se determinaron 3 secciones críticas en el talud, en las que se encontraron cárcavas, grietas debidas a la erosión y material depositado por deslizamientos precedentes, cuyas secciones transversales se muestran a continuación (Ver figuras. 6.1, 6.2 y 6.3). Cada una de las secciones tiene indicada la longitud propuesta para la realización del corte, tanto para el recubrimiento con mortero como para el concreto lanzado. También se propone una sección general en la que se pretende uniformizar el corte a 30 cm de espesor debido a la uniformidad en la superficie. Ver figura 6.4.



ZONA DE INFLUENCIA 10 METROS

**Figura 6.1. Sección de análisis 1, donde se encuentra la cárcava, mostrando el perfil actual del terreno y la propuesta de corte del material a lo largo de la zona de influencia en el talud y la ubicación del drenaje superficial.**

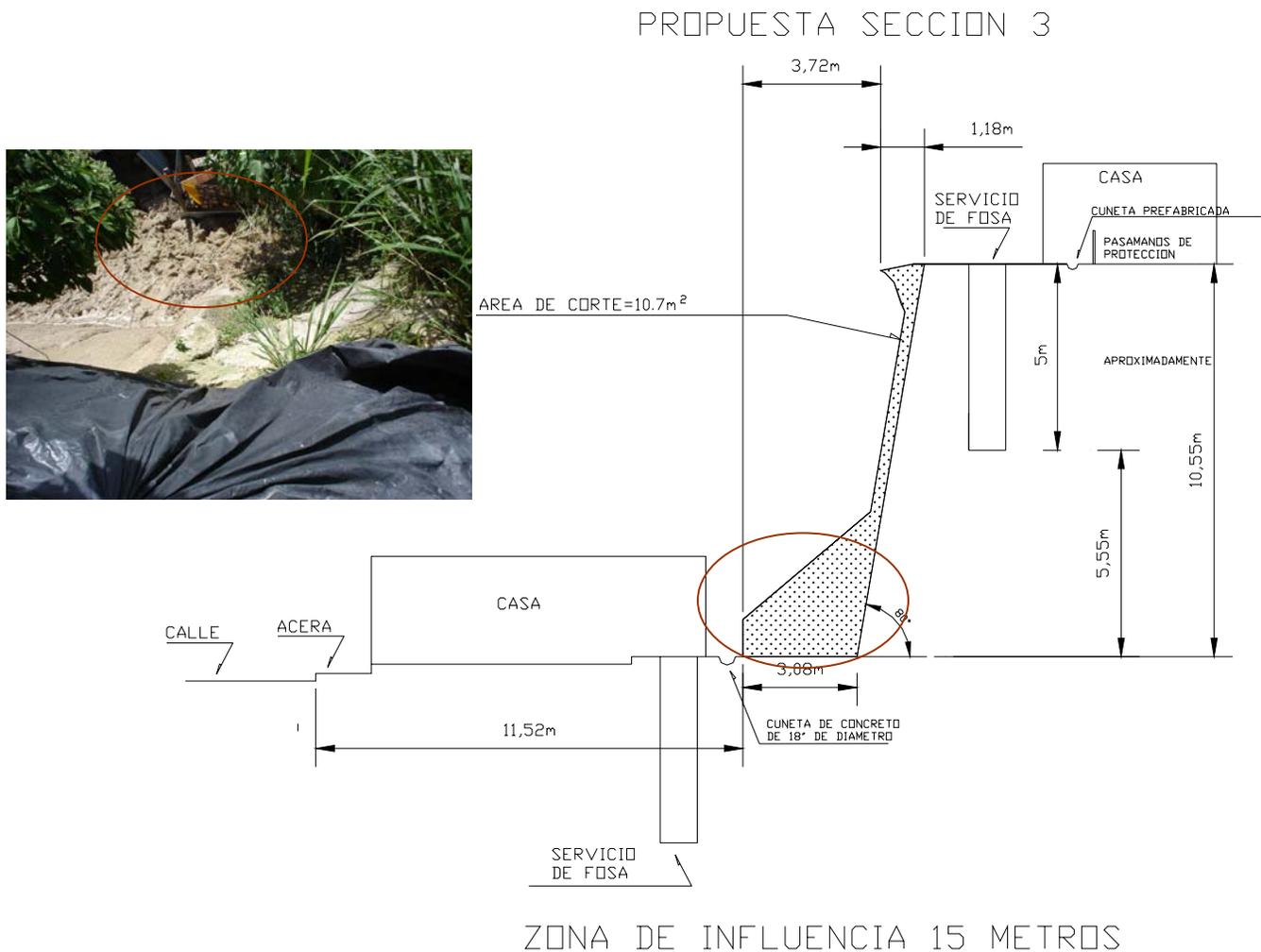
En la zona de la cárcava se ha propuesto eliminar la descarga existente de las aguas servidas de la comunidad, para evitar que continúe la erosión y la socavación en el talud, implementando un sistema de drenaje superficial, constituido por cunetas, canales y cajas, tal como se detalla posteriormente. En

esta zona se ha propuesto realizar el perfilado con un corte de aproximadamente 30 cm. de espesor, con un ángulo de 65°.



**Figura 6.2. Sección de análisis 2, en zona donde hay abundancia de grietas, mostrando el perfil actual del talud y la propuesta del material a ser removido y la ubicación del drenaje superficial.**

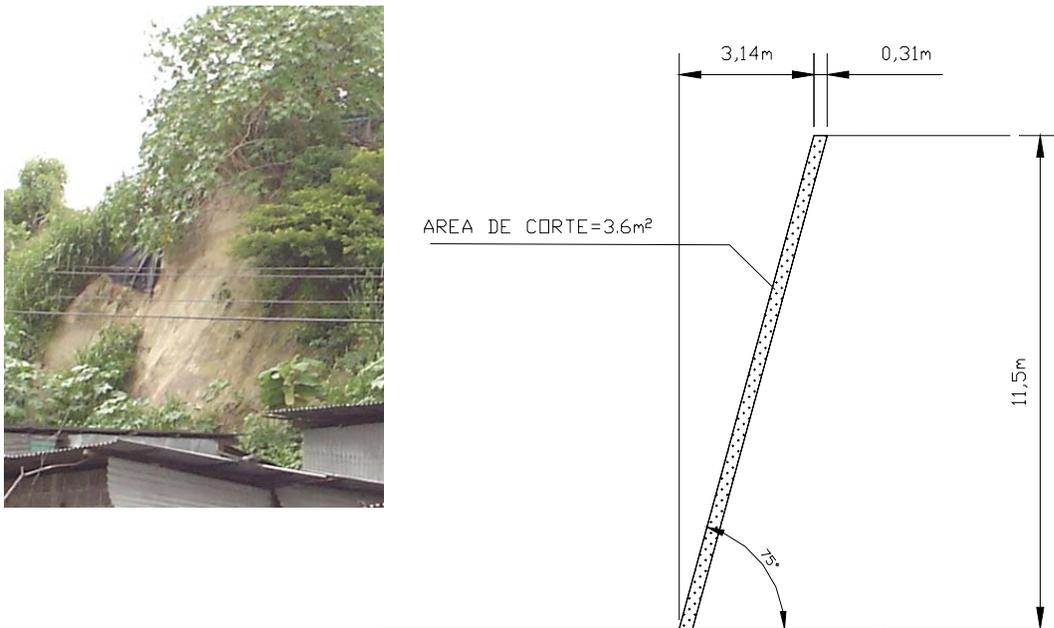
Aunque las grietas causadas por la erosión del material son evidentes en diversos puntos del talud, existe una zona aproximada de 5 metros de longitud en las cuales estás presentan un grado de peligrosidad elevado para las familias tanto en la corona como en la base del talud.



**Figura 6.3. Sección de análisis 3, donde hay depósitos de material deslizado anteriormente, mostrando el perfil natural del terreno, la propuesta de corte del material a realizar y la ubicación del drenaje superficial.**

En esta sección existe acumulación de material en la base del talud, producto de deslizamientos anteriores en una zona inestable en la corona del talud, por lo que en una longitud de 15 metros se propone remover el material inestable en la corona y realizar un perfilado con una pendiente de aproximadamente 80°. Si se encontrara material firme en la base sería aconsejable no retirarlo, ya que ejercería un efecto de contrapeso sobre el talud.

### PROPUESTA GENERAL



**Figura 6.4. Sección de corte general en talud, mostrando la propuesta de material a ser removido de forma general a lo largo del talud.**

Con las 3 secciones descritas anteriormente ha sido cubierta la problemática del talud en una longitud de 30 m, considerando para los 62 m restantes una solución generalizada, debido a la similitud de condiciones que se presentan a lo largo la misma, tales como: inclinación del talud, presencia de vegetación y pequeñas grietas. En esta solución se propone realizar un perfilado del talud de aproximadamente 30 cms de espesor, con el fin de remover las partículas sueltas y la vegetación sobre la superficie del talud, con el fin de garantizar la adherencia adecuada entre el recubrimiento y el suelo.

## **6.2 ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.**

Habiendo descrito la problemática general que implica el talud para los habitantes de la Comunidad La Providencia, se analizarán ahora las alternativas de solución que se consideran viables para su pronta ejecución con el fin de mitigar la amenaza por deslizamiento. Tal y como se ha observado en las fotografías del talud mostradas anteriormente, éste está constituido por material volcánico, más comúnmente conocido como tierra blanca, por lo que presenta las fallas típicas de taludes conformados por este material: zanjas de erosión y exfoliación.

En el capítulo 2 se contextualizó la manera de falla en los taludes de tierra blanca y la explicación de cómo se logra obtener una forma casi vertical, lo que nos permite analizar con un criterio más amplio las alternativas de mitigación aplicables para el talud en la comunidad La Providencia, considerando además lo expuesto en el capítulo 4 sobre Técnicas de Mitigación.

Como recordaremos, las técnicas de mitigación de deslizamientos se dividen en dos grandes áreas: Reducción de las Fuerzas Actuantes e Incremento de las Fuerzas Resistentes. En cuanto a las primeras, puede hablarse de modificar la pendiente del talud, construir drenajes, proteger la superficie con un

revestimiento o reducir el peso del talud; sin embargo, con lo expuesto acerca de la inestabilidad en taludes de tierra blanca, no bastaría con modificar la pendiente del talud, pues aún cuando éste no sea vertical y se evite la exfoliación o caída en capas, el problema de la erosión persistirá, por lo que dicha medida deberá ir acompañada de la protección de la superficie con un revestimiento, ya sea con un geosintético, una gramínea o una capa de mortero o concreto lanzado, complementado con un sistema de drenaje superficial para evacuar el agua de escorrentía.

Como se ha visto en la descripción del problema, la pendiente del talud no podría cambiarse drásticamente debido a la presencia de las viviendas en algunas zonas, además resulta difícil lograr una pendiente menor a los  $69^\circ$  sin afectar a un gran número de viviendas, razón por la cual la plantación de gramíneas no podría tener lugar, ya que su uso está recomendado para pendientes menores a  $45^\circ$ . El uso de un geosintético para recubrir la superficie e influenciar el crecimiento de vegetación tampoco resulta adecuado debido a la elevada pendiente que el talud posee.

Al proponer el uso de cubiertas vegetales se observan las dificultades que podrían presentar las plantas para arraigarse al suelo, además de que las raíces podrían contribuir al proceso de exfoliación provocado por el intemperismo y la

pendiente. También se podría producir erosión debajo de la manta del geosintético, ya que ésta no queda totalmente adherida a la superficie del terreno. La elevada pendiente del talud impide además la utilización de barreras vivas y/o muertas y el recubrimiento con unidades de mampostería.

Por otra parte, dentro de las técnicas que tienen como objetivo incrementar las fuerzas resistentes, la construcción de cualquier obra de retención como muros de piedra, concreto, tierra armada, unidades prefabricadas, etc., no resultan funcionales, tanto por las características propias de las mismas como por su alto costo, además de que se hace necesario contar con una cimentación adecuada para los mismos, lo que implica disponer de un mayor espacio en el pie del talud. Sumado a lo anterior, existe el riesgo de un mal diseño o construcción, lo cual conduciría a un peligro mayor al que ahora existe. No hay que olvidar que la comunidad La Providencia está habitada por personas con escasos recursos económicos y que los fondos en las alcaldías son limitados para ejecutar proyectos de altos costos.

A pesar de ello, la mejor alternativa que podría emplearse dentro de este grupo de técnicas sería la construcción de una pantalla anclada, con anclajes pasivos o activos como los que se han utilizado recientemente en taludes ubicados sobre las carreteras y proyectos urbanísticos, ya que en taludes conformados por

tierra blanca las superficies de falla no son profundas sino más bien son rebanadas verticales paralelas a la cara del talud provocadas por el intemperismo. Si se logra evitar o disminuir la exposición a éste mediante un recubrimiento, la exfoliación desaparecería y por tanto el talud sería estable, por lo que los anclajes no tendrían función alguna.

Por lo anterior, las alternativas que consideramos viables y funcionales como solución al problema de estabilidad del talud de Comunidad "La Providencia" son las de recubrimiento de la superficie del talud, ya sea utilizando mortero o concreto lanzado, ya que con estos métodos la mezcla queda adherida al suelo por la fuerza con que se aplica, evitando así que existan flujos de agua por el talud (nivel freático no superficial), disminuyendo la erosión del mismo. Además, como un complemento necesario a la implementación de las técnicas de recubrimiento, se proporcionará un sistema de drenaje superficial en el talud, para evitar que el agua fluya sin control sobre éste.

La descripción de los procesos a implementar para estas técnicas se expone en la siguiente sección.

### **6.2.1 Descripción del Proceso Constructivo para el Recubrimiento del talud mediante Mortero**

Es importante realizar un proceso de construcción adecuado para el buen funcionamiento del sistema de estabilización a emplear en este caso utilizando mortero.

Se ha establecido un descapote promedio de 30 cm. en todo el talud, sin embargo se deben de tener en cuenta las siguientes dos consideraciones:

- En los lugares donde se observe material orgánico o inestable se procederá a remover más de lo sugerido, hasta encontrar material estable y libre de materia orgánica.
- Si la superficie presenta estabilidad y sin orgánicos no será necesario realizar el corte, pudiendo acoplarse a la topografía natural del talud.

