



**Universidad de San Carlos de Guatemala**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Maestría en ingeniería Vial**

**ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN Y  
DERRAMAMIENTO DE TALUDES Y SU INFLUENCIA DIRECTA  
EN LA CARRETERA QUE PASA POR EL CERRO LEC KM. 113.5  
MUNICIPIO DE PANAJACHEL, DEPARTAMENTO DE SOLOLÁ Y  
PROPUESTA DE OBRAS DE RETENCIÓN DE TALUD**

**Ing. Civil. Néri Armando Nájera Argueta**

**Asesorado por ing. m.sc. José Haroldo Lémus Nájera**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DEL 2012

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN Y  
DERRAMAMIENTO DE TALUDES Y SU INFLUENCIA DIRECTA  
EN LA CARRETERA QUE PASA POR EL CERRO LEC KM. 113.5  
MUNICIPIO DE PANAJACHEL, DEPARTAMENTO DE SOLOLÁ Y  
PROPUESTA DE OBRAS DE RETENCIÓN DE TALUD**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR**

**ING. CIVIL. NERI ARMANDO NÁJERA ARGUETA**

**ASESORADO POR Ing. M.Sc. JOSÉ HAROLDO LÉMUS NÁJERA**

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
MAESTRO EN INGENIERÍA VIAL**

**GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2012**

# UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



## FACULTAD DE INGENIERÍA NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paíz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Palanco
VOCAL III	Inga. Elvia Mirian Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles.
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## JURADO EXAMINADOR QUE PRACTICÓ EL EXAMEN PRIVADO DE TESIS SEGÚN EL ACTA CORRESPONDIENTE

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
EXAMINADOR	Ing. M.S.c Armando Fuentes Roca
EXAMINADOR	Ing. M.S.c Cesar Augusto Castillos Morales
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN Y DERRAMAMIENTO DE TALUDES Y SU INFLUENCIA DIRECTA EN LA CARRETERA QUE PASA POR EL CERRO LEC KM. 113.5 MUNICIPIO DE PANAJACHEL, DEPARTAMENTO DE SOLOLÁ Y PROPUESTA DE OBRAS DE RETENCIÓN DE TALUD**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de postgrado Ingeniería, con fecha 26 de Julio de 2011.

**Ing. Civil. Neri Armando Nájera Argueta**

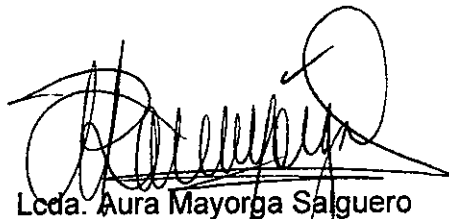
Guatemala, 30 de noviembre de 2012

Doctora  
Mayra Virginia Castillo Montes  
Directora Escuela de Estudios de Posgrado  
Facultad de Ingeniería  
Presente

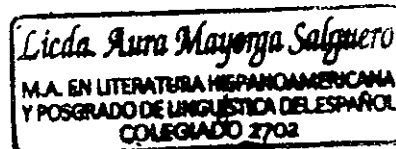
Le saludo muy cordialmente.

El motivo de la presente es para informarle que, en cumplimiento con las normas y estatutos de la Universidad de San Carlos, tuve a bien revisar la ortografía, redacción, estilo y formato del trabajo de graduación del Ingeniero Civil **Neri Armando Nájera Argueta**, de la carrera de **Maestría en Ingeniería Vial**, el cual se titula: **"Análisis de los sistemas de protección y derramamiento de taludes y su influencia directa en la carretera que pasa por el cerro Lec, kilómetro 113.5, municipio de Panajachel, departamento de Sololá y propuesta de obras de retención de talud"**; luego de haber cotejado su contenido hasta quedar conforme, procedo a la aprobación respectiva, expresando que significa un aporte significativo para la comunidad de la ingeniería vial.

Atentamente,



Licda. Aura Mayorga Salguero  
Magíster en Literatura Hispanoamericana  
y Posgrado de Lingüística del Español  
Colegiado 2702

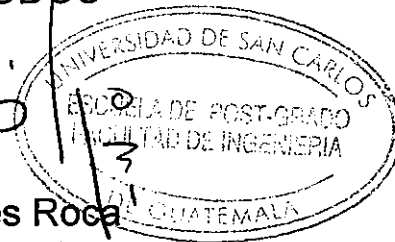




Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios  
De Postgrado

Como Coordinador de la Maestría en Ingeniería Vial, y revisor del trabajo de tesis de graduación titulado **“ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN Y DERRAMAMIENTO DE TALUDES Y SU INFLUENCIA DIRECTA EN LA CARRETERA QUE PASA POR EL CERRO LEC KM. 113.5 MUNICIPIO DE PANAJACHEL, DEPARTAMENTO DE SOLOLÁ Y PROPUESTA DE OBRAS DE RETENCIÓN DE TALUD”**, presentado por el Ingeniero Civil **Neri Armando Nájera Argueta**, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Msc. Armando Fuentes Roca  
Coordinador de Maestría  
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, noviembre de 2012.

Cc: archivo  
/la



Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios  
De Postgrado

Como Revisor de la Maestría en Ingeniería Vial del trabajo de tesis de graduación titulado **ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN Y DERRAMAMIENTO DE TALUDES Y SU INFLUENCIA DIRECTA EN LA CARRETERA QUE PASA POR EL CERRO LEC KM. 113.5 MUNICIPIO DE PANAJACHEL, DEPARTAMENTO DE SOLOLÁ Y PROPUESTA DE OBRAS DE RETENCIÓN DE TALUD.** Presentado por el Ingeniero Civil **Neri Armando Nájera Argueta**, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

*"ID Y ENSEÑAD A TODOS"*

  
Dra. Mayra Virginia Castillo Montes  
Directora  
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, noviembre de 2012.

Cc: archivo  
/la



Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios  
De Postgrado

La Directora de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del trabajo de tesis de graduación titulado **“ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN Y DERRAMAMIENTO DE TALUDES Y SU INFLUENCIA DIRECTA EN LA CARRETERA QUE PASA POR EL CERRO LEC KM. 113.5 MUNICIPIO DE PANAJACHEL, DEPARTAMENTO DE SOLOLÁ Y PROPUESTA DE OBRAS DE RETENCIÓN DE TALUD”** presentado por el Ingeniero Civil **Neri Armando Nájera Argueta**, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

*“ID Y ENSEÑAD A TODOS”*

  
Dra. Mayra Virginia Castillo Montes  
Directora  
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, noviembre de 2012.

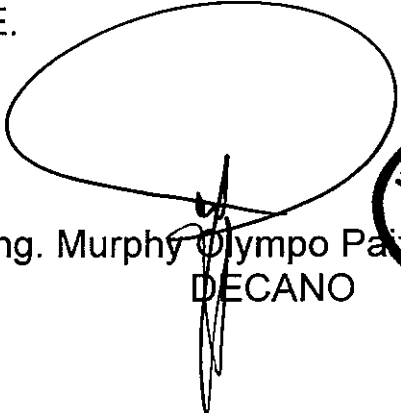
Cc: archivo  
/la






El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al trabajo de graduación de la Maestría en Ingeniería Vial titulado: **“ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN Y DERRAMAMIENTO DE TALUDES Y SU INFLUENCIA DIRECTA EN LA CARRETERA QUE PASA POR EL CERRO LEC KM. 113.5 MUNICIPIO DE PANAJACHEL, DEPARTAMENTO DE SOLOLÁ Y PROPUESTA DE OBRAS DE RETENCIÓN DE TALUD”**, presentado por el Ingeniero Civil **Neri Armando Nájera Argueta**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
DECANO



Guatemala, noviembre de 2012.

## **ACTO QUE DEDICO A:**

**Dios**

**Mis padres**

Eduardo Antonio Nájera (q.e.p.d)  
Fidelia de María Argueta

**Mis hijas**

Andrea y Dulce María

**Mis hermanas**

Erti Marilú, María del Rosario y Rita

**Mis amigos**

Marco Antonio, José Haroldo

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Dios**

Por darme sabiduría, la fuerza y el espíritu de lucha para poder alcanzar mis metas

**Mis hijas**

Por ser el aliciente de mi vida, de caer y volverme a levantar y conseguir el éxito y el triunfo de todo lo que me proponga en esta vida

**Universidad de San Carlos de Guatemala**

Por darme la oportunidad de superarme académicamente

**Facultad de Ingeniería**

**Asesor de tesis**

Por su contribución en la elaboración de este trabajo

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
JUSTIFICACIÓN.....	VIII
OBJETIVOS .....	X
INTRODUCCIÓN.....	XII
1. GENERALIDADES DE LOS TALUDES.....	1
1.1. Talud.....	1
1.2. Elementos que conforman un talud.....	3
1.3. Identificación de posibles riesgos en los taludes .....	5
1.3.1. Las avalanchas .....	5
1.3.2. Los desprendimientos .....	6
1.3.2.1. Tipos de desprendimientos .....	6
1.3.3. Los deslizamientos .....	7
1.3.3.1. Subclasificación de los deslizamientos .....	7
1.3.4. Movimientos de flujo, causa de deslizamiento.....	8
1.3.4.1. Clasificación de los movimientos de flujo .....	8
1.4. Procesos hidrológicos .....	10
1.4.1. Condicionantes de contorno en la dinámica de taludes y laderas .....	12
1.5. Monitoreo de zonas inestables .....	15
1.6. La datación de los movimientos en taludes y laderas .....	20

1.7.	La geotecnia en taludes y laderas.....	22
1.7.1.	Detección de movimientos sísmicos en el terreno .....	24
2.	TIPOS DE SUELOS.....	29
2.1.	Reconocimiento y tipos de suelos .....	29
2.1.1.	Suelo rocoso.....	29
2.1.2.	Suelo arenoso.....	30
2.1.3.	Suelo limoso .....	30
2.1.4.	Suelo arcilloso .....	31
3.	TIPOS DE FALLAS EN TALUDES.....	35
3.1.	Falla por deslizamiento superficial.....	35
3.2.	Deslizamiento sobre superficies de falla preexistente.....	36
3.3.	Falla por movimiento del cuerpo del talud .....	36
3.4.	Flujos .....	37
3.5.	Falla por erosión.....	39
3.6.	Falla por licuefacción.....	40
3.7.	Falla por falta de capacidad de carga en el terreno de cimentación 40	
3.8.	Fallas rotacionales .....	40
3.9.	Falla traslacional .....	42
3.10.	Fallas con superficies compuestas .....	42
4.	MEDIDAS DE PROTECCIÓN DE TALUDES.....	45
4.1.	Concreto lanzado .....	45
4.2.	Uso de mallas de acero.....	46
4.2.1.	Especificaciones técnicas.....	47

4.3.	Uso de vegetación .....	49
4.3.1.	Instalación .....	50
4.4.	Uso de geotextiles y geosintéticos .....	50
4.5.	Obras de drenaje superficial .....	52
4.5.1.	Cunetas .....	53
4.5.2.	Contracunetas .....	56
4.5.3.	Bordillos .....	57
4.5.4.	Lavaderos .....	57
4.5.5.	Alcantarillas .....	59
4.6.	Otros métodos para mejorar estabilidad de taludes .....	60
4.6.1.	Tender taludes .....	60
4.6.2.	Empleo de bermas laterales o frontales .....	61
4.6.3.	Empleo de materiales ligeros .....	62
4.6.4.	Consolidación previa de suelos comprensibles .....	62
5.	ESTRUCTURAS DE RETENCIÓN DE TALUDES.....	63
5.1.	Estructuras de gaviones .....	63
5.2.	Diseño de los muros de retención .....	65
5.3.	Cálculo del empuje .....	65
5.4.	Muros secos .....	66
5.5.	Muros criba .....	67
5.6.	Muros de concreto ciclópeo .....	68
5.6.1.	Colocación del hormigón.....	68
5.6.2.	Huecos de drenaje y de filtración .....	69
5.6.3.	Curado del hormigón .....	69

6.	MANTENIMIENTO DE LOS TALUDES.....	71
7.	PROPUESTA PARA OBRAS DE PROTECCIÓN Y RETENCIÓN DE DERRAMAMIENTO DE TALUD DEL CERRO LEC .....	87
7.1.	Construcción de las obras .....	89
7.1.1.	Remoción de materiales y corte de talud para reducir sobrecarga en el cerro .....	89
7.1.2.	Construcción de 3 muros transversales tipo bordillo en planicie del cerro.....	93
7.1.3.	Construcción de disipadores de energía en cascada del.....	95
	talud	95
7.1.4.	Construcción de muro de gaviones, de concreto ciclópeo y bermas al pie del talud .....	95
7.1.4.1.	Diseño del muro de gaviones .....	98
7.1.4.2.	Diseño del muro de concreto ciclópeo .....	103
7.1.4.3.	Construcción de bermas.....	109
7.2.	Construcción de bóveda.....	110
	CONCLUSIONES .....	113
	RECOMENDACIONES .....	115
	BIBLIOGRAFÍA .....	117
	ANEXOS .....	118

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1. Talud cerro Lec	1
2. Cascada o derramadero del cerro	2
3. Partes de un talud	4
4. Derrumbes debido al movimiento en talud del cerro Lec	22
5. Protección utilizando concreto lanzado y electromalla	45
6. Malla galvanizada de gavión y metálica	47
7. Malla galvanizada	48
8. Malla metálica de seguridad	48
9. Mallas de acero	49
10. Construcción de lavaderos y disipadores	58
11. Construcción de lavaderos	58
12. Construcción de muro seco	67
13. Modelos de muro criba	67
14. Construcción de caja utilizando concreto ciclópeo	70
15. Mapa de ubicación del cerro Lec	88
16. Sobrecargas o material acumulado	91
17. Material acumulado proveniente de derrumbes	92
18. Sedimentos (procedente de montaña) que corren por un desnivel en la parte superior del cerro	93
19. Construcción de muros en el desnivel de la parte superior del cerro	94
20. Construcción de disipadores de energía en cascada (parte crítica del talud)	95



21. Muros propuestos carretera (RN 1)	96
22. Extracción de muestras para determinar tipo de suelo y pruebas de corte directo en el laboratorio	97
23. Utilización de parafina a efecto de lograr una muestra inalterada	97
24. Diseño de muro	98
25. Dimensionamiento de gavión	100
26. Punto de excentricidad	101
27. Medidas del muro	105
28. Detalle de muro de concreto ciclópeo propuesto para el pie de talud del cerro Lec	107
29. Diseño de muro ciclópeo	108
30. Construcción de bermas	109
31. Detalle de bermas	110
32. Propuesta de bóveda	111

## **TABLAS**

I. Ficha de datos básicos	15
II. Ficha de datos técnicos	16
III. Ficha de factores desencadenantes	17
IV. Ficha de factores condicionantes	17
V. Estado de conservación y rasgos presentes sobre el depósito	18
VI. Geometría y forma de la ladera o talud	18
VII. Condiciones hidrológicas	19
VIII. Uso del suelo	19

IX.	velocidad, para diferentes materiales utilizados en la construcción de cunetas	55
X.	Control de la erosión en la superficie	73
XI.	Sellado de grietas en la superficie	74
XII.	Control de la vegetación que causa daño en la superficie	75
XIII.	Reparación en coberturas rígidas	76
XIV.	Sellado de grietas en la corona	77
XV.	Control de la erosión en la corona	78
XVI.	Control de la infiltración de agua en la corona	79
XVII.	Sellado de grietas en la pata	80
XVIII.	Control de la socavación en la pata	81
XIX.	Reparación de agrietamientos en zanjas o canales de drenaje	82
XX.	Capacidad hidráulica en zanjas y canales de drenaje	83
XXI.	Tratamiento de superficie del cuerpo de estructuras de contención	84 85
XXII.	Reparación por daño causado por impacto en estructuras de concreto	86 87
XXIII.	Determinación del peso y momento del muro	105

## **JUSTIFICACIÓN**

Debido a los constantes movimientos del cerro Lec, se hace necesario contar con soluciones para prevenir y evitar los grandes riesgos que tienen la carretera y los habitantes de Sololá y turistas que visitan el lago de Panajachel. A esta situación hay que adicionarle que las lluvias típicas del invierno trasladan material de arrastre del cerro, provocando derrumbes que cubren totalmente la sección de la carretera, provocando interrupción del paso de vehículos y es claro que con estas condiciones se pierde tiempo y dinero, ya que es necesario remover dichos derrumbes para normalizar la circulación vehicular.

Igual situación se genera cuando el cerro tiene movimientos por efectos geológicos o de afectación de un fenómeno sísmico.



# OBJETIVOS

## Generales

1. Analizar los diferentes tipos de fallas en el talud del cerro Lec, con el fin de construir las obras de protección, apropiadas para mitigar los riesgos tanto en la carretera aledaña, como para las personas que transitan por el área.
2. Analizar las diferentes obras de protección y retención descritas en este Trabajo con el fin de aplicarlas para estabilizar el talud del cerro lec.

## Específicos

1. Identificar las actividades correspondientes al mantenimiento de taludes para reducir los riesgos en la carretera
2. Describir las fichas a aplicar en el mantenimiento de taludes para que el personal que evalúa en el campo las utilice.
3. Describir las fichas correspondientes al monitoreo del cerro Lec para que el personal técnico que evalúa en campo las utilice y pueda contar con una base en la toma de decisiones, con el fin de orientar a la población de los posibles riesgos.



## INTRODUCCIÓN

Los problemas de inestabilidad de taludes en el área del cerro Lec, se han intensificado a consecuencia de la falta de apoyo estatal y municipal, para buscar una solución definitiva al problema, son sin lugar a duda determinantes para el tránsito por la carretera y esa es la razón por la cual se hacen las propuestas de los trabajos a realizar en dicha área.

En cuanto a la construcción de obras de protección en la época de invierno trae como consecuencia muchos riesgos que hay que tomar en cuenta, por ejemplo derrumbes y deslizamientos en la carretera que comunica a los diferentes pueblos del lago de Panajachel y en consecuencia, causa un efecto directo en lo que se refiere a economía y turismo.

En el siguiente trabajo de graduación se mencionará una de las posibles soluciones ya que el problema en el cerro es muy complejo por los siguientes motivos: está en un área geológica de fallas, área montañosa y con precipitaciones muy altas. De acuerdo con las visitas efectuadas al cerro Lec y toma de muestras del suelo que conforman los taludes, se propone una de las soluciones, realizando obras necesarias de las que conforman los sistemas de protección de taludes.

En los primeros capítulos, se describirán algunas características de fallas y taludes más comunes, concluyendo con la formulación de una propuesta de obras de protección en el cerro Lec.

# 1. GENERALIDADES DE LOS TALUDES

## 1.1. Talud

Se define el talud como una superficie plana inclinada. Aplicado a ingeniería civil se dice que talud es la pendiente de un muro, que cumple las funciones de resistir la presión de la tierra acumulada, debido a la erosión al pie de un acantilado. Hablar de las planicies inclinadas y de las formas de un talud es hablar de su morfología, así en el caso del cerro Lec se ve que el tipo de talud que muestra es una superficie muy escarpada y erosionable. Se presentan acumulaciones de fragmentos de roca al pie del acantilado.

Existe también el talud continental de los océanos, es una parte de la morfología submarina ubicada entre los 200 y 4000 metros bajo el nivel del mar. Esta zona tiene un fuerte relieve o declive en la que se encuentran profundos valles, grandes montañas y gigantescos cañones submarinos.

Figura 1: Talud cerro Lec



Fuente: elaboración propia .



Los taludes se clasifican de la manera siguiente:

- Naturales: Estos corresponden a las laderas como en el caso del Cerro Lec en donde en una buena parte continúan los derrumbes a consecuencia del agua de manantiales y del agua pluvial.

Figura 2: **Cascada o derramadero del cerro**



Fuente: elaboración propia.

- **Artificiales:** Son aquellos formados a través de la mano del hombre, es así como se habla de cortes y terraplenes; es importante la forma en que se construyen y para eso ha de tomarse en cuenta el tipo de suelo; como la construcción de taludes depende del tipo de suelo encontrado entonces se tiene: talud 1:1, para cortes y hasta de tres metros de altura, talud 1/2:1, para taludes mayores de tres metros y 1/3:1 en materiales rocosos.