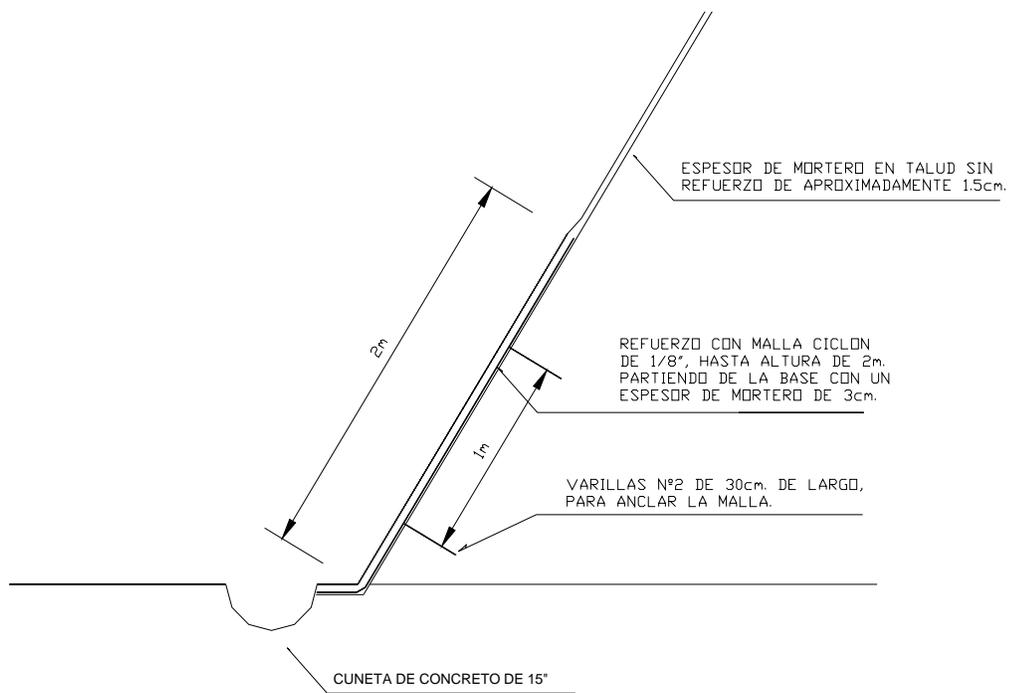
El perfilado del talud se hará empleando herramientas básicas como palas, piochas, corvos y carretillas. El proceso iniciará con el desmonte de todas las especies vegetativas existentes, procediendo luego a la remoción de la tierra suelta e inestable (perfilado).

Concluido el perfilado, se procederá a la colocación de las canaletas de drenaje superficial que irán colocadas en el pie y en la corona del talud. En las intersecciones de canaleta del pie y gradas de disipación, se construirán cajas de mampostería para recolectar el agua que circulen por el sistema.

Las canaletas a utilizar serán del tipo prefabricadas de media caña con un diámetro de 15 pulgadas (según cálculos realizados, ver Anexo 3), éstas deberán ser unidas entre sí por un mortero de proporción 1:4. Estas canaletas deberán poseer una pendiente mínima de 2% para garantizar el flujo adecuado hacia las gradas de disipación. El concreto que se usará en la construcción de las gradas de disipación de energía como todo el que pueda ser requerido en la obra deberá tener una resistencia mínima a la compresión a los 28 días de al menos  $210 \text{ Kg/cm}^2$  (Según Manual de la SIECA 2001, ya que estipula este valor como mínimo para estructuras que estarán en contacto con el agua, tales como cordones, bordillos y cunetas, con el fin de garantizar la impermeabilidad de los mismos).

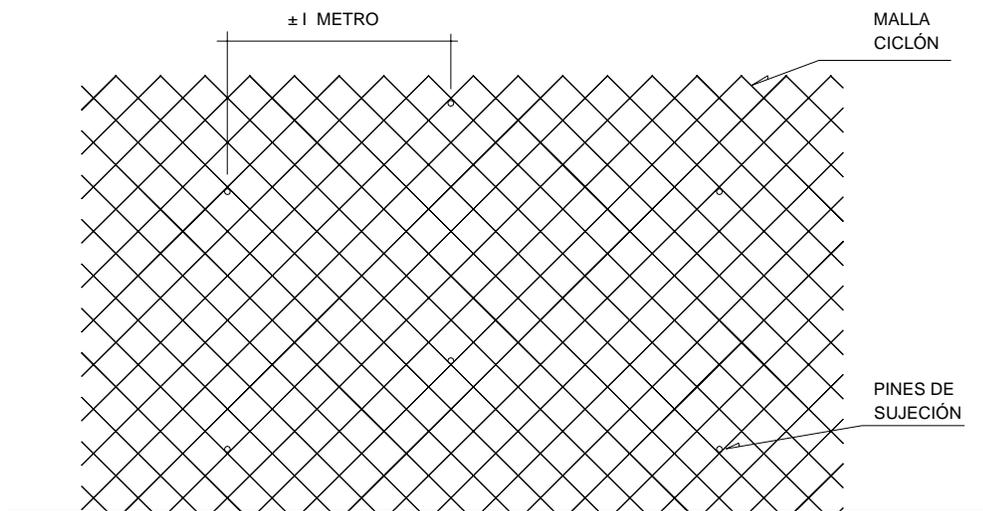
Se colocará una malla ciclón al pie del talud en toda su longitud con el fin de darle un mayor soporte al recubrimiento de mortero, sujetándola por medio de pines de 30 cm de longitud. Ver figuras 6.5 y 6.6. Luego se procederá al recubrimiento con mortero, en todo el talud, siendo este proceso muy

importante para la duración de la obra, estableciendo un espesor aproximado de  $\pm 3.0\text{cm}$  en el área a reforzar con malla ciclón, y de  $1.5\text{ cm}$  en el resto. (Según recomendaciones del fabricante, Cementos de El Salvador). Después del perfilado la superficie del talud no será uniforme, por lo que dependerá de la habilidad del albañil el proporcionarle al revestimiento los espesores propuestos.



DETALLE DE COLOCACION DE MALLA CICLON

**Figura 6.5 Detalle de la colocación de malla ciclón en talud.**



**Figura 6.6. Detalle de ubicación de pines de sujeción de malla ciclón**

La colocación del recubrimiento se inicia con el proceso de azotado, el cual será la base del revestimiento, el cual ayudará a que las capas siguientes no se soplen ni se desprendan. Luego del azotado se aplica una capa más gruesa llamada repello, para regularizar la superficie.

Es importante aclarar que la calidad de los morteros depende tanto de las características de los componentes, como de la correcta preparación y manejo adecuado de la mezcla de los morteros en el sitio de la obra. Se recomienda realizar la mezcla para la cantidad suficiente a usar por el transcurso de 1 hora con el fin de evitar que el mortero se endurezca o pierda plasticidad.

Finalmente, se deberá construir un cerco que limite a las viviendas de las partes donde se encuentran las canaletas, evitando así que las personas hagan un mal uso de las mismas y que dañen el recubrimiento. El cerco se construirá usando postes prefabricados de cemento separados cada dos metros y con cuatro hebras de alambre de púas, ya que de utilizarse malla ciclón, ésta podría ser robada.

#### **6.2.2 Descripción del Proceso Constructivo para el Recubrimiento del talud mediante Concreto Lanzado**

La primera actividad que deberá realizarse es el desmonte y la limpieza de la zona en donde se ejecutará la obra, la cual consistirá en la remoción de la maleza y árboles ubicados tanto sobre la superficie del talud como en la parte alta y baja del mismo, con el fin de permitir el acceso y preparar el terreno para la construcción. En esta actividad pueden involucrarse las mismas personas beneficiadas, ya que no se requiere de ningún conocimiento técnico para realizarlo.

Finalizada la limpieza y desmonte se realizará el trazo de la obra, para lo cual deberá realizarse un levantamiento topográfico del lugar. Con este

levantamiento se identificarán las secciones mostradas anteriormente (aunque es muy posible que éstas sufran algún cambio como producto de algún deslizamiento no considerado al momento de realizar las visitas de campo) o aquellas que parezcan críticas en el momento de realizar la obra, para decidir la forma más adecuada de ejecutar el proyecto.

Al terminar esta labor, se deberá realizar el perfilado del talud, el cual tiene por fin uniformizar la superficie del mismo, eliminando la capa vegetal que posea, las zanjas provocadas por la erosión, las superficies de falla formadas por el proceso de exfoliación y cualquier otra cavidad que se presente sobre la superficie de dicho talud y que pueda retener el agua que circula sobre él.

La tarea de perfilado deberá ejecutarse de acuerdo a lo que se plantea en la alternativa de recubrimiento con mortero, ya que para esa alternativa y para la que se estudia en este apartado, la única diferencia radica en el tipo de recubrimiento, o mejor dicho, la forma de aplicarlo, por tanto no es necesario repetir dicho procedimiento. Al final de esta labor, el talud deberá quedar libre de cualquier presencia vegetal y fisura que impida la correcta adherencia entre el revestimiento y la tierra blanca que conforma el talud.

En la sección más crítica (sección 3), se buscará uniformizar la pendiente del talud a un ángulo de  $80^{\circ}$  con respecto a la horizontal, en cambio en las otras secciones la pendiente oscilará entre los  $65^{\circ}$  y  $70^{\circ}$ , procurando no realizar cortes excesivos o innecesarios en el terreno.

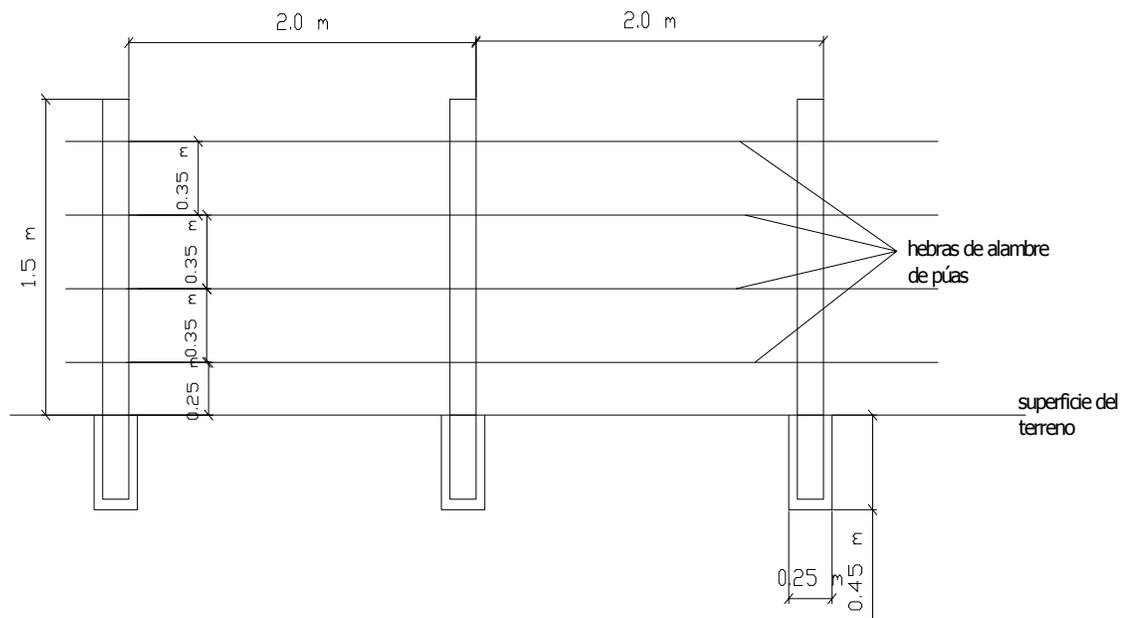
Para la aplicación del concreto lanzado será necesario contar con un personal calificado para que se garantice la ejecución adecuada. Los espesores de recubrimiento a utilizar serán los mismos propuestos para la técnica de recubrimiento con mortero mencionado anteriormente. Para llevar esto a cabo deberán colocarse guías que señalen dicho espesor sobre el talud, tales como fajas de mortero o señales con cordel.

Para reducir la formación de grietas por contracciones se aplicará una bolsa de fibra nylon, u otra con igual comportamiento, por cada metro cúbico de concreto lanzado. Esta fibra deberá revolverse 5 minutos como mínimo con la mezcla provista antes de ser aplicada sobre la superficie del talud.

La etapa del curado del concreto lanzado deberá realizarse por lo menos durante los siete días posteriores a la aplicación sobre el talud, el cual se realizará dando un baño con suficiente agua sobre toda la superficie recubierta.

Un mal curado concluiría en un comportamiento inadecuado y una resistencia baja del recubrimiento.

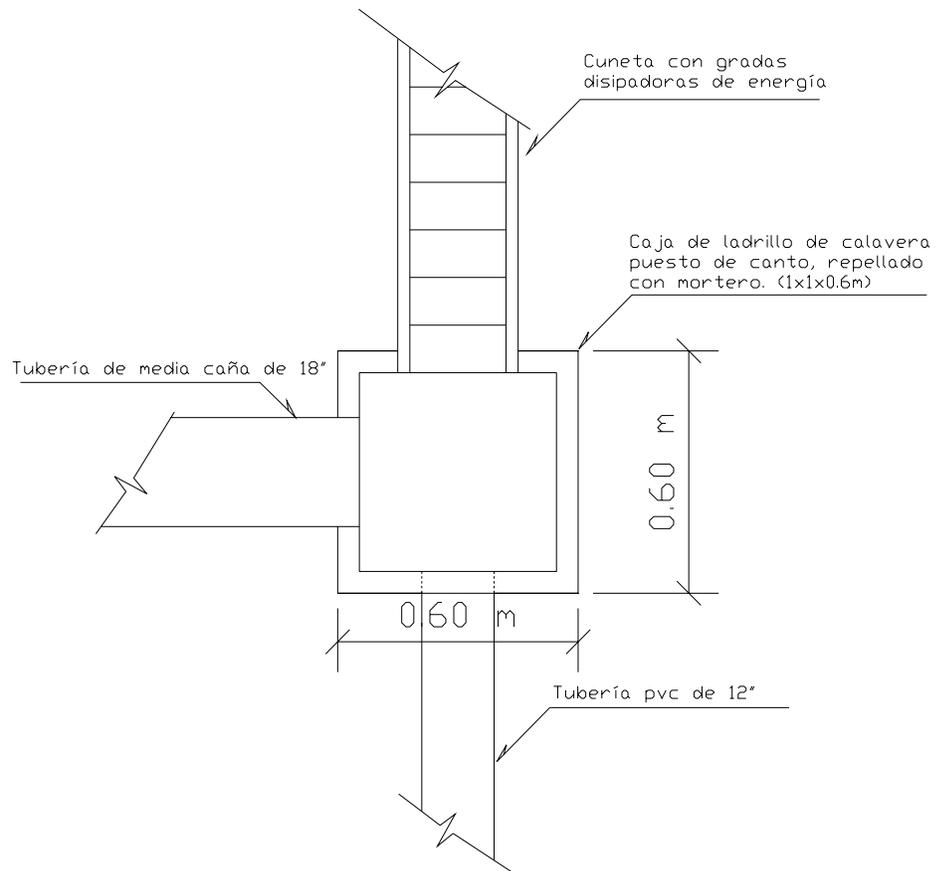
Finalmente, se procederá a construir un cerco que limite a las viviendas de las canaletas, evitando así que las personas hagan un mal uso de las mismas y que dañen el recubrimiento. El cerco se construirá usando postes prefabricados de cemento separados cada dos metros y con cuatro hebras de alambre de púas, ya que de utilizarse malla ciclón, ésta podría ser removida. Ver figura 6.7.



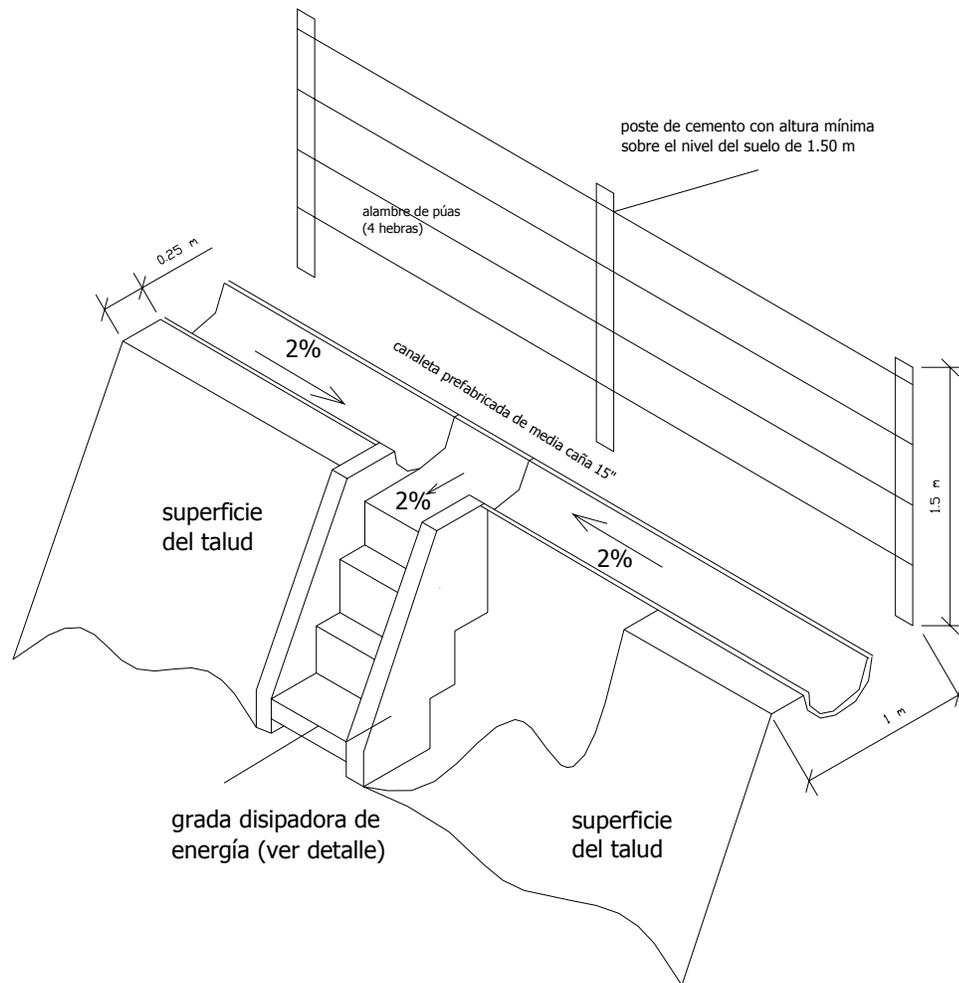
**Figura 6.7 Detalle del cerco a utilizar para la protección de la corona y el pie del talud Comunidad La Providencia.**

### ***SISTEMA DE DRENAJE.***

Concluido el perfilado, se procederá a la colocación de las canaletas de drenaje superficial en la corona y en el pie del talud y a la construcción de las gradas de disipación de energía que evacuarán las aguas recogidas por la canaleta ubicada en la corona hacia la que del pie. En las intersecciones de la canaleta en el pie y las gradas de disipación se deberán construir cajas recolectoras de mampostería; el detalle de dichas cajas se muestra en la figura 6.8 mientras que la forma de las gradas de disipación, es mostrada en la figura 6.9.



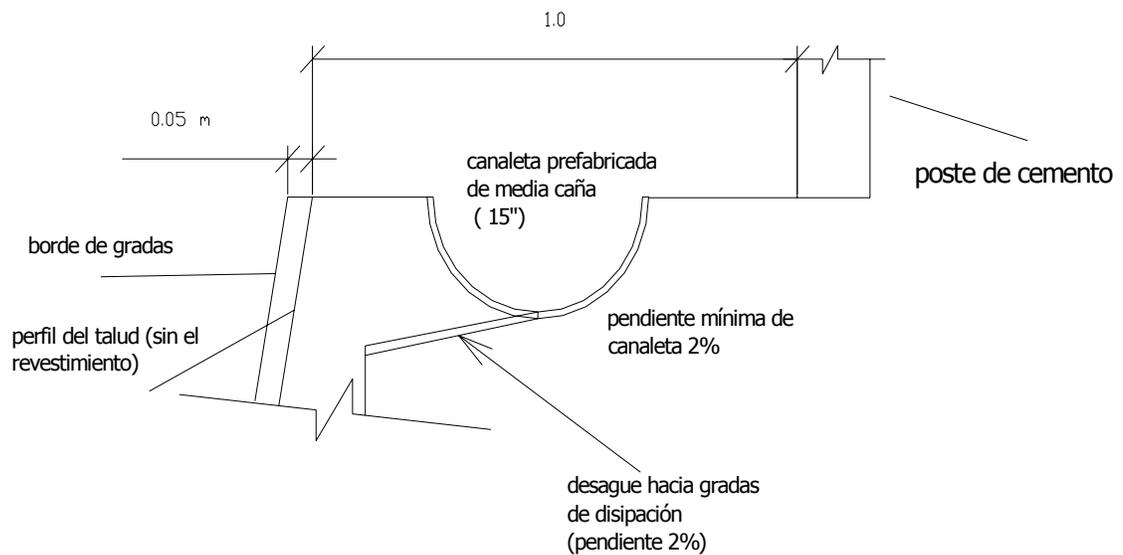
**Figura 6.8 Detalle de caja recolectora (sin escala)**



**Figura 6.9 Detalle de canaleta y gradas disipadoras de energía en la corona (sin escala)**

Las canaletas a utilizar serán prefabricadas de media caña con un diámetro de 18 pulgadas, éstas deberán ser unidas entre sí por un mortero 1:4 al igual que cualquier otro mortero que se utilice en la obra, estas canaletas deberán poseer una pendiente mínima de 2% hacia las gradas de disipación (Ver figura 6.10). El concreto que se usará en la construcción de las gradas de disipación de

energía como todo el que pueda ser requerido en la obra deberá tener una resistencia mínima a la compresión a los 28 días de al menos 210 Kg./cm<sup>2</sup>.



**Figura 6.10. Detalle de canaletas a utilizar en la parte superior del talud.**

Cuando las canaletas ya estén colocadas en su ubicación final y las gradas de disipación hayan sido construidas, deberá colocarse el recubrimiento de concreto lanzado, el cual deberá ser proporcionado por una empresa que se dedique a dicho servicio y que asegure una resistencia mínima del concreto a los 28 días de al menos 210 Kg./cm<sup>2</sup>, el tamaño del agregado deberá ser de 10 mm como máximo.

### **6.3 EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS.**

En las secciones anteriores observó la problemática existente en el talud de la comunidad “La Providencia” y se hizo un análisis de las alternativas de solución para mitigar el riesgo por deslizamientos en el mismo. Al final se recomendaron las siguientes:

- Protección de la superficie utilizando un recubrimiento con mortero
- Protección de la superficie utilizando un recubrimiento con concreto lanzado (shotcrete)

En base a las secciones de análisis consideradas se pudo definir la cantidad de material a remover y el recubrimiento a utilizar. Con estos datos calculó un presupuesto aproximado para cada alternativa, considerando el uso de mano de obra calificada y contando con la participación de la comunidad en la realización de labores sencillas. Estos presupuestos serán presentados a la Alcaldía de la Municipalidad dentro de una carpeta técnica con las especificaciones necesarias para su ejecución, con el fin de que ellos evalúen su viabilidad. (Ver carpeta técnica en Anexo 4).

**TABLA 6.1. PRESUPUESTO GENERAL DEL METODO DE MORTERO**

**NOMBRE DEL PROYECTO: ESTABILIZACIÓN DE TALUD EN COMUNIDAD LA PROVIDENCIA  
FECHA: AGOSTO DE 2006**

Nº	PARTIDAS Y ACTIVIDADES	UNIDAD	CANT.	COSTO UNIT.	TOTAL	%
1	Topografía general. Trazo	SG	1	\$500.00	\$500.00	4.27
2	Limpieza y desmonte	SG	1	\$100.00	\$100.00	0.85
3	Conformación del talud (perfilado)	m3	459	\$10.00	\$4,590.00	39.24
4	Canaletas de drenaje prefabricadas	ml	184	\$7.89	\$1,451.76	12.41
5	Construcción de cajas colectoras	c/u	4	\$32.85	\$131.40	1.12
6	Construcción de gradas disipadoras de energía	ml	26	\$37.83	\$983.58	8.41
7	Revestimiento con mortero con proporción 1:4	m3	19	\$75.50	\$1,434.50	12.26
8	Colocación de tubería de drenaje	ml	30	\$13.50	\$405.00	3.46
9	Colocación de malla ciclón de 8´	ml	92	\$5.75	\$529.00	4.52
10	Construcción de cerco con alambre de púas	ml	184	\$8.54	\$1,571.36	13.43

**TOTAL COSTO DIRECTO: \$11,696.60 100.00**

**COSTOS INDIRECTOS (15%): \$1,754.49**

**IVA (13%) : \$1,748.64**

**COSTO TOTAL DEL PROYECTO: \$15,199.73**

**TABLA 6.2 PRESUPUESTO GENERAL DEL MÉTODO DE CONCRETO LANZADO**

**NOMBRE DEL PROYECTO: ESTABILIZACIÓN DE TALUD EN COMUNIDAD LA PROVIDENCIA  
FECHA: AGOSTO DE 2006**

Nº	PARTIDAS Y ACTIVIDADES	UNIDAD	CANT.	COSTO UNIT.	TOTAL	%
1	Topografía general. Trazo	SG	1	\$500.00	\$500.00	3.62
2	Limpieza y desmonte	SG	1	\$100.00	\$100.00	0.72
3	Conformación del talud (perfilado)	m3	459	\$10.00	\$4,590.00	33.20
4	Canaletas de drenaje prefabricadas	ml	184	\$7.89	\$1,451.76	10.50
5	Construcción de cajas colectoras	c/u	4	\$32.85	\$131.40	0.95
6	Construcción de gradas disipadoras de energía	ml	26	\$37.83	\$983.58	7.12
7	Revestimiento con concreto lanzado (f'c = 210 kg/cm2)	m3	19	\$187.45	\$3,561.55	25.76
8	Colocación de tubería de drenaje	ml	30	\$13.50	\$405.00	2.93
9	Colocación de malla ciclón de 8'	ml	92	\$5.75	\$529.00	3.83
10	Construcción de cerco con alambre de púas	ml	184	\$8.54	\$1,571.36	11.37

**TOTAL COSTO DIRECTO: \$13,823.65 100.00**

**COSTOS INDIRECTOS (15%): \$2,073.55**

**IVA  
(13%) : \$2,066.64**

**COSTO TOTAL DEL PROYECTO: \$17,963.83**

## **CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **7.1 CONCLUSIONES**

1. Los deslizamientos en taludes son una problemática de importancia en nuestro país debido a los enormes daños humanos y materiales que ocasionan de manera casi periódica, por lo que resulta de gran importancia estudiar todos los factores que intervienen en la ocurrencia de este fenómeno para implementar las medidas de mitigación necesarias.
2. Las medidas de mitigación que pueden llevarse a cabo en los deslizamientos de taludes se clasifican en según su función en aquellas que tienen como fin reducir las fuerzas desestabilizadoras que actúan sobre un talud y en aquellas cuyo objetivo es incrementar las fuerzas resistentes al movimiento. Éstas últimas son las que más se implementan en el país.
3. La implementación de una medida de mitigación en un talud va encaminada a reducir los daños que producen los deslizamientos, ya que en ningún momento se pretende proporcionar una solución total a este

problema, el cual, por ser de naturaleza muy compleja, no puede ser eliminado en su totalidad.

4. Al escoger la técnica de mitigación para mitigar deslizamientos en taludes se debe tener un amplio criterio sobre las técnicas existentes que pueden resultar funcionales para la solución del problema y viables para su ejecución, ya que algunos problemas pueden ser solucionados con técnicas sencillas, tales como el uso de barreras vivas o muertas, por ejemplo.
5. En muchos casos la implementación de las diferentes técnicas de mitigación implican altos costos económicos, debido a lo avanzado del proceso de deterioro de los taludes o a la compleja situación de los asentamientos urbanos, por lo que se debe realizar un estudio técnico-económico de la viabilidad de su ejecución, o considerar otras opciones, como la reubicación de los asentamientos urbanos.
6. La elección de una medida de mitigación en un talud es totalmente condicionada por la estabilidad geotécnica del mismo, por lo que deben estudiarse los parámetros geotécnicos del lugar y no generalizar las soluciones.

7. En nuestro medio, la erosión es uno de los factores desencadenantes más importantes de deslizamientos, debido a la falta de cohesión que presentan los materiales existentes, por lo que es un aspecto que debe considerarse a la hora de realizar un análisis de estabilidad.
8. Al implementar cualquier medida de mitigación de deslizamientos en taludes es necesario considerar un adecuado sistema de drenaje, ya que el agua es el factor desencadenante de mayor importancia en la inestabilidad de taludes.
9. Las técnicas de mitigación mediante la modificación de la geometría son medidas muy efectivas para garantizar estabilidad de un talud, sin embargo su implementación estará en función de los recursos económicos con los que se cuente para su ejecución y de la cantidad de material a remover.
10. El uso del formato de evaluación de amenaza por deslizamiento en taludes resulta práctico y de fácil comprensión, por lo que puede ser una herramienta muy útil para visualizar de forma preliminar la estabilidad de un talud, en base a parámetros geotécnicos y ambientales del mismo.

11. El formato de evaluación de amenaza por deslizamientos en taludes presentado en este trabajo se propone solamente como una herramienta alterna para la evaluación de amenaza por deslizamiento en taludes, y no sustituirá en ningún momento un análisis de estabilidad, ya que el formato permite obtener simplemente una idea preliminar de la estabilidad del talud y no cuantifica la estabilidad del mismo.
12. Al comparar los costos de las dos alternativas de solución propuestas se observa que la técnica de recubrimiento con mortero resulta más viable económicamente, aunque requiere de un tiempo de ejecución mayor debido al proceso manual de aplicación del mortero.
13. Para ambas técnicas de mitigación, se requiere de mano de obra calificada y equipo adecuado para la aplicación del recubrimiento, lo cual garantizará su adecuado funcionamiento.

## 7.2 RECOMENDACIONES

1. Las mejores medidas de mitigación son aquellas que se implementan a través del ordenamiento físico de los asentamientos, la planificación agrícola o de infraestructura, programas de educación y de organización comunitaria. Es importante regular los proyectos urbanísticos de manera de garantizar que los mismos proporcionen seguridad a sus habitantes.
2. Para seleccionar la medida de estabilización más adecuada en la inestabilidad de un talud se deben tomar en cuenta, además de los factores geotécnicos, todos los factores del entorno del mismo, tanto geográficos, económicos y humanos, para lograr así un equilibrio entre ellas, con el fin de ejecutar no solamente una obra funcional, sino también con un fin social.
3. En la implementación de una medida de mitigación, se debe tener un estricto control de calidad de la obra, tanto de los materiales utilizados como del proceso constructivo empleado, para garantizar la funcionalidad de la misma.