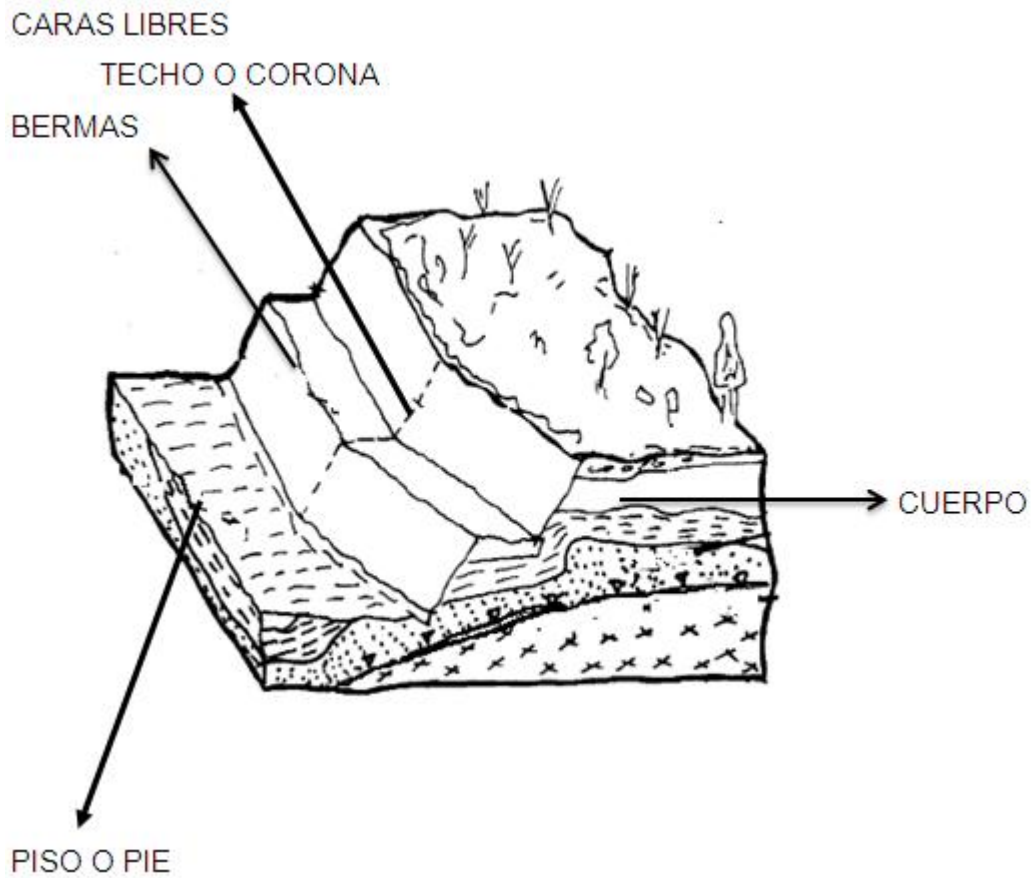
## **1.2. Elementos que conforman un talud**

Las partes que conforman un talud son las siguientes:

- **Techo:** parte superior (parte más alta de la ladera con sus características).
- **Piso:** se llama así a la parte inferior o base de un talud. Puede darse el caso en que el piso sea formación original de la ladera o parte del corte de terreno a, través de las intervenciones de las máquinas excavadoras de acuerdo con el diseño respectivo.
- **Cara libre:** Se le llama así a una o varias, áreas o superficies inclinadas del talud. Así se dice que una cara libre será, cada superficie inclinada que se pueda identificar con rumbo, altura y longitud independiente.
- **Cuerpo:** es la masa total que constituye el talud. En su interior se pueden presentar más de un tipo de suelo, discontinuidades estructurales, saturación total del cuerpo del talud, entre otros.

- Bermas: son niveles horizontales o terrazas que fraccionan las caras libres. Las bermas pueden o no existir en los taludes y son casi exclusivamente, parte de diseños de obras civiles, en caso de existir naturalmente podría ser por erosión.

Figura 3. Partes del talud



Fuente: elaboración propia.

### **1.3. Identificación de posibles riesgos en los taludes**

En los taludes artificiales y laderas naturales, se presentan procesos que suelen tener diversas causas. Es decir que es necesario estudiar las causas y mecanismos que nos dicen el porqué de las estabilidades e inestabilidades de las vertientes (taludes y laderas), por lo que es importante explicar los riesgos naturales, que se deberían tener en cuenta en dichas zonas.

De acuerdo con el análisis, es necesario contar con los conceptos de: Avalanchas, desprendimientos, deslizamientos y movimientos de flujo. Entre las situaciones que describen los anteriores conceptos, puede darse toda una gama de circunstancias mixtas.

#### **1.3.1. Las avalanchas**

Son movimientos típicos en zonas como Alaska, Estados Unidos de América y Europa donde los movimientos se dan repentinamente, a ras del suelo, forman grandes potencias sobre laderas relativamente escarpadas, y alcanzan pendientes de hiperestabilidad.

Existen pequeñas perturbaciones físicas tales como: sismos, vibraciones en general que producirán desplazamiento de los materiales acumulados, a favor de la gravedad, para que puedan desarrollarse nuevas topografías, con unas pendientes tendentes al equilibrio. En ocasiones, la propia avalancha puede transportar más materiales de los necesarios, para obtener perfiles de equilibrio.

Como resultado, aparecen laderas con pendientes temporales, en hipoequilibrio, en los sectores de cabecera.

### **1.3.2. Los desprendimientos**

Es un proceso extremadamente rápido, define a los movimientos de porciones de terreno, rocoso o no, en forma de bloques aislados, o masivamente, siempre que, en una gran parte de sus trayectorias, desciendan por el aire en caída libre, volviendo a entrar en contacto con la topografía, donde se producirán saltos, rebotes y rodaduras.

En los relieves empinados son frecuentes los desprendimientos distensivos, por falta de apoyo lateral. Se trata de desprendimientos relacionados con previas fracturas de distensión. Geomorfológicamente, las grietas de distensión, relativamente abiertas, pero antes del desprendimiento, las grietas de distensión relativamente abiertas, pero antes del desprendimiento, pueden recibir distintas denominaciones; se le conoce como agujeritos. En este escenario, se llaman ataúdes a ciertas cicatrices que dejan los desprendimientos que presentan peculiares características geométricas.

Los bloques que se desprenden describen vuelcos cuando, en las caídas libres, rotan hacia el exterior, alrededor de ejes situados por debajo del centro de gravedad de la masa en movimiento. Si se tiene desprendimientos muy frecuentes, estos buscarán por efectos de la misma gravedad la parte baja al pie del talud, formando grandes acumulaciones.

#### **1.3.2.1. Tipos de desprendimientos**

- Por gelifracción (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 grietas).

- Por reblandecimiento del pie y
- Por descalce (por erosión de un material blando del pie, por socavación lateral y por deslizamientos basales).

### **1.3.3. Los deslizamientos**

Se definen como desplazamiento de masas de terreno, en estado sólido, por efecto de la gravedad y a favor de niveles de despegue. La masa se desplaza rígidamente, y aunque puede llegar a fragmentarse, se considera que lo hace como un bloque único.

Los niveles de despegues están determinados por capas ricas en arcillas, que actúan como lubricantes cuando aumentan su plasticidad. La pérdida de rigidez sería una consecuencia de la absorción de agua por las arcillas. El agua puede proceder, normalmente, de infiltraciones provenientes de capas superiores más permeables. No se deben descartar aportes de agua por procesos de capilaridad. Otros niveles de despegue pueden estar formados por fracturas. A lo largo y ancho de la masa desplazada, es posible que se originen grietas y movimientos de asentamiento.

#### **1.3.3.1. Subclasificación de los deslizamientos**

- Traslacionales, o rotacionales, de acuerdo con la superficie de despegue ya sea esta, plana o cóncava, respectivamente. En los deslizamientos por rotación, el giro se efectúa conforme a un eje paralelo a la fachada. En tales casos, los frentes de avance y/o las terrazas de asentamiento, podrían quedar, incluso, a contra-pendiente.

- Estructuralmente, los deslizamientos se diferencian en: Cohesivos(o coherentes), e incoherentes. En los deslizamientos cohesivos, la masa desplazada mantiene su estructura original, mientras que en los incoherentes, se adquiere una perturbación.

El inicio de un deslizamiento se produce en el momento en que el esfuerzo de cizalla supera al valor de rozamiento interno del material, en una superficie de despegue.

#### **1.3.4. Movimientos de flujo, causa de deslizamiento**

Consisten en “coladas” de materiales: que se desplazan a favor de la gravedad, de forma continua, donde las partículas se pueden desplazar a distintas velocidades, según trayectorias que no tienen que ser, necesariamente, paralelas, con régimen laminar, sin descartar excepcionales situaciones de turbulencia, y que determinan, a menudo, superficies topográficas lobuladas, a consecuencia de todo lo anterior.

Los materiales susceptibles a formar “coladas” suelen tener proporciones significativas de limos y arcillas. Muchas coladas presentan niveles inferiores de despegue. En este caso se estaría en una situación mixta entre movimientos de flujo y desplazamientos.

##### **1.3.4.1. Clasificación de los movimientos de flujo**

Los movimientos de flujo se pueden clasificar en:

- Solifluxión es un movimiento, relativamente rápido, donde se toma en cuenta la presión del agua 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. La reptación define a movimientos superficiales, extremadamente ralentizados, y prácticamente imperceptibles, salvo después de largos períodos de medida. Estos movimientos suelen ocurrir en unos materiales ricos en arcillas que, con una cierta periodicidad, se embeben de agua.
- Ralentización puede verse favorecida por una intervención estructural del sustrato (por ejemplo, estratos a contra-pendiente).

Los slumping consisten en ondulaciones, que se producen en las capas de materiales que se desplazan, por procesos de solifluxión-reptación.

Los desprendimientos, deslizamientos y movimientos de flujo inciden, a gran escala, sobre la estabilidad de grandes volúmenes de roca, o de tierras. Suelen desencadenar desplazamientos de grandes magnitudes de masas y provocar efectos catastróficos.



#### **1.4. Procesos hidrológicos**

Cuando se produce una lluvia, parte del agua caída es absorbida por la vegetación, otra se infiltra en el terreno y otra rellena las irregularidades que se encuentran en el terreno, pequeños huecos que puedan existir.

Si el agua retenida no se evapora y se produce una aportación continuada, se produce una saturación de la tierra y el agua empieza a fluir hacia zonas más bajas, dando lugar a encharcamientos y erosionando la ladera conforme el agua cae, llamándose a esto escorrentía.

El daño producido por la escorrentía dependerá del tipo de material, de la pendiente, y de la intensidad de las precipitaciones.

Según la importancia del fenómeno se pueden distinguir:

- Escorrentía pura: es una lámina de agua cuyo espesor aumenta corriente abajo. En un primer tramo se produce una fuerte erosión, mientras que en su fase final se produce un asentamiento de materiales o sedimentación.
- Escorrentía por exceso de saturación: una vez superado el límite de almacenamiento, hay una especie de segregación de las aguas dando lugar a movimientos oblicuos de las mismas, corriendo finalmente por la línea de máxima pendiente.

Los procesos que se mencionaron anteriormente se producen cuando la superficie es lisa, situación que se da normalmente en los taludes, pero en zonas donde existen irregularidades, el agua tiende a juntarse formando canales que aparecen después de las precipitaciones pero que dejan su huella de forma perenne. Las dos formas principales son:

- Acanaladuras: es la típica hendidura fina que aparece en las laderas que sigue la dirección máxima pendiente y suelen ser paralelas las unas con las otras.
- Cordones o lazos: son similares a lo anterior, pero en este caso algún tipo de obstáculo, como una piedra, hace que el agua se desvíe dando lugar hilos de flujo entrelazados.

En relación con los fenómenos hielo – deshielo, puede decirse que las heladas producen tensiones en los materiales debido a la solidificación del agua y a los efectos de contracción - dilatación. La solidificación del agua afecta principalmente cuando el agua en estado líquido, que al introducirse en grietas o hendiduras que puedan existir en los materiales que forman el talud, se solidifica, se convierte en hielo y por tanto aumenta su volumen; lo que produce un efecto palanca, dando lugar a rupturas denominadas gelifración o crioclastia.

Los fenómenos de dilatación - contracción son debidos a los cambios de temperatura fuertes en poco tiempo, dando lugar a agrietamientos que posteriormente se desarrollan en fracturas, debido al cambio de volumen y de hidratación que sufre la roca.

### **1.4.1. Condicionantes de contorno en la dinámica de taludes y laderas**

La condición básica de contorno básica, en los desprendimientos, es la presencia de frentes rocosos escarpados, como son los taludes. Otros condicionantes serán: Presencia de discontinuidades (fracturas y fallas de asentamiento, por ejemplo), que faciliten el aislamiento de bloques, degradación de la resistencia de la roca, por meteorización y acción de los fenómenos de erosión hídrica superficial.

En general, y para el conjunto de la dinámica de taludes y laderas, los condicionantes de contorno son:

- La pendiente topográfica juega un papel decisivo en tanto que condiciona al valor de la aceleración de la gravedad. Las pendientes críticas de equilibrio serán específicas de cada material y de sus características intrínsecas. Pero, además, para un mismo material con unas características dadas, dependerán de las restantes condiciones de contorno que les afecten.
- La potencia del terreno susceptible al movimiento. Por mucho que se den las condiciones favorables para el movimiento del terreno, si no hay una masa significativa, los desplazamientos carecerían de importancia o no se darían. De aquí que la potencia (espesor de los materiales) constituya un condicionante de contorno.
- La fisuración rompe la continuidad del material, con lo que se obtienen elementos “libres” para el desplazamiento. En determinadas situaciones, el resultado puede ser diferente en función del material que pueda rellenar las fisuras. Si un material arcilloso rellena fisuras a favor de la superficie topográfica, y si el resto de los condicionantes son favorables,

se crearían niveles de despegue, con todas sus consecuencias. En tanto que si las fisuras se rellenan de material de precipitación que cemento, se contrarrestan los procesos tendentes a movimientos de terreno.

- En terrenos susceptibles a moverse, los niveles de despegue están constituidos, normalmente, por capas de materiales arcillosos. Estos niveles aumentarán el carácter de lubricante cuando se impregnen de agua. La meteorización podría constituir un mecanismo que proporciona suficientes materiales arcillosos, para originar estos niveles de despegue. En algunas ocasiones, el papel lubricante de los niveles de arcillas lo desempeñan capas gratificas, sobre todo, en algunos relieves metamórficos.
- La disponibilidad de agua va a intervenir en la formación de arroyadas y en infiltraciones. La arroyada colabora con el movimiento de arrastre superficial, en tanto que la infiltración participa en el aumento de la plasticidad del terreno, y en el incremento del carácter lubricante de los niveles de despegue. Al analizar los deslizamientos, el agua actúa así: primero incrementa el peso de la masa potencialmente deslizante, y segundo se da una disminución en el coeficiente de rozamiento interno, en la superficie de despegue. Por esta razón, los deslizamientos, y los movimientos en general, toman mayor relevancia y frecuencia durante las épocas de lluvia.
- La vegetación tiene dos funciones: una es la de disminuir la rapidez del agua en cuanto que atrapa y fija las partículas del suelo, y por otra, facilita el movimiento al permitir una mejor infiltración del agua.

En relación con la vegetación, y en dependencia con el control de los procesos y efectos de los movimientos en taludes y laderas, se deben destacar las especies que facilitan, por las características de sus raíces, el atrapamiento y fijación de las partículas y la infiltración del agua. No solamente basta que las

raíces sean o no apropiadas para unos procesos y efectos determinados, sino que intervengan en una densidad adecuada, y esto lo determina la abundancia de las comunidades en cuestión. Hay que tomar en cuenta que la vegetación puede dar lugar a una lluvia “horizontal). En tal caso, habría un mayor potencial del efecto del agua, que se infiltraría por las raíces o mediante una fisuración, con sus posibles efectos en la dinámica del terreno.

- Las vibraciones bruscas de arranque se pueden deber a: La caída de un gran bloque rocoso, la actividad volcánica, o a una tectónica activa, con terremotos asociados. La confluencia de condicionantes de contorno no suele propiciar repercusiones en proporciones aritméticas, sino geométricas. Por otra parte, no se debe perder de vista la teoría matemática del caos, en cuanto que una ligera intervención de uno de los condicionantes puede producir un efecto de grandes magnitudes, si el sistema (aquí el terreno) se encontraba en alta meta-estabilidad, por acumulaciones de dosis sucesivas de los diferentes condicionantes de contorno descritos o por describir.

Los desprendimientos serían la respuesta a una convergencia de factores favorables tales como: presencia de potentes masas de bloques, pendientes muy abruptas, como soportes de las masas de bloques que rebasaran el perfil de equilibrio, respecto del movimiento de estos, agentes que provocarían el movimiento repentino de los bloques, etc.

El inicio de los movimientos de los bloques está motivado por sacudidas sísmicas, determinadas por puntuales fallas de asentamiento.

Los pequeños afloramientos se habrían desarrollado por procesos de “simpatía”, en rocas que permiten, fácilmente, la formación y el desprendimiento de bloques de grandes dimensiones.

### 1.5. Monitoreo de zonas inestables

Para efectos de control en áreas inestables, es necesario llevar algunas fichas que se describen a continuación.

Tabla I. **Ficha de datos básicos**

a) Datos de Registro:			
No. de registro:_____	Fecha:_____	Nombre técnico:_____	
Institución:_____			
b) Localización del movimiento:			
Sitio:_____	Localidad:_____	Municipio:_____	Departamento:_____
Longitud (geográfica):_____		Latitud (geográfica):_____	
Nombre y cuadrante de la hoja topográfica:_____			
Escala:_____	Observaciones:_____		

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. **Ficha de datos técnicos**

<b>a) Característica del movimiento de ladera, tipo de movimiento y subtipo</b>		
Deslizamiento:_____	Flujo:_____	Desprendimiento:_____
Rotacional:_____	Detritos:_____	Caída aislada:_____
Simple:_____	Lodo:_____	Caída de bloques:_____
Múltiple:_____	Lahar:_____	Derrumbe de roca:_____
Traslacional o planar:___	No determinado:_____	Complejo:_____
<b>b) Otros tipos</b>		
Vuelco:_____	Avalancha:_____	Desconocido:_____
Extursión lateral:_____	Reptación:_____	Complejo:_____
Hundimiento:_____	Movimiento localizado:___	Histórico:_____
Edad del movimiento:___	Reciente:_____	Histórico:_____
<b>c) Grado de actividad</b>		
Activo:_____	Poco activo:_____	Nulo:_____

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Ficha de factores desencadenantes**

Precipitación intensa:_____	Precipitación prolongada (horas, días, cantidad en mm):_____
Erosión o socavamiento en la base de la ladera:___	Movimientos sísmicos:_____
Actividad volcánica:_____	Nombre de tormenta:_____
Actividad biológica (vegetación y organismos subterráneos):_____	
Actividad antrópica (rellenos, práctica agrícola):___	Cambios en la geometría de ladera:_____
Sobrecargas en la ladera:_____	Otros:_____
Observaciones:_____	

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Ficha de factores condicionantes**

Materiales blandos, meteorizados o alterados:_____		Alterancia de materiales variables:_____		
Contacto de materiales permeables e impermeables:_____		Estructuras desfavorables:_____		
Presencia de litologías plásticas (arcillas, margas):_____				
Características morfológicas y geológicas del área inestable:_____				
Materiales afectados por el movimiento de ladera:_____				
Roca:_____	Suelo:_____	Relleno:_____	Tipo:_____	Espesor:_____
Estratificación:_____	Dirección y buzamiento:_____		Otras discontinuidades:_____	
<b>Condiciones del suelo o roca</b>				
<b>Grado de fracturación</b>				
Alto:_____	Medio:_____	Bajo:_____		
<b>Meteorización</b>				
Alto:_____	Medio:_____	Bajo:_____		
<b>Humedad</b>				
Seco:_____	Semisaturado:_____	Saturado:_____		

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Estado de conservación y rasgos presentes sobre el depósito**

<b>Presencia de vegetación en la cicatriz:_____</b>				
Desnuda:_____	Semivegetada:_____	Herbácea:_____	Arbustos:_____	Agrícola:_____
<b>Cobertura</b>				
>75%:_____	40-75%:_____	<40%:_____		
<b>Corona</b>				
Conservada:_____	Erosionada:_____	Reforestada:_____		
<b>Depósito</b>				
Sin erosión:_____	Con erosión:_____	Estructura incoherente:_____		
<b>Rasgos observables</b>				
Escarpes frescos:_____	Escarpes degradados:_____	Escarpes múltiples:_____	Escarpes sencillos:_____	
Escalones visibles:_____	Superficie del depósito irregular:_____			
Escalones:_____	Superficie del depósito irregular:_____	Grietas laterales abiertas:_____		
Signos de reptación:_____	Coronas menores:_____	Afectado por otro movimiento:_____		

Fuente: elaboración propia.



Tabla VI. **Geometría y forma de la ladera o talud**

<b>Forma de la ladera</b>				
Cóncava:_____	Convexa:_____	Plana:_____	Natural:_____	Inducida:_____
Altura (centro de la rotura):_____	Cota cabecera:_____	Cota pie:_____		
Desnivel máximo de ladera:_____	Ángulo de la ladera con rotura:_____	Pendiente de ladera:_____		
<b>Ubicación de la rotura en la ladera</b>				
Cabecera:_____	Parte intermedia:_____	Pie:_____	Desconocida:_____	
<b>Descripción y situación de grietas de tracción</b>				
Orientación:_____	Apertura:_____	Longitud:_____	Profundidad:_____	
<b>Dimensiones</b>				
Longitud (m):_____	Ancho (m):_____	Profundidad (m):_____	Longitud total (m):_____	
Longitud de la línea central (m):__	Superficie (m <sup>2</sup> ):_____	Volumen (m <sup>3</sup> ):_____		

Fuente: elaboración propia

Tabla VII. **Condiciones hidrológicas**

Fuentes o manantiales en la ladera o talud:	Sí:_____	No:_____
Desaparición de fuentes o manantiales:	Sí:_____	No:_____
Existencia de pozos de agua próximos:	Sí:_____	No:_____
Coordenadas UTM:_____		
<b>Comportamiento hidrológico de los manantiales</b>		
Permeable:_____	Semipermeable:_____	Impermeable:_____
<b>Condiciones de drenaje</b>		
Existencia de arroyos en la ladera:_____	Existencia de zonas encharcadas en la ladera (ubicación):_____	
<b>Caracterización del fenómeno</b>		
Fecha del último movimiento:_____	Hora del movimiento:_____	Fecha de movimiento anterior:_____

Fuente: elaboración propia

Tabla VIII. **Uso del suelo**

Urbano edificado:_____	Urbano no edificado:_____	Forestal:_____	
Industria:_____	Cultivos:_____	Malezas:_____	
Pasto natural:_____	Pasto mejorado:_____	Natural:_____	
<b>Confrontación de uso</b>			
Adecuado:_____	Subutilizado:_____	Sobreutilizado:_____	
<b>Velocidad del movimiento</b>			
Alta:_____	Media:_____	Baja:_____	No determinado:_____
<b>Evaluación de <u>daño</u></b>			
No. de víctimas:_____	No. de heridos:_____	No. de muertos:_____	No. de viviendas afectadas:_____
<b>Daños a infraestructura transporte y comunidades</b>			
Carreteras:_____	Caminos:_____	Antenas:_____	Cauces:_____ Otros:_____

Fuente: elaboración propia

Las anteriores fichas llevarán como: esquemas de situación, planta y corte de los deslizamientos y fotografías.

Para la obtención de datos meteorológicos, principalmente de precipitaciones, para sus análisis y correlaciones con los episodios de movimientos de taludes y laderas, se ha de recurrir a estaciones meteorológicas locales, las más cercanas posibles a la zona de estudio.

En el supuesto de que las estaciones estén distantes, se harán las correspondientes extrapolaciones, tras las oportunas correlaciones de tomas de datos. En cualquier caso, se deberán considerar series temporales significativas de datos. En el caso de la Meteorología, una serie abarcará, como mínimo, unos siete años de toma continua de datos.

Las cartografías morfodinámicas y los sistemas de información geográfica recogerán, entre otras cosas, los distintos comportamientos dinámicos inventariados, con sus identificaciones y descripciones. De esta manera, se dispondría de una herramienta muy válida, para la sectorización de usos en un territorio, que abarcará vertientes. Se podrán predecir distintos grados de riesgos, en función de diferentes usos.

Desde la representación de la información de inestabilidades reales y potenciales, en mapas, se obtienen índices de inestabilidad, que necesariamente estarán en dependencia con descriptores e indicadores de vulnerabilidad, en este caso en relación con taludes y laderas. Estos índices se tendrán que tener presentes en los usos del territorio.

### **1.6. La datación de los movimientos en taludes y laderas**

En principio, la datación de los movimientos de taludes y de laderas es un problema difícil. Los deslizamientos, en tiempos geológicos, se datan muchas veces por la edad de los materiales situados por debajo y por encima. La cicatriz de despegue que deja el movimiento cuando se produce, si el movimiento es rápido, y si acontece más de uno, cuando estén lo suficientemente separados en el tiempo.

Los troncos de los árboles afectados por el movimiento, adquirirán una inclinación, mientras que los no afectados mantendrán la verticalidad. El límite entre estos dos tipos de troncos marcará la cicatriz de despegue. Después del movimiento, los árboles desplazados presentarán dos tramos en sus troncos, el existente previo al desplazamiento, que mantendrá la inclinación, y el de crecimiento posterior, que recuperará la verticalidad. La metodología de datación consistirá en restar a la edad que resulta del estudio de los anillos del

tronco (dendrocronología), la edad que otorguen los anillos de una rama que esté inmediatamente por encima de la zona de inflexión del tronco.

En el caso de que sea un movimiento único y rápido, dirá cuándo ocurrió este. Si se trata de un movimiento muy lento, que llegue hasta la actualidad, traducirá el momento en que se inició.

Los árboles indeformados, que crezcan sobre el material movilizado, darán una edad mínima del movimiento. También se puede determinar esta edad mínima con el análisis de turberas, que se desarrollan en encharcamientos dependientes con ondulaciones del terreno, y siempre que sean debidas a los desplazamientos, o a la rotación de la cabecera del deslizamiento.

Para las dataciones de los elementos fosilizados (suelos, arbustos y árboles, entre otros), por los materiales desplazados, o contenidos en estos, si los eventos han tenido lugar dentro de un determinado rango de tiempo, que permita la aplicación del método.

Respecto de la recopilación de la información histórica, sobre los movimientos antiguos ocurridos en una zona, a veces se detecta la falta generalizada de documentación, a pesar de la gran cantidad de posibles fuentes a revisar. Se puede encontrar información en los organismos de investigación en el ámbito nacional, en las hemerotecas, en los archivos parroquiales y municipales de las localidades afectadas, etc. Normalmente, la información histórica disponible resulta pobre, en cuanto a los datos técnicos sobre los movimientos, a no ser que hayan provocados casos de sucesos graves.

Figura 4. **Derrumbes debido a movimiento en talud del cerro Lec**



Fuente: <http://www.google.com.gt/imgres?q=fotografias+del+cerro+lec+%2B+conred&>  
Visitada el día 08 de julio de 2011.

### **1.7. La geotecnia en taludes y laderas**

Un estudio de Geotecnia pretende conocer las condiciones de partida de un terreno, antes de soportar proyecto de Ingeniería, y proponer soluciones técnicas (obras complementarias), que puedan atenuar o anular los riesgos, entre ellos los de inestabilidades, derivados de impactos producidos por otras obras.

Para cada caso puede haber soluciones aceptables o, en última instancia, se optaría por abandonar el proyecto, si este no es viable, a la vista de los estudios de Geotecnia.

En un estudio de Geotecnia, se tienen que abordar, entre otras cosas: las propiedades y los ensayos de suelos y rocas, los análisis específicas de litologías inestables, la auscultación de taludes y laderas inestables, la

identificación y descripción de superficies potenciales de despegue, las identificaciones y cuantificaciones de arcillas sensibles a los cambios de humedad, las estimaciones de almacenamientos anómalos de agua, por una obra determinada, la medición de la estabilidad de taludes, y la aplicación de métodos generales, en la determinación de equilibrios libres.

Con todo, se podría reseñar que en la Ingeniería Civil, toma especial interés, dentro de un contexto de inestabilidades; las técnicas más usuales, en la estabilización de terrenos, o en la mitigación de sus movimientos, se basan en la utilización de: anclajes especiales, que traten de aumentar el rozamiento interno del terreno, pilotes pasivos, sustentaciones de base (empalizadas de madera o muros de cemento), pantallas, o fachadas, de cemento, en toda la superficie de los frentes rocosos, recubrimientos con repoblación vegetal, o con mallas, y drenajes, que mantengan el nivel de humedad lo más bajo posible. Los pilotes pasivos consisten en la introducción de estructuras rígidas en el terreno, con el fin: de aumentar sus características de resistencia, y de disminuir sus deformaciones.

Los pilotes soportan unos esfuerzos, inducidos por el talud, o ladera. Tales esfuerzos, se clasifican en: axiales: a lo largo de los fustes; cortantes: esfuerzos de flujo, entre pilotes, pero sin rebasar el anterior límite de rotura. Y dependen, fundamentalmente: de las características del terreno, sobre todo de sus parámetros de resistencia, de las situaciones de los pilotes en el terreno, de las inclinaciones de los pilotes y de las distancias de separación entre los pilotes.

### **1.7.1. Detección de movimientos sísmicos en el terreno**

Se puede extrapolar, con las debidas modificaciones, una metodología sísmica. Con una detección precoz de movimientos de terreno, se podrían tomar medidas preventivas, de manera que pueda evitarse pérdidas en vidas humanas; asimismo, se pueden amortiguar los efectos catastróficos en bienes.

En principio, la interpretación de las señales sísmicas, desde una toma automática de señales, permite la caracterización de los movimientos del terreno; el análisis de datos consiste en una correlación de los registros de las señales, de los movimientos del terreno con los datos de las condiciones de contorno, a fin de eliminar las señales procedentes de otros fenómenos.

La discriminación, entre las señales, y la eliminación de los ruidos de fondo, se obtendrán gracias a los diferentes métodos de análisis temporal y espectral.

El análisis de las ondas S, P y superficiales, que se crean en las deformaciones del terreno, determina la procedencia de las señales y, por consiguiente, los canales del movimiento, donde ocurren los fenómenos.

En realidad, esta metodología se encuentra en una fase experimental, donde se requiere realizar desencadenamientos artificiales de los procesos y efectos, con registros simultáneos:

De señales sísmicas, y de imágenes (a través de videos, por ejemplo). Los movimientos de taludes y laderas en relación con los trazados de vías de comunicación y de otros servicios, y con las ocupaciones urbanísticas del municipio.

A la hora de diseñar y construir por ejemplo carreteras, autopistas túneles, galerías, presas y gaseoductos, y de levantar tendidos eléctricos de alta tensión, entre otras obras de infraestructura, así como de ocupar urbanísticamente unos terrenos, es sumamente necesario conocer el comportamiento del terreno, en relación con sus movimientos (deslizamientos, desprendimientos y movimientos de flujo), aparte de otras dinámicas geológicas, que pueden representar grandes riesgos naturales (sea el caso de los movimientos sísmicos).

A menudo, en la construcción de vías de comunicación, se excavan taludes artificiales, que desestabilizan a las vertientes. Pero la necesidad de disponer de unas vías rápidas de comunicación es una demanda de una sociedad en desarrollo. Los problemas de inestabilidades se pretenden resolver con una ingeniería moderna.

En este entorno, la inestabilidad del terreno hay que buscarla en tres condiciones de contorno predominantes: las fuertes pendientes topográficas, las quebradas que se desarrollan en el relieve, y las características litológicas de los materiales ocupados.

Pero estos materiales, ya de por sí inestables, han sufrido una meteorización intensa, por las condiciones ambientales a las que se encuentran sometidas a lo largo de los tiempos geológicos recientes (abundante presencia de agua como elemento de procesos de hidrólisis, y temperaturas elevadas que potencian las reacciones químicas). El producto final de la meteorización es el aumento de los minerales de arcilla disponibles, que hacen incrementar el carácter lubricante de la roca.



Por último, hay relieves que son acumulaciones de arrastre de los anteriores materiales, por las aguas superficiales. En estos depósitos, es lógico esperar la existencia de niveles arcillosos, que actúen como niveles de despegue.

Esto explica por qué en algunas carreteras se tenga, un tramo de alta vulnerabilidad y que soporte frecuente cierres temporales por movimientos reales, o ante eventuales peligros de movimientos de tierra, que ocupen la carretera, o que hagan que la propia carretera se desplace. En lo que respecta al desarrollo urbano de un territorio, en los ámbitos de las laderas, dentro de este entorno geográfico, se deben tener en cuenta: si se ocupa parte del “alcantarillado” de la naturaleza, o las características dinámicas del “suelo”. Cualquiera de las circunstancias anteriores, potenciadas por la presencia de aguas arroyadas y de las procedentes de las quebradas, excitan, por sí solas, el alto riesgo de siniestralidad ante su ocupación urbanística, sobre todo si se trata de viviendas precarias, sin ningún tipo de garantías técnicas en su construcción, y si el suelo sobre el que se edifica describe pendientes topográficas críticas.

Se deduce la necesidad de disponer de una cartografía morfodinámica, pero sobre todo un sistema SIG, que permita delimitar zonas de riesgos, para determinados usos y actividades del hombre, que incluye:

- Planos y documentación relativos a los aspectos contemplados en los párrafos anteriores.
- Medidas previstas para la restauración del espacio natural afectado, conteniendo las siguientes especificaciones:
  - Condicionamiento de la superficie del terreno, ya sea vegetal o de otro tipo.

- Medidas para evitar la posible erosión.
- Protección del paisaje.
- Estudio del impacto ambiental de la explotación sobre los recursos naturales de la zona y medidas previstas para su protección.

El plan de restauración contendrá asimismo el calendario de ejecución y coste estimado de los trabajos de restauración



## **2. TIPOS DE SUELOS**

### **2.1. Reconocimiento y tipos de suelos**

El reconocimiento de los suelos en el campo de la ingeniería representa el respaldo que todo ingeniero necesita, toda vez que se quiera desarrollar un proyecto de la manera más acertada y confiable así se trate de un proyecto relacionado con la construcción de carreteras, puentes y estabilidad de taludes. Durante el reconocimiento se trata de obtener las muestras de materiales presentes para enviarlas al laboratorio y determinar de esta manera la clasificación del suelo, de acuerdo con sus características plásticas, granulometría, humedad, etc.

De acuerdo con los materiales encontrados se sacaron muestras al talud, a efecto de identificar el tipo de suelo, con el objeto de proponer las obras de protección y garantizar la estabilidad de los mismos. Existen formas de identificar un determinado tipo de suelo como lo es la inspección visual que no necesita de las pruebas de laboratorio para identificar por ejemplo un suelo orgánico o arcilloso; de lo contrario se utilizará el laboratorio para identificar las características físicas y mecánicas de los suelos.

#### **2.1.1. Suelo rocoso**

Comprende la acumulación de fragmentos sueltos de rocas y sus tamaños varían entre 2 mm. y 7.62 cm. Dado su origen, cuando estos fragmentos son acarreados por las aguas, estas sufren desgaste en sus aristas,

y son por lo tanto, redondeadas por lo que se les llama gravas. Como material suelto suele encontrarse en los lechos, en las márgenes y en los conos de eyección de los ríos, también en muchas depresiones de terrenos azolvados por el acarreo de material de los ríos y así en otros lugares.

Las gravas ocupan grandes extensiones, en cuanto a las formas que las gravas suelen tener, dependen de la historia de su formación encontrándose formas desde elementos rodados hasta poliédricos.

### **2.1.2. Suelo arenoso**

Estos están constituidos de materiales de granos finos que proceden de la denudación de las rocas o bien de la trituración artificial y sus tamaños varían entre 0.05 mm y 2 mm de diámetro. El origen y la existencia de estos materiales es análogo al de las gravas, las dos suelen encontrarse juntas en el mismo depósito. La arena de río contiene cantidades relativamente grandes de grava y arcilla. Otra característica de las arenas es que estas no se contraen al secarse estando limpias; asimismo, no son plásticas son menos compresibles que las arcillas.

### **2.1.3. Suelo limoso**

Estos suelos se caracterizan por tener poca o ninguna plasticidad, pueden presentarse en la naturaleza como limo inorgánico en las canteras. Como limo orgánico tal como se le encuentra en los ríos, siendo en este último caso de características plásticas. Los taludes del cerro Lec están constituidos de este tipo de suelo de acuerdo con las pruebas de laboratorio realizadas a las muestras.

El diámetro de las partículas de los limos está comprendido entre 0.005 mm y 0.05 mm. La característica de los limos sueltos y saturados es que son completamente inadecuados para soportar cargas por medio de zapatas. La permeabilidad de los limos orgánicos es muy baja y su compresibilidad muy alta. También es importante decir que los limos, si de no encontrarlos en estado denso, a menudo son considerados como suelos pobres para las cimentaciones.

El limo, es inestable por su propia naturaleza, particularmente cuando aumenta la humedad, con tendencia a fluir cuando está saturado. Es relativamente impermeable, difícil de compactar, muy susceptible a la acción de la helada, fácilmente erosionable y sujeto a la tubificación y ebullición. Los granos de forma cúbica reducen la compresibilidad, los granos lajosos como la mica y diatomea, aumentan la compresibilidad dando lugar a un limo elástico.

#### **2.1.4. Suelo arcilloso**

Estos están constituidos de partículas sólidas cuyo tamaño es menor a 0.005 mm y cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua. Desde el punto de vista químico, la arcilla es un silicato de alúmina hidratado, contiene también silicatos de hierro o de magnesio hidratados.

La presencia del suelo arcilloso en el cerro Lec es producto de sedimentos acarreados desde las montañas y no es típico de sus taludes. En cuanto a la estructura, estos minerales es cristalina y complicada así también sus átomos están dispuestos en forma laminar; de acuerdo con esta disposición se dice que hay dos tipos clásicos de tales láminas: uno de ellos de tipo silicio y otro del tipo aluminio. Así una lámina del tipo silicio se encuentra formada por un átomo de silicio rodeado de cuatro átomos de oxígeno arreglándose el conjunto en forma

de tetraedro; estos se agrupan entre sí formando una unidad hexagonal la cual se repite indefinidamente constituyendo una retícula laminar. Así una lámina del tipo aluminio está formada por un átomo de aluminio rodeado de seis átomos de oxígeno y de oxígeno e hidrógeno, arreglándose el conjunto en forma de octaedro, los cuales se agrupan entre sí mediante un átomo común de oxígeno repitiéndose la formación indefinidamente y dando como resultado una retícula laminar aluminica.

Según el arreglo reticular hay una clasificación de los minerales de arcilla los cuales se agrupan en:

- Grupo coalinitico que procede de la carbonatación de la ortoclasa. Las arcillas coaloniticas están formadas por una lámina silica y una lámina aluminica superpuesta de manera indefinida y con una unión tal entre sus retículas que no permite la penetración de moléculas de agua entre ellas, pues producen una capa electrónicamente neutral, lo que induce, desde luego, a que estas arcillas sean bastante estables en presencia del agua.
- En seguida está el grupo montmorilonítico, el cual se forma por la superposición indefinida de una lámina aluminica entre dos láminas silicas, pero con una unión débil entre sus retículas. Lo que hace que el agua pueda penetrar en su estructura con facilidad. Estas arcillas sufren fuerte expansión en contacto con el agua lo que da como resultado inestabilidad entre ellas.
- El último grupo corresponde al lítico que es el producto de la hidratación de las micas y que presentan un arreglo reticular similar al de las montmoriliniticas, pero con la tendencia a formar grumos debido a la presencia de iones de potasio; esto reduce el área expuesta al agua

razón, por la cual no son tan expansivas como las arcillas montmorilínicas.





### 3. TIPOS DE FALLAS EN TALUDES

A continuación se presentan las fallas más comunes de los taludes. Hay que distinguir las fallas que afectan a las laderas naturales de las que ocurren en los taludes artificiales.

En las laderas naturales, se presentan fallas ligadas a su estabilidad por lo que la forma de lograr dicha estabilidad es a través del ángulo de reposo de la siguiente manera: la inclinación de este talud tiene que ser suficientemente suave y su altura suficientemente pequeña para lograr la estabilidad. Esta inclinación se denomina ángulo de reposo, donde el talud tendrá una inclinación media aproximadamente igual al ángulo de reposo que tendría si el material se vertiera directamente.

Existe otra falla asociada a la falta de resistencia por baja presión de confinamiento refiriéndose al proceso más o menos continuo de deslizamiento ladera abajo, que se presenta en la zona superficial de algunas laderas naturales, esta falla es lo que se llama *creep*. La *creep* afecta a grandes extensiones de terreno en declive, aun cuando no se conocen sus causas, se sabe que este movimiento se produce bajo niveles de esfuerzos actuales bajos, muy inferiores a los que corresponden a la máxima resistencia al esfuerzo cortante de los suelos.

#### 3.1. Falla por deslizamiento superficial

En la naturaleza, un talud está sujeto a fuerzas naturales que tienden a hacer que las partículas y porciones del suelo próximas a su frontera deslicen hacia abajo; este fenómeno se presenta más intenso cerca de la superficie

inclinada del talud como consecuencia de la falta de presión normal confinante que allí existe. Manifiesta su presencia a través de una serie de efectos notables tales como la inclinación de los árboles, por efectos del arrastre producido por las capas superiores del terreno en que enraízan, movimientos relativos y rupturas de bardas, muros etc.; acumulación de suelos en las depresiones y valles y falta de los mismos en las zonas altas.

### **3.2. Deslizamiento sobre superficies de falla preexistente**

En las laderas naturales muchas veces se dan movimientos tan lentos que pasan inadvertidos, producido, por un proceso de deformación bajo esfuerzo cortante en partes más profundas, que llega muchas veces a producir una verdadera superficie de falla.

### **3.3. Falla por movimiento del cuerpo del talud**

A diferencia de los deslizamientos superficiales, se pueden presentar en los taludes movimientos bruscos de manera que afectan a masas considerables de suelo, con superficies de falla que penetran profundamente en su cuerpo. Dichos fenómenos se llaman comúnmente deslizamiento de tierras. Dentro de estos existen dos tipos claramente diferenciados. Primero un caso en el cual se define una superficie de falla curva, a lo largo de la cual ocurre el movimiento del talud; estas son las fallas llamadas por rotación. Segundo, un caso en el cual se tienen las fallas que ocurren a lo largo de superficies débiles, asimilables a un plano en el cuerpo de talud o en su terreno de cimentación. Las fallas por rotación pueden presentarse pasando la superficie de falla por el pie del talud o pasando adelante del pie.

### **3.4. Flujos**

Este tipo de falla se refiere a movimientos más o menos rápidos de una parte de la ladera natural, de manera que el movimiento en sí y la distribución aparente de velocidades y desplazamientos hace recordar el comportamiento de un líquido viscoso. La superficie de deslizamiento generalmente o no es distinguible o se desarrolla en un lapso relativamente breve; es también frecuente que la zona de contacto entre las partes móviles y las masas fijas de la ladera sea de flujo plástico.