4. A la hora de la conformación de un talud, ya sea por corte o por relleno, se debe garantizar la estabilidad del mismo, considerando medidas de protección y mantenimiento de la superficie, además se debe considerar la implementación de bermas o la pendiente más adecuada en base a un diseño previo, con el fin de evitar posibles deslizamientos.
5. Se recomienda la realización de un análisis de estabilidad con datos obtenidos a partir de un estudio geotécnico detallado en el caso de que un talud presente un grado de amenaza alto o muy alto, según el resultado obtenido del formato de evaluación presentado en este trabajo, con el fin de conocer de manera precisa la superficie de falla que posee el talud y cuantificar el factor de seguridad del mismo.
6. Si el grado de amenaza que presenta un talud es de moderada a muy baja, bastará simplemente con implementar medidas de protección de la superficie y un sistema de drenaje adecuado para garantizar la estabilidad del talud.
7. Para el caso de evaluaciones en taludes de tierra blanca haciendo uso del formato presentado en este trabajo se recomienda tener un criterio amplio en el análisis del resultado obtenido, considerando las condiciones

geotécnicas y ambientales del talud y considerando que el mecanismo de falla de este tipo de material es por exfoliación, y no de forma rotacional o traslacional, por lo que se debe evaluar si con la implementación de medidas de recubrimiento y drenaje se puede solventar el problema.

8. Se recomienda ejecutar la técnica de recubrimiento con mortero en un clima seco para garantizar la adecuada adherencia entre el mortero y la superficie del talud.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

- "INGENIERIA GEOLOGICA" Luis González de Vallejo, Mercedes Ferrer, Luis Ortuño, Carlos Oteo. Pearson Educación, Madrid 2002.
- "MANUAL DE CONSTRUCCION GEOTÉCNICA", Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, Tomos I y II, Año 2002.
- "LANDSLIDES: INVESTIGATION AND MITIGATION", A. Keith Turner, Robert L. Schuster. Transportation Research Board Special Report 247.
- "RIESGOS GEOLÓGICOS" Instituto Geológico y Minero de España
- "GUÍA TÉCNICA DE CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA", PASOLAC, Año 2000, El Salvador
- "INGENIERÍA DE CARRETERAS" Vol. 2, Carlos Kraemer, José Pardillo, Sandro Rocci, Manuel Romana, Víctor Sánchez. Mc. Graw Hill 2004.
- "GUÍA AMBIENTAL PARA EVITAR, CORREGIR Y COMPENSAR LOS IMPACTOS DE LAS ACCIONES DE REDUCCIÓN Y PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL NIVEL MUNICIPAL" Javier Antonio Millan Lopez, Colombia.
- "VALORACIÓN DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS RESULTANTE DEL TERREMOTO DEL 13 DE FEBRERO DEL 2001 EN EL SALVADOR" , U.S. Geological Survey

- "DESLIZAMIENTOS INDUCIDOS POR EL HURACÁN MITCH EN EL SALVADOR: INVENTARIO Y DESCRIPCIÓN DE ASPECTOS SELECTOS", U.S. Geological Survey
- "INVESTIGACIÓN Y MITIGACIÓN DE DESLIZAMIENTOS" Transportation Research Board (1996), Special report 247. Washington, 675 p.
- "CARACTERIZACIÓN DEL MOVIMIENTO DEL SUELO Y SUS EFECTOS EN LA INFRAESTRUCTURA DURANTE LOS TERREMOTOS DEL 2001, EL SALVADOR". Maria Belén Benito (Universidad Politécnica de Madrid)
- "PROVISIONAL REPORT ON THE JANUARY 13, 2001 EARTHQUAKE OCURRED OFF THE COAST OF EL SALVADOR (UPDATED 15, FEBRUARY, 2001)". Japan Society of Civil Engineers
- "DESLIZAMIENTOS Y ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN ZONAS TROPICALES", Jaime Suárez Díaz
- "MANUAL DE INGENIERÍA DE TALUDES", Instituto Geominero de España, Año 2000.
- "DIAGNÓSTICO SITUACIONAL SOBRE LA GESTIÓN ECOLÓGICA DEL RIESGO EN EL SALVADOR", Universidad de El Salvador. Año 2001.
- "EVALUACIÓN DEL RIESGO POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA (GUÍA METODOLÓGICA)", Castro Marín, Valencia Núñez, Ojeda Moncayo, Muñoz Carmona, Fonseca González.

- Tesis: "APLICACIONES DEL CONCRETO LANZADO EN ESTABILIZACIÓN DE TALUDES ANCLADOS Y REVESTIMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES", por Alvarado Velásquez, Arteaga Mena, Coreas, Lorenzo, Universidad de El Salvador, 2004.
- Tesis: "SOLUCIÓN PROPUESTA PARA EL TRATAMIENTO DE TALUDES EN EL AMSS", por Gloria Sánchez, Universidad de El Salvador, 1987.
- Tesis: "CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS DEL AMSS Y APLICACIÓN A LA EVALUACIÓN DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS", Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas", Año 2003.
- Norma Técnica de Siembra e implantación de Pastos de Cataluña, 2002
- Revistas, publicaciones y especificaciones cortesía de MACCAFERRI S.A. de C.V.
- Revista EIRD Informa No. 10, 2005 América Latina y el Caribe
- FAOAG21RevistaEnfoquesGaviones.htm
- <http://www.gruponecs.com>
- [webmaster@tecnosuelo.com.mx](mailto:webmaster@tecnosuelo.com.mx)

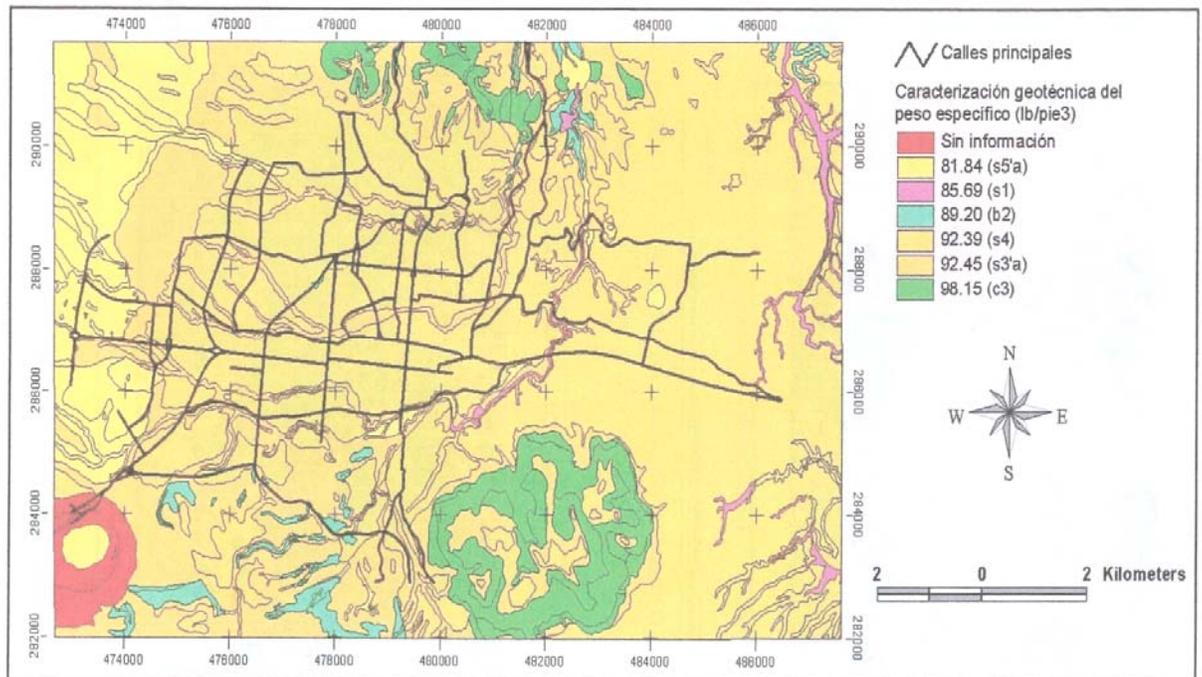
# *ANEXOS*

## ANEXO 1

### MAPAS CON LA CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL SUELO DEL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR

A continuación se presentan los mapas con la caracterización de los parámetros geotécnicos del AMSS, de donde se tomaron los valores de peso específico, ángulo de fricción interna y cohesión para ser utilizados en el programa para análisis de estabilidad SNAIL Z.

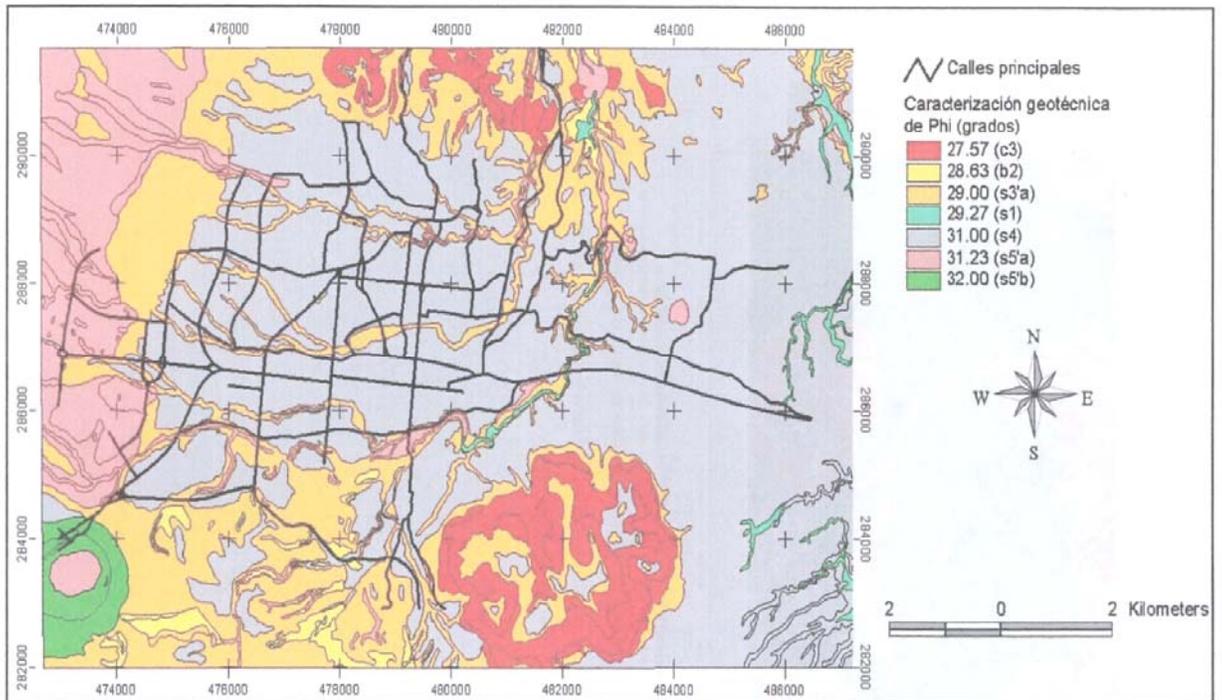
#### 1. PESO ESPECÍFICO



**Caracterización geotécnica con el valor de Peso Específico de cada unidad geológica para el AMSS. Peso específico ( $\gamma$ ) en lb/pie<sup>3</sup>**

(Fuente: Tesis "Caracterización Geotécnica de las Formaciones Geológicas del Área Metropolitana de San Salvador y Aplicación a la Evaluación de Amenaza por Deslizamientos", Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas", Año 2003).

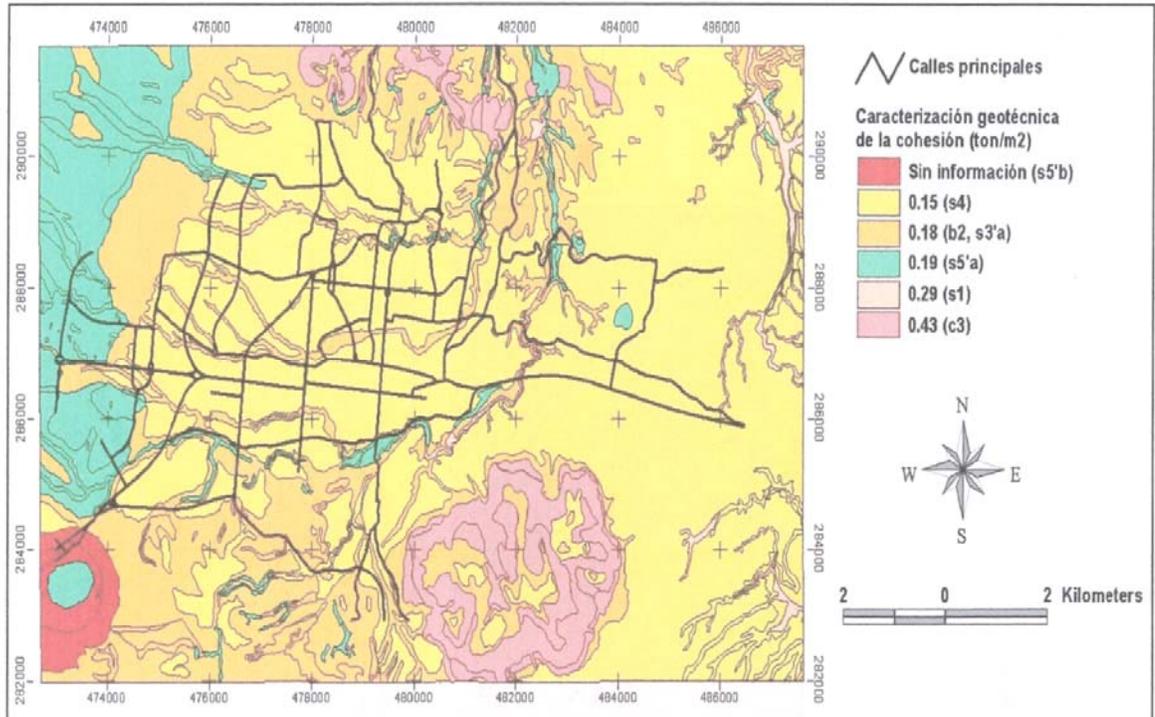
## 2. ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA



***Caracterización geotécnica con el valor del ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) de cada unidad geológica para el AMSS. Angulo de fricción en grados ( $^{\circ}$ )***

*(Fuente: Tesis "Caracterización Geotécnica de las formaciones Geológicas del Área Metropolitana de San Salvador y Aplicación a la Evaluación de Amenaza por Deslizamientos", Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas", Año 2003).*

### 3. COHESIÓN



***Caracterización geotécnica con el valor de cohesión (C) de cada unidad geológica para el AMSS. Cohesión en Ton/m<sup>2</sup>***

*(Fuente: Tesis "Caracterización Geotécnica de las formaciones Geológicas del Área Metropolitana de San Salvador y Aplicación a la Evaluación de Amenaza por Deslizamientos", Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas", Año 2003).*

## ANEXO 2

### DATOS OBTENIDOS A PARTIR DEL PROGRAMA SNAILZ WIN PARA EL ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD DE COMUNIDAD "LA PROVIDENCIA"

#### **ANALISIS GRAVITACIONAL: TALUD LA PROVIDENCIA, SECCION 1**

File:

Page - 1

```
*****
* CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION *
* ENGINEERING SERVICE CENTER *
* DIVISION OF MATERIALS AND FOUNDATIONS *
* Office of Roadway Geotechnical Engineering *
* Date: 09-16-2006 Time: 12:02:11 *
*****
```

Project Identification - Pruebas

----- WALL GEOMETRY -----

Vertical Wall Height	=	13.3	ft
Wall Batter	=	27.0	degree
		Angle	Length
		(Deg)	(Feet)
First Slope from Wallcrest.	=	0.0	120.0
Second Slope from 1st slope.	=	0.0	0.0
Third Slope from 2nd slope.	=	0.0	0.0
Fourth Slope from 3rd slope.	=	0.0	0.0
Fifth Slope from 3rd slope.	=	0.0	0.0
Sixth Slope from 3rd slope.	=	0.0	0.0
Seventh Slope Angle.	=	0.0	

----- SLOPE BELOW THE WALL -----

There is NO SLOPE BELOW THE TOE of the wall

----- SURCHARGE -----

There is NO SURCHARGE imposed on the system.