El material que fluye puede ser cualquier formación no consolidada, y así el fenómeno puede presentarse en fragmentos de roca, depósitos de talud, suelos granulares finos o arcillas francas; son frecuentes los flujos en lodo. Este es el tipo de material que fluye desde el cerro Lec ya que el conjunto de arrastres desde la montaña así como el talud del mismo cerro, lo constituyen fragmentos de roca, partes del talud, material de sedimento etc.

Los flujos pueden presentarse en materiales relativamente secos y en materiales húmedos. En cuanto a los materiales relativamente secos se dice que en este grupo se encuentran comprendidos los flujos de fragmentos de roca, desde los muy rápidos (avalanchas) hasta los que ocurren lentamente. Estos movimientos pueden explicarse en términos de la falla plástica de los contactos profundos entre los fragmentos de roca, consecuentemente, afectan grandes masas de fragmentos y por supuesto suelen ser de consecuencias muy catastróficas.

También se presentan los flujos en materiales húmedos es decir flujos de lodos estos requieren una porción apreciable de agua contenida en el suelo, la cual desempeña un papel en la naturaleza de la falla; existe amplia graduación

en la cantidad de agua que pueden contener los materiales, así como el papel que esta llega a tener en el desarrollo de la falla. Se llaman así cuando es muy elevado el contenido de agua de los materiales, por lo menos en la zona de fluencia, pero no hay una distinción clara entre los flujos de tierra y los flujos de lodo.

Muchas veces se habla también de flujo de detritus, este se da cuando el material que fluye contiene porcentaje apreciable, del orden un 50%, por lo menos de gravas, o fragmentos de roca, embebidos en la matriz, de suelo más fino; esto es común que ocurra en los depósitos de talud o en muchas laderas de suelos residuales.

Los flujos de tierra en materiales de terrenos no demasiado húmedos, se desarrollan típicamente en el pie de los deslizamientos de tipo rotacional en el cuerpo del talud. Estos flujos de tierra generalmente retienen mucha vegetación original, así como la estratigrafía general de la formación en la que ocurrió el deslizamiento primario.

Los flujos de tierra en suelos granulares finos son típicos de formaciones costeras y se asocian generalmente a la erosión marina y fluctuaciones respectivas de la presión de poro, debidas al descenso del nivel de agua con las mareas, se originan con procesos análogos a la licuefacción.

En los flujos con muy alto contenido de agua la falla produce una completa perturbación estructural, la formación típica del desplazamiento es análoga al avance de un glaciar y la velocidad de desplazamiento suele variar desde unos centímetros por año, hasta la correspondiente al deslizamiento catastrófico. En flujos lentos es común que en la velocidad del movimiento influyan mucho las

variaciones estacionales del clima, en tanto que los flujos rápidos suelen seguir épocas de violenta precipitación pluvial.

Los flujos de lodo rápidos se presentan muchas veces en laderas de las que se ha removido la cobertura vegetal y se llevan a cabo en modestas proporciones, creciendo rápidamente con un poder de transporte del suelo sobre el que pasa, que parece fuera de proporción con su importancia inicial; de esta manera se pueden desencadenar grandes ríos de lodo capaces de causar grandes catástrofes que sin duda alguna, sus inicios deben incluir fenómenos de licuefacción de suelos. Los flujos de detritus se producen por disminución de resistencia al esfuerzo cortante de la matriz fina de tales formaciones, la masa móvil se rompe en fragmentos cada vez menores esto en la medida que avanza ladera abajo.

### **3.5. Falla por erosión**

Este tipo de fallas también son de tipo superficial provocadas por arrastres de viento, agua, etc., en los taludes. Aunque el tipo de fallas en el talud del cerro Lec es debido en gran parte a las fallas por flujos, también es adicionable la falla por erosión en algunas partes del mismo. Este fenómeno es muy notorio cuando más empinadas sean las laderas de los taludes. Una de las manifestaciones típicas del fenómeno suele ser la aparición de irregularidades en el talud originalmente uniforme. Desde el punto de vista teórico, esta falla suele ser cuantificable siempre y cuando se apliquen normas basadas en la experiencia.

### **3.6. Falla por licuefacción**

Este tipo de falla ocurre cuando en la zona del deslizamiento el suelo pasa rápidamente de una condición más o menos firme a la correspondiente a una suspensión, con pérdida casi total de resistencia al esfuerzo cortante. Estas fallas ocurren en arcillas extrasensitivas y arenas poco compactadas, las cuales al ser perturbadas pasan rápidamente de una condición más o menos estable o una suspensión, con la pérdida casi total de la resistencia al esfuerzo cortante. Se atribuyen varias causas, pero generalmente suelen ser dos, las que puede atribuirse a la pérdida de resistencia, incremento de los esfuerzos cortantes actuantes y desarrollo de la presión de poros correspondiente, y por el desarrollo de presiones elevadas en el agua intersticial, quizás como consecuencia de un sismo, una explosión, etc.

### **3.7. Falla por falta de capacidad de carga en el terreno de cimentación**

Es otro de los tipos en donde el terreno donde ocurre, tiene una capacidad de carga inferior a las cargas impuestas. Este tipo de falla sucede generalmente en el área metropolitana sobre todo en aquellas áreas constituidas por rellenos no compactados o con un bajo nivel de compactación; la falla también puede presentarse en el caso de construcciones muy pesadas para el terreno en que están situadas.

### **3.8. Fallas rotacionales**

En el interior del talud existe un estado de esfuerzos cortantes que vence en forma más o menos rápida la resistencia al esfuerzo cortante del suelo; a consecuencia de ello sobreviene la ruptura del mismo, con la formación de una superficie de deslizamiento a lo largo del cual se produce la falla rotacional.

Las fallas de tipo rotacional pueden producirse a lo largo de superficies de falla identificables con superficies cilíndricas o conoidales, las cuales ofrecen la oportunidad de establecer algún modelo matemático de falla que permita su cálculo numérico.

El tipo de suelo que conforman los taludes es muy importante, así se tiene que las fallas rotacionales de tipo circular ocurren generalmente en materiales arcillosos homogéneos o en suelos cuyo comportamiento esté regido básicamente por su fracción arcillosa. Puede decirse que en general afectan a zonas profundas de talud, siendo esta profundidad mayor cuanto más escarpado sea aquél.

Las fallas rotacionales circulares pueden ser de cuerpo de talud o de base; las primeras se desarrollan sin interesar el terreno de cimentación mientras que las segundas se desarrollan parcialmente en él; cuando ocurren las fallas circulares pueden afectar a masas muy anchas comparadas con las dimensiones generales superficiales cilíndricas, o pueden ocurrir en forma conoidal con un ancho pequeño comparado con su longitud.

Se puede decir que las fallas rotacionales de formas distintas a la circular típica están más asociadas a materiales de arcillas sobreconsolidadas, que se presentan en taludes no homogéneos, por diferencias en la meteorización, por influencia de la estratificación o por otras causas que se reflejan en el desorden estructural del talud. Este tipo de fallas, como se ha dicho, es típica de cortes y ocurren siempre acompañadas de grandes fragmentaciones de los materiales involucrados. En cuanto a la forma de la superficie de falla se puede decir que es siempre curva; en estos casos, se puede considerar circular o formada por lo menos en parte por arcos de circunferencia; en realidad está influida por fallas



juntas y otras discontinuidades de los materiales y es notable en suelos residuales.

### **3.9. Falla traslacional**

Este tipo de fallas consiste en movimientos traslacionales importantes del cuerpo del talud sobre superficies de fallas básicamente planas, asociadas con estratos poco resistentes que se localizan a poca profundidad del talud. La superficie de falla es desarrollada en forma paralela al estrato débil y se remata en sus extremos por dos cantiles, por lo general formados por agrietamientos. En cuanto a los estratos débiles que forman estas fallas son por lo común de arcillas blandas o de arenas finas, limos no plásticos sueltos. La debilidad del estrato está ligada a elevadas presiones de poros en el agua contenida en las arcillas o a fenómenos de elevación de presión de agua en estratos de arena o acuíferos.

En las laderas naturales formadas por materiales arcillosos productos de la meteorización de las formaciones originales, son típicas las fallas de una franja superficial y se suelen provocar por el efecto de la sobrecarga impuesta por un terraplén, construidos sobre la ladera; en esta falla, el movimiento puede ocurrir casi sin distorsión, también abarca movimientos en que se combinan la rotación y traslación, dando lugar a superficies de fallas compuestas en que se desarrollan zonas planas y a la vez tramos curvos.

### **3.10. Fallas con superficies compuestas**

Las superficies compuestas están predeterminadas por la presencia de heterogeneidades que se dan dentro del talud; y es el predominio de las partes circulares o planas el que sirve para determinar o clasificar la falla como

rotacional o traslacional y para los casos en que ambas curvas se reparten por igual se clasifica como falla compuesta, las cuales suelen producir la distorsión de los materiales que es típica de las fallas circulares.



## 4. MEDIDAS DE PROTECCIÓN DE TALUDES

### 4.1. Concreto lanzado

Consiste en recubrir la superficie de los taludes con una capa de concreto simple o “repellado”, colocado con chiflón. La capa usualmente tiene 5 cm de espesor mínimo. Para evitar su agrietamiento, el concreto se coloca sobre una malla electrosoldada fijada al terreno con tramos cortos de varilla. La malla no permite que los pequeños derrumbes o caídos, invadan la superficie de rodamiento de la vía terrestre.

Figura 5. **Protección utilizando concreto lanzado y electromalla**



Fuente: Fotografía tomada en carretera a Santa Catarina Pinula.

En algunas partes del talud inestable del cerro Lec se propone utilizar este tipo de protección utilizando también drenes horizontales para evacuar las filtraciones del agua.

#### **4.2. Uso de mallas de acero**

El procedimiento consiste en cubrir el talud con una malla de acero, debidamente fijada al terreno, ya que es uno de los problemas más graves que presentan las autopistas, carreteras y zonas urbanas, utilizando malla metálica de triple torsión Clase III, escuadrilla de 8 x 10 cms de abertura, calibre 12.5 y 10 en las aristas y malla hexagonal (gallinero) de 25 mm de abertura, calibre 12.5 y 10 en las aristas y malla hexagonal (gallinero) de 25 mm de abertura, calibre 20 galvanizada. Para mantenerlas en posición se colocarán anclas de varilla corrugada de ½” de diámetro en forma de “T” en la parte superior por 1.00 mts de profundidad, ahogadas con cemento arena en los barrenos previamente hechos; dicha malla cubrirá aproximadamente 2.00 mts hacia adentro a partir de los cerros del corte.

En la superficie del talud, se colocarán anclas de varilla corrugada de 1/2” en forma de “T” a una profundidad de 1.00 m forma de tresbolillo de 2.00 x 2.00 mts en ambos sentidos; previo a esto se harán barrenos de 2” de diámetro por medios neumáticos (compresor) y se ahogarán las anclas con cemento–arena con proporción 1:4, vaciadas a los orificios por gravedad, además se utilizará cable de acero de ½” en la parte superior, y en la parte inferior se colocará cable de acero de 3/8”. La malla se doblará hacia el exterior en un ancho de 50 cms en los extremos superior e inferior y se coserá a lomo, tanto entre sí como en los cables, usando alambre galvanizado calibre 13.5, no olvidando coser los lienzos de la malla mixta con el mismo alambre galvanizado.

Se deberán realizar trabajos de limpieza de material únicamente suelto en el talud, a fin de garantizar que no subsista en la superficie de los cortes, retirando todo el material inestable existente en los cortes y que está propenso a caer sobre las cunetas y corona del camino; esta actividad tiene como propósito evitar que los materiales rocosos caigan a la carretera y perjudiquen a los usuarios.

#### 4.2.1. Especificaciones técnicas

Todas las redes, son fabricadas con alambre galvanizado clase iii calibre 12.5, reforzado con calibre 10 en las aristas (triple galvanización).

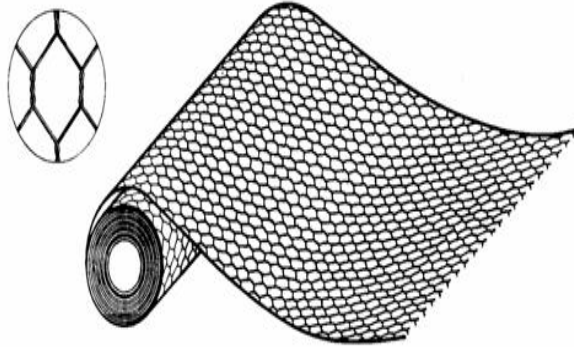
Figura 6. **Malla galvanizada de gavión y metálica**



Fuente:<http://www.google.com.gt/imgres?q=mallas+metalicas&num=10&hl=es&sa=X&bi>

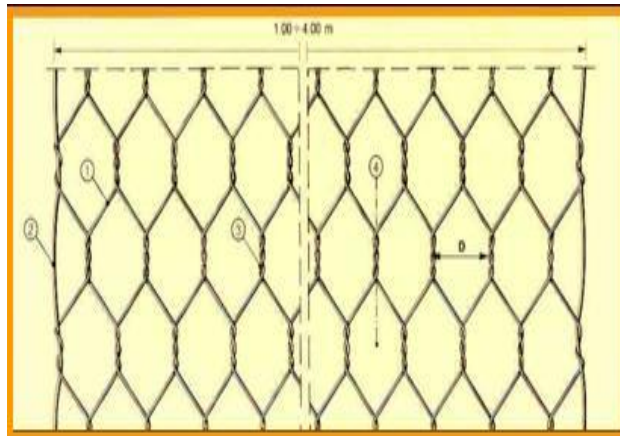
Fecha de consulta 08 de septiembre de 2011.

Figura 7. **Malla galvanizada**



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8. **Malla metálica de seguridad**



Fuente: <http://www.google.com.gt/imgresq=mallas+metalicas&num=10&hl=es&sa=X&biw>

Fecha de consulta 08 de septiembre de 2011.

Calibre del alambre 12

Calibre 10 en las aristas

Triple torsión  
Abertura 10 cm.

(D) Abertura 8 cms. Todo el alambre usado en la fabricación de la malla para estas se prevé un alambre cuyo Calibre es de 12.5 con o sin el revestimiento en pvc, deberá ser en acero galvanizado.

Los tipos de anclaje y la separación entre los mismos dependen del tipo de material del talud que se desea estabilizar.

Figura 9. **Mallas de acero**



Fuente: <http://www.google.com.gt/imgres?q=mallas+metalicas&num=10&hl=es&s>

Fecha de consulta 09 de septiembre de 2011.

#### **4.3. Uso de vegetación**

Consiste en la colocación de vegetación nativa sobre el talud. Se han usado pastos locales, plantas rastreras, arbustos, en ocasiones fijadas con estacas o entramados. Las raíces de la vegetación forman un entramado que



ayudará a la estabilidad de los suelos superficiales del talud ante los agentes erosivos.

#### **4.3.1. Instalación**

- Se aplana el terreno
- Se aplican fertilizantes y semillas
- Se extiende el tejido o manta
- Se efectúa la fijación a través de grapas (de acero o madera)

#### **4.4. Uso de geotextiles y geosintéticos**

Son tejidos con diversas estructuras, cuyos elementos individuales son fibras, filamentos o cintas de plástico, que siguiendo diversos patrones de distribución de sus elementos individuales, se reúnen y entrelazan entre sí por medio de diversos procesos que les someten a acciones mecánicas, térmicas y químicas, obteniendo así, estructuras continuas, relativamente delgadas, porosas en forma de hoja que tienen resistencia en su plano. Dentro de los trabajos que se proponen en el cerro Lec, el uso de geotextiles juega un papel importante en las construcciones de muros al pie del talud para efectos de retener el mismo.

De acuerdo con el proceso de fabricación hay geotextiles tejidos y geotextiles no tejidos. Siendo los geotextiles tejidos caracterizados porque su construcción sigue un patrón geométrico claramente definido, que se logra por medio del entrelazamiento de filamentos o cintas planas en dos direcciones mutuamente perpendiculares mediante un proceso de urdido, por el cual es posible combinar diferentes tipos de filamentos en cualquiera de las direcciones del tejido.

Estos geotextiles son menos rígidos en el sentido diagonal y sus aberturas son pequeñas comparadas con los geotextiles no tejidos, por lo que tienen baja permeabilidad, razón por la cual son aplicados como refuerzo sobre estratos que experimentan asentamientos al construirlos, así como en zonas de suelo saturado y pantanos. En cuanto a los geotextiles no tejidos, estos se caracterizan porque las fibras que los componen se distribuyen en forma desordenada, en todas direcciones y se caracterizan por tener alta porosidad y permeabilidad, tanto en su plano como a través de su plano, siendo filtros muy eficientes, son resistentes al bloqueo de sus poros con suelo bien graduado.

Por sus características descritas anteriormente, se utilizan para aplicaciones de separación de materiales, filtración, drenaje, control de la erosión y prevención de la reflexión de grietas. Hablar de geotextiles y geosintéticos es hablar un solo tema ya que los geosintéticos comprende un grupo de materiales fabricados mediante la transformación industrial de sustancias químicas las cuales se denominan polímeros, del tipo conocido genéricamente como plásticos, que de su forma elemental de polvo granular, son convertidos mediante uno o más procesos, en láminas, fibras, perfiles, películas, tejidos, mallas etc.

En la naturaleza es posible encontrar de manera natural sustancias poliméricas tales como: la seda y la celulosa, la diferencia con los geosintéticos es que estos últimos son fabricados por el hombre, a partir de productos obtenidos de la refinación del petróleo. Su aplicación es una característica fundamental ya que se relaciona con las actividades de la construcción, participando como parte integral de sistemas y estructuras que utilizan diversos materiales tales como suelos, rocas, agregados, asfaltos etc.

Las principales funciones derivadas de la aplicación de los geosintéticos en la construcción son los de complementar, conservar y a la vez mejorar el funcionamiento de los sistemas constructivos. Los plásticos o polímeros se constituyen en los principales componentes de los geosintéticos, por lo que actualmente muchas industrias sustituyen de una manera ventajosa materiales tradicionales como agregados, suelo, metal y vidrio, por materiales de plástico, ya que poseen propiedades superiores como la ligereza, ductilidad, maleabilidad, elevada elasticidad, resistencia mecánica y agentes químicos, posibilidad de mejorar sus propiedades mediante aditivos, resistencia al intemperismo, baja absorción de agua y resistencia a la biodegradación. Finalmente, los geosintéticos tienen aplicaciones directas en trabajos de recuperación y protección ambiental, control de procesos erosivos y estabilización de taludes y laderas.

#### **4.5. Obras de drenaje superficial**

Comprende la construcción de las diferentes obras a construir en el talud de corte o relleno a efecto de protegerlo de la erosión y evitar con esto los desprendimientos y derrumbes del mismo. Con la construcción de dichas obras, si bien es cierto se protege de una manera adecuada el talud, también se hace necesario construir otras obras al pie del mismo, las cuales se tratarán más adelante.

El objetivo de estas obras es conducir, en forma controlada, rápida y segura, los escurrimientos y aguas superficiales, a sitios donde se recolecten de manera que no causen daño. Si bien es cierto en la carretera que pasa por el cerro Lec existen cunetas, alcantarillas y otras obras de drenaje superficial, las mismas no han sido suficientes, ya que el talud debió haberse tratado con otras obras como contracunetas, bermas, uso de vegetación, etc. y así reducir los

riesgos en la carretera. A continuación se presentan las obras de drenaje superficial a tomar en cuenta en los taludes.

#### **4.5.1. Cunetas**

Son los canales paralelos que se construyen a uno o ambos lados del camino, entre el borde de la calzada y el pie del talud, con el objeto de recibir y conducir el agua pluvial de la mitad del camino o bien de todo el camino, el agua que proviene de los cortes y algunas veces la que escurre de pequeñas áreas adyacentes.

Es importante considerar los cambios a realizar en la cuneta cuando esta pasa del corte al terraplén, ya que lo que se pretende es evitar que se remoje el terraplén, lo cual es causa de asentamientos. Para evitar esto, es necesario prolongar la cuneta a lo largo del pie del terraplén, dejando una berma entre dicho pie y el borde de la cuneta. Las cunetas han de proyectarse de manera que sean capaces de conducir precipitaciones fuertes de entre 10 y 30 minutos de duración.

Puede considerarse seguro proyectar cada cuneta de manera que tomen al menos el 80% de la precipitación pluvial que cae en la mitad del ancho total del derecho de vía. Otro aspecto importante es determinar el flujo que escurre de las cunetas, ya que en función de esto se determinarán las dimensiones, la pendiente, así como otras características importantes.

Las secciones transversales de las cunetas generalmente varían desde secciones cuadradas, rectangulares, triangulares, trapezoidales o la que más se adecue a la sección típica de la carretera y que no represente grandes riesgos en su construcción. El diseño de las cunetas está basado en el principio del flujo

de canales abiertos, considerando un flujo uniforme; las características se indican utilizando la fórmula de Manning.

$$V = (1/n) (R)^{2/3}(S)^{1/2}$$

Donde:

V = velocidad promedio en metros por segundo

n = coeficiente de rugosidad de Manning

R = Radio hidráulico en metros (área de la sección transversal entre perímetro mojado).

S = Pendiente del canal en metros por metros

Se sabe que  $Q = A.V$

Donde Q = Descarga en metros cúbicos por segundo

A = Área de la sección transversal del flujo en metros cuadrados

V= Velocidad del líquido

Al sustituir en la fórmula de Manning se tiene la siguiente expresión:

$$Q =(A). (1/n). (R)^{2/3}. (S)^{1/2}$$

Generalmente, se pretende construir cunetas de sección constante, esto para efectos de seguridad del camino así como dar una buena apariencia, pues el objetivo es hacer la cuneta poco profunda para no arriesgar los vehículos que transitan por la carretera, además de no olvidar el aspecto económico. De acuerdo con la sección transversal de cuneta elegida, se tienen las siguientes ventajas:

Al elegir la cuneta en forma de V se tiene la ventaja de que su forma se aproxima a la de un badén común, por lo que al ampliarse por diversas razones

la pavimentación, se concluye que fácilmente la cuneta se transformará en badén. Si se elige la cuneta de sección transversal rectangular se verá que la misma no conserva fácilmente sus taludes verticales ocasionando que se derrumben y azolven la cuneta; así si elige la cuneta de sección trapezoidal; evidentemente se tiene mayor capacidad de transporte pero a menos que se hagan de plantilla ancha, se erosionan más fácilmente que las de sección transversal tipo V.

Para que las cunetas no sean tan riesgosas se sugiere que el tirante oscile entre 30 y 45 centímetros, asimismo, el talud del lado del camino sea de 2:1 y del lado opuesto 1.5:1 se sugiere también la cuneta tipo V la cual tiene talud interior 3:1 (lado del camino) y 1.5:1 del lado exterior con su respectivo tirante de 30 centímetros. Se hace necesario conservar las cunetas en buen estado; esto se logra manteniendo la velocidad del agua que escurre por ellas entre ciertos valores de acuerdo con el material de que están hechas sus taludes, dichos valores se presentan en la tabla siguiente:

Tabla IX. **Velocidad, para diferentes materiales Utilizados en la construcción de cunetas**

Material	Velocidad (m/s)
Arena fina	0.45
Arena media	0.60
Arena gruesa	0.90
Grava fina	1.50
Grava media	2.00
Grava gruesa	3.50
Arcilla arenosa	0.50
Arcilla firme	1.25
Arcilla común	0.85
Talpetate	2.00
Zampeado	4.00
Concreto	7.00

Fuente: elaboración propia.

Con la tabla anterior se puede determinar cuándo una cuneta necesita o no revestirse. Por regla general, es recomendable considerar algunas reglas en función de la pendiente del camino y así verificar si se hace necesario un zampeado o no de la cuneta. Así cuando el tirante de agua oscila entre 10 y 15 centímetros, no es necesario zampear las cunetas; cuando la pendiente sea menos del 7% y cuando el tirante sea mayor de 15 centímetros para pendientes mayores del 3%, se recomienda zampeado.

#### **4.5.2. Contracunetas**

Las contracunetas son zanjas generalmente paralelas al eje de la carretera, que se construyen a una distancia mínima de 1.50 metros de la parte superior de un talud de corte al igual que las cunetas, su sección transversal es variable, siendo comunes las de forma triangular o cuadrada. En cuanto a su ubicación, longitud y dimensiones estas son determinadas de acuerdo con las necesidades en el campo y se construyen en lugares convenientes, con el fin de evitar que las cunetas se sobrecarguen de manera que no lleven más agua de lo que fueron proyectadas, donde se colocan transversales a la pendiente del terreno, interceptando el paso del agua y alejándolo de los terraplenes y de los cortes.

Al observar detenidamente el uso de las contracunetas se determina que dicho uso es aplicable a terreno montañoso; sin embargo ha de observarse la naturaleza geológica del terreno con el objeto de no construir contracunetas que resulten perjudiciales en vez de ser útiles. Las contracunetas son calculadas al igual que las cunetas y generalmente son de sección transversal trapezoidal de 50 cm de plantilla y taludes 1:1. En todos los casos el tamaño y forma serán función de las necesidades hidráulicas y las condiciones del terreno, de manera

que se sugiere que las contracunetas se coloquen a una distancia aproximada de 5 metros del talud de corte; así también la longitud de la misma será la necesaria para llevar las aguas hasta desembocar en la hondonada adyacente. Siempre es recomendable que las contracunetas sean construidas por gente con experiencia en el campo.

#### **4.5.3. Bordillos**

Los bordillos constituyen las barreras contra el agua que escurre de la superficie de rodadura, con el objetivo de conducirla hacia los desfogues. Generalmente se construyen aplicándolos a rellenos considerando las características de los materiales y de la sección del camino.

#### **4.5.4. Lavaderos**

Son obras aplicables a los desfogues de las corrientes de agua generalmente a la salida de las alcantarillas de alivio, un lavadero es un delantal hecho de mampostería, de piedra o concreto, por donde se encauza el agua de los taludes o terraplenes, o en terreno erosionable, hasta llevarla a los lugares donde la erosión continuada no pueda llegar a afectar el camino<sup>1</sup>. Si la construcción de los lavaderos se lleva a cabo en terrenos inclinados, es necesario anclarlos a fin de evitar que resbalen.

En cuanto a las dimensiones y forma de los mismos serán función de las necesidades en el área. Para efectos de reducir la velocidad del agua y evitar daños en los aletones de los cabezales, se suelen construir los lavaderos

---

<sup>1</sup>CRESPO, VILLALAZ, CARLOS. Vías de Comunicación. Pg. 153



acompañados de los disipadores de energía. En la carretera que pasa por el cerro Lec se hace necesario colocar lavaderos con disipadores de energía ya que el desfogue del agua a través de las alcantarillas está erosionando el talud de relleno.

Figura 10. **Construcción de lavaderos y disipadores**



Fuente: fotografía tomada en zona 16 ciudad de Guatemala.

Figura 11. **Construcción de lavaderos**



Fuente: fotografía tomada en zona 16 ciudad de Guatemala.

#### **4.5.5. Alcantarillas**

Son llamadas obras de cruce, tienen por objetivo dar paso rápido al agua que no pueda desviarse de otra manera o tenga que cruzar el camino de un lado a otro; en estas obras están comprendidos los puentes. Es clara la diferencia entre puentes y alcantarillas ya que las alcantarillas llevan en la parte superior un colchón de tierra y los puentes no. Una alcantarilla consta de dos partes llamadas: el cañón y los muros de cabeza, el cañón se constituye en el canal de la alcantarilla, por lo tanto es la parte principal de la estructura. Los muros tienen la función de impedir la erosión alrededor del cañón o tubo, para guiar la corriente y evitar derrumbes de material hacia el canal.

Hay una forma de evitar que los derrumbes invadan el canal y es alargando el cañón o tubo corrugado con lo cual se puede omitir los muros de cabeza pero por supuesto que dependerá de las condiciones del lugar donde se construya la alcantarilla.

De acuerdo con la forma del cañón, las alcantarillas pueden dividirse en alcantarillas de cajón, alcantarillas de tubo y alcantarillas de bóveda.

Cuando se construye un camino es recomendable que aunque los fondos sean limitados, se considere cierto fondo para llevar a cabo la construcción de todas las estructuras necesarias a efecto de protegerlo, ya que una estructura mal localizada incidirá en altos costos de mantenimiento del camino. Pero si entendemos que de acuerdo con estudios de los costos del proyecto el costo del alcantarillado asciende al 5% del mismo, se verá que el costo del camino no se aumenta considerablemente, por lo que todas las obras de alcantarillado pueden realizarse.

Cuando se proyecte una alcantarilla se debe procurar no forzar los cruces para hacerlos normales cuando la localización natural es encajonada, ya que generalmente los costos en los que se incurre al forzar los cruces no compensan los gastos de conservación, debidos a la erosión del agua cuando esta sufre fuertes desviación.

#### **4.6. Otros métodos para mejorar estabilidad de taludes**

En general el ingeniero utiliza varios métodos para mejorar la estabilidad en taludes, en función de la topografía del mismo, pero los más comunes se describen a continuación.

##### **4.6.1. Tender taludes**

A primera vista quizá puede pensarse que esta solución sea la más obvia y sencilla en la práctica. Sin embargo, ha de tomarse con el debido cuidado desde el punto de vista teórico y muchas veces es irrealizable, prácticamente hablando. Cuando el terreno constituyente del talud es puramente friccionante, la solución es indicada, ya que la estabilidad de estos suelos se adquiere considerándola en función sobre todo por la altura del mismo y la ganancia al tender el talud es siempre escasa y, en ocasiones, nula. En los suelos con “cohesión” y “fricción”, el tender talud producirá un aumento en la estabilidad general.

Por otra parte, muchos requisitos prácticos, tales como invasión de zonas urbanas, condiciones económicas emanadas del movimiento de grandes volúmenes de tierra, etc., hacen imposible al proyectista el pensar en tender los taludes de los terraplenes, bordes, cortes y demás obras similares, en gran cantidad de casos prácticos.

#### **4.6.2. Empleo de bermas laterales o frontales**

Con el nombre de bermas se conoce la terraza horizontal del mismo material del talud, que se construye adecuadamente en el lado exterior del mismo a efecto de aumentar su estabilidad. En general una berma produce un incremento en la estabilidad por dos motivos:

- Por su propio peso, en la parte que queda hacia fuera de la vertical que pasa por el centro del círculo de falla, disminuyendo el momento motor.
- Aumenta el momento resistente, por el incremento en la longitud del arco de la falla por efecto de la propia berma.

Otro efecto importante de las bermas a veces de gran utilidad estriba en la redistribución de esfuerzos cortantes que su presencia produce en el terreno de cimentación. En efecto, en ciertas zonas de este se producen concentraciones de tales esfuerzos que pueden ser muy perjudiciales, sobre todo en terrenos muy arcillosos altamente sensibles; la presencia de la berma hace que la distribución de esfuerzos sea más favorable y que un mayor volumen del terreno de cimentación coopere a resistir tales esfuerzos.

En los cálculos prácticos ha de tenerse en cuenta que la presencia de la berma modifica la ubicación de la superficie de falla crítica, por lo que su colaboración exige un nuevo cálculo de la estabilidad del nuevo talud protegido por la berma. La experiencia ha demostrado que es una buena base para los tanteos el suponer un ancho de berma del orden de la mitad de la base del terraplén u una altura tal que el peso de la berma dé un momento igual al requerido para alcanzar en el talud original el factor de seguridad deseado. A

partir de este principio se procederá por tanteos hasta fijar la berma mínima que cumpla su cometido.

#### **4.6.3. Empleo de materiales ligeros**

Otro método empleado es el de colocar como material de terraplén suelos de peso específico bajo, que por lo tanto, den bajos momentos tensores. El terraplén de origen volcánico, con peso específico del orden de 1 a 1,2 ton/m<sup>3</sup> ha sido empleado para este fin. Otras soluciones, tales como sustitución de parte del terraplén utilizando llantas o neumáticos, han sido muy limitados.

#### **4.6.4. Consolidación previa de suelos comprensibles**

Cuando los suelos de cimentación de terraplenes sean mantos compresibles saturados de baja resistencia al esfuerzo cortante, puede inducirse un proceso de consolidación, que aumente la resistencia del material. Al construir terraplenes es frecuente y económico recurrir a construir la estructura por partes, no ejecutando otra mientras la anterior no haya producido una consolidación suficiente. El procedimiento para estimar el aumento de la resistencia al esfuerzo cortante que tiene lugar según el proceso de consolidación progresiva está en ideas expuestas y discutidas en los capítulos anteriores.

## **5. ESTRUCTURAS DE RETENCIÓN DE TALUDES**

El estudio de taludes de una manera superficial ha traído muchos beneficios en cuanto a carreteras se refiere, para tal efecto se construyen obras tales como uso de vegetación, uso de mallas, construcción de zanjas, drenajes subterráneos etc., sin embargo no basta con estudiarlos de forma superficial; es por eso que se hace necesario la aplicación de estructuras de retención al pie del talud a efecto de fortalecerlo.

### **5.1. Estructuras de gaviones**

Son estructuras formadas por cajas de forma prismática (paralelepípedos) rectangular, construidas con mallas metálicas de celdas hexagonales de triple torsión, confeccionadas con alambre galvanizado galfan R, para ser llenadas con piedra u otros materiales mampuestos de forma homogénea, tensadas y unidas entre sí con alambre, para trabajar de forma monolítica como estructura de retención o protección.

Estas estructuras son de extremada resistencia, ya que al no permitir la acumulación de presiones hidrostáticas (son totalmente permeables y permiten ser atravesados por el agua) alivian las importantes tensiones que se acumulan en el material de relleno de los muros del tipo tradicional; debido a esta característica pueden tener su base incluso bajo el nivel freático. Asimismo debido, a su gran flexibilidad soportan movimientos y asentos diferenciales sin pérdida de eficiencia; además, este tipo de estructuras se integran con gran facilidad dentro del paisaje, ya que permiten el desarrollo de la vegetación.

Además tienen las ventajas siguientes: flexibles, rápidos, fáciles de diseñar, respetuosos con el medio ambiente, estético, permeabilidad, sin cimentación, ejecución por fases y además entra en carga de forma inmediata.

Estos muros constituyen la parte principal de una construcción, se justifica por las economías que resultan, el recurrir a un estudio más completo del suelo y a un análisis más detallado de las cargas. Los muros de retención o sostenimiento se emplean comúnmente en las carreteras y ferrocarriles, así como en otras propiedades públicas y privadas, con los fines siguientes:

- Resolver problemas de derecho limitado de vía, confinando los taludes dentro de los límites prácticos.
- Proyectos de separación de niveles y ampliación de caminos.
- Estabilización de taludes muy inclinados en corte o en terraplén.
- Reparación de desperfectos en el lecho del camino.
- Evitar erosión de las márgenes.
- Aleros para estribos y muros de cabecera.
- Plataformas para carga.
- Muros de protección y barricadas.

## **5.2. Diseño de los muros de retención**

Las presiones que obran sobre un muro de retención tienden a producir su deslizamiento, hundimiento o volteo. La resistencia a la sustentación del terreno que forma el cimiento es importante, como lo es también el carácter del relleno, el cual puede variar desde una grava bien drenada hasta una arcilla muy plástica. La determinación de la magnitud, dirección y punto de aplicación de la presión es un procedimiento laborioso y complicado, para lo cual se recomienda consultar libros sobre el tema. La cimentación adecuada se necesita para el comportamiento satisfactorio de un muro de sostenimiento.

La mayor parte de los fracasos ocurre cuando los muros se construyen sobre cimentaciones de arcilla; por otra parte, los suelos de grano grueso proporcionan base y relleno estables. Debe evitarse el relleno hecho de suelos arcillosos, o los que contengan un elevado porcentaje de arcilla, especialmente si existen filtraciones en los taludes. La arcilla dura en terrones grandes no debe usarse como relleno, a menos que puedan evitarse las filtraciones del agua de la superficie al material de relleno. El drenaje adecuado siempre es importante ya que mejora la estabilidad de todos los rellenos, y es esencial donde quiera que se encuentren taludes con estratos conductores de agua.

## **5.3. Cálculo del empuje**

Para determinar el valor del empuje se utiliza el método de Coulomb, que se basa en el estudio del equilibrio de una cuña bidimensional de suelo indeformable, sobre la que actúa el peso propio del relleno, la fuerza de fricción interna que se distribuye en forma uniforme a lo largo de la superficie de rotura plana y eventualmente la cohesión del suelo.



Para el caso particular de muros formados con gaviones, se omite el empuje hidrostático por ser la estructura permeable caso de un muro con paramento vertical interno; la superficie de empuje es el propio paramento interno del muro. En el caso del muro con escalones internos, se considera la superficie que une los extremos internos superior e inferior del muro. Quedando así determinado el ángulo Beta formado por el plano de empuje y la horizontal.

#### **5.4. Muros secos**

Se llama muro seco al muro en mampostería de piedra, sin mortero. Este sistema tradicional de construcción consiste en erigir muros y paramentos, para diversos fines, mediante la colocación manual de los elementos o los materiales que los componen (denominados mampuestos) que pueden ser, por ejemplo: ladrillos bloques de cemento prefabricado piedras, talladas en formas regulares o no.

Este sistema permite una reducción en los desperdicios de los materiales empleados y genera fachadas portantes; es apta para construcciones en alturas grandes. La mayor parte de la construcción es estructural. A la disposición y trabazón dadas a los materiales empleados en los muros se llama aparejo.

Anteriormente se consideró no utilizar mortero de unión entre los elementos llamados piedras, denominándose a los muros así resultantes "muros secos" o "de cuerda seca". Este tipo de trabajo de los muros es típico de las construcciones rurales tradicionales.

Figura 12. **Construcción de muro seco**



Fuente: fotografía tomada en Cobán.

### 5.5. **Muros criba**

Son una especie de parrilla formada con piezas prefabricadas de concreto armado o de acero. Las piezas prefabricadas se disponen formando celdas paralelepípedas que posteriormente se rellenan con suelo.

Figura 13. **Modelos de muro criba**



Fuente: fotografía tomada en carretera a Santa Catarina Pinula.

## **5.6. Muros de concreto ciclópeo**

Los muros de concreto ciclópeo son conocidos como muros de hormigón ciclópeo. Es la mezcla del concreto más piedra; estará formada por piedra con un peso mínimo de 30 kg y un concreto de cemento portland adecuado a las características del medio ambiente en el que se construirá el muro, caso de ambiente marino que obliga a utilizar un cemento resistente a sulfatos. El hormigón será mezclado con un aditivo. Las piedras tendrán un volumen total máximo del 30% del volumen total de hormigón ciclópeo.

### **5.6.1. Colocación del hormigón**

Todo hormigón será colocado antes de que haya comenzado su endurecimiento inicial, y en cualquier caso, dentro de 30 minutos después de la mezcla de los agregados. El hormigón será colocado en tal forma que se evite segregación del agregado grueso o porciones de la mezcla y deberá ser esparcido en capas horizontales mientras sea posible. Los canales guías, bateas cortas o tubos que se usen como ayuda en la colocación del hormigón; se dispondrán de modo que los ingredientes del hormigón no se separen. Cuando se requieran inclinaciones excesivas, las bateas y canales serán equipados con paletas deflectoras o se instalarán en tramos pequeños que permitan invertir la dirección del movimiento.

Cuando se use tubería, esta se mantendrá llena de hormigón y sus extremos inferiores se mantendrán enterrados en hormigón fresco como se requiere, luego todas las tuberías, canoas y canales que se utilicen deberán limpiarse. Y el agua usada para lavado debe botarse lejos del lugar donde se haya colocado el hormigón, y no se permitirá que llegue a vías de agua. Las canoas o canales serán de metal o forrados en metal y se extenderán tan cerca

como sea posible del punto donde habrá de depositarse el hormigón. Cuando la descarga sea intermitente se deberá proveer un recipiente u otro dispositivo para regularla.

No se permitirá dejar caer el hormigón de una altura mayor de 1.50 m, ni se deberá depositar en cantidades excesivas en cualquier punto; tampoco se permitirá acarrearlo ni manejarlo a lo largo de las formaletas. Las piedras se colocarán con cuidado y apisonándolas o hundiéndolas en el hormigón fresco sin dejarlas caer, ni lanzándolas, para evitar daño tanto a las formaletas como al hormigón adyacente en proceso de fraguado. Este trabajo deberá ser ejecutado por obreros competentes.

#### **5.6.2. Huecos de drenaje y de filtración**

Los orificios para los tubos de drenaje se construirán en la forma y en los lugares que señalen los planos; para los huecos de tubos de drenaje, pueden utilizarse tubos de arcilla o de hormigón, o de cajas de madera. Si se usaren formaletas de madera, estas se removerán después de colocado el hormigón.

#### **5.6.3. Curado del hormigón**

Todas las superficies de hormigón se tendrán mojadas por lo menos siete (7) días después de su colocación y deberán mantenerse completamente mojadas, mediante el empleo de henequén, colchonetas de algodón u otros materiales que habrán de mantenerse saturados de agua hasta el final del período de cura. Si se instalan formaletas de madera que fueran a permanecer en su sitio durante el período de cura, se les mantendrá húmedas en todo tiempo para evitar que se abran las juntas.

Figura 14. **Construcción de caja utilizando concreto ciclópeo**



Fuente: fotografía tomada en zona 16 ciudad de Guatemala.

## **6. MANTENIMIENTO DE LOS TALUDES**

A continuación se proponen algunas actividades que de acuerdo con la experiencia cumplen mejorando la estabilidad en los taludes y se propone al personal que debe llevar a cabo las actividades. Las actividades que se proponen son producto de la experiencia en campo a realizar en el mantenimiento de taludes en el cerro Lec, con la implementación de las mismas se pretende reducir los riesgos en la carretera que pasa por el cerro.

Comprende labores de reparaciones menores y sistemas de contención y de obras de drenaje. Este mantenimiento se pretende realizar con la siguiente periodicidad: dos veces al año y cuando ocurra un evento que así lo requiera.

De todas maneras, se debe tener en cuenta que los trabajos de mantenimiento serán útiles para mantener la estabilidad actual, eventualmente, para contraer una mejoría marginal del talud o estructura. A fin de establecer la condición actual de estabilidad de un talud o estructura de contención, así como a fin de determinar las obras de estabilización o reparación de daños severos, se deben realizar estudios detallados.