----- OPTION #1 -----

Ultimate Punching shear, Bond & Yield Stress are used.

----- SOIL PARAMETERS -----

Soil Layer	Unit Weight (Pcf)	Friction Angle (Degree)	Cohesion Intercept (Psf)	Bond* Stress (Psi)	Coordinates of Boundary XS1 (ft)	YS1 (ft)	XS2 (ft)	YS2 (ft)
1	12.6	31.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

\* Ultimate bond Stress values also depend on BSF (Bond Stress Factor.)

File:

Page - 2

----- WATER SURFACE -----

NO Water Table defined for this problem.

----- SEARCH LIMIT -----

The Search Limit is from 6.0 to 30.0 ft

You have chosen NOT TO LIMIT the search of failure planes to specific nodes.

----- REINFORCEMENT PARAMETERS -----

Number of Reinforcement Levels	=	0
Horizontal Spacing	=	5.0 ft
Diameter of Reinforcement Element	=	0.000 in
Yield Stress of Reinforcement	=	0.0 ksi
Diameter of Grouted Hole	=	0.0 in
Punching Shear	=	0.0 kips

----- (For ALL Levels) -----

Reinforcement Lengths	=	0.0 ft
Reinforcement Inclination	=	0.0 degrees
Vertical Spacing to First Level	=	0.0 ft
Vertical Spacing to Remaining Levels	=	0.0 ft

	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (ft)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (ft)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (ft)
<b>Toe</b>	<b>0.391</b>	<b>8.4</b>	<b>0.0</b>	<b>0.8</b>	<b>60.4</b>	<b>15.3</b>
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (ft)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (ft)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (ft)
NODE 2	0.473	10.8	0.0	1.1	53.9	16.5
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (ft)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (ft)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (ft)
NODE 3	0.592	13.2	45.2	18.7	89.9	0.0
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (ft)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (ft)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (ft)
NODE 4	0.705	15.6	23.1	3.4	43.8	17.3
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (ft)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (ft)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (ft)
NODE 5	0.801	18.0	36.5	22.4	89.9	0.0
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (ft)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (ft)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (ft)

NODE 6	0.919	20.4	33.1	24.4	89.9	0.0
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (ft)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LOWER FAILURE PLANE LENGTH (ft)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	UPPER FAILURE PLANE LENGTH (ft)
NODE 7	1.010	22.8	30.3	26.4	89.9	0.0
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (ft)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LOWER FAILURE PLANE LENGTH (ft)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	UPPER FAILURE PLANE LENGTH (ft)
NODE 8	1.120	25.2	0.0	2.5	30.4	26.3
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (ft)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LOWER FAILURE PLANE LENGTH (ft)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	UPPER FAILURE PLANE LENGTH (ft)
NODE 9	1.222	27.6	0.0	2.8	28.2	28.2
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (ft)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LOWER FAILURE PLANE LENGTH (ft)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	UPPER FAILURE PLANE LENGTH (ft)
NODE10	1.326	30.0	0.0	3.0	26.2	30.1

**ANALISIS SISMICO: TALUD LA PROVIDENCIA - SECCION 1**

File:

Page - 1

```
*****
* CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION *
* ENGINEERING SERVICE CENTER *
* DIVISION OF MATERIALS AND FOUNDATIONS *
* Office of Roadway Geotechnical Engineering *
* Date: 09-16-2006 Time: 12:11:21 *
*****
```

Project Identification - PRUEBAS

----- WALL GEOMETRY -----

```
Vertical Wall Height = 13.31 m
Wall Batter          = 27.0 degree
                    Angle   Length
                    (Deg)  (Meter)
First Slope from Wallcrest. = 0.0   36.6
Second Slope from 1st slope. = 0.0   0.0
Third Slope from 2nd slope.  = 0.0   0.0
Fourth Slope from 3rd slope. = 0.0   0.0
Fifth Slope from 4th slope.  = 0.0   0.0
Sixth Slope from 5th slope.  = 0.0   0.0
Seventh Slope Angle.        = 0.0
```

----- SLOPE BELOW THE WALL -----

There is NO SLOPE BELOW THE TOE of the wall

----- SURCHARGE -----

There is NO SURCHARGE imposed on the system.

----- OPTION #1 -----

Ultimate Punching shear, Bond & Yield Stress are used.

----- SOIL PARAMETERS -----

Soil Layer	Unit Weight (kN/m3)	Friction Angle (Degree)	Cohesion Intercept (kPa)	Bond* Stress (kPa)	Coordinates of Boundary			
					XS1 (m)	YS1 (m)	XS2 (m)	YS2 (m)
1	12.60	31.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

\* Ultimate bond Stress values also depend on BSF (Bond Stress Factor.)

## ----- EARTHQUAKE ACCELERATION -----

Horizontal Earthquake Coefficient = 0.16 (a/g)  
Vertical Earthquake Coefficient = 0.00

## ----- WATER SURFACE -----

NO Water Table defined for this problem.

## ----- SEARCH LIMIT -----

The Search Limit is from 6.70 to 25.00 m

You have chosen NOT TO LIMIT the search of failure planes to specific nodes.

## ----- REINFORCEMENT PARAMETERS -----

Number of Reinforcement Levels	=	0
Horizontal Spacing	=	1.52 m
Diameter of Reinforcement Element	=	0.0 mm
Yield Stress of Reinforcement	=	0.0 MPa
Diameter of Grouted Hole	=	0.0 mm
Punching Shear	=	0.0 kN

## ----- (For ALL Levels) -----

Reinforcement Lengths	=	0.0 m
Reinforcement Inclination	=	0.0 degrees
Vertical Spacing to First Level	=	0.00 m
Vertical Spacing to Remaining Levels	=	0.00 m

	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
<b>Toe</b>	<b>0.267</b>	<b>8.5</b>	<b>46.1</b>	<b>3.7</b>	<b>60.7</b>	<b>12.2</b>
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 2	0.324	10.4	0.0	1.0	55.0	16.3
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 3	0.385	12.2	28.6	2.8	50.9	15.4
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 4	0.393	14.0	0.0	1.4	46.5	18.3
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 5	0.497	15.9	0.0	1.6	43.0	19.5
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 6	0.586	17.7	37.0	22.1	89.9	0.0

	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 7	0.642	19.5	34.3	23.6	89.9	0.0

	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 8	0.696	21.3	32.0	25.2	89.9	0.0

	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 9	0.749	23.2	29.9	26.7	89.9	0.0

	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 10	0.800	25.0	28.0	28.3	89.9	0.0

**ANALISIS GRAVITACIONAL: TALUD LA PROVIDENCIA- SECCION 2**

File:

Page - 1

```
*****
* CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION *
* ENGINEERING SERVICE CENTER *
* DIVISION OF MATERIALS AND FOUNDATIONS *
* Office of Roadway Geotechnical Engineering *
* Date: 09-16-2006 Time: 12:21:30 *
*****
```

Project Identification - PRUEBAS

----- WALL GEOMETRY -----

```
Vertical Wall Height = 10.69 m
Wall Batter          = 15.0 degree
                    Angle   Length
                    (Deg)  (Meter)
First Slope from Wallcrest. = 0.0   40.0
Second Slope from 1st slope. = 0.0   0.0
Third Slope from 2nd slope.  = 0.0   0.0
Fourth Slope from 3rd slope. = 0.0   0.0
Fifth Slope from 4th slope.  = 0.0   0.0
Sixth Slope from 5th slope.  = 0.0   0.0
Seventh Slope Angle.         = 0.0
```

----- SLOPE BELOW THE WALL -----

There is NO SLOPE BELOW THE TOE of the wall

----- SURCHARGE -----

There is NO SURCHARGE imposed on the system.

----- OPTION #1 -----

Ultimate Punching shear, Bond & Yield Stress are used.

----- SOIL PARAMETERS -----

Soil Layer	Unit Weight (kN/m3)	Friction Angle (Degree)	Cohesion Intercept (kPa)	Bond* Stress (kPa)	Coordinates of Boundary			
					XS1 (m)	YS1 (m)	XS2 (m)	YS2 (m)
1	12.60	31.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

\* Ultimate bond Stress values also depend on BSF (Bond Stress Factor.)

----- WATER SURFACE -----

NO Water Table defined for this problem.

----- SEARCH LIMIT -----

The Search Limit is from 3.00 to 20.00 m

You have chosen NOT TO LIMIT the search of failure planes to specific nodes.

----- REINFORCEMENT PARAMETERS -----

Number of Reinforcement Levels	=	0
Horizontal Spacing	=	1.52 m
Diameter of Reinforcement Element	=	0.0 mm
Yield Stress of Reinforcement	=	0.0 MPa
Diameter of Grouted Hole	=	0.0 mm
Punching Shear	=	0.0 kN

----- (For ALL Levels) -----

Reinforcement Lengths	=	0.0 m
Reinforcement Inclination	=	0.0 degrees
Vertical Spacing to First Level	=	0.00 m
Vertical Spacing to Remaining Levels	=	0.00 m

	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
<b>Toe</b>	<b>0.274</b>	<b>4.7</b>	<b>48.7</b>	<b>1.4</b>	<b>68.7</b>	<b>10.3</b>
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 2	0.364	6.4	0.0	0.6	61.7	12.1
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 3	0.465	8.1	52.8	13.4	89.9	0.0
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 4	0.437	9.8	0.0	1.0	50.5	13.9
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 5	0.654	11.5	42.9	15.7	89.9	0.0
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 6	0.750	13.2	39.0	17.0	89.9	0.0

	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LOWER FAILURE PLANE LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	UPPER FAILURE PLANE LENGTH (m)
NODE 7	0.845	14.9	35.7	18.3	89.9	0.0
NODE 8	0.941	16.6	32.8	19.7	89.9	0.0
NODE 9	1.037	18.3	30.3	21.2	89.9	0.0
NODE 10	1.132	20.0	28.1	22.7	89.9	0.0

**ANALISIS SISMICO: TALUD LA PROVIDENCIA – SECCION 2**

File:

Page - 1

```
*****
* CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION *
* ENGINEERING SERVICE CENTER *
* DIVISION OF MATERIALS AND FOUNDATIONS *
* Office of Roadway Geotechnical Engineering *
* Date: 09-16-2006 Time: 12:25:00 *
*****
```

Project Identification - PRUEBAS

----- WALL GEOMETRY -----

```
Vertical Wall Height = 10.69 m
Wall Batter          = 15.0 degree
                    Angle   Length
                    (Deg)  (Meter)
First Slope from Wallcrest. = 0.0    60.0
Second Slope from 1st slope. = 0.0    0.0
Third Slope from 2nd slope.  = 0.0    0.0
Fourth Slope from 3rd slope. = 0.0    0.0
Fifth Slope from 4th slope.  = 0.0    0.0
Sixth Slope from 5th slope.  = 0.0    0.0
Seventh Slope Angle.         = 0.0
```

----- SLOPE BELOW THE WALL -----

There is NO SLOPE BELOW THE TOE of the wall

----- SURCHARGE -----

There is NO SURCHARGE imposed on the system.

----- OPTION #1 -----

Ultimate Punching shear, Bond & Yield Stress are used.

----- SOIL PARAMETERS -----

Soil Layer	Unit Weight (kN/m3)	Friction Angle (Degree)	Cohesion Intercept (kPa)	Bond* Stress (kPa)	Coordinates of Boundary	XS1 (m)	YS1 (m)	XS2 (m)	YS2 (m)
1	12.60	31.0	0.2	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0

\* Ultimate bond Stress values also depend on BSF (Bond Stress Factor.)

## ----- EARTHQUAKE ACCELERATION -----

Horizontal Earthquake Coefficient = 0.16 (a/g)  
Vertical Earthquake Coefficient = 0.00

## ----- WATER SURFACE -----

NO Water Table defined for this problem.

## ----- SEARCH LIMIT -----

The Search Limit is from 3.00 to 20.00 m

You have chosen NOT TO LIMIT the search of failure planes to specific nodes.

## ----- REINFORCEMENT PARAMETERS -----

Number of Reinforcement Levels	=	0
Horizontal Spacing	=	1.52 m
Diameter of Reinforcement Element	=	0.0 mm
Yield Stress of Reinforcement	=	0.0 MPa
Diameter of Grouted Hole	=	0.0 mm
Punching Shear	=	0.0 kN

## ----- (For ALL Levels) -----

Reinforcement Lengths	=	0.0 m
Reinforcement Inclination	=	0.0 degrees
Vertical Spacing to First Level	=	0.00 m
Vertical Spacing to Remaining Levels	=	0.00 m

	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
<b>Toe</b>	<b>0.164</b>	<b>4.7</b>	<b>48.7</b>	<b>1.4</b>	<b>68.7</b>	<b>10.3</b>
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 2	0.240	6.4	0.0	0.6	61.7	12.1
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 3	0.314	8.1	0.0	0.8	55.7	12.9
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 4	0.392	9.8	0.0	1.0	50.5	13.9
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 5	0.458	11.5	0.0	1.2	45.9	14.9
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 6	0.532	13.2	0.0	1.3	42.0	16.0

	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LOWER FAILURE PLANE LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	UPPER FAILURE PLANE LENGTH (m)
NODE 7	0.612	14.9	35.7	18.3	89.9	0.0
NODE 8	0.677	16.6	32.8	19.7	89.9	0.0
NODE 9	0.738	18.3	30.3	21.2	89.9	0.0
NODE 10	0.798	20.0	28.1	22.7	89.9	0.0

**ANALISIS GRAVITACIONAL: TALUD LA PROVIDENCIA – SECCION 3**

File:

Page - 1

```
*****
* CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION *
* ENGINEERING SERVICE CENTER *
* DIVISION OF MATERIALS AND FOUNDATIONS *
* Office of Roadway Geotechnical Engineering *
* Date: 09-16-2006 Time: 13:40:15 *
*****
```

Project Identification - Talud Providencia S 3

----- WALL GEOMETRY -----

```
Vertical Wall Height = 10.55 m
Wall Batter          = 22.0 degree
                    Angle   Length
                    (Deg)   (Meter)
First Slope from Wallcrest. = 0.0   0.0
Second Slope from 1st slope. = 0.0   0.0
Third Slope from 2nd slope.  = 0.0   0.0
Fourth Slope from 3rd slope. = 0.0   0.0
Fifth Slope from 4th slope.  = 0.0   0.0
Sixth Slope from 5th slope.  = 0.0   0.0
Seventh Slope Angle.        = 0.0
```

----- SLOPE BELOW THE WALL -----

There is NO SLOPE BELOW THE TOE of the wall

----- SURCHARGE -----

There is NO SURCHARGE imposed on the system.

----- OPTION #1 -----

Ultimate Punching shear, Bond & Yield Stress are used.

----- SOIL PARAMETERS -----

Soil Layer	Unit	Friction	Cohesion	Bond*	Coordinates of Boundary			
	Weight (kN/m3)	Angle (Degree)	Intercept (kPa)	Stress (kPa)	XS1 (m)	YS1 (m)	XS2 (m)	YS2 (m)
1	12.60	31.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

\* Ultimate bond Stress values also depend on BSF (Bond Stress Factor.)

----- WATER SURFACE -----

NO Water Table defined for this problem.

----- SEARCH LIMIT -----

The Search Limit is from 4.00 to 25.00 m

You have chosen NOT TO LIMIT the search of failure planes to specific nodes.

----- REINFORCEMENT PARAMETERS -----

Number of Reinforcement Levels	=	0
Horizontal Spacing	=	0.00 m
Diameter of Reinforcement Element	=	0.0 mm
Yield Stress of Reinforcement	=	0.0 MPa
Diameter of Grouted Hole	=	0.0 mm
Punching Shear	=	0.0 kN

----- (For ALL Levels) -----

Reinforcement Lengths	=	0.0 m
Reinforcement Inclination	=	0.0 degrees
Vertical Spacing to First Level	=	0.00 m
Vertical Spacing to Remaining Levels	=	0.00 m

	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
<b>Toe</b>	<b>0.353</b>	<b>6.1</b>	<b>40.9</b>	<b>1.6</b>	<b>62.8</b>	<b>10.7</b>
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 2	0.480	8.2	52.1	13.4	89.9	0.0
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 3	0.597	10.3	45.7	14.7	89.9	0.0
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 4	0.715	12.4	40.4	16.3	89.9	0.0
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 5	0.835	14.5	36.0	17.9	89.9	0.0
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 6	0.954	16.6	32.4	19.7	89.9	0.0

	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 7	1.071	18.7	0.0	1.9	32.1	19.9
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 8	1.185	20.8	0.0	2.1	29.4	21.5
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 9	1.301	22.9	0.0	2.3	27.1	23.2
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 10	1.419	25.0	0.0	2.5	25.1	24.9

**ANALISIS SISMICO: TALUD LA PROVIDENCIA- SECCION 3**

File:

Page - 1

```
*****
* CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION *
* ENGINEERING SERVICE CENTER *
* DIVISION OF MATERIALS AND FOUNDATIONS *
* Office of Roadway Geotechnical Engineering *
* Date: 09-16-2006 Time: 13:41:20 *
*****
```

Project Identification - Talud Providencia S 3

----- WALL GEOMETRY -----

```
Vertical Wall Height = 10.55 m
Wall Batter          = 22.0 degree
                    Angle   Length
                    (Deg)   (Meter)
First Slope from Wallcrest. = 0.0   0.0
Second Slope from 1st slope. = 0.0   0.0
Third Slope from 2nd slope.  = 0.0   0.0
Fourth Slope from 3rd slope. = 0.0   0.0
Fifth Slope from 4th slope.  = 0.0   0.0
Sixth Slope from 5th slope.  = 0.0   0.0
Seventh Slope Angle.         = 0.0
```

----- SLOPE BELOW THE WALL -----

There is NO SLOPE BELOW THE TOE of the wall

----- SURCHARGE -----

There is NO SURCHARGE imposed on the system.

----- OPTION #1 -----

Ultimate Punching shear, Bond & Yield Stress are used.

----- SOIL PARAMETERS -----

Soil Layer	Unit	Friction	Cohesion	Bond*	Coordinates of Boundary			
	Weight (kN/m3)	Angle (Degree)	Intercept (kPa)	Stress (kPa)	XS1 (m)	YS1 (m)	XS2 (m)	YS2 (m)
1	12.60	31.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

\* Ultimate bond Stress values also depend on BSF (Bond Stress Factor.)

## ----- EARTHQUAKE ACCELERATION -----

Horizontal Earthquake Coefficient = 0.16 (a/g)  
 Vertical Earthquake Coefficient = 0.00

## ----- WATER SURFACE -----

NO Water Table defined for this problem.

## ----- SEARCH LIMIT -----

The Search Limit is from 4.00 to 25.00 m

You have chosen NOT TO LIMIT the search of failure planes to specific nodes.

## ----- REINFORCEMENT PARAMETERS -----

Number of Reinforcement Levels	=	0
Horizontal Spacing	=	0.00 m
Diameter of Reinforcement Element	=	0.0 mm
Yield Stress of Reinforcement	=	0.0 MPa
Diameter of Grouted Hole	=	0.0 mm
Punching Shear	=	0.0 kN

## ----- (For ALL Levels) -----

Reinforcement Lengths	=	0.0 m
Reinforcement Inclination	=	0.0 degrees
Vertical Spacing to First Level	=	0.00 m
Vertical Spacing to Remaining Levels	=	0.00 m

	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
<b>Toe</b>	<b>0.236</b>	<b>6.1</b>	<b>40.9</b>	<b>1.6</b>	<b>62.8</b>	<b>10.7</b>
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 2	0.322	8.2	0.0	0.8	55.0	12.9
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 3	0.365	10.3	0.0	1.0	48.7	14.0
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 4	0.521	12.4	40.4	16.3	89.9	0.0
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 5	0.605	14.5	36.0	17.9	89.9	0.0
	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 6	0.686	16.6	32.4	19.7	89.9	0.0

	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 7	0.762	18.7	29.4	21.5	89.9	0.0

	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 8	0.835	20.8	26.9	23.3	89.9	0.0

	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 9	0.904	22.9	24.7	25.2	89.9	0.0

	MINIMUM SAFETY FACTOR	DISTANCE BEHIND WALL TOE (m)	LOWER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)	UPPER FAILURE PLANE ANGLE (deg)	LENGTH (m)
NODE 10	0.970	25.0	22.9	27.1	89.9	0.0

## **ANEXO 3**

### **DISEÑO DE CANALETA DE DRENAJE SUPERFICIAL**

A continuación se presenta el procedimiento seguido para la selección de la sección de canaleta a utilizar en el drenaje de las aguas superficiales del talud de la Comunidad La Providencia:

Se sabe que la sección de máxima eficiencia a usarse en un canal es la del semicírculo, razón por la cual se elige éste. Sin embargo, su construcción en el campo es un tanto complicada debido a que deben usarse moldes y mano de obra adecuados, sin mencionar el tiempo de curado necesario que debe dárseles antes de comenzar a funcionar. Por todo lo anterior, se prefiere utilizar canaletas de media caña (sección semicircular) prefabricadas.

Teniendo en mente la sección a utilizar, ahora puede realizarse el proceso de diseño de la canaleta con el fin de encontrar el diámetro adecuado de la misma. En este proceso se utilizará la fórmula racional ( $Q = CIA$ ), donde  $Q$  es el caudal,  $C$  es el coeficiente de escorrentía,  $I$  es la intensidad de diseño y  $A$  es el área de influencia que drenará. Hay que tener el cuidado de que las unidades sean las adecuadas, por lo que en este caso se utilizará en sistema Internacional.

Para el caso del talud en estudio, se tomará un coeficiente de escorrentía de 1.00, una intensidad de diseño de 3.61 mm/min (Calderón y Machuca 2005) y un área de influencia de 46 metros de longitud (la mitad de la longitud total del talud) por 15 metros de ancho.

Sustituyendo:

$$C = 1.00$$

$$I = 3.61 \text{ mm} / \text{min} = 6.02 \times 10^{-5} \text{ m} / \text{seg}$$

$$A = 46 \times 15 = 690 \text{ m}^2$$

$$\therefore Q = (1.00)(6.02 \times 10^{-5} \text{ m} / \text{seg})(690 \text{ m}^2)$$

$$\underline{Q = 0.042 \text{ m}^3 / \text{seg}}$$

Además, sabiendo que:

$$Q = vA_H,$$

donde  $v$  es la velocidad mínima para evitar la sedimentación ( $v = 0.91 \text{ m/seg}$ ) y  $A_H$  es el área hidráulica de la sección ( $A_H = \pi y^2/2$ , donde  $y$  es la profundidad del agua en el canal)

Sustituyendo:

$$A_H = \frac{Q}{v} = \frac{0.042}{0.91} = \underline{0.046 \text{ m}^2}$$

*pero*

$$A_H = \frac{\pi}{2} y^2 = 0.046$$

$$\therefore y = \sqrt{\frac{(2)(0.046)}{\pi}} = \underline{0.171 \text{ m}}$$

Lo cual indica que la profundidad del agua en el canal será de 17 cm. Sin embargo, es necesario considerar un 10% adicional de altura libre lo que lleva a requerir una altura total de 18.7 cm. (7.4 pulg), es decir la canaleta deberá poseer un diámetro de 15 pulgadas.

## ANEXO 4

### CARPETA TÉCNICA A SER PRESENTADA A LA ALCALDIA MUNICIPAL DE CUSCATANCINGO.

#### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

##### *1. Limpieza y desmonte*

###### *Descripción.*

Bajo esta partida se procederá a remover toda vegetación o desechos existentes sobre la superficie del talud hasta lograr una superficie adecuada para la aplicación del recubrimiento.

###### *Métodos de construcción.*

La limpieza y chapeo deberá hacerse con cuadrillas de personal, utilizando herramientas manuales y no se permitirá el uso de maquinaria pesada, salvo para la operación de destronado, la cual se hará posteriormente al chapeo manual.

Se deberán remover de la superficie del talud todos los árboles marcados para tal efecto, así como los materiales, raíces, troncos, arbustos, cercas, basura y cualquier otro material objetable dentro de los límites de la construcción.

La tala de árboles deberá realizarse a ras del suelo, ya que este sistema evita el rebrote de especies que facilitan este tipo de regeneración y se constituyen con el tiempo en peligro para el buen mantenimiento del talud. La caída de los árboles deberá direccionarse hacia una zona despejada, a fin de evitar la afectación de las viviendas.

*Disposiciones del material proveniente de la limpieza.*

Todos los materiales, los troncos enterrados, las raíces, los matorrales, los troncos de desecho, las ramas y copas de los árboles o cualquier otro desperdicio resultante de las operaciones de limpieza y chapeo, se dispondrán según lo determine la Municipalidad, de manera que no se perjudique o se ponga en peligro la propiedad pública o privada. Las ramas con diámetros mayores de 5 cm podrán donarse a los pobladores de la zona para ser utilizada como fuente de energía. De producirse material sobrante no utilizable, este será enviado a un relleno sanitario autorizado, como el de Nejapa, junto con el desperdicio que se obtenga de las labores de perfilado del talud.

## ***2. Topografía general. Trazo***

### *Descripción.*

Este apartado incluye el suministro del personal calificado, equipo y material necesarios para la ejecución de la topografía, colocación de estacas, cálculo y registro de los datos para el control del trabajo y trazo de los cortes a realizar sobre la superficie del talud.

El personal, equipo y material deberán conformarse a las siguientes condiciones:

- a) *Personal.* Deberán utilizarse cuadrillas de topografía técnicamente calificadas, capaces de realizar el trabajo en el tiempo previsto y con la debida precisión. Mientras esté en ejecución la labor de topografía, deberá mantenerse en el proyecto un supervisor de cuadrillas debidamente calificado.
- b) *Equipo.* Deberán utilizarse instrumentos y equipo de soporte aptos para alcanzar las tolerancias relativas al proyecto.
- c) *Material.* Deberán proporcionarse herramientas, suministros y estacas del tipo y calidad normalmente usados en trabajos de topografía y apropiados

para el uso específico propuesto. Las estacas deberán tener la longitud suficiente que permita obtener un empotramiento firme en el terreno y efectuar las anotaciones necesarias de manera legible.

*Métodos de construcción.*

El Contratante fijará las líneas de referencia iniciales, establecerá los puntos de control horizontal y vertical y suministrará los datos necesarios para obtener un control adecuado del trabajo. Se entregará toda la información relativa al diseño que sea de necesidad para el Contratista.

Deben preservarse todos los puntos de control y de referencia iniciales. Luego del inicio de la construcción, el Contratista debe reemplazar todas las referencias iniciales o puntos de control necesarios para el trabajo, que hubieran sido destruidos o perturbados. Antes de iniciar la topografía, debe discutirse y coordinarse con el Contratante lo siguiente:

- a) Métodos topográficos y de estacado
- b) Anotaciones que se inscribirán en las estacas
- c) Puntos de referencia
- d) Control de estructuras existentes
- e) Cualesquiera otros procedimientos y controles necesarios para el trabajo.

El trabajo no se podrá iniciar hasta que el estacado haya sido aceptado por la Municipalidad. La topografía de la construcción y el trabajo de estacado deben ser revisados aleatoriamente para efectos de precisión y las porciones inaceptables del trabajo deben ser rechazadas. El trabajo de topografía rechazado debe ser rehecho dentro de las tolerancias especificadas en la Tabla 1.

*Tabla 1. Tolerancias en las Mediciones para la Construcción y el Estacado.*

FASE DEL ESTACADO	HORIZONTAL	VERTICAL
Puntos de control	1:10000	±5 mm
Puntos de las secciones transversales	±50 mm	±100 mm
Límites de limpieza y chapeo	±500 mm	-

La aceptación de las estacas de construcción no releva al Contratista de la responsabilidad de corregir los errores descubiertos durante el trabajo y de cubrir todos los costos adicionales asociados con el error.

Deben removerse y eliminar todas las marcas, cavidades, estacas y cualquier otro material de estacado, inmediatamente después de la conclusión del proyecto y antes de su recepción, con excepción de los bancos de marca.

*Requerimientos de la topografía.*

- a) Puntos de Control. El Contratista debe relocalizar los puntos de control iniciales, tanto horizontales como verticales, que estén en conflicto con la construcción, trasladándolos hacia áreas que no serán perturbadas por las operaciones de construcción. El Contratante debe suministrarle las coordenadas y las elevaciones de los puntos que serán relocalizados, antes de que los puntos iniciales sean eliminados.
- b) Referencias. Las referencias se ubicarán fuera de los límites de la limpieza del terreno. Toda la información de los puntos de referencia debe anotarse en las estacas de referencia.
- c) Límites de la limpieza, chapeo y destronque. Los límites de limpieza, chapeo y destronque deben señalarse en las secciones transversales del talud.

Las mediciones topográficas de la construcción y el estaqueado serán aceptados hasta que la supervisión proporcione el visto bueno para que inicien los trabajos de corte.

### ***3. Conformación del talud (perfilado)***

#### *Descripción.*

Bajo esta partida, el contratista proporcionará todos los materiales, equipo y requerimientos necesarios para la conformación del talud. Los cortes se iniciarán hasta que la limpieza, chapeo, destroncado y remoción de estructuras existentes hayan sido aprobados por la supervisión.

Es responsabilidad del contratista tomar las precauciones necesarias para que las excavaciones se ajusten a las líneas del proyecto.

#### *Métodos de construcción.*

Los taludes deberán construirse con un ángulo de inclinación según la forma en que se especifica en los planos, también se proporcionarán bermas bajo el criterio de la media altura, es decir, que el talud tendrá una terraza intermedia de un (1) metro de ancho medido horizontalmente a lo largo su perímetro.

En la corona del talud se efectuará el corte necesario para proporcionar una pendiente del 2% hacia su interior. El corte tendrá una longitud de 3.25 m medidos horizontalmente desde la orilla de la corona. En este punto se construirá la canaleta de coronamiento.

*Manejo y disposición de material.*

El material proveniente de la excavación, estimado en 459 m<sup>3</sup> a desalojar, deberá ser llevado a un relleno autorizado y deberá ser manejado adecuadamente. Dicho material se trasportará cubierto con lona y en vehículos adecuados. Se deberá elaborar un plan de desalojo, el cual se coordinará con los administradores del relleno. La carga, transporte y descarga hasta el lugar ordenado estará incluido en el precio unitario de la partida Excavación de Taludes.

Si el material destinado para trasportarse al botadero interfiere con la ejecución de trabajos posteriores a la excavación, el Contratista queda obligado a realizar el transporte hasta el lugar que ordene el Supervisor sin costo adicional para el Propietario.

Incluir como excavación los siguientes volúmenes:

- a) La excavación generada por el corte de los taludes.
- b) De existir, remoción del material de deslizamientos y derrumbes previo al inicio del proyecto.
- c) *Excavación de drenajes y desagües.* El Contratista efectuará por cuenta propia, cuando las exigencias requieran, el drenaje y desagüe del agua en la zona de trabajo. Durante las excavaciones el Contratista evitará

enlodamiento, encharcamientos o circulación de agua que pudiera afectar a las obras, el avance de los trabajos, obstruir accesos, producir derrumbes, etc. Para tal fin las aguas freáticas o de procedencia superficial serán controladas por medio de diques, canaletas de drenaje, bombeo, etc., descargándolas a una distancia o sitios tales que no afecten el área de trabajo, ni ocasionen problemas aguas abajo.

- d) *Excavación y compactación para canaletas de bermas, corona y gradas disipadoras.* El término compactación se refiere a las operaciones necesarias para aumentar la densidad del material de relleno mediante la expulsión de aire y/o agua contenidos en los espacios intermedios con la finalidad de alcanzar la estabilidad requerida. La compactación se hará manualmente o con equipos ligeros. La Excavación no deberá incluir el material de derrumbes y deslizamientos atribuibles al método de operación del Contratista. Se entenderá por deslizamiento, el desplazamiento inusitado de materiales, sobre una superficie de falla y formada en la masa del material originalmente considerado. Por derrumbes se entenderá la precipitación repentina de materiales, desde un lugar alto, siguiendo una trayectoria cualquiera.

Durante la construcción de cualquier obra, el Contratista deberá llevar a cabo las obras de protección necesarias para reducir al mínimo la posibilidad de que

se presenten derrumbes o deslizamientos y tomará por su cuenta todas las precauciones que crea conveniente para prevenirlos.

Si el Contratista, como resultado de un descuido en sus operaciones de excavación, afloja o altera el material de modo que sea necesaria su remoción, el Ingeniero Supervisor podrá ordenarle remover estos materiales, utilizando procedimientos satisfactorios, sin que por este motivo perciba compensación alguna.

Se deberá evitar el apilamiento inadecuado de materiales del trabajo cerca de los bordes de las excavaciones en terreno inestable y la omisión de las precauciones necesarias para prevenir derrumbes así como todos aquellos factores que pongan en peligro la estabilidad de la obra por culpa del Contratista.

#### ***4. Canaletas de drenaje***

##### *Descripción*

Este trabajo consistirá en la colocación de las canaletas prefabricadas de concreto de media caña con diámetro de 18" en la corona y en el pie del talud.

Se realizarán de acuerdo con estas especificaciones y en conformidad razonable con los detalles y localizaciones indicados en los planos o establecidos por el Ingeniero.

*Métodos de construcción.*

Una vez terminada la excavación se procederá a colocar las piezas de la canaleta unidas entre sí con mortero en una proporción 1:4. Deberá verificarse que la pendiente de las canaletas sea la que se detalla en los planos y que la calidad del agregado utilizado sea la adecuada.

**5. Construcción de cajas colectoras**

*Descripción*

Esta labor consiste en la construcción de las cajas que recogerán el agua de las canaletas y gradas de disipación de energía para luego evacuarla hacia la calle mediante tubería.

*Métodos de construcción.*

Finalizada la construcción de las gradas disipadoras de energía y de la colocación de las canaletas, se procederá a la excavación para construir las

cajas recolectoras, según lo detallado en los planos o lo indicado por el supervisor en la obra.

Las cajas podrán construirse de concreto simple o utilizando unidades de mampostería. El concreto utilizado deberá poseer las mismas características que el usado para la construcción de las gradas disipadoras y el mortero que se utilice, con una proporción 1:4, mientras que el afinado de las cajas deberá realizarse con una proporción de 1:2 y un espesor máximo de 1.00 cm.

Si las cajas se construyen de concreto simple, las formaletas deben cumplir lo establecido en lo concerniente a la construcción de gradas disipadoras; de utilizarse mampostería, se usará ladrillo de obra.

## ***6. Construcción de gradas disipadoras de energía***

### *Descripción*

Este trabajo consistirá en la construcción de las graderías disipadoras. Se realizarán de acuerdo con estas especificaciones y en conformidad razonable con los detalles y localizaciones indicados en los planos o establecidos por el Ingeniero.

### *Métodos de construcción*

El concreto que se utilizará para la construcción de las gradas de disipación deberá tener una resistencia mínima de ruptura a la compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días. Se mezclará por medio de una mezcladora mecánica aprobada por el supervisor y en ningún caso su capacidad será menor de 6 pies cúbicos. Los materiales se mezclarán por lo menos durante 1 1/2 minutos.

El concreto estará sujeto a la aceptación o al rechazo por medio de la inspección visual en el lugar de la obra. No se permitirá el reemplado del concreto.

El contratista deberá presentar la siguiente información para su aprobación:

- a) El tipo y fuentes de agregados
- b) El tipo y fuentes de cemento.
- c) Pesos de balanza de cada agregado propuesto en términos kilogramos por metro cúbico de concreto.
- d) Cantidad de agua propuesta en términos de kilogramos por metro cúbico de concreto.
- e) Cantidad de cemento propuesta en términos de kilogramos por metro cúbico de concreto.
- f) Contenido de aire.
- g) Asentamiento.

Las formaletas se diseñarán y construirán de modo que puedan ser sacadas sin dañar el concreto. Deberán estar libres de pandeo y alabeo y estarán contruidos de modo que el concreto acabado tenga la conformación y dimensiones indicadas en los planos, y deberán ajustarse a la alineación y a la rasante.

En ningún caso se usará concreto que tenga más de 30 minutos de elaborado, salvo en los casos que se use algún retardante y sea aprobado por la supervisión.

El proporcionamiento deberá hacerse de manera de no rebasar ciertos límites que se indican a continuación:

- a) Máximo contenido neto de agua: será de 25 litros por cada bolsa de cemento de 94 libras.
- b) El límite de consistencia no excederá de 10 cm. Las dosificaciones y clases de todo material que entre a formar parte de la mezcla están sujetas a la aprobación del supervisor.
- c) El concreto se vaciará en las formaletas en forma continua y se acondicionará en éstas mediante vibradores de 1 1/4" a 2" de diámetro o por medio de varillado, utilizando una barra de 5/8" de diámetro. Las formaletas podrán ser retiradas después de transcurridas 24 horas.

d) Una vez retiradas las formaletas se procederá a dar un acabado a las graderías mediante un afinado con mezcla de arena y cemento en proporción volumétrica de 1:2. El agregado de este mortero deberá pasar en su totalidad por una malla no mayor de un milímetro. El espesor del afinado será no menor de 1 cm. ni mayor de 2cm.

## ***7. Revestimiento con mortero o concreto lanzado***

### *Descripción*

Bajo esta partida se contempla la hechura, puesta en el lugar, aplicación del revestimiento sobre la superficie del talud, la protección del mortero o concreto lanzado fresco, el acabado y la realización de la textura superficial, así como también el curado, tal y como lo detallan los planos constructivos que se anexan.

### *Métodos de construcción.*

El mortero a utilizarse deberá hacerse con cuatro partes de agregado fino (arena) por cada parte de cemento usado. Su aplicación se hará de forma manual por albañiles. El mortero podrá fabricarse utilizando una mezcladora

mecánica o de forma manual. No se utilizará un mortero que tenga más de una hora y media de haberse fabricado ni se permitirá su reemplado.

En el caso del concreto lanzado, se utilizará preferiblemente, la mezcla por vía seca ya que su porcentaje de rebote es menor comparada con la mezcla por vía húmeda. La resistencia mínima a la compresión a los 28 días deberá ser de 210 Kg/cm<sup>2</sup>, con un revenimiento cero en el caso de la mezcla por vía seca y entre 2.5 cm y 7.5 cm en el caso de la mezcla por vía húmeda. En ningún caso, el tamaño del agregado pétreo excederá los 9.52 mm.

Para disminuir los agrietamientos y fisuras provocados por la contracción, se utilizará fibra de nylon en la mezcla de mortero o concreto lanzado u otro tipo de fibra similar aprobado por el supervisor.

El agregado de peso normal que se utilice debe cumplir con los requerimientos de la norma ASTM C-33. El cemento utilizado tanto para la fabricación del mortero como para el concreto lanzado deberá ser Pórtland y cumplir los requisitos de calidad establecidos en las normas ASTM C-150 o C-595, puede usarse también cemento resistente a los sulfatos, de endurecimiento rápido u otro tipo de cemento según lo ameriten las circunstancias bajo las cuales estará trabajando el concreto y que el supervisor apruebe.

El agua para el mezclado y curado deberá estar limpia y libre de sustancias que puedan dañar el mortero o concreto lanzado. Se puede usar agua potable, pero si no se dispone de ésta es permitido el uso de agua no potable que produzca cubos de mortero con resistencia a los 7 y 28 días que sean iguales, o como mínimo, sean el 90% de la resistencia de especímenes similares hechos con agua potable.

Podrán usarse aditivos únicamente en circunstancias que lo ameriten previa autorización de la supervisión, debiendo cumplir éstos con las especificaciones ASTM correspondientes.

### ***8. Colocación de malla ciclón y drenajes horizontales***

#### *Descripción*

Bajo estas partidas se incluyen la colocación de una malla ciclón y tubos de drenaje horizontal o lloraderos en los dos primeros metros a partir del pie del talud, ambos se colocarán según muestren los detalles en los planos.

### *Métodos de construcción.*

La malla ciclón se fijará a la superficie del talud mediante pines fabricados de varillas, según se muestra en los planos. Esta malla deberá estar separada de la superficie del talud y nunca en contacto directo con ella. El supervisor podrá autorizar la utilización de otra malla alternativa.

En el caso de la tubería de drenaje, se colocarán tramos según lo mostrado en los planos, salvo que la supervisión autorice algo diferente debido a peculiaridades encontradas en el momento de la construcción.

## ***9. Construcción de cerco con alambre de púas***

### *Descripción*

Esta actividad consistirá en la hechura in-situ de una cerca que impida el paso de las personas hacia las canaletas y así evitar se dañen, según lo indicado en los planos o lo que el supervisor autorice.

### *Métodos de construcción.*

Los postes serán de concreto, ya sea fabricados en el sitio o prefabricados, y deberán tener por lo menos dos metros de longitud de los cuales 0.50 m se utilizará para fijarlo en el suelo. El alambre a utilizar para el cerco será de púas.

## **ANEXO 5.**

### **GLOSARIO DE TÉRMINOS**

**Abrasión.** Erosión de material rocoso por fricción de partículas sólidas puestas en movimiento por el agua, el hielo, el viento o la fuerza de gravedad.

**Acelerógrafo.** Instrumento para medir aceleraciones del terreno en función del tiempo. Usualmente registra movimientos producidos por temblores fuertes o con epicentros cercanos. Al registro producido se le conoce como acelerograma.

**Acuífero.** Material permeable a través del cual se mueve el agua del subsuelo.

**Agua freática.** Agua subterránea dentro de la zona de saturación.

**Agua del subsuelo** Agua que está bajo la superficie del terreno; también se conoce como agua subterránea.

**Alerta.** Es un anuncio declarado para tomar precauciones específicas por la probabilidad de un evento adverso.

**Amenaza.** Es un factor externo de riesgo que puede ser de origen natural o generado por la actividad del hombre, el cual se manifiesta en un lugar específico, con una intensidad y duración determinada.

**Asentamiento.** Hundimiento que sufre el terreno por efecto de la acción de cargas o fuerzas que alteran el estado de equilibrio del terreno natural.

**Avalancha.** Desprendimiento súbito y progresivo de una mezcla de roca, tierra y agua o nieve que cae ladera abajo.

**Buzamiento.** En geología, una capa de roca que buza es una capa inclinada, y el echado es el ángulo de inclinación de una superficie medida con respecto a la línea horizontal.

**Concreto lanzado.** Mortero o concreto transportado a través de una manguera y proyectado neumáticamente a gran velocidad sobre una superficie.

**Corona de un talud.** Parte superior de un talud.

**Cuña.** Que tiene forma de prisma triangular.

**Deforestación.** Pérdida de la vegetación natural de una región geográfica, producto de la actividad humana.

**Degradación de la roca.** Modificación de las propiedades físicas y químicas de una roca por la acción de agentes externos, tendientes a desintegrarla.

**Depósito de suelo.** Región donde se depositan materiales que cuentan con coherencia natural, derivada del tipo y tamaño microscópico de las partículas individuales que los forman.

**Desastre.** Son los daños producidos continuamente a las personas, bienes, servicios, poblaciones y al ambiente, debidos a circunstancias naturales o generadas por la actividad humana que ponen en peligro el bienestar del ser humano y el medio ambiente.

**Deslizamiento.** Aplicado a suelos y a material superficial, se refiere a movimiento plástico lento hacia abajo. Aplicado a sólidos elásticos, alude a deformación permanente a causa de algún esfuerzo.

**Deslizamiento de rocas.** Deslizamiento rápido y repentino de rocas a lo largo de planos de debilidad.

**Deslizamiento del terreno.** Término general que se aplica a movimiento relativamente rápido de masa térrea. Ejemplos: desplome, subsidencia o colapso de rocas, deslizamiento de escombros, flujo de lodo y flujo de terreno.

**Desprendimientos.** Fragmentos de tierra o roca que se desprenden y se depositan en la parte baja de una ladera.

**Discontinuidad.** Falta de continuidad en una formación geológica que originalmente se manifestaba en la naturaleza en forma continua en el tiempo y en el espacio.

**Elementos en riesgo.** Se incluyen la población, edificios, obras de infraestructura, actividades económicas y servicios públicos en el área potencialmente afectada por los deslizamientos.

**Erosión.** La remoción de suelo y partículas de roca por el viento, ríos y hielo reciben el nombre de erosión.

**Erupción volcánica.** Emisión explosiva o lenta, de lava, materiales piroclásticos o gases volcánicos hacia la superficie de la tierra, usualmente a través de un cono volcánico y raramente por fisuras.

**Escalonamiento.** Mecanismo por medio del cual la superficie inclinada de un talud natural manifiesta diferencias de elevación, originando un perfil inclinado con discontinuidades verticales.

**Esguerramiento.** Agua que fluye sobre la superficie de la tierra.

**Esfuerzo.** Medida de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo. En Física se expresa como fuerza por unidad de área.

**Estabilidad de taludes.** Involucra a los problemas principales que se plantean en los taludes de tierra y/o roca, inclusive el control de deslizamientos y caídos a los lados de los cortes, a los costados de los depósitos de materiales de relleno y en las faldas de las colinas naturales. Los estudios geotécnicos representan una herramienta poderosa para definir la solución de los problemas de estabilidad de taludes.

**Estado de esfuerzo.** Magnitud de los esfuerzos de tensión o compresión que propician el estado en el que un elemento geológico se presenta en la naturaleza.

**Estratificación.** Estructura producida por depósito o sedimentación en estratos o capas. Término colectivo que se usa para indicar la existencia de capas o estratos en rocas sedimentarias, y ocasionalmente en ígneas y metamórficas. Algunas veces se usa como sinónimo de plano de estratificación.

**Estrato.** Capa de suelo o de roca que se localiza en una región, originalmente en posición horizontal; en ocasiones su espesor puede ser muy variable.

**Falla.** Superficie de ruptura en rocas a lo largo de la cual ha habido movimiento relativo, es decir, un bloque respecto del otro. Se habla particularmente de falla activa cuando en ella se han localizado focos de sismos o bien, se tienen evidencias de que en tiempos históricos han habido desplazamientos. El

desplazamiento total puede variar de centímetros a kilómetros dependiendo del tiempo durante el cual la falla se ha mantenido activa (años o hasta miles y millones de años). Usualmente, durante un temblor grande, los desplazamientos típicos son de uno o dos metros.

**Fallas de ladera.** Son mecanismos desequilibrados que pueden derivar en desprendimiento de suelo y roca por acción de las fuerzas originadas por la atracción de las fuerzas de la gravedad de la tierra.

**Fallas de pendiente.** Movimiento hacia abajo y hacia fuera de la roca o del material sin consolidar, como una unidad o como una serie de unidades.

**Fallas rotacionales.** Superficie de ruptura de una formación geológica que describe una superficie circular, a lo largo de la cual ha habido movimiento diferencial.

**Flujos.** Son movimientos espacialmente continuos en los que las superficies de cizalla tienen corta vida, se encuentran muy próximas y generalmente no se conservan. Movimiento de una masa bien mezclada de roca, tierra y agua, que se comporta como fluido y se desplaza pendiente abajo; su consistencia es similar a la del concreto recién mezclado.

**Flujo de roca.** Combinación de desplome y flujo de lodo.

**Formaciones.** Rasgos geológicos característicos de una región de la tierra, determinados por los materiales existentes y los procesos físicos que les dieron origen en el devenir histórico de la Tierra.

**Fracturamiento.** Patrones de ruptura que determinan generalmente la consistencia de las masas rocosas. Los patrones de estratificación y fracturamiento o ruptura así como los lentes de roca muy intemperizada son los factores que controlan la consistencia de la roca.

**Geotecnia.** Es la aplicación de las ciencias de la tierra a la solución de los problemas de ingeniería civil.

**Grieta.** Fisura. Abertura o brecha de un bordo natural.

**GPS (Sistema de Posicionamiento Global).** Iniciales correspondientes a Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global) que, con base en señales recibidas de satélites, permite determinar con gran precisión la ubicación de puntos en la superficie terrestre, diferencias de altura, etc. Utilizando sistemas GPS de alta resolución es posible determinar desplazamientos entre placas tectónicas, estructuras artificiales, etc.

**Hundimiento.** (En la parte alta de una ladera). Movimiento hacia abajo y hacia fuera de la roca o del material sin consolidar, como una unidad o como una serie de unidades. Se le llama también falla de pendiente.

**Inclinación.** Ángulo que manifiesta la pérdida de la verticalidad original de la vegetación o de objetos construidos por el hombre, localizados sobre la superficie inclinada de un talud o ladera natural que se encuentra en movimiento descendente a causa de su inestabilidad o falla.

**Inestabilidad de taludes.** Conocidas también como deslizamiento del terreno, o de tierra, implica movimiento de rocas y/o suelo por la acción de la gravedad. Los deslizamientos de tierra sucedidos en el pasado son responsables de las características topográficas del paisaje natural actual.

**Infiltración.** Penetración de agua superficial hacia el interior de la tierra.

**Intemperismo.** Proceso de transformación y destrucción de los minerales y las rocas en la superficie de la Tierra, a poca profundidad, debido a la acción de agentes físicos, químicos y orgánicos.

**Intemperismo mecánico.** Proceso mediante el cual las rocas se rompen en fragmentos cada vez más pequeños, como resultado de la energía desarrollada por fuerzas físicas. Se conoce también como desintegración.

**Intemperismo químico.** Meteorización de las rocas debida a procesos que transforman el material original en nuevas combinaciones químicas. Así el intemperismo químico de la ortoclasa produce arcilla, algo de sílice y una sal soluble de potasio.

**Intensidad (sísmica).** Número que se refiere a los efectos de las ondas sísmicas en las construcciones, en el terreno natural y en el comportamiento o actividades del hombre. Los grados de intensidad sísmica, expresados con números romanos del I al XII, correspondientes a diversas localidades se asignan con base en la escala de Mercalli. Contrasta con el término magnitud que se refiere a la energía total liberada por el sismo.

**Inundaciones.** Acumulación de niveles extraordinarios de agua, sobre terrenos normalmente planos y de poca elevación con respecto al nivel medio de agua presente en los receptáculos naturales y artificiales circundantes a una región.

**Irregularidades topográficas.** Cambios importantes en altura o forma de los rasgos naturales existentes, como la presencia de un valle redondo de cadenas montañosas.

**Ladera.** Costado de un terraplén o de una montaña.

**Laderas naturales.** Costados de las montañas, representados por las faldas de los cerros.

**Licuación de suelos.** Consiste en la pérdida de resistencia de suelos arenosos, con partículas de tamaño uniforme y que se encuentren saturados, como consecuencia de las vibraciones del terreno natural que origina el paso de ondas sísmicas, durante la ocurrencia de un temblor.

**Litológicas (características litológicas).** Representa las características estratigráficas de una formación geológica o de una zona de terreno, es decir, los tipos de roca, como se presentan, tamaño de grano, color y constituyentes minerales.

**Magnitud (de un sismo).** Valor relacionado con la cantidad de energía liberada por el sismo. Dicho valor no depende, como la intensidad, de la presencia de pobladores que observen y describan los múltiples efectos del sismo en una localidad dada. Para determinar la magnitud se utilizan, necesariamente, uno o varios registros de sismógrafos y una escala estrictamente cuantitativa, sin límites superior ni inferior. Una de las escalas más conocidas es la de Richter, aunque en la actualidad frecuentemente se utilizan otras como la de ondas superficiales (Ms) o de momento sísmico (Mw).

**Material cohesivo.** Material coherente, se refiere a suelos en los cuales el agua absorbida y la atracción entre las partículas actúan conjuntamente para producir una masa que se mantiene unida y se deforma plásticamente con cantidades de agua variables. Se les conoce como suelos cohesivos o arcillas.

**Material consolidado.** Material constituido por cualquiera de los tipos de roca que existen en la naturaleza.

**Material térreo.** Material que en conjunto puede estar integrado por arcilla, limo, arena y fragmentos de roca. Generalmente se hace una distinción entre suelo y roca por el hecho de que el suelo es una masa formada por diminutas partículas que se encuentran acomodadas en la naturaleza formando una estructura esquelética, mientras que la roca es una estructura densa con las partículas unidas justamente entre sí.

**Mecánica de suelos.** Es la ciencia que estudia la estabilidad de las formaciones geológicas conformadas por sedimentos no consolidados (material térreo), el flujo de agua desde, hacia y a través de una masa de suelo, y permite evaluar si los riesgos asociados son tolerables en términos económicos y de seguridad para la población. Geológicamente, la mecánica de suelos está relacionada con los materiales térreos, no consolidados, producto de la desintegración de formaciones de roca, este material normalmente sobreyace a las formaciones geológicas de roca originales.

**Mecánica de rocas.** Es la ciencia que estudia la estabilidad de las formaciones geológicas conformadas por sedimentos consolidados, denominados roca.

**Mitigación.** Es una intervención para reducir los riesgos y daños y tomar medidas o acciones para modificar determinadas circunstancias. Cuando se refiere a desastres, se toma una acción para modificar la característica de una

amenaza ayudando a un sistema biológico, físico o social a reducir su vulnerabilidad.

**Nivel freático.** Superficie más alta de la zona de saturación del agua subterránea. Es irregular, con pendiente y forma determinadas por la cantidad de agua freática o subterránea y por la permeabilidad de las rocas. En general, bajo lomas y cerros su profundidad es menor y mayor en los valles.

**Peligro.** Es el deslizamiento geométrica y mecánicamente caracterizado.

**Peligrosidad.** Es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente perjudicial dentro de un período de tiempo determinado y en un área específica.

**Placas (tectónicas).** Porciones de la litósfera terrestre, de grandes dimensiones y espesor no mayor a 100 km, que también se caracterizan por su movilidad debido a fuerzas ejercidas desde el manto terrestre.

**Plano de falla.** Superficie de contacto entre formaciones geológicas, iguales o diferentes, producto de fracturamiento previo del terreno natural.

**Plano de estratificación.** Superficie que separa capas de rocas sedimentarias. Cada plano marca la terminación de un depósito y el principio de otro de características diferentes o semejantes; por ejemplo la superficie que separa una capa de arenisca de una de lutita, de una caliza con respecto a otra

también de caliza. Las rocas tienden a separarse o romperse fácilmente a lo largo de los planos de estratificación.

**Plegamiento.** Distorsión de una estructura geológica. Las estructuras plegadas se deben a la compresión dentro de la corteza terrestre generada por el movimiento lateral de los continentes.

**Preparación.** Es un conjunto de medidas y acciones que se usan para reducir la muerte y otros daños y organizan de manera eficiente la recuperación y rehabilitación.

**Prevención.** Son acciones que impiden o evitan que los sucesos naturales o que las actividades humanas sean causantes de desastres.

**Procesos geológicos.** Son los diversos procesos que continuamente actúan sobre la superficie de la tierra, son el aplanamiento de relieve, el diastrofismo y el vulcanismo. La gradación es la demolición de los elementos morfológicos existentes (inclusive montañas). La erosión, por ejemplo, es un caso particular del arrasamiento llevado a cabo por la acción del agua, el aire o el del hielo.

**Propiedades mecánicas de resistencia.** Son la capacidad de las formaciones geológicas para resistir, sin romperse, a los distintos mecanismos que actúan sobre ellas por medio de fuerzas aplicadas.

**Reconstrucción.** Es cuando se reparan los daños causados por los eventos adversos; estos pueden ser a corto o largo plazo.

**Rehabilitación.** Es la reparación del daño físico, social y económico, es decir, recuperar en forma rápida los servicios básicos.

**Reptación.** Movimientos superficiales muy lentos del suelo sin una superficie de falla definida.

**Resistencia.** Fuerza necesaria para que ocurra la ruptura o para que comience la deformación plástica.

**Respuesta.** Las respuestas son todas las acciones que se realizan para salvar las vidas, reducir el sufrimiento y evitar las pérdidas ocasionadas por los eventos adversos.

**Riesgo.** El riesgo puede definirse como la probabilidad de que ocurra un peligro y cause pérdidas (vidas humanas, heridos, pérdidas económicas directas e indirectas, daños cuantificables a edificios o estructuras, etc.).

**Riesgo Específico.** Es el grado de pérdida esperado debido a un fenómeno natural y se expresa como el producto de la peligrosidad por la vulnerabilidad.

**Riesgo Total.** Corresponde al número de vidas perdidas, daños a la propiedad y a las personas, etc., debidas a un fenómeno natural concreto. El riesgo total se define como el producto del riesgo específico y de los elementos bajo riesgo.

**Roca.** Agregado de minerales de diferentes especies en proporciones variables.

**Sedimentación.** Proceso mediante el cual se asienta la materia orgánica y la mineral.

**Sedimentos no consolidados.** Material producto de la desintegración de rocas. Según el grado de desintegración y degradación física y/o química de los sedimentos en orden descendente del tamaño de sus partículas, éstos pueden ser: fragmentos de roca, cantos rodados, grava, arena, limo, arcilla o materia orgánica. Comúnmente los depósitos de sedimentos no consolidados están formados por la combinación de partículas de una amplia gama de tamaños, que en ocasiones incluyen hasta fragmentos de roca, con dimensiones y proporciones diversas.

**Sismo.**

- Fracturamiento repentino de una porción de la litósfera terrestre (cubierta rígida del planeta) como consecuencia de la acumulación de esfuerzos de deformación. La energía liberada por el rompimiento se propaga en forma de ondas sísmicas, hasta grandes distancias.

- Vibraciones de la Tierra ocasionadas por la propagación, en el interior o en la superficie de está, de varios tipos de ondas elásticas. La energía que da origen a estas ondas proviene de una fuente sísmica. Comúnmente se habla de que un sismo tiene carácter oscilatorio o trepidatorio. Ambos términos se derivan de la percepción que ciertas personas tienen del movimiento del terreno y no de un parámetro instrumental. El terreno, ante el paso de las ondas sísmicas, no se mueve exclusivamente en dirección horizontal(oscilatorio) o vertical(trepidatorio) sino más bien de una manera compleja por lo que dichos términos no son adecuados para caracterizar el movimiento del terreno.

**Sismógrafo.** Instrumento de alta sensibilidad para registrar los movimientos del terreno ocasionados por la propagación de las ondas sísmicas. Al registro producido se le conoce como sismograma, necesario para el cálculo de la magnitud (tamaño) de un sismo.

**Soliflucción.** Movimiento relativamente rápido donde toman identidad la presión del agua intersticial y la plasticidad de los materiales.

**Subsidencia.** Reducción del nivel del material del terreno, debido a desplazamientos verticales, horizontales o por una superposición de los dos tipos de movimiento mencionados.

**Suelo.** Material que se forma en la superficie de la tierra como resultado de procesos orgánicos. El suelo varía según el clima, la vida animal y vegetal, el tiempo, la pendiente del terreno y el material (rocoso) del que se deriva.

**Susceptibilidad.** La susceptibilidad expresa la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno.

**Talud.**

1. Pendiente formada por la acumulación de fragmentos de roca al pie de los acantilados o de montañas. Los fragmentos de roca que forman el talud pueden ser escombros, material de deslizamiento o pedazos rotos desprendidos por la acción de las heladas. Sin embargo, el término talud se usa en realidad muy ampliamente para referirse a los escombros de roca en sí.
2. Se conoce con el nombre genérico de talud a cualquier cuerpo de tierra y/o rocas que se encuentran delimitados por una superficie inclinada y forma un ángulo determinado respecto a la horizontal. Los taludes se clasifican en naturales y artificiales.
3. Cuando el talud se produce de manera espontánea, según las leyes de la naturaleza (sin intervención humana), se denomina ladera natural, o simplemente ladera.

4. Cuando el hombre lo realiza se denomina talud artificial, que puede ser de corte o de terraplén, o simplemente talud. Para efectuar algún corte se realiza la excavación en una o más formaciones geológicas; en tanto que los taludes artificiales son los lados inclinados de los terraplenes construidos con materiales seleccionados y compactados mecánicamente.

**Taludes artificiales.** Superficies inclinadas que unen los desniveles del terreno, producto de actividades de construcción, ya sea por corte o relleno o construcción de un terraplén artificial.

**Tectónica de placas.** Teoría que explica la dinámica de grandes porciones de la litósfera y su relación con la ocurrencia de sismos, volcanes y deformaciones corticales.

**Tensión.** Tipo de acción, en términos de fuerza o esfuerzo cuyos efectos se manifiestan a manera de un jalón o un tirón.

**Vulnerabilidad.** Es el grado de probabilidad de pérdida de un determinado elemento o grupo de elementos dentro del área afectada por el deslizamiento. Se expresa en una escala de 0 (ninguna pérdida) a 1 (pérdida total).