A continuación, se presentan las actividades que deben ser llevadas a cabo en el mantenimiento de taludes. Estas actividades están contenidas en fichas, una forma práctica de llevar al campo de acuerdo con la actividad a realizar.

### Actividades de mantenimiento periódico.

- Ficha No 6.1 (control de la erosión en la superficie)
- Ficha No 6.2 (Sellado de grietas en la superficie)
- Ficha No 6.3 (Control de vegetación que causa daños en la superficie)
- Ficha No 6.4 (Reparación en coberturas rígidas)
- Ficha No 6.5 (Sellado de grietas en la corona)
- Ficha No 6.6 (Control de erosión en la corona)
- Ficha No 6.7 (Control de la infiltración de agua en la corona)
- Ficha No 6.8 (Sellado de grietas en la pata)
- Ficha No 6.9 (Control de socavación en la pata)
- Ficha No 6.10 (Reparación de agrietamientos en zanjas o canales de drenaje)
- Ficha No 6.11 (Capacidad hidráulica en zanjas y canales de drenaje)
- Ficha No 6.12 (Tratamiento de superficie del cuerpo de estructuras de contención)
- Ficha No 6.13 (Reparación por daño causado por impacto en estructuras de concreto)

Tabla X. **Control de la erosión en la superficie**

Descripción:

Se trata de implementar obras y medidas para el control de la erosión que ocurre en la superficie del talud

Finalidad:

Se trata de controlar procesos de erosión que puedan afectar la estabilidad del talud.

Criterios:

La aplicación de la obra debe llevarse a cabo cuando se compruebe la existencia de este tipo de problemática localizada en la superficie del talud.

Procedimiento:

Durante el desarrollo de esta actividad deben considerarse los desechos y sobrantes de seguridad industrial y manejo temporal del tránsito.

Cuantificar en metros cuadrados el área total e intervención, de acuerdo con el tipo de erosión y su severidad; se definirán las medidas específicas que se van a implementar en cada caso particular.

Construcción de los elementos definidos tales como: revestimientos, obras de drenaje como canales y cunetas para el manejo de escorrentías, conformación de bermas, etc.

Mano de obra:

Obreros.

Materiales:

Material vegetal, geosintéticos, rocas para el revestimiento, concreto simple.

Equipo:

Retroexcavadora para la conformación de bermas.

Herramientas:

Palas, saca tierra y barretas.

Fuente: elaboración propia.



Tabla XI. **Sellado de grietas en la superficie**

Descripción:

Se trata de sellar las fisuras o grietas existentes en la superficie del talud.

Finalidad:

Controlar la infiltración de agua en la superficie del talud por la presencia de grietas.

Criterios:

Debe ser llevada a cabo cuando en el proceso de diagnóstico se presente este fenómeno con severidad, clasificado como bajo.

Procedimiento:

Durante el desarrollo de esta actividad deben considerarse los desechos y sobrantes de seguridad industrial y manejo temporal del tránsito.

Cuantificar la longitud total necesaria de sellado en metros lineales.

Realizar el sellado con material del suelo cohesivo tipo arcilla.

Mano de obra:

Supervisor y obreros

Materiales:

Arcilla

Equipo:

Ninguno

Herramientas:

Palas y piochas

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Control de la vegetación que causa daño en la superficie**

<p><b><u>Descripción:</u></b> Retiro o eliminación de ciertos tipos de vegetación, que por su naturaleza pueden contribuir a la inestabilidad del talud.</p> <p><b><u>Finalidad:</u></b> Controlar el crecimiento o retirar de forma definitiva la vegetación que contribuya a la Inestabilidad del talud.</p> <p><b><u>Criterios:</u></b> Se debe de llevar a cabo cuando en el proceso de diagnóstico, se identifique este fenómeno.</p> <p><b><u>Procedimiento:</u></b> Durante el desarrollo de esta actividad deben considerarse los desechos y sobrantes de seguridad industrial y manejo temporal del tránsito. Si la vegetación en cuestión, corresponde a árboles o arbustos, se debe identificar el número de unidades de cada una de las especies que se va a tratar. De acuerdo con las recomendaciones particulares del ingeniero forestal o agrónomo, y cumpliendo las normativas de la autoridad ambiental competente, se retiran y relocalizan los árboles o arbustos. Si la vegetación corresponde a malezas, se utilizan productos químicos o biológicos de control de malezas</p> <p><b><u>Mano de obra:</u></b> Ingeniero, Supervisor y obreros.</p> <p><b><u>Materiales:</u></b> Productos de control de vegetación</p> <p><b><u>Equipo:</u></b> Cargadores (retiro mecánico de árboles grandes) y camiones para transportarlos.</p> <p><b><u>Herramientas:</u></b> Palas, barras, hachas y machetes.</p>
--

Fuente: elaboración propia.

**Tabla XIII. Reparación en coberturas rígidas**

**Descripción:**

Reconformación de la superficie en la cobertura rígida afectada por roturas.

**Finalidad:**

Recuperar la continuidad del recubrimiento rígido del talud.

**Criterios:**

Esta actividad, debe llevarse a cabo cuando en el proceso de diagnóstico, se identifique este daño.

**Procedimiento:**

Durante el desarrollo de esta actividad, deben considerarse los desechos y sobrantes de seguridad industrial y manejo temporal del tránsito.

Demarcar el área correspondiente a las roturas.

Retirar la cobertura rígida dentro del área demarcada y limpiar el sector que se va a tratar.

Si la malla se encuentra rota, se debe reemplazar, de lo contrario, se retira solamente el material sobrante.

Retirar la cobertura rígida dentro del área demarcada y limpiar el sector que se va a tratar.

Alisar y uniformizar en el mayor grado posible el área del talud afectado.

De acuerdo con el área afectada, la colocación del concreto lanzado al talud, si el área es mayor a 100 metros cuadrados o a mano, para áreas menores.

**Mano de obra:**

Ingeniero, supervisor y obreros

**Materiales:**

Concreto y malla metálica

**Equipo:**

Mezcladora de concreto y equipo neumático de lanzamiento

**Herramientas:**

Palas, cucharas y piochas (en el caso de ser colocado a mano)

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Sellado de grietas en la corona**

<p><u>Descripción:</u> Sellado de fisuras o grietas existentes en la corona del talud.</p> <p><u>Finalidad:</u> Controlar la infiltración de agua hacia la masa del talud por la presencia de grietas en la corona para evitar la erosión.</p> <p><u>Criterios:</u> Esta actividad, debe llevarse a cabo cuando en el proceso de diagnóstico, se identifique este daño.</p> <p><u>Procedimiento:</u> Durante el desarrollo de esta actividad deben considerarse los desechos y sobrantes de seguridad industrial y manejo temporal del tránsito. Determinar la longitud total necesaria de sellado en metros lineales. Sellar con material cohesivo, tipo arcilla.</p> <p><u>Mano de obra:</u> Supervisor y obreros</p> <p><u>Materiales:</u> Arcilla</p> <p><u>Equipo:</u> Ninguno</p> <p><u>Herramientas:</u> Palas y piochas</p>
---

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Control de la erosión en la corona**

**Descripción:**

Implementación de obras para controlar procesos erosivos localizados en la corona del talud.

**Finalidad:**

Controlar y disminuir procesos de erosión que afecten la estabilidad del talud.

**Criterios:**

Debe ser llevada a cabo esta actividad cuando se compruebe este tipo de problemas en la corona del talud.

**Procedimiento:**

Durante el desarrollo de esta actividad debe considerarse los desechos y sobrantes de seguridad industrial y manejo temporal del tránsito.

Cuantificar en metros cuadrados el área total a intervenir.

De acuerdo con el tipo de erosión ,se definen las medidas específicas que deben implementarse en cada caso

**Mano de obra:**

Supervisor y obreros

**Materiales:**

Geosintéticos, rocas para revestimiento, concreto y material especificado según el caso

**Equipo:**

Retroexcavadora para la conformación de bermas

**Herramientas:**

Palas, saca tierra y barretas

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Control de la infiltración de agua en la corona**

<p><u>Descripción:</u> Verificar la limpieza de subdrenajes</p> <p><u>Finalidad:</u> Recuperar el funcionamiento de los subdrenajes tipo drenes horizontales, que se encuentren tapados.</p> <p><u>Criterios:</u> Esta actividad, debe llevarse a cabo cuando en el proceso de diagnóstico, se identifique este daño.</p> <p><u>Procedimiento:</u> Durante el desarrollo de esta actividad deben considerarse los desechos y sobrantes de seguridad industrial y manejo temporal del tránsito. Identificar y marcar las unidades afectadas. Remover la obstrucción mediante el sondeo de la tubería de conducción, empleando elementos como varillas o barras. Esta actividad también es posible realizarla mediante la inyección de agua o aire a presión en dirección contraria a la pendiente del drenaje.</p> <p><u>Mano de obra:</u> Supervisor y obreros.</p> <p><u>Materiales:</u> Ninguno</p> <p><u>Equipo:</u> Compresor de aire o agua</p> <p><u>Herramientas:</u> Varillas metálicas o barras</p>
--

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Sellado de grietas en la pata**

**Descripción:**

Sellado de fisuras o grietas existentes en la pata del talud.

**Finalidad:**

Controlar la infiltración de agua a la masa de terreno que se encuentra en la pata del talud

**Criterios:**

Esta actividad, debe llevarse a cabo cuando en el proceso de diagnóstico, se identifique este daño.

**Procedimiento:**

Durante el desarrollo de esta actividad deben considerarse los desechos y sobrantes de seguridad industrial y manejo temporal del tránsito.

Cuantificar la longitud total en metros lineales necesarios para realizar el sellado.

Realizar el sellado utilizando material cohesivo, tipo arcilla.

**Mano de obra:**

Supervisor y obreros

**Materiales:**

Arcilla

**Equipo:**

Ninguno

**Herramientas:**

Palas y piochas

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Control de la socavación en la pata**

Descripción:

Implementar obras para controlar procesos de socavación en la pata del talud.

Finalidad:

Controlará la socavación en la pata del talud para evitar su desestabilización.

Criterios:

Esta actividad, debe llevarse a cabo cuando en el proceso de diagnóstico, se identifique este daño.

Procedimiento:

Durante el desarrollo de esta actividad deben considerarse los desechos y sobrantes de seguridad industrial y manejo temporal del tránsito.

Debe cuantificarse en metros cúbicos el volumen de material suelto afectado por la socavación, así como la estimación de la profundidad máxima del alcance del daño.

Se identifica la procedencia del flujo de agua causante del daño.

En el caso de existir flujos de agua menores, se deben canalizar estas corrientes y hacer el desfogue hacia el río más cercano.

Si se trata de un talud, cuya pata se encuentra en la margen de un río, quebrada u otra corriente importante, debe realizarse un estudio de socavación detallado para definir el tipo de obra a construir.

Mano de obra:

Supervisor y obreros

Materiales:

Gaviones, concreto y roca

Equipo:

Equipos de retiro de materiales, retroexcavadora y cargadores

Herramientas:

Palas y piochas

Fuente: elaboración propia.



Tabla XIX. **Reparación de agrietamientos en zanjas o canales de drenaje**

<p><b><u>Descripción:</u></b> Tomar las medidas adecuadas para controlar la erosión.</p> <p><b><u>Finalidad:</u></b> Mantener limpia la sección hidráulica de los canales y zanjas para garantizar su correcto funcionamiento.</p> <p><b><u>Criterios:</u></b> Debe llevarse a cabo esta actividad, cuando se compruebe que se ha acumulado material en la sección de este tipo de obras.</p> <p><b><u>Procedimiento:</u></b> Durante el desarrollo de esta actividad debe considerarse los desechos y sobrantes de seguridad industrial y manejo temporal del tránsito. Recorrer el trazado longitudinal, recogiendo las basuras y desperdicios, retirar piedras y obstáculos de la sección y trasladarlos al camión con las carretillas.</p> <p><b><u>Mano de obra:</u></b> Supervisor y obreros</p> <p><b><u>Materiales:</u></b> Ninguno</p> <p><b><u>Equipo:</u></b> Carretillas y camión</p> <p><b><u>Herramientas:</u></b> Palas y piochas</p>
--

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Capacidad hidráulica en zanjas y canales de drenaje**

<p><u>Descripción:</u> Se trata de incrementar la capacidad hidráulica de canales y zanjas de drenaje.</p> <p><u>Finalidad:</u> Aumentar la capacidad de conducción de estructuras de drenaje superficial tipo canales para evitar desbordamientos de agua que conduzcan a procesos erosivos,</p> <p><u>Criterios:</u> Esta actividad, debe llevarse a cabo cuando en el proceso de diagnóstico, se identifique este daño.</p> <p><u>Procedimiento:</u> Durante el desarrollo de esta actividad debe considerarse los desechos y sobrantes de seguridad industrial y manejo temporal del tránsito. Evaluar el caudal máximo de la estructura en las condiciones actuales y el caudal de diseño necesario para tener un correcto funcionamiento de la obra. Determinar el área transversal necesaria para cumplir con el caudal de diseño y evaluar el aumento en la altura de la sección para cumplir con el área. En los casos en que sea posible, elevar las paredes laterales de las cunetas o canales hasta la altura necesaria. Para canales en tierra, se puede optar por profundizar el fondo del canal o ampliar la sección mediante excavación.</p> <p><u>Mano de obra:</u> Supervisor y obreros</p> <p><u>Materiales:</u> Concreto</p> <p><u>Equipo:</u> Equipo de carga</p> <p><u>Herramientas:</u> Palas y piochas</p>
--

Fuente: elaboración propia.

**Tabla XXI. Tratamiento de superficie del cuerpo de estructuras de contención**

**Descripción:**

Tratamiento en la superficie de estructuras de concreto que han sufrido procesos erosivos.

**Finalidad:**

Recuperar la textura superficial y el material perdido por efectos erosivos en estructuras de concreto.

**Criterios:**

Debe llevarse a cabo esta actividad, cuando se compruebe que se ha acumulado material en la sección de este tipo de obras.

**Procedimiento:**

Durante el desarrollo de esta actividad deben considerarse los desechos y sobrantes de seguridad industrial y manejo temporal del tránsito.

Limpieza convencional con agua a presión en la superficie afectada para remover las impurezas.

De acuerdo con el nivel de severidad, se decidirá el tipo de material que se va a utilizar.

**Mano de Obra:**

Supervisor y obreros

**Materiales:**

Concreto, materiales epóxicos u otros adecuados al propósito

**Equipo:**

Compresor y equipo para lavado a presión

**Herramientas:**

Palas y piochas.

Fuente: elaboración propia.

**Tabla XXII. Reparación por daño causado por impacto en estructuras de concreto**

<p><u>Descripción:</u> Reparaciones en el cuerpo de estructuras de concreto dañadas por el impacto de material proveniente de la parte alta del talud o por choques de vehículos.</p> <p><u>Finalidad:</u> Recuperar la textura superficial y las características estructurales originales de la estructura.</p> <p><u>Criterios:</u> Debe llevarse a cabo esta actividad, cuando se compruebe que este daño en la estructura.</p> <p><u>Procedimiento:</u> Durante el desarrollo de esta actividad debe considerarse los desechos y sobrantes de seguridad industrial y manejo temporal del tránsito. Limpieza convencional con agua a presión en la superficie afectada para remover las impurezas. Si las severidades del daño se encuentran entre insignificante a media, la intervención se limitará a la reposición del concreto fracturado o perdido. Si la severidad del daño es alta, un ingeniero estructural deberá verificar la competencia estructural de la obra y así determinar la necesidad de reemplazar o complementar el refuerzo de acero.</p> <p><u>Mano de obra:</u> Supervisor y obreros</p> <p><u>Materiales:</u> Concreto, acero y materiales epóxicos para el propósito</p> <p><u>Equipo:</u> Compresor de alto rendimiento industrial y equipo para lavado a presión</p> <p><u>Herramientas:</u> Palas y piochas</p>
--

Fuente: elaboración propia.



## **7. PROPUESTA PARA OBRAS DE PROTECCIÓN Y RETENCIÓN DE DERRAMAMIENTO DE TALUD DEL CERRO LEC**

El Cerro lec, se encuentra ubicado entre los municipios de San Andrés Semetabaj y Panajachel departamento de Sololá a una altura de 1,894 msnm (metros sobre el nivel del mar), por la ruta nacional 1 (RN 1); además de ser una de las rutas de acceso y turística, y dada su importancia, se proponen las obras de protección y retención para estabilizar el talud que afecta directamente a la carretera.

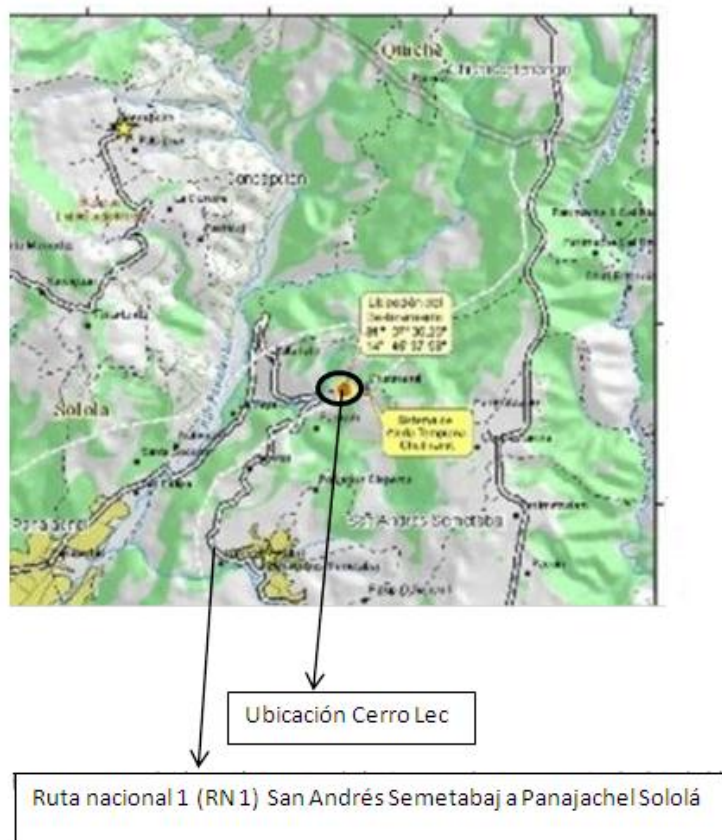
Durante la época de verano, se espera que la carretera permanezca despejada de materiales provenientes del cerro, pero algunas veces debido al movimiento del mismo y a riachuelos que bajan por sus taludes, estos arrastran materiales hacia la carretera; el problema se agudiza en la época de invierno pues aunado a los movimientos, el agua proveniente de las lluvias y las aguas de nacimientos en el mismo cerro, hacen que la carretera se vuelva intransitable.

Para realizar este trabajo, se analizó en dos partes: la primera que corresponde a la inferior o al pie del talud del cerro y la segunda que corresponde a la superior del mismo. En la parte inferior, se analiza en una longitud de 100 metros al pie del talud paralelo a la carretera. Se analizó esta parte porque es aquí donde se presenta el problema, en esta parte se propone la construcción de muro de concreto ciclópeo de 40 metros de longitud, asimismo un muro de gaviones de 30 metros de longitud, construcción de

bermas en una longitud de 70 metros; en el derramadero natural o cascada donde baja la mayor cantidad de materiales de arrastre y agua se propone otro tipo de obras como la construcción de disipadores y una bóveda; mismas que se presentan en las páginas siguientes.

En la parte superior del cerro, se propone el retiro de sobrecargas, corte de talud construcción de muros tipo bordillo de concreto ciclópeo, bermas y disipadores.

Figura 15. **Mapa de ubicación del cerro Lec**



Fuente: <http://www.google.com.gt/imgres?q=cerro+lec+&sa=N&tbo=d&biw=1143>

Fecha de consulta 23 de septiembre de 2011.

## **7.1. Construcción de las obras**

Las obras propuestas para efectos de protección y retención de talud en cerro Lec son:

- Remoción de materiales y corte de talud para reducir sobrecarga en el cerro.
- Construcción de 3 muros transversales tipo bordillo en planicie sobre cerro.
- Construcción de disipadores de energía en cascada del talud.
- Construcción de muro de gaviones, de concreto ciclópeo y bermas al pie de talud (en una parte del tramo).
  - Diseño del muro de gaviones.
  - Diseño del muro de concreto ciclópeo
  - Construcción de bermas
  - Construcción de bóveda

### **7.1.1. Remoción de materiales y corte de talud para reducir sobrecarga en el cerro**

En la parte superior del cerro Lec, existe una planicie o desnivel formada por muchos sedimentos resultantes de derrumbes de taludes.



Efectivamente sobre la planicie corre un arroyo producto de un nacimiento de un caudal que comparado con el caudal que cae en la cascada es muy pequeño, ya que en la cascada se aumenta el caudal a consecuencia del recorrido por la planicie y aunado al que proporcionan las lluvias, acarrear sedimentos desde la planicie que al caer en una cascada de 35 metros, producen la avalancha que pasa llevándose parte del talud mismo que aumenta al caer en la parte inferior, ya que en la parte baja o inferior existen cuatro nacimientos de agua, por lo que se propone remover parte del talud y sedimentos de una tercera parte del cerro a efecto de reducir la sobrecarga del talud; luego es preciso construir dos bermas con cunetas respectivas a efecto de conducir el agua producto de infiltraciones y agua de lluvia.

Figura 16. **Sobrecargas o material acumulado**



Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Material acumulado proveniente de derrumbes**



Fuente: elaboración propia.

### 7.1.2. Construcción de 3 muros transversales tipo bordillo en planicie del cerro

Con la construcción de este muro transversal a la planicie en el Cerro Lec, se disminuirá el acarreo de sedimentos productos de derrumbes de talud en la parte superior del cerro por parte del arroyo que corre en la planicie y por parte del agua de lluvia, de manera que el acarreo de sedimentos en la planicie hasta llegar a la cascada, sea mínimo.

Figura 18. **Sedimentos (procedente de montaña) que corren por un desnivel en la parte superior del cerro**



Fuente: elaboración propia.

Como puede observarse, corre un riachuelo en este desnivel pero aunado a las aguas de lluvia, arrastra los sedimentos (línea continua) procedentes de derrumbes de la parte superior hasta la cascada.

A continuación se esquematizan las obras a construir en dicho desnivel; con esta construcción de tres muros tope se pretende evitar excesos de sedimentos que lleguen a la cascada y causen daños.

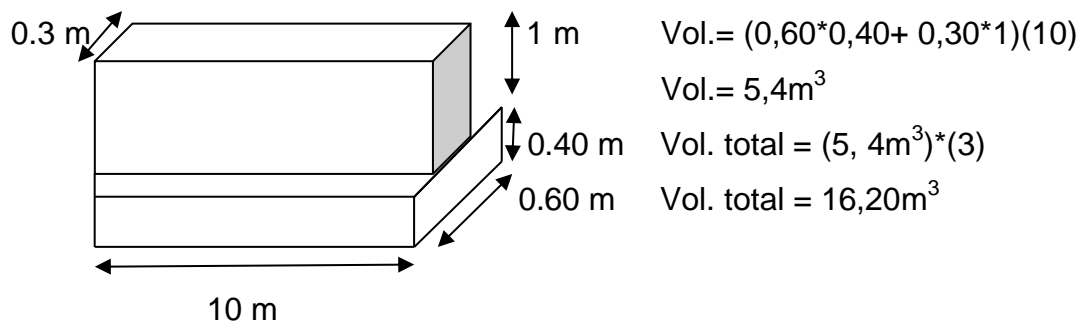
Figura 19. **Construcción de muros en el desnivel de la parte superior del cerro**



La distancia entre muros se propone de 40 metros.

Fuente: elaboración propia.

Dimensionamiento de los muros



Fuente: Elaboración propia.

### **7.1.3. Construcción de disipadores de energía en cascada del talud**

Se propone la construcción de 7 disipadores de energía ya que se cuenta con una altura de cascada de 35 metros con la construcción de estos disipadores; se controlará el caudal ya que lo que se pretende es disminuir la velocidad del agua al caer desde esa altura y evitar daño.

Figura 20. **Construcción de disipadores de energía en cascada (parte crítica del talud)**



Fuente: elaboración propia.

### **7.1.4. Construcción de muro de gaviones, de concreto ciclópeo y bermas al pie del talud**

En la parte inferior o pie del talud, se propone la construcción de un muro de gaviones y uno de concreto ciclópeo de 40 metros de longitud y uno de

gaviones de 30 metros de longitud; el diseño de cada uno de los muros se presenta en las páginas siguientes así mismo, se controlarán dos de los nacimientos en la cara de los taludes a efecto de aprovecharlos de la mejor manera por parte de la población.

Para la construcción del muro de gaviones y de concreto ciclópeo se realizaron pruebas de corte directo a las muestras inalteradas que se sacaron en los taludes del cerro y de acuerdo con los resultados (ver anexo), se procede al diseño de los muros antes mencionados. Extracción de muestras

Figura 21. **Muros propuestos carretera (RN 1)**



Material y sedimentos procedentes de cascada hacia la carretera

Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Extracción de muestras para determinar tipo de suelo y pruebas de corte directo en el laboratorio**



Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Utilización de parafina a efecto de lograr una muestra inalterada**



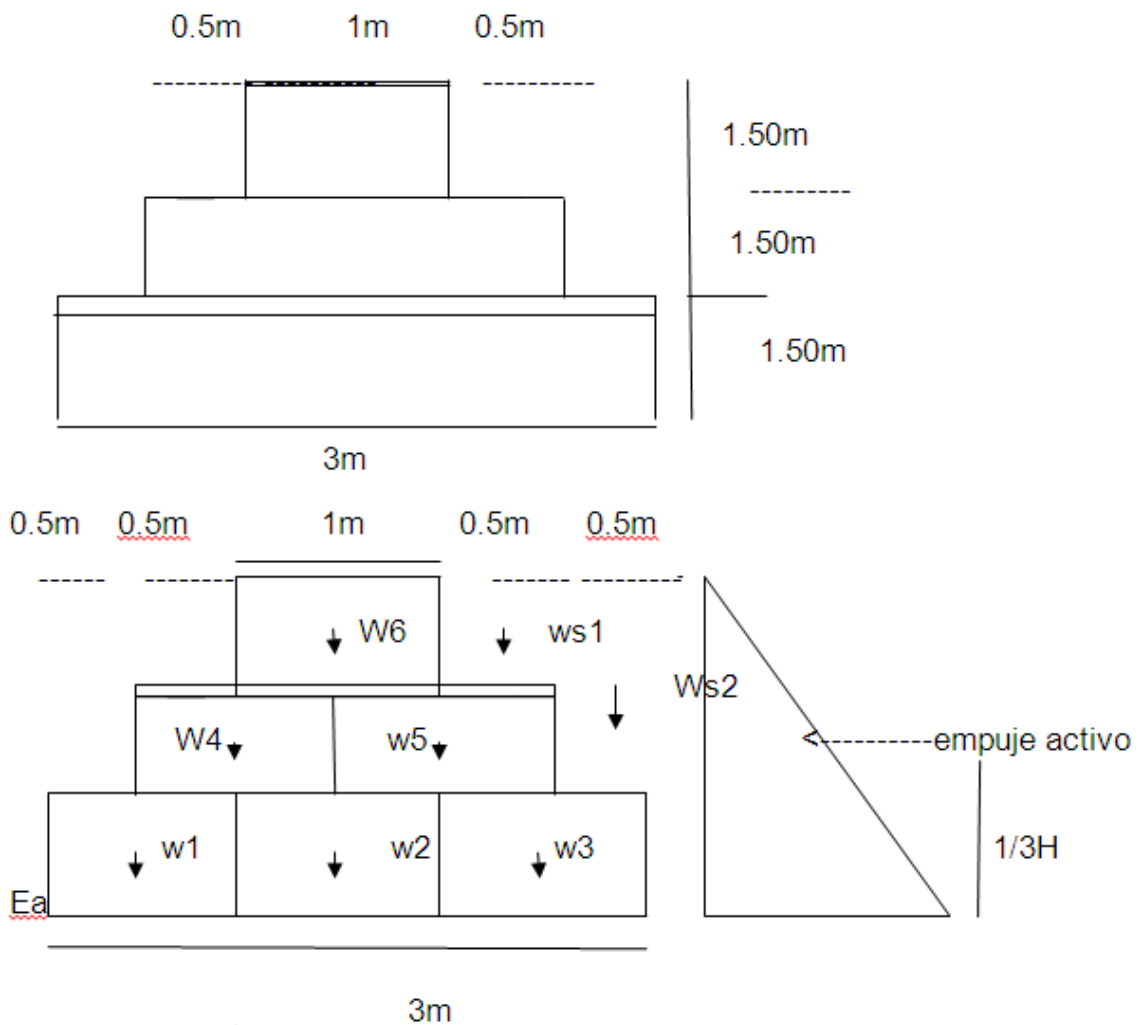
Fuente: elaboración propia



### 7.1.4.1. Diseño del muro de gaviones

De acuerdo con los resultados de laboratorio, se propone el siguiente diseño de muro.

Figura 24. Diseño de muro



Fuente: elaboración propia.

Datos de laboratorio

Datos propuestos:

$\gamma_{\text{suelo}} = 1,630 \text{ Kg/m}^3$  = peso específico del suelo

$\gamma_{\text{roca}} = 2,800 \text{ Kg/m}^3$  = peso específico de la roca

$\tau_{\text{suelo}} = 2 \text{ Kg/cm}^2$  = esfuerzo cortante

Ángulo =  $30.67^\circ$  fricción interna

Determinación del coeficiente de presión activa ( $K_a$ )

Se determina utilizando la siguiente fórmula:  $K_a = \tan^2 (45^\circ - Q/2)$

$$K_a = \tan^2 (45^\circ - 30.67^\circ/2) = 0.33$$

Empuje activo ( $E_a$ )

$$E_a = 1/2 \cdot \gamma_{\text{suelo}} \cdot H^2 \cdot K_a = 1/2 \cdot (1630 \text{ Kg/m}^3) \cdot (4.5\text{m})^2 \cdot 0.33 = 5,446.23 \text{ Kg}$$

Momento por volcamiento ( $M_{va}$ )

$$M_{va} = E_a \cdot H \cdot 1/3 = 5,446.23 \text{ Kg} \cdot 4.5\text{m} \cdot 1/3 = 8,169.35 \text{ Kgf-m}$$

Momento estabilizante

Se estabiliza con el peso de cada bloque y el peso de cada cuña de suelo sobre cada bloque así:

Se calcula el peso total de los bloques y se multiplica por 80%  $\gamma_{\text{roca}}$

Esto es debido a que existe una relación de vacíos del 20% entre roca y roca

$$W_{\text{total}} = w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5 + w_6$$

$$w_1 = (1 \text{ m}) \cdot (1.5 \text{ m}) \cdot (0.1 \text{ m}) \cdot (0.80) \cdot (2800 \text{ Kg/m}^3) = 3,360 \text{ Kg}$$

Como  $w_1 = w_2 = w_3 = w_4 = w_5 = w_6$  se tiene que el peso total es:

$$W_{\text{total}} = 3,360 \text{ Kg} \cdot 6 \text{ bloques} = 20,160 \text{ Kg}$$

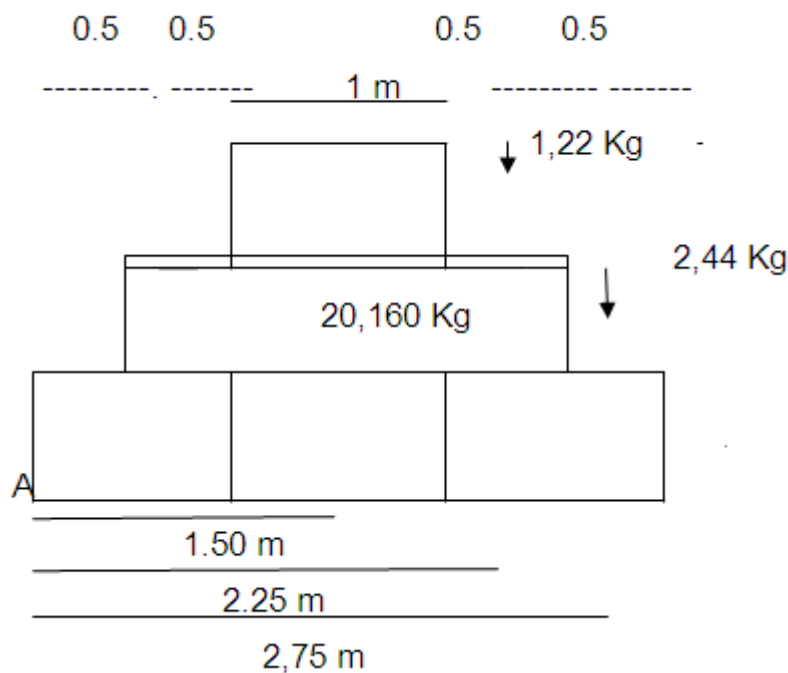
Peso del suelo sobre cada bloque (ws1 y ws2) en este caso

$$Ws1 = \text{vol. \&suelo} = (1.50 \text{ m} \cdot 0.50 \text{ m} \cdot 1 \text{ m})(1,630 \text{ Kg/m}^3) = 1.22 \text{ Kg}$$

$$Ws2 = \text{vol. \&suelo} = (0.50 \text{ m} \cdot 3 \text{ m} \cdot 1 \text{ m})(1,630 \text{ Kg/m}^3) = 2,44 \text{ Kg}$$

Momento estabilizante con respecto al punto A (MeA)

Figura 25. Dimensionamiento de gavi3n



Fuente: elaboraci3n propia.

MeA = Sumatoria de momentos de cada peso multiplicado por su brazo respecto del punto A,

$$MeA = (20,160 \text{ Kg} \cdot 1.5 \text{ m}) + (1,350 \text{ Kg} \cdot 2.25 \text{ m}) + (2,700 \text{ Kg} \cdot 2.75 \text{ m}) = 40,702.5 \text{ Kgf}$$

Factor de seguridad al volcamiento (Fsv)

$$Fsv = MeA/MV = 40,702.5 \text{ Kgf-m} / 8,169.35 \text{ Kgf-m} = 4.98 > 2 \text{ Ok}$$

Factor de seguridad al deslizamiento (Fsd)

Se calcula la fuerza normal (N) que de acuerdo con la primera ley de newton es igual a la sumatoria de los pesos en este caso se tiene:

$$N = w_{total} + w_{s1} + w_{s2}$$

$$N = 20,160 \text{ Kg} + 1,22 \text{ Kg} + 2,44 \text{ Kg}$$

$$N = 23,82 \text{ Kg}$$

$$F_{sd} = (U.N)/E_a = (\text{Tan } 30.67^\circ) \cdot (23,820 \text{ Kg}) / 5,446.23 \text{ kg}$$

$$F_{sd} = 2.52 > 1.5 \text{ Ok}$$

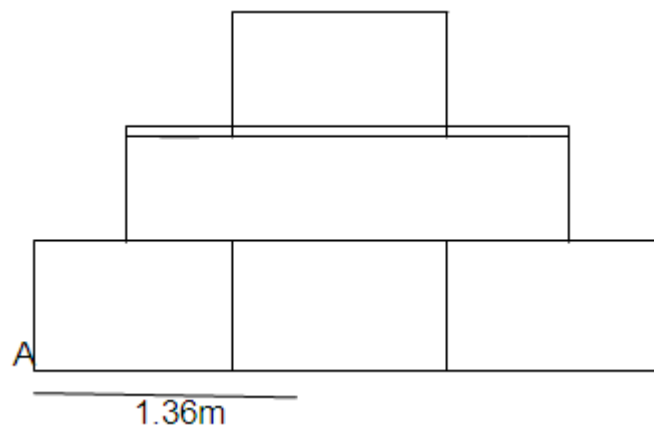
Punto de aplicación de la normal

$$X \cdot 23,820 \text{ kg} = M_e A - M_v a$$

$$X \cdot 23,820 \text{ kg} = 40,702.25 \text{ Kg} - 8,169.35 \text{ kg}$$

$$X = 1.36 \text{ m}$$

Figura 26. **Punto de excentricidad**



Fuente: elaboración propia.

Calculando la excentricidad (e)

El objetivo es verificar si hay tracciones ya que de existir las tracciones entonces el empuje activo ( $E_a$ ) tiende a volcar el muro.

$e = B/2 - X$  donde  $B =$  Base del muro y  $X =$  Punto de aplicación de  $N$

$$e = 3m/2 - 1.36m = 0.14 < B/6 = 3/6 = 0.5$$

0.14 < 0.5 Implica que no hay tracciones

También verificar esfuerzos

$$Esf1 = N/\text{Área} (1 + (6. e)/B)$$

$$Esf2 = N/\text{Área} (1 - (6. e)/B)$$

$$Esf1 = N/\text{Área} (1 + (6. e)/B) = 23,820 \text{ Kg}/((100)(300). (1 + (6.)(0.14))/(300))$$

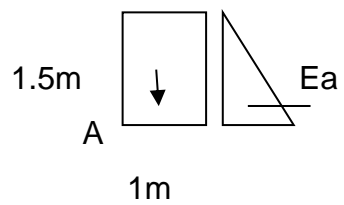
$$Esf1 = 0.80 \text{ Kg/cm}^2 < 2$$

$$Esf2 = N/\text{Área} (1 - (6. e)/B) = 23,820 \text{ Kg}/((100)(300). (1 - (6.)(.14)/300))$$

$$Esf2 = 0.8 \text{ Kg/cm}^2 < 2$$

Verificación entre bloque y bloque alrededor del punto A

Primer bloque



$$w1 = (1 \text{ m}) (1.5 \text{ m}). (1 \text{ m})(2,800 \text{ Kg})(0.8) = 3,360 \text{ Kg}$$

$$Ea = 1/2(1,630 \text{ Kg/m}^3) (1.5) (0.33) = 403.42 \text{ Kg}$$

$$MvA = (403.42 \text{ kg}) (1.5 \text{ m}) (1/3) = 201.71 \text{ Kgf-m}$$

$$MeA = (3,360 \text{ Kg}) (0.5 \text{ m}) = 1,680 \text{ Kgf-m}$$

Factor de seguridad al volcamiento (Fsv)

$$Fsv = MeA/MvA = 1,680 \text{ Kgf-m}/ 201.42 \text{ Kgf-m} = 8.34 > 2 \text{ Ok}$$

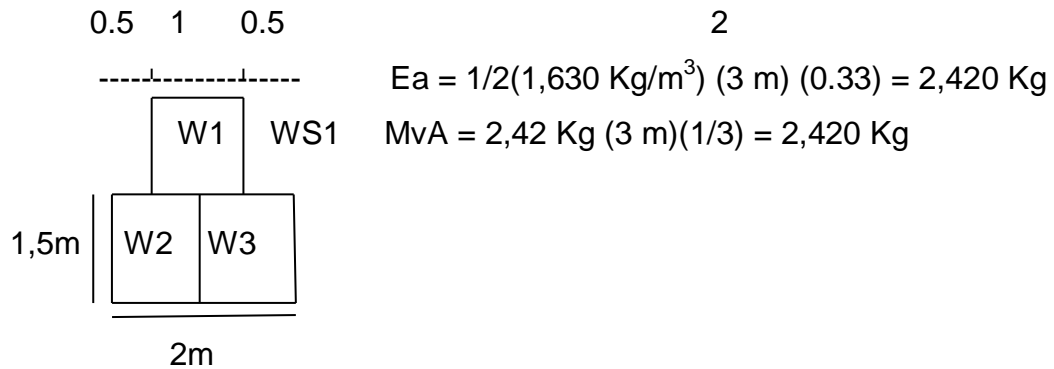
Factor de seguridad al deslizamiento (Fsd)

La fuerza Normal (N) es igual al peso es decir  $N = 3,360 \text{ Kg}$

El factor u entre bloque y bloque se puede elegir desde 0.5 hasta 0.7

$$Fsd = u.N/Ea = (0.5). (3,360 \text{ Kg})/ 668.25 \text{ Kg} = 5.03 > 1.5 \text{ Ok}$$

## Segundo Bloque



Peso total de los bloques de gavión ( $W_t$ )

$$W_t = w_1 + w_2 + w_3 \text{ Como } w_1 = w_2 = w_3 = 3,360 \text{ Kg}$$

$$W_t = (3,360 \text{ Kg}) \cdot (3) = 10,080 \text{ Kg}$$

Peso del suelo ( $w_{s1}$ )

$$W_{s1} = (1.5 \text{ m})(0.5 \text{ m})(1 \text{ m})(1,630 \text{ Kg/m}^3) = 1,22 \text{ Kg}$$

$$M_eA = (10,080 \text{ Kg})(1 \text{ m}) + (1,22 \text{ Kg})(1.75 \text{ m}) = 12,215 \text{ Kgf-m}$$

Factor de seguridad al volcamiento ( $F_{sv}$ )

$$F_{sv} = M_eA / M_{vA}$$

$$F_{sv} = 12,215 \text{ Kgf-m} / 2,420 \text{ Kg} = 5.04 > 2$$

Factor de seguridad al deslizamiento ( $F_{sd}$ )

Determinando la fuerza normal ( $N$ )

$$N = 10,080 \text{ Kg} + 1,220 \text{ Kg} = 11,300 \text{ kg}$$

$$F_{sd} = uN/E_a = 0.5 (11,300 \text{ kg}) / 2,420 \text{ Kg} = 2.33 > 1.5$$

### 7.1.4.2. Diseño del muro de concreto ciclópeo

Datos de laboratorio

$$\gamma_s = 1.63 \text{ T/m}^3 \quad Q \text{ (ángulo de fricción)} = 30.67^\circ \quad \text{Valor soporte } 38.53 \text{ ton/m}^3$$

$$U = \tan(2/3Q) = 0.38$$

$$K_a = \frac{(1 - \text{sen}Q)}{(1 + \text{sen}Q)}$$

Donde:

Ea= empuje activo

Ka=coeficiente presión activa

$$K_a = 0.33$$

$$K_p = 1/K_a$$

Kp= coeficiente de presión pasiva

$$K_p = 3.00$$

Sustituyendo datos en las fórmulas se tiene:

Cálculo de presiones horizontales

$$P_1 = K_p \cdot \gamma \cdot h = 0.978 \text{ T/m}^2$$

$$P_2 = K_a \cdot \gamma \cdot H = 3.08 \text{ T/m}^2$$

Cargas totales

$$C_1 = \frac{1}{2} P_1 \cdot h = 9.78 \text{ T/m}$$

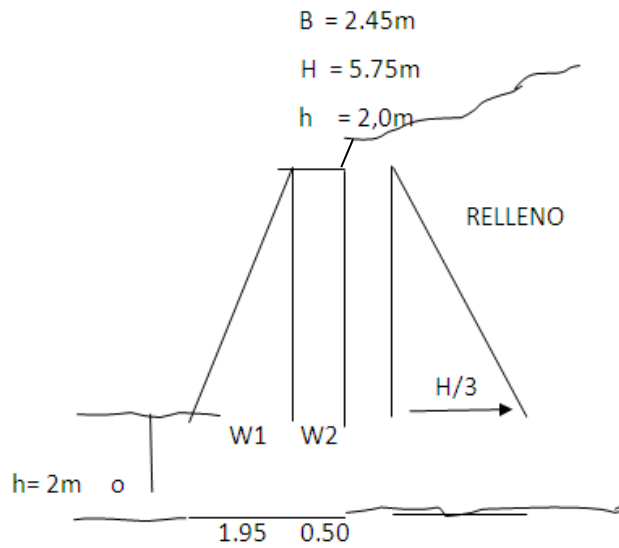
$$C_2 = \frac{1}{2} P_2 \cdot H = 8.85 \text{ T/m}$$

Momentos al pie del muro

$$M_1 = C_1 \cdot h/3 = 6.52 \text{ T-m/m}$$

$$M_2 = C_2 \cdot H/3 = 16.96 \text{ T-m/m}$$

Figura 27. **Medidas del muro**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Determinación del peso y momento del muro**

Figura	Área(m <sup>2</sup> )	&(T/m <sup>3</sup> )	Wm(T/m)	Brazo(m)	Mm(Tm/m)
1 (W1))	5.60625	2.4	13.455	1.3	17.4915
2 (W2)	2.875	2.4	6.9	1.55	10.695
<b>Totales</b>	<b>8.48</b>		<b>20.36</b>		<b>28.19</b>

Fuente: elaboración propia.

Chequeo por volteo (FSV)

$$FSV = (M1 + Mm) / (M2) = 2.05 > 1.05 \text{ OK}$$

Chequeo por deslizamiento (FSD)

$$FSD = (C1 + 0.40 (Wm)) / (C2) = 2.03 > \text{OK}$$



Chequeo de presión máxima bajo la base del muro

$$a = M1 + Mm - M2 / Wm = 0.87$$

$$exc = (B/2) a = 0.35$$

$3a = 2.62 > B$  OK no existen presiones negativas

Presión de terreno =  $WT/B + We/s$   $S = 1/6 * (base)^2$  1.00

Presión del terreno 1 = 15.50 máx. < valor soporte OK

Presión del terreno 2 = 1.12 mín.

Datos:

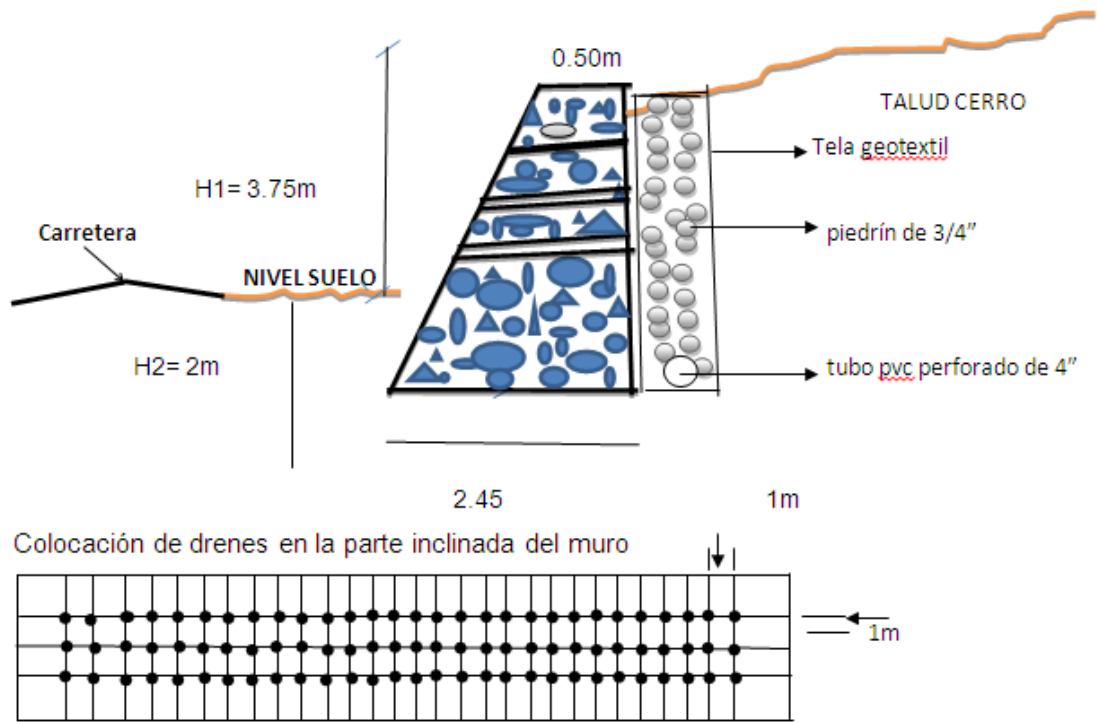
Base inferior = 2.45 metros

Corona = 0.50 metros

H total = 5.75 metros

Largo = 30 metros

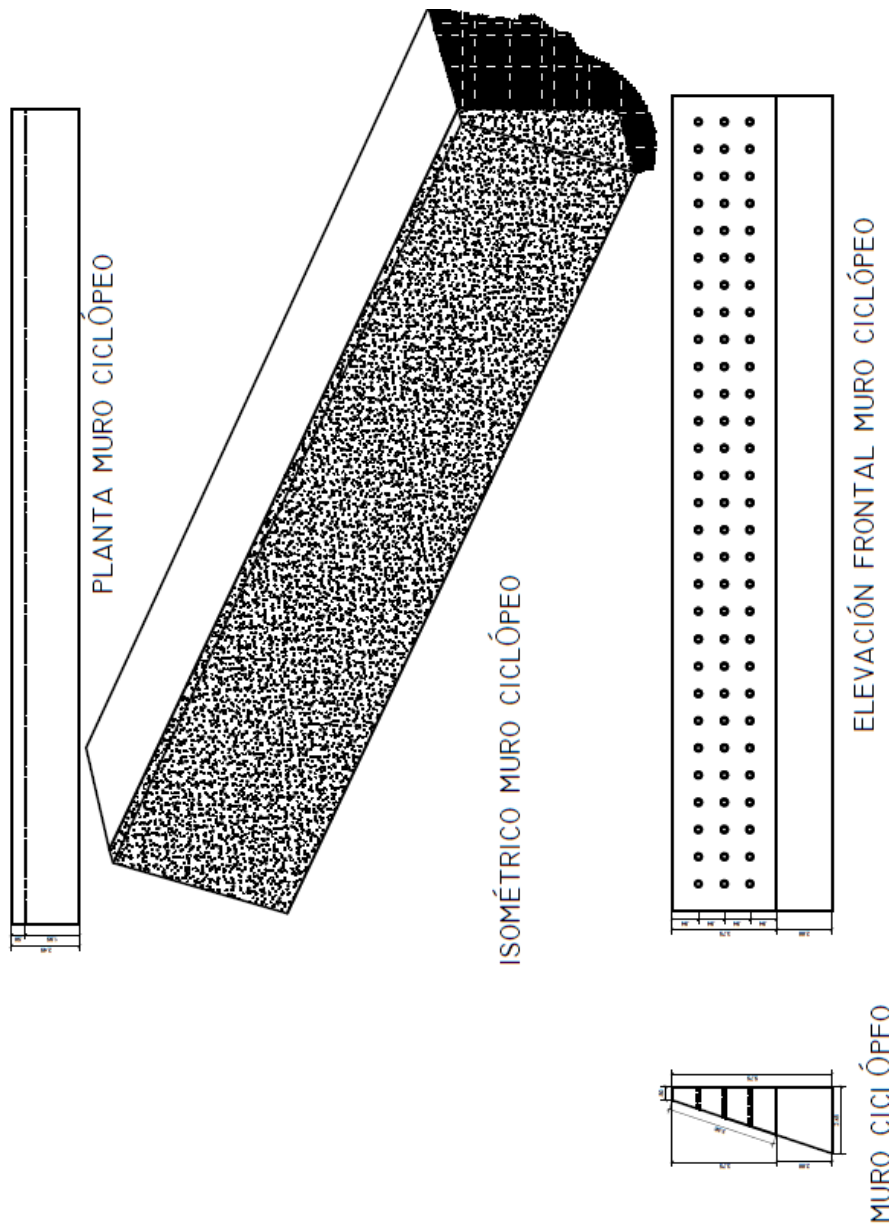
Figura 28. **Detalle de muro de concreto ciclópeo propuesto para el pie de talud del cerro Lec**



Se propone colocar 3 filas de drenes utilizando tubo pvc de 2 pulgadas de diámetro  
 Los drenes tendrán una separación de 1 m

Fuente: elaboración propia.

Figura 29. Diseño muro ciclópeo

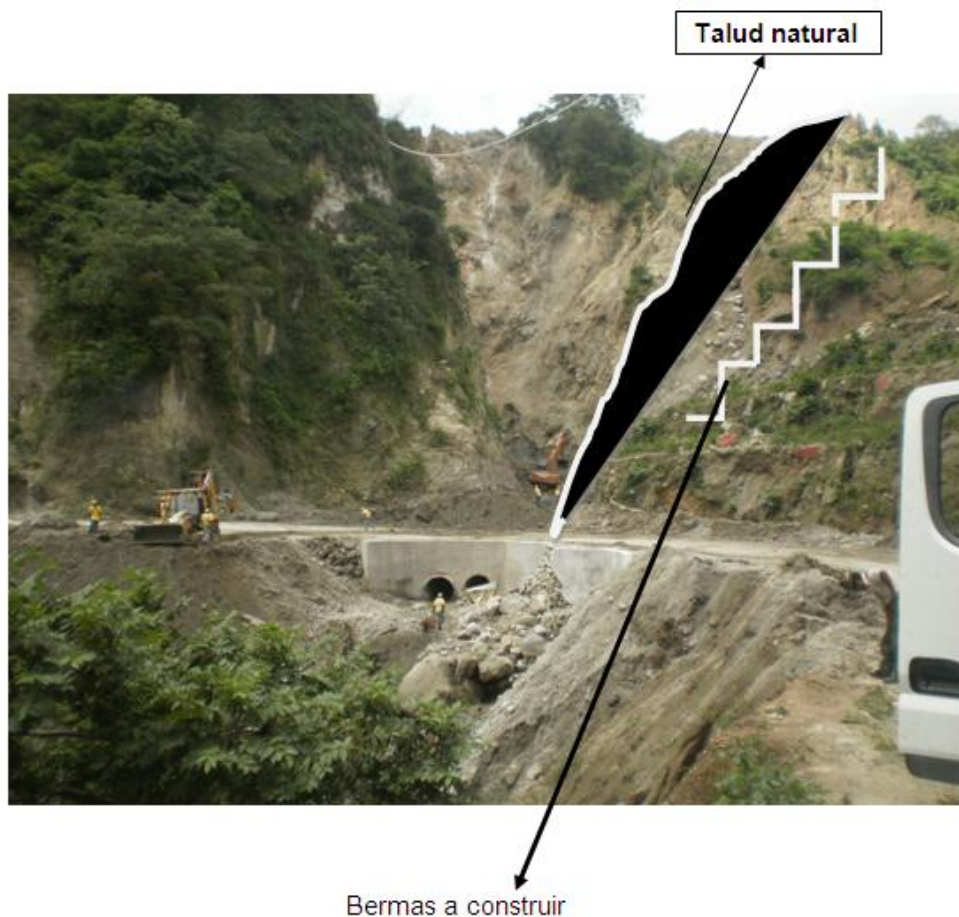


Fuente: elaboración propia.

### 7.1.4.3. Construcción de bermas

En el inciso 4.6.2 del capítulo 4, se da una definición de berma, aplicándola como uno de los métodos para mejorar la estabilidad de taludes. Como parte de la propuesta de este trabajo, se requiere la construcción de bermas de 70 metros de longitud. El detalle de la misma, se presenta a continuación:

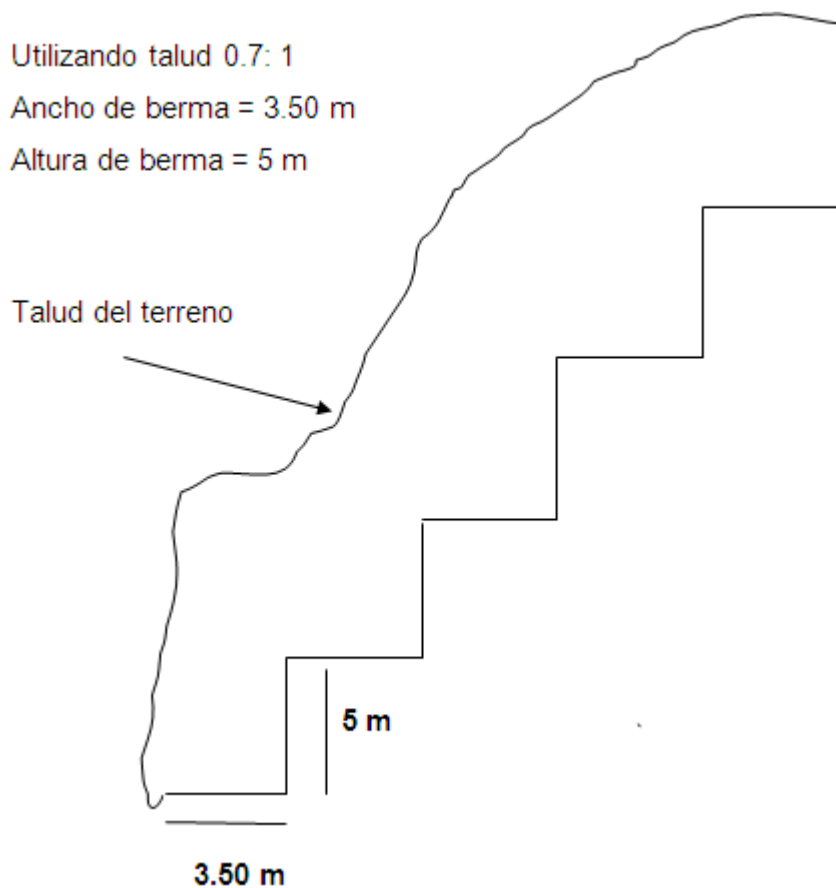
Figura 30. Construcción de bermas



Fuente: elaboración propia

De acuerdo con el tipo de suelo encontrado (ver anexo), se propone 5 bermas respectivas con las medidas siguientes:

Figura 31. **Detalle de bermas**



Fuente: elaboración propia.

## 7.2. Construcción de bóveda

En la carretera existen tres tuberías de metal corrugadas de 30 pulgadas de diámetro cada una, mismas que permanecen azolvadas, las cuales en tiempo de verano cumplen su función, pero de acuerdo con información de los

habitantes cercanos al área, aseguran que las mismas, no se dan abasto en época de invierno, tanto por la cantidad de agua como por el arrastre de materiales provenientes del cerro; razón por la cual se propone la sustitución de las tres alcantarillas cuya sección es igual a 1.36 metros cuadrados por una bóveda cuya área de sección transversal es 4 veces el área de descarga de las mismas; esta bóveda, permitirá el desfogue de un mayor caudal, evitando obstrucciones en la misma de acuerdo con las condiciones prevalecientes del área en estudio como se mencionó anteriormente; además, se logra agilizar el tránsito por la carretera.

Figura 32. **Propuesta de bóveda**



Fuente: elaboración propia



## CONCLUSIONES

1. La propuesta planteada en este trabajo, representa una de las soluciones en el tratamiento de taludes en el cerro Lec.
2. El conocimiento de los diferentes tipos de fallas, el monitoreo del cerro y los trabajos de construcción de las bermas, así como la vegetación en el tramo en el cerro Lec, permiten la estabilidad del talud.
3. La construcción de muros de gaviones y de concreto ciclópeo al pie del talud del cerro Lec, permite la retención del mismo.
4. En el cerro Lec se presentan las fallas tipo traslacional, flujos de lodo y la falla geológica tipo caldera (hundimiento del cerro).





## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda quitar sobrecarga y material de arrastre en el cerro Lec para estabilizar el talud ya que al realizar esta actividad, se pueden construir las bermas requeridas.
2. Se recomienda construir las obras de protección y retención propuestas en este trabajo.
3. Se recomienda utilizar las fichas descritas para el mantenimiento periódico en el talud del cerro Lec.
4. Se recomienda Monitoreo de los movimientos del cerro Lec utilizando las fichas descritas en este trabajo, a efecto de alertar a la población sobre posibles riesgos.



## BIBLIOGRAFÍA

1. CRESPO VILLALAZ, Carlos. *Mecánica de suelos y cimentaciones*. 4ª edición. México: edit. Limusa 1994. Páginas 150 a 179.
2. CRESPO VILLALAZ, Carlos. *Vías de comunicación*. 3ª edición. México. Edit. Limusa, 1,984 páginas 140 a 165.
3. BARRIOS PEÑA, José. *Muros de contención*. España; edit., Ceac.
4. JIMENEZ SALAS, J.A, *Geotecnia y cimientos II* (Mecánica del suelo y de las rocas) 2da edición, España: edit. Rueda, 1,981.
5. HERRARTE CASTEJON, Edgar. Empujes de suelos y muros de retención en Guatemala. (Tesis: Facultad de Ingeniería, Universidad de san Carlos de Guatemala). Guatemala, 1969.
6. PEC, et .al, Ingeniería de cimentaciones. 2ª edición. México: edit. Limusa, 1,993.

[http://www.geologia.ucr.ac.cr/revista/to\\_pdf/revista/26/26-CARRILLO.pdf](http://www.geologia.ucr.ac.cr/revista/to_pdf/revista/26/26-CARRILLO.pdf).

[http://es.wikipedia.org/wiki/Estabilidad de taludes](http://es.wikipedia.org/wiki/Estabilidad_de_taludes).

<http://ocw.uis.edu.co/ingenieria-civil/estabilidad-de-taludes/clase>.

FREDERICK S. MERRIT, M. KENT LOFTIN, JONATHAN T RICKET. Manual del Ingeniero Civil. 4ª edición. México. edit. McGraw-Hill. 2004. paginas 200 a 250

## **ANEXOS**



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



Nº 15776

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL, DIAGRAMA DE MOHR

INTERESADO: Neri Armando Nájera Argueta  
PROYECTO: Postgrado "Maestría ingeniería vial escuela de estudios de postgrado"

INFORME No. 457 S.S.

O.T.:

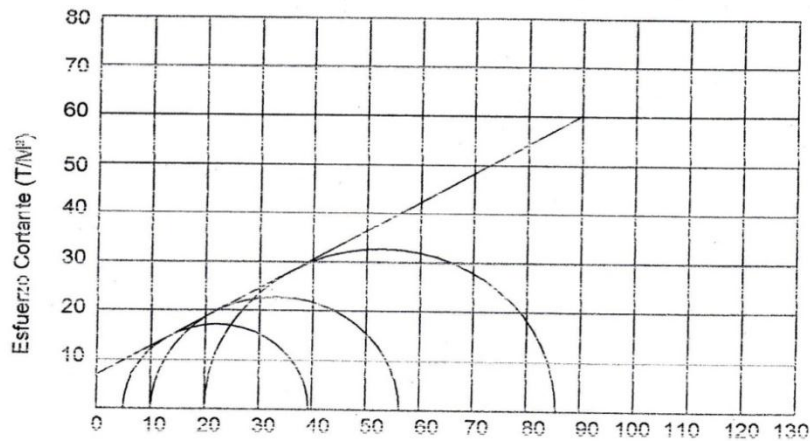
29,152

Ubicación: 1a. Calle 6,99 zona 2, Santa Catarina Pinula

Fecha: 05 de Octubre de 2011

pozo: 1 Profundidad: 3.00 m

Muestra: 1



PARAMETROS DE CORTE:

ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA :  $\phi = 30.67^\circ$  COHESIÓN:  $C_u = 6.82 \text{ T/m}^2$

TIPO DE ENSAYO: No consolidado y no drenado.

DESCRIPCION DEL SUELO: Arena pómez color beige

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

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

PROBETA No.	1	1	1
PRESION LATERAL (T/m <sup>2</sup> )	5	10	20
DESVIADOR EN ROTURA $q$ (T/m <sup>2</sup> )	34.32	46.31	65.56
PRESION INTERSTICIAL $u$ (T/m <sup>2</sup> )	x	x	x
DEFORMACION EN ROTURA $Fr$ (%)	2.0	4.5	8.5
DENSIDAD SFCA (T/m <sup>3</sup> )	1.20	1.20	1.20
DENSIDAD HUMEDA (T/m <sup>3</sup> )	1.63	1.63	1.63
HUMEDAD (%H)	37.0	37.0	37.0



Vo. Bo.

Inga. Ielma Maribela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC

Atentamente,

Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos