



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE
ESTABILIZACIÓN DE TALUDES Y TERRAPLENES EN PROYECTOS DE
CARRETERAS**

Marco Vinicio Romero Chojolan

Asesorado por el Ing. Msc. Erick Ricardo Pérez Mérida

Guatemala, noviembre de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE
ESTABILIZACIÓN DE TALUDES Y TERRAPLENES EN PROYECTOS DE
CARRETERAS**

TESIS

PRESENTADA AL COMITÉ DE LA MAESTRÍA DE
INGENIERÍA VIAL
POR

ING. MARCO VINICIO ROMERO CHOJOLAN
ASESORADO POR EL ING. MSC. ERICK RICARDO PÉREZ MÉRIDA
AL CONFERIRLE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN INGENIERÍA VIAL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE DEFENSA DE TESIS

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio Roberto Luna Aroche
EXAMINADOR	Ing. Cesar Augusto Akú Castillo
EXAMINADOR	Ing. Edwin Raúl Barrios Ambrosy
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE
ESTABILIZACIÓN DE TALUDES Y TERRAPLENES EN PROYECTOS DE
CARRETERAS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de postgrado de la Facultad de Ingeniería, con fecha 9 de mayo de 2009.

Ing. Marco Vinicio Romero Chojolan



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

Guatemala, Octubre de 2011

Dra. Mayra Virginia Castillo Motes
Directora Escuela de Estudios de Postgrado
Faculta de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimada Doctora Castillo:

Por este medio me permito someter a su encomiable consideración el trabajo de tesis, realizado por el estudiante universitario de la Maestría en Ciencias de Ingeniería Vial, Ingeniero Civil **Marco Vinicio Romero Chojolan** titulado; trabajo que fue asesorado, revisado y aprobado por este servidor.

Por lo anteriormente expresado recomiendo la aprobación del trabajo mencionado, convencido que, será de gran utilidad para robustecer los conocimientos académicos y prácticos sobre la materia estudiada.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para suscribirme de usted,
Deferentemente,

Erick Ricardo Pérez Mérida
Ing. Civil, Maestro en Ingeniería Vial
Asesor.

*Erick Ricardo Pérez Mérida
Ing. Civil, Maestro Ing. Vial
Colegiado 4072*



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 **PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES Y TERRAPLENES EN PROYECTOS DE CARRETERAS**, presentado por el Ingeniero Civil **Marco Vinicio Romero Chojolan**, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Ing. Armando Fuentes Roca
Coordinador
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, diciembre de 2011.

Cc: archivo
/la



Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
De Postgrado

El Director 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 **PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES Y TERRAPLENES EN PROYECTOS DE CARRETERAS** presentado por el Ingeniero Civil **Marco Vinicio Romero Chojolan**, 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, diciembre de 2011.

Cc: archivo
/la

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. D. Postgrado 009.2011

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: **PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES Y TERRAPLENES EN PROYECTOS DE CARRETERAS**, presentado por el Ingeniero Civil **Marco Vinicio Romero Chojolan** procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, diciembre de 2011.

Cc: archivo
/la

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por haberme permitido culminar los estudios de Postgrado.
Ing. Msc. Erick Pérez	Por el asesoramiento en el presente trabajo de graduación.
Ing. Rodolfo Rubio	Por su invaluable aporte en la realización de dicha investigación y por haberme facilitado el tiempo necesario para el cumplimiento de las actividades académicas que culminan con este trabajo de graduación.
Al personal de T.N.M.	Por su valiosa colaboración en la culminación de este trabajo de graduación.
Mis compañeros de trabajo	Por su apoyo y comprensión.

ACTO QUE DEDICO A:

La memoria de	Mi padre Héctor Romero Mejía (q.e.p.d)
Mi madre	Juana de Romero, por su amor de madre siempre me ha fortalecido.
Mi esposa	Jessica Paola Quivaja Batrez, con quien comparto mis triunfos, fracasos, desencantos, desvelos, tristezas y alegrías, con mucho amor.
Mi hija	Adriana Kamila Romero Quivaja, que es la alegría de mi vida.
Mis hermanos	Héctor Romero, Jorge Mario Romero y William Romero, con respeto y cariño fraternal.
Mi familia y amigos en general	Con respeto y cariño.
Especialmente a	La Facultad de Ingeniería de la USAC.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	XIII
GLOSARIO.....	XXI
RESUMEN.....	XXIII
OBJETIVOS.....	XXV
INTRODUCCIÓN.....	XXVII
1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS	
1.1. Definición.....	2
1.2. Morfología y componentes de un deslizamiento.....	2
1.3. Dimensiones de un deslizamiento.....	4
1.4. Tipos de deslizamientos.....	6
1.5. Factores geomorfológicos.....	7
1.6. Factores internos de la formación.....	8
1.7. Factores externos en el entorno de la formación.....	8
1.7.1. Deslizamiento superficial (CREEP).....	9
1.7.2. Deslizamiento rotacional.....	10
1.7.3. Deslizamiento traslacional.....	14
1.7.4. Derrumbes.....	17
1.8. Resistencia al corte de los suelos.....	25
1.8.1. Ángulo de fricción.....	26

ÍNDICE GENERAL

1.8.2. Cohesión.....	26
1.8.3. Cohesión aparente.....	26
1.8.4. Principio de las presiones efectivas.....	26
1.8.5. Relación esfuerzo – deformación.....	29
1.8.6. Parámetros de presión de poros.....	32
1.8.7. Círculo de Mohr.....	33
1.8.8. Envolvente de falla.....	34
1.8.9. Trayectoria de esfuerzos.....	36
1.9. Factores que intervienen en el estudio de los deslizamientos..	38
1.9.1. Geológicos.....	38
1.9.2. Litológicos.....	38
1.9.3. Tectónicos.....	39
1.9.4. Geomorfológicos.....	39
1.9.5. Vulcanismo.....	40
1.9.6. Sísmicos.....	40
1.9.7. Antrópicos.....	40
1.10. Otros factores que intervienen en la estabilidad de los taludes o laderas.....	41
1.10.1. Gravedad.....	41
1.10.2. Fluidificación.....	43
1.10.3. Presión de poros y sus efectos.....	45
1.10.4. Frente Húmedo.....	48

ÍNDICE GENERAL

1.10.5. Hidrología y clima.....	49
1.10.5.1. Hidrogeológico.....	50
1.10.5.2. Parámetros de hidrogeológicos de interés..	50
1.10.6. Agua y estabilidad.....	53
1.10.7. Medidas de mitigación y/o solución a largo plazo.....	54
1.10.7.1. Cambio de la geometría.....	55
1.10.7.2. Métodos para estabilizar un talud.....	55
1.10.7.3. Drenaje.....	56
1.10.7.4. Soluciones estructurales.....	58
1.11. Métodos para estabilizar taludes.....	59
1.12. Determinación de las soluciones a largo plazo.....	60
1.12.1. Evitar la zona de falla.....	60
1.12.2. Reducir las fuerzas motoras.....	60
1.12.3. Aumentar las fuerzas resistentes.....	61
1.12.4. Descargar la cresta.....	62
1.12.5. Empleo de bermas laterales o frontales.....	62
1.12.6. Empleo de materiales ligeros.....	62
1.12.7. Compactación de suelos compresibles.....	63
1.12.8. Empleo de materiales estabilizantes.....	63
1.12.9. Empleo de muros de retención.....	63
1.12.10. Geosintéticos.....	63

ÍNDICE GENERAL

2. DEFINICIÓN DEL CASO EN ESTUDIO

2.1. Antecedentes del estudio de talud.....	68
2.2. Localización geográfica del caso en estudio.....	70
2.3. Descripción de las características físicas del entorno del emplazamiento del caso estudiado.....	71
2.3.1. Clima.....	72
2.3.2. Geología.....	80
2.3.3. Topografía.....	83
2.3.4. Cultivos.....	83

3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EFECTUADO

3.1. Identificación y localización de taludes vulnerables Y proclives a fallas en el tramo.....	86
3.2. Tabla de Localización de taludes vulnerables y proclives a fallas	89
3.3. Determinación del tipo de falla en los taludes analizados.....	90
3.3.1. Perforación.....	91
3.3.2. Calicatas.....	92
3.3.3. Ensayo de campo.....	93
3.3.4. Ensayo de laboratorio.....	93
3.3.5. Determinación de la geometría de la posible falla....	95
3.3.5.1. Generalidades para la resistencia del suelo...	95
3.3.5.1.1. Muestreo.....	97

ÍNDICE GENERAL

3.3.5.1.2. Instrumentación.....	97
3.3.5.2. Geometría de tipo de falla de taludes representativos.....	98
3.4. Tipos de falla en suelos cohesivos y de otros tipos Encontrados en el tramo: Tecpán–Los Encuentros.....	99
3.4.1. Determinación de las causas que pueden provocar la falla en los taludes estudiados.....	100
3.4.2. Descripción genérica de tipo de falla.....	102
3.4.2.1. Grietas de tensión.....	102
3.4.2.2. Taludes heterogéneos sin drenado.....	102
3.4.2.3. Problemas de estratos múltiples.....	103
3.4.2.4. Efectos de una capa dura.....	103
3.4.3. Tipo de falla encontrados y relacionados con el proyecto Tecpan – Los Encuentros.....	104
3.4.3.1. Falla por deslizamiento superficial.....	104
3.4.3.2. Falla por movimiento del cuerpo del talud...	105
3.4.3.3. Falla de flujos.....	105
3.4.3.4. Fallas por erosión.....	106
3.4.3.5. Falla por licuación.....	107
3.4.3.6. Falla por falta de capacidad de carga en el Terreno de cimentación.....	108
3.4.3.7. Falla por desprendimientos.....	108
3.4.3.8. Flujo de escombros,.....	108

ÍNDICE GENERAL

3.5. Determinación de posibles causas de falla en los taludes analizados.....	109
3.5.1. Generalidades.....	109
3.5.1.1. Factores geomorfológicos.....	110
3.5.1.2. Factores internos.....	110
3.5.1.3. Factores climáticos.....	110
3.5.1.4. Externas.....	110
3.5.1.5. Internas.....	111
3.5.2. Causas que producen disminución de la resistencia En el proyecto Tecpan – Los Encuentros.....	111
3.5.3. Causas que producen el aumento de esfuerzos En el proyecto Tecpan – Los Encuentros.....	112
4. DEFINICIÓN Y SÍNTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA	
4.1. Definición de la metodología propuesta.....	119
4.2. Descripción de la metodología propuesta.....	120
4.2.1. Fase 1: verificación y localización del lugar de estudio.....	120
4.2.2. Fase 2: Aplicación de la geotécnica.....	123
4.2.2.1. Estudios y sondeos geofísicos.....	124
4.2.2.2. Estudios hidrológicos e hidrogeológicos.....	124
4.2.2.3. Sondeos geotécnicos.....	125
4.2.2.4. Mecánica de suelos.....	125

ÍNDICE GENERAL

4.2.2.5.	Suelos y calicatas.....	125
4.2.2.6.	Cálculo de estabilidad de taludes.....	126
4.2.2.7.	Metodologías para análisis de la estabilidad.....	127
4.2.2.8.	Metodologías para análisis de la estabilidad.....	130
4.2.2.9.	Características del análisis de límite de equilibrio.....	132
4.2.2.10.	Concepto de factor de seguridad (F. S.).....	132
4.2.2.11.	Concepto de superficie de falla.....	134
4.2.2.12.	Parámetros utilizados en los análisis de límite de equilibrio.....	138
4.2.2.13.	Limitaciones de los métodos de límite de equilibrio.....	143
4.2.2.14.	Presiones de poros.....	144
4.2.2.15.	Presiones de poros negativos.....	147
4.2.2.16.	Efecto de los ductos de agua en la corona de los taludes.....	148
4.2.2.17.	Métodos de límite de equilibrio.....	148
4.2.2.18.	Tablas para análisis rápidos.....	151
4.2.2.19.	Tabla de Taylor.....	154
4.2.2.20.	Tablas de Janbú.....	156
4.2.2.21.	Método del talud infinito.....	168

ÍNDICE GENERAL

4.2.2.22. Procedimiento para el método de talud infinito.....	172
4.2.2.23. Análisis de bloques o cuñas.....	174
4.2.2.24. Método del bloque deslizante.....	175
4.2.2.25. Método de la cuña simple.....	178
4.2.2.26. Método de la cuña doble.....	179
4.2.2.27. Método de la cuña triple.....	182
4.2.2.28. Ángulos de las cuñas.....	183
4.2.2.29. Método de la espiral logarítmica.....	184
4.2.2.30. Métodos de círculos de falla.....	186
4.2.2.31. Método del arco circular.....	186
4.2.2.32. Métodos de dovelas.....	189
4.2.2.33. Método ordinario o de Fellinius.....	190
4.2.2.34. Método de Bishop.....	194
4.2.2.35. Método de Janbú.....	195
4.2.2.36. Método del cuerpo de ingenieros (Sueco modificado).....	197
4.2.2.37. Método de Lowe y Karafiath.....	199
4.2.2.38. Método de Spencer.....	199
4.2.2.39. Método de Morgenstern y Price.....	200
4.2.2.40. Método de Chen y Morgentern.....	202
4.2.2.41. Método de Sarma.....	203
4.2.2.42. Comparación de los diversos	

ÍNDICE GENERAL

métodos.....	204
4.2.2.43. Análisis sísmico.....	206
4.2.2.44. Análisis de estabilidad de taludes utilizando métodos numéricos.....	208
4.2.2.45. Modelos numéricos continuos.....	209
4.2.2.46. Métodos de elementos finitos.....	210
4.2.2.47. Evaluación del factor de seguridad utilizando elementos finitos.....	217
4.2.2.48. Métodos de diferencias finitas.....	218
4.2.2.49. Método de elementos de borde (BEM) ...	220
4.2.2.50. Modelo Combinado de elementos finitos y elementos de borde.....	222
4.2.2.51. Métodos de elementos distintos o discretos.....	222
4.2.2.52. Método de flujo de partículas.....	227
4.2.2.53. Métodos de deformación discontinua. ...	229
4.2.2.54. Qué modelo usar para cada problema....	230
4.2.2.55. Análisis en tres dimensiones.....	230
4.2.2.56. Análisis de equilibrio límite 3-D.....	232
4.2.2.57. Análisis numérico 3-D.....	232
4.2.2.58. Análisis químico del agua	234
4.2.2.59. Análisis geotécnico.....	234
4.2.2.60. Sondeo y perforaciones.....	235

ÍNDICE GENERAL

4.2.3.	FASE 3: análisis de resultados.....	237
4.2.4.	FASE 4: Causas.....	238
4.2.4.1.	Geológicos.....	238
4.2.4.2.	Litológicos.....	238
4.2.4.3.	Tectónicos.....	239
4.2.4.4.	Geomorfológicos.....	239
4.2.4.5.	Vulcanismo.....	240
4.2.4.6.	Sísmicos.....	240
4.2.4.7.	Antrópicos.....	240
4.2.4.8.	Gravedad.....	241
4.2.4.9.	Fluidificación.....	241
4.2.4.10.	Presión de poros y sus efectos.....	242
4.2.4.11.	Cambio en la presión de poros y el grado de saturación por efecto de agua.....	242
4.2.4.12.	Frente húmedo.....	243
4.2.4.13.	Hidrogeológicos.....	244
4.2.5.	FASE 5 Elección de la solución y su implementación.....	245
4.3.	Síntesis de la metodología propuesta.....	246

ÍNDICE GENERAL

CONCLUSIONES.....	253
RECOMENDACIONES.....	255
BIBLIOGRAFÍA.....	257
ANEXOS.....	259

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Nomenclatura de un deslizamiento	2
2.	Dimensiones de los movimientos en masa de acuerdo a "IAEG"	5
3.	Superficie donde ocurren las fallas que provocan deslizamientos	7
4.	Denominación de fallas y deslizamientos	8
5.	Rotura típica en forma de cuchara	11
6.	Rotura típica con forma cilíndrica	11
7.	Diferentes superficies circulares de rotura	12
8.	Deslizamiento rotacional en un suelo	13
9.	Deslizamiento rotacional en macizo rocoso muy fracturado	13
10.	(a) Deslizamiento traslacional en suelo y (b) Deslizamiento traslacional en el contacto suelo-roca	14
11.	Deslizamiento traslacional en macizo rocoso	15
12.	Desprendimiento de bloques	16
13.	Volcadura de bloques	16
14.	Deslizamiento planar en macizo rocoso	18
15.	Deslizamiento en forma de cuña	18
16.	Cuña directa con grieta de tracción	21
17.	Cuña inversa	22

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

18.	Cuñas directas	22
19.	Pandeo por flexión de placas lisas	23
20.	Pandeo por flexión de placas fracturadas	24
21.	Pandeo por flexión de placas curvas fracturadas	24
22.	Presión soportada por un volumen infinitesimal de suelo	27
23.	Resistencias pico y residual	31
24.	Dirección de esfuerzos principales en la falla de un talud	34
25.	Envolvente de falla y círculo de Mohr	35
26.	Trayectoria de esfuerzos	37
27.	Componentes tangencial y normal de la gravedad	42
28.	Cohesión aparente y fluidificación	44
29.	Presión de poros sobre una superficie de falla potencial	46
30.	Presiones de poro sobre una superficie de falla potencial para diferentes condiciones de drenaje	46
31.	Cambios en la presión de poros y el grado de saturación por efecto del agua	47
32.	Desarrollo de los macro-poros en el suelo	51
33.	Sub-drén de penetración diseñado para captación solamente en la punta interior	61
34.	Sección típica del tramo en estudio	66
35.	Localización geográfica	70
36.	Mapa de ubicación estaciones meteorológicas Insivumeh	73

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

37.	Mapa de precipitación promedio anual Chimaltenango	76
38.	Mapa de precipitación promedio anual Sololá	77
39.	Mapa de temperatura promedio anual Chimaltenango	78
40.	Mapa de temperatura promedio anual Sololá	79
41.	Mapa de macro-zonificación sísmica de Guatemala	80
42.	Mapa de unidades geológicas Chimaltenango	81
43.	Mapa de unidades geológicas Sololá	82
44.	Mapa de ubicación geográfica	83
45.	Ubicación de las perforaciones	92
46.	Comportamiento de las grietas de tensión tramo “Tecpán – Los Encuentros” 116 + 200 L.I.	102
47.	Deslizamiento parte corona 122 + 710	103
48.	Deslizamiento km. 113 + 300 L. I.	106
49.	Tramo Tecpán – Los Encuentros km. 113 + 500 L.I.	107
50.	Ejemplo de un análisis de estabilidad de taludes (U. S. Corps of Engineers, 2003).	127
51.	Superficie de falla y dirección de la resistencia al cortante (U. S. Corps of Engineers.	134
52.	Formas de la superficie de falla (U. S. Corps of Engineers, 2003).	137
53.	Esquema de una grieta de tensión para análisis de límite de equilibrio (U. S. Corps of Engineers, 2003).	139
54.	Representación de la presión de poros	145

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

55.	Métodos de análisis de estabilidad de taludes	151
56.	Tabla de Taylor (Taylor, 1966).	157
57.	Coordenada X_o para el círculo crítico. (Janbú 1968)	159
58.	Coordenada Y_o para el círculo crítico. (Janbú 1968).	159
59.	Factor de reducción por carga adicional para tablas de Janbú	160
60.	Factor de reducción por sumergencia (μ_w) e infiltración ($\mu'w$)	161
61.	Factor de reducción por grieta de tracción sin presión Hidrostática en ésta. (Janbú, 1968)	162
62.	Factor de reducción por grieta de tracción con presión hidrostática en ésta	164
63.	Número de estabilidad	165
64.	Número de estabilidad N_{cf}	165
65.	Coordenadas del centro del círculo crítico (suelos con $\gamma > 0$)	167
66.	Diagrama de análisis, método del talud infinito. (Cornforth, 2005)	169
67.	Determinación del factor de seguridad FS para diferentes alturas del nivel de agua de una determinada relación de resistencia para el talud seco (SSR). (Cornforth, 2005).	170
68.	Talud infinito	171
69.	Tipos de bloques o cuñas para análisis de estabilidad de los taludes	173
70.	Análisis de cuñas. Suposiciones de localización de cuñas para calcular factores de seguridad	176
71.	Esquema del método del bloque deslizante	177

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

72.	Fuerzas que actúan sobre una cuña simple	179
73.	Análisis de la altura máxima de un talud vertical en un suelo cohesivo analizado con cuña simple	179
74.	Sección típica de una falla de doble cuña	180
75.	Formación de “graben” en una falla de doble cuña	181
76.	Fuerzas que actúan sobre las cuñas en una falla de doble cuña	182
77.	Esquema típico de una falla de triple cuña	183
78.	Fuerzas que actúan en una falla de triple cuña	185
79.	Talud y superficie de falla espiral logarítmica	185
80.	Alternativas de procedimiento de localización de los círculos de falla, para el análisis de estabilidad de taludes	187
81.	Fuerzas en un análisis de arco circular	188
82.	Esquema de un sistema típico de análisis con tajadas o dovelas	191
83.	Fuerzas que actúan sobre una dovela en un análisis de estabilidad del arco circular con dovelas.	191
84.	Fuerzas que actúan sobre una dovela en los métodos de dovelas	193
85.	Fuerzas que actúan sobre una dovela en el método ordinario o de Fellenius	194
86.	Esquema de fuerzas sobre una dovela en el método de Bishop simplificado	196
87.	Diagrama para determinar el factor f_0 para el método de Janbú	198
88.	Paralelismo de las fuerzas entre dovelas en el	

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

	método de Spencer	198
89.	Fuerzas que actúan sobre las dovelas en el método de Spencer	201
90.	Diferencias entre los resultados de varios métodos	202
91.	Malla típica 2D para el análisis de un talud vertical por elementos finitos	213
92.	Modelación de falla utilizando modelo de elementos finitos. (PLAXIS)	215
93.	Malla típica 3D para un talud utilizando FLAC-3D	217
94.	Análisis de un talud con un modelo elasto-plástico utilizando diferencias finitas en el código FLAC	219
95.	Modelo de fractura utilizando elementos de borde con modelo ELFEN	220
96.	Resultados de un modelo combinado de elementos finitos y elementos de borde	224
97.	Fuerzas que actúan sobre un sistema de partículas discretas	226
98.	Esquema del análisis de falla de un talud con inclinación reversa, con elementos discretos	226
99.	Las fuerzas entre las partículas se convierten en velocidades y deformaciones en un continuo flujo	228
100.	Análisis de deformación discontinua	229
101.	Diagrama que muestra el tipo de modelo que se recomienda utilizar de acuerdo con la complejidad de los movimientos	231
102.	Dirección del deslizamiento y superficie de falla crítica, en un análisis en tres dimensiones	233

TABLAS

I.	Valor del parámetro de Skempton para diferentes arcillas	33
II.	Datos climáticos obtenidos en INSIVUMEH	74
III.	Datos climáticos obtenidos en INSIVUMEH	75
IV.	Análisis de taludes tramo: Tecpán - Los Encuentros	88
V.	Localización de taludes vulnerables y proclives a fallas	89
VI.	Cuadro de resultados obtenidos en los Ensayos Triaxiales	99
VII.	Ensayos realizados	100
VIII.	Ensayos de suelos realizados en Laboratorio	101
IX.	Tabla resumen	109
X.	Tabla resumen con sus causas de falla	113
XI.	Evaluación y análisis de resultado	114
XII.	Datos generales sobre taludes ensayados	115
XIII.	Taludes ensayados en el Tramo: Tecpán – Los Encuentros	115
XIV.	Resultados de ensayos laboratorio, granulometrías, proctor y límites de Atemberg	116
XV.	Precipitación promedio anual	116
XVI.	Resumen con posibles soluciones	117
XVII.	Formato para análisis de taludes	122

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

XVIII.	Metodologías utilizadas en la modelación de taludes	131
XIX.	Métodos de análisis de estabilidad de taludes	150
XX.	Listado de tablas para el cálculo de la estabilidad de taludes disponibles en la literatura	153
XXI.	Comparación de los resultados del cálculo de factor de seguridad para varios métodos (Fredlund y Krahn, 1977)	203
XXII.	Diferencias básicas entre diversos métodos de análisis de estabilidad de taludes (Alva Hurtado, 1994)	208
XXIII.	Métodos numéricos para la estabilidad de taludes (Modificado de Deangeli y Ferro, 2000)	211
XXIV.	Diagrama del método propuesto	248
XXV.	Boleta de visita de campo	249
XXVI.	Boleta de orden de trabajo especial	250
XXVII.	Boleta de resultados y análisis	251

GLOSARIO

Confinamiento:

Consiste en conseguir las condiciones necesarias para que se produzca la fusión entre partículas.

Cohesión:

Acción y efecto de reunirse o adherirse las cosas entre sí.

Consolidación:

Si las sobrepresiones intersticiales son positivas, y en consecuencia el suelo disminuye de volumen el proceso se denomina consolidación.

Deslizamiento:

Es un tipo de corrimiento o movimiento de masa de tierra, provocado por la inestabilidad de un talud. Se produce cuando una gran masa de terreno se convierte en zona inestable, los deslizamientos se producen cuando en la franja se alcanza la tensión tangencial máxima en todos sus puntos.

Derrumbe:

Es la caída de una franja de terreno que pierde su estabilidad o la destrucción de una estructura construida por el hombre.

Desprendimiento:

Son producidos debido a precipitaciones pluviales, se presentan como un golpe de agua lodosa que se desliza a gran velocidad por quebradas secas y de poco caudal arrastrando piedras y troncos.

GLOSARIO

Escarpe:

Declive áspero de cualquier terreno, el escalón que forma la capa dura que queda sobresaliente entre otras más blandas forman un escarpe.

Geomorfológicos:

Ciencia que estudia las formas del relieve terrestre.

Intersticial:

Que forma un espacio intermedio.

Plasticidad:

Mediante la adición de una cierta cantidad de agua, los materiales pueden adquirir la forma que uno desee, por medio de la atracción química entre partículas.

Tipología:

Es aquel en el que tratamos de convencer de algo a alguien, mediante una serie de argumentos.

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, se propone una metodología para identificar las posibles causas de falla de taludes y proponer soluciones para su estabilización.

En su desarrollo se presentan inicialmente factores relevantes del comportamiento de taludes, incluyendo los factores que intervienen en su estabilidad, así como la descripción de métodos cuantitativos que con base a los ensayos efectuados permiten identificar las posibles causas de falla.

Como parte del trabajo se analizaron casos particulares ocurridos en el proyecto de ampliación y mejoramiento de la CA – 1 Occidente, Tramo: Tecpán – Los Encuentros, presentándose la metodología utilizada para los casos analizados, fue en base a las experiencias generadas, y a la propuesta de procedimiento metodológico a seguir para identificar las causas probables de la inestabilidad de taludes.

La metodología que se propone dar a conocer se compone de cinco fases, las cuales son las siguientes: verificación y localización, análisis geotécnico, análisis de resultados, localización de las causas y soluciones de acuerdo a resultados obtenidos.

Una de las causas principales que generaron los deslizamientos, flujo de escombros, derrumbes fue el factor agua ya que se encontraron altos contenidos de agua en los suelos analizados.

OBJETIVOS

Generales:

Proponer una guía metodológica en la que se especifican los lineamientos a seguir para identificar las características de los taludes.

Específicos:

1. Presentar y discutir los factores y causas de fallas de los taludes.
2. Estandarizar una metodología a seguir para evaluación de taludes.
3. Fomentar la investigación sobre taludes y terraplenes vulnerables a desastres naturales.
4. Comparar si las especificaciones con las que se trabaja en nuestro país son las adecuadas si no desarrollar las mismas.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación surge de la problemática en el proceso constructivo de la ampliación de la sección a cuatro carriles en el proyecto: CA – 1 Occidente Tramo: Tecpan (km. 89) – Los Encuentros (km. 124).

Debido a la poca experiencia que se tiene en el país sobre fallas en taludes, rellenos, laderas, etc., y al cambio significativo del clima, se notó un aumento en los problemas de inestabilidad de taludes, en el proyecto en mención, en virtud de tal situación, se implementó empíricamente un procedimiento para identificar las posibles causas de fallas de los taludes y así realizar trabajos, tanto preventivos como correctivos adecuados a cada talud.

Por las circunstancias anteriormente descritas y a lo recurrente que se ha vuelto la problemática en Guatemala, es importante contar con un procedimiento estandarizado para la identificación y localización de los taludes, establecer los ensayos de laboratorio necesarios que permitirían determinar las características y comportamiento de los suelos encontrados en los tramos carreteros.

De esa cuenta, se propone una guía metodológica que establezca lineamientos a seguir para identificar las características a los taludes, en términos geométricos, tipos de suelos, presencia de agua, asociarlas con base a los resultados de los ensayos a efectuar a fin de determinar las posibles causas de falla y proponer soluciones para su estabilización.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

En la actividad de construcción de obras viales tal como es el proyecto (Tecpán, Los Encuentros), regularmente se enfrenta el problema de experimentar deslizamientos de laderas o taludes; ya sea en formaciones naturales o, en partes de obras construidas; de tal forma que, se puede argumentar que los deslizamientos en general, pueden ocurrir en formaciones topográficas naturales y las provocadas por la acción de construcción de proyectos de infraestructura.

Es importante entonces, definir un marco de referencia lógico que sirva a los profesionales que desarrollan actividades en el ámbito vial de la República de Guatemala; considerando que la base teórica para el análisis de ingeniería de los deslizamientos es conocida y practicada por el sector profesional mencionado.

En ese sentido, es imprescindible arribar a un consenso con la utilización del idioma para la identificación de la tipología de los deslizamientos, para la enumeración y descripción de sus componentes; sobre los métodos de análisis de las fallas que los provocan, de las condiciones por las que provoca; y más importante aún, arribar a un consenso nacional sobre una metodología para la identificación, clasificación y mitigación de los deslizamientos.

Con ese criterio, en adelante se desarrolla en forma general, lo correspondiente a la llamada teoría de los deslizamientos.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

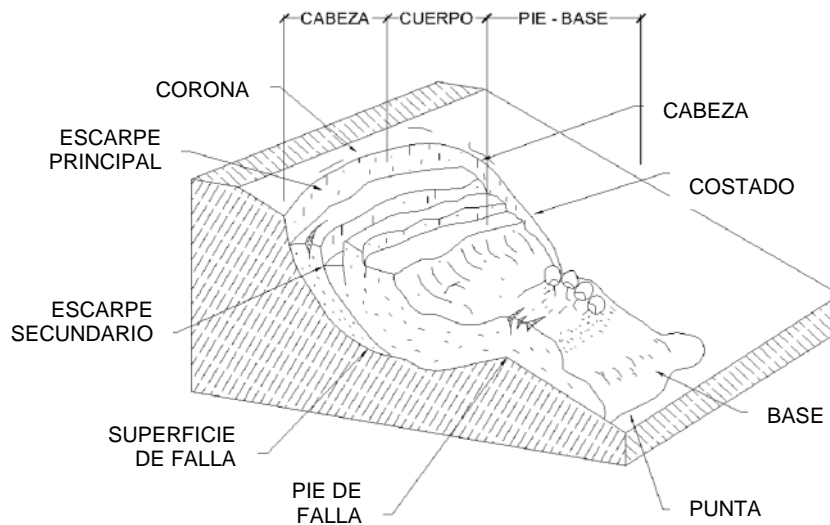
1.1. Definición

Un deslizamiento se puede definir como el movimiento de una masa de suelos provocado por la pérdida de la resistencia al esfuerzo cortante a lo largo de un eje o superficie de falla.

Los deslizamientos pueden ocurrir en laderas constituidas naturalmente y en laderas o taludes producidos por intervención de construcción; a su vez, ocurren en suelos en condiciones de drenaje y sin drenaje, en forma muy general.

1.2. Morfología y componentes de un deslizamiento

Figura 1. Nomenclatura de un deslizamiento



1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

Los procesos geotécnicos activos de los taludes y laderas corresponden generalmente a movimientos hacia abajo y hacia fuera de los materiales que la conforman. Algunos segmentos del talud o ladera pueden moverse hacia arriba mientras otros se mueven hacia abajo. En general, las partes de un deslizamiento son:

- Escarpe principal: corresponde a una superficie muy inclinada a lo largo de la periferia de área en movimiento, causado por el desplazamiento del material fuera del terreno original. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material forma la superficie de falla
- Escarpe secundario: una superficie muy inclinada producida por desplazamientos diferenciales dentro de la masa que se mueve.
- Cabeza: las partes superiores del material que se mueve a lo largo del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.
- Cima: el punto más alto del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.
- Corona: zona de forma corrientemente circular donde el material que se encuentra en el sitio, está prácticamente inalterado y adyacente a la parte más alta del escarpe principal.
- Superficie de falla: corresponde al área debajo del movimiento que delimita el volumen de material desplazado. El volumen de suelo debajo de la superficie de falla no se mueve.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

- Pie de la superficie de falla: la línea de intersección (algunas veces tapada) entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.
- Base: el área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.
- Punta o uña: el punto de la base que se encuentra más alejado de la cima.
- Costado o flanco: un lado (perfil lateral) del movimiento.
- Superficie original del terreno: la superficie que existía antes de que se presentara el deslizamiento.
- Derecha e izquierda: para describir un deslizamiento se prefiere usar la orientación geográfica, pero si se emplean las palabras derecha e izquierda debe referirse al deslizamiento observado desde la corona mirando hacia el pie.

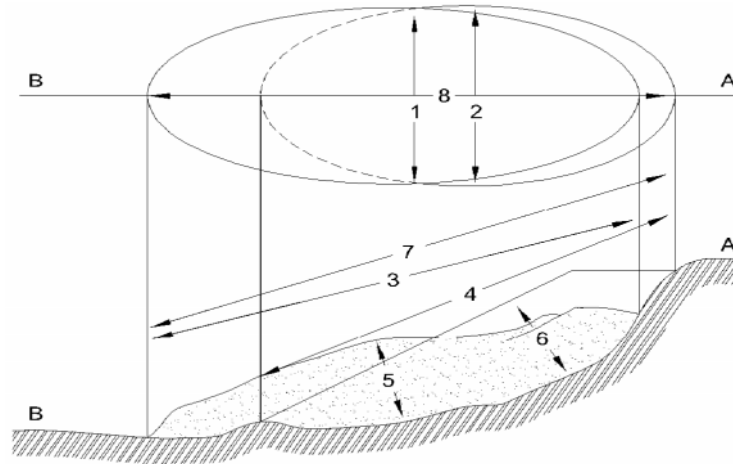
1.3. Dimensiones de un deslizamiento

Para definir las dimensiones de un deslizamiento se utiliza la terminología recomendada por el IAIG Instituto Americano de Ingeniería Geológica.

Para dimensionar un deslizamiento, se debe auxiliar de la técnica y tecnología de agrimensura (topografía).

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

Figura 2. Dimensiones de los movimientos en masa de acuerdo a "IAEG"



Fuente: Comisión ONLANDSLIDES (1990).

- Ancho de la masa desplazada W_d : ancho máximo de la masa desplazada perpendicularmente a la longitud L_d .
- Ancho de la superficie de falla W_r : ancho máximo entre los flancos del deslizamiento perpendicularmente a la longitud L_r .
- Longitud de la masa deslizada L_d : distancia mínima entre la punta y la cabeza.
- Longitud de la superficie de falla L_r : distancia mínima entre el pie de la superficie de falla y la corona.
- Profundidad de la masa desplazada L_d : máxima profundidad de la masa movida perpendicular al plano conformado por W_d y L_d .

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

- Profundidad de la superficie de falla D_r : máxima profundidad de la superficie de falla con respecto a la superficie original del terreno medida perpendicularmente al plano conformado por W_r y L_r .
- Longitud total L : distancia mínima desde la punta a la corona del deslizamiento.
- Longitud de la línea central L_{cl} : distancia desde la punta o uña de la corona del deslizamiento a lo largo de puntos sobre la superficie original equidistantes de los bordes laterales o flancos.
- El volumen de material medido antes del deslizamiento, generalmente aumenta con el movimiento, debido a que el material se dilata. El término “factor de expansión” puede ser utilizado para describir este aumento en volumen, como un porcentaje del volumen antes del movimiento. En algunas ocasiones como en el caso de roca, el factor de expansión puede ser hasta de un 70%.

1.4. Tipos de deslizamientos

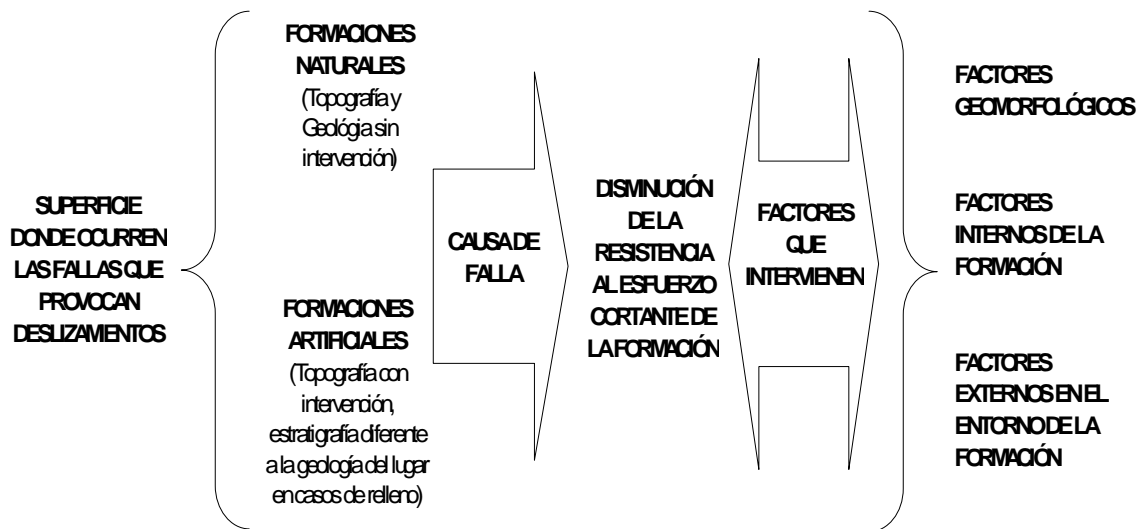
La tipología de los deslizamientos, ha sido un tema de discusión donde se plantea la interrogante sobre como debe ser su clasificación; al respecto, se puede mencionar que, lo más lógico debe ser que su clasificación debe basarse por el tipo de falla que los provoca; importante también es identificar el tipo de superficie donde ocurren las fallas y los deslizamientos, sobre este tópico, puede mencionarse que, existen dos tipos generales de superficies, las que son las superficies naturales (definidas por la geología y topografía del lugar en su estado natural), y las superficies provocadas artificialmente (definidas por las intervenciones en las superficies naturales).

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

En nuestro caso, por las intervenciones efectuadas durante los procesos constructivos de obras viales.

En la diversidad de bibliografía técnica, existe variación en los enunciados para la identificación de fallas y modismos lingüísticos locales para la clasificación de los deslizamientos; a continuación se presenta esquemas donde se resume esta circunstancia.

Figura 3. Superficie donde ocurren las fallas que provocan deslizamientos



Fuente: Ing. Pérez Erick, año 2010

1.5. Factores geomorfológicos

Dentro de los factores geomorfológicos se encuentran:

- Topografía de los alrededores y geometría del talud
- Distribución de las discontinuidades y estratificaciones.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

1.6. Factores Internos de la formación

Dentro de los factores internos se encuentran:

- Propiedades mecánicas de los suelos constituyentes
- Estado de esfuerzos actuantes

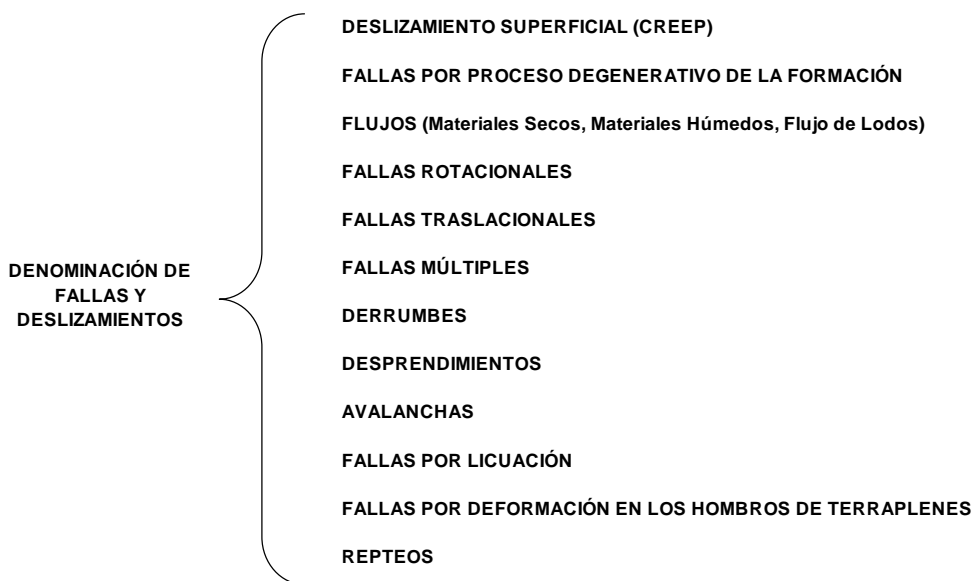
1.7. Factores externos en el entorno de la formación

Se encuentran los siguientes:

- Factores climáticos y concretamente el agua superficial y subterránea.

Debido a esa diversidad de denominaciones, en este trabajo se decide la utilización de la siguiente denominación:

Figura 4. Denominación de fallas y deslizamientos



Fuente: Ing. Rico Rodríguez Alfonso, Caño. "La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres", Figura 2.2 Denominación de Fallas y Deslizamientos, Vol. 1 – Páginas. Consultadas 120 (México) Consultado de la página World Wide Web: www.books.google.com

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

1.7.1. Deslizamiento superficial (CREEP)

Asociado a falta de resistencia por baja presión de confinamiento (Creep). Esta falla se refiere al proceso más o menos continuo y por lo general lento de deslizamiento ladera abajo que se presenta en la zona superficial de algunas laderas naturales.

El deslizamiento superficial suele afectar a grandes áreas y el movimiento superficial se produce sin una transición brusca entre la parte superficial móvil y las masas inmóviles más profundas. El deslizamiento superficial suele deberse a una combinación de las acciones de las fuerzas de gravedad y de otros varios agentes. La velocidad de movimiento ladera debajo de un creep típico puede ser muy baja y rara vez excede de algunos centímetros por año.

En rigor debe hablarse de dos clases de creep, según ha señalado Terzaghi (1948), el estacional que afecta la corteza superficial de la ladera que sufre la influencia de los cambios climáticos en forma de expansiones y contracciones térmicas o por humedecimiento y secado. Y el masivo, que afecta a capas de tierra más profundas, no interesadas por los efectos ambientales y que, en consecuencia, solo se puede atribuir al efecto gravitacional. El primero que en mayor o menor grado existe siempre, producirá movimientos que podrán variar con la época del año, el segundo se manifestara por movimientos prácticamente constantes. El espesor de la capa superficial a la que afecta el creep estacional es sumamente bajo y su dimensión máxima puede estimarse en un metro.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

No están claras todavía las causas por las que la ladera natural particular pueda entrar en un creep masivo, a causa del cual una costra superficial, cuyo espesor puede ser en este caso de varios metros, comienza a moverse lentamente ladera abajo, se ha hablado de una resistencia fundamental que representaría un límite tal que si los esfuerzos actuantes lo sobrepasan, se produciría el creep masivo.

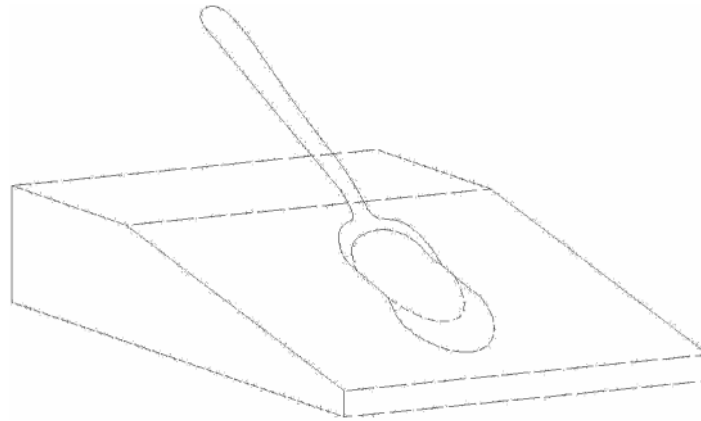
Aun cuando no están del todo definidos los conceptos de resistencia fundamental o las causas del creep, parece cierto que este movimiento se produce bajo niveles de esfuerzos actuantes bajos, muy inferiores a los que corresponden a la máxima resistencia al esfuerzo cortante de los suelos, esto fue establecido por Griggs (1936) y por Bishop (1950) quien al realizar pruebas triaxiales drenadas en arcillas comprobó que los esfuerzos necesarios para producir deformaciones muy lentas a largo plazo eran únicamente una fracción de la resistencia máxima de la arcilla. También parece razonable pensar que el mecanismo superficial de estos deslizamientos esté relacionado con la baja resistencia al esfuerzo cortante que tienen los materiales de la ladera en la zona superficial, en la que son muy bajos los esfuerzos normales efectivos actuantes.

1.7.2. Deslizamiento rotacional

Tienen lugar a lo largo de una superficie de deslizamiento interna, de forma aproximadamente circular y cóncava.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

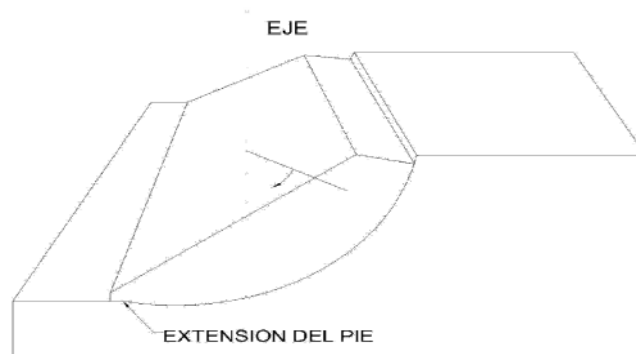
Figura 5. Rotura típica con forma de cuchara



Fuente: elaboración propia.

El movimiento tiene una naturaleza rotacional alrededor de un eje dispuesto paralelamente a la ladera o talud.

Figura 6. Rotura típica con forma cilíndrica

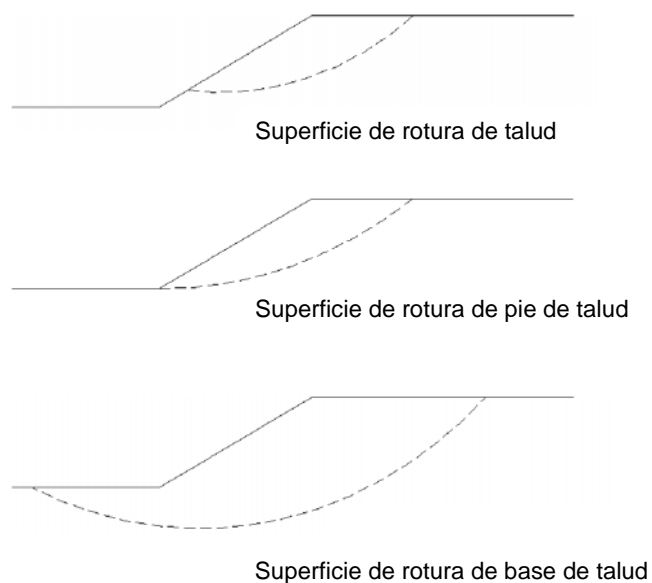


Fuente: Metodología de Análisis, Caracterización de los Movimientos en Masa Nomenclatura de un deslizamiento.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

La salida de las superficies circulares sobre las que se produce la rotura puede originarse en tres partes diferentes del talud, según las características resistentes del material, altura e inclinación del talud, etc.

Figura 7. Diferentes superficies circulares de rotura



Fuente: Metodología de Análisis, Caracterización de los Movimientos en Masa Nomenclatura de un deslizamiento.

Si la superficie de rotura corta al talud por encima de su pie, se denomina superficie de rotura del talud. Cuando la salida se produce por el pie del talud y queda por encima de la base de dicho talud, recibe el nombre de superficie de rotura de pie de talud.

Si la superficie de rotura pasa bajo el pie del talud con salida en la base del mismo y alejada del pie, se denomina superficie de rotura de base de talud. En la superficie del terreno suelen aparecer grietas concéntricas y cóncavas hacia la dirección del movimiento, con un escarpe en su parte alta, en tanto más acusado mayor desplazamiento sufre la masa deslizada.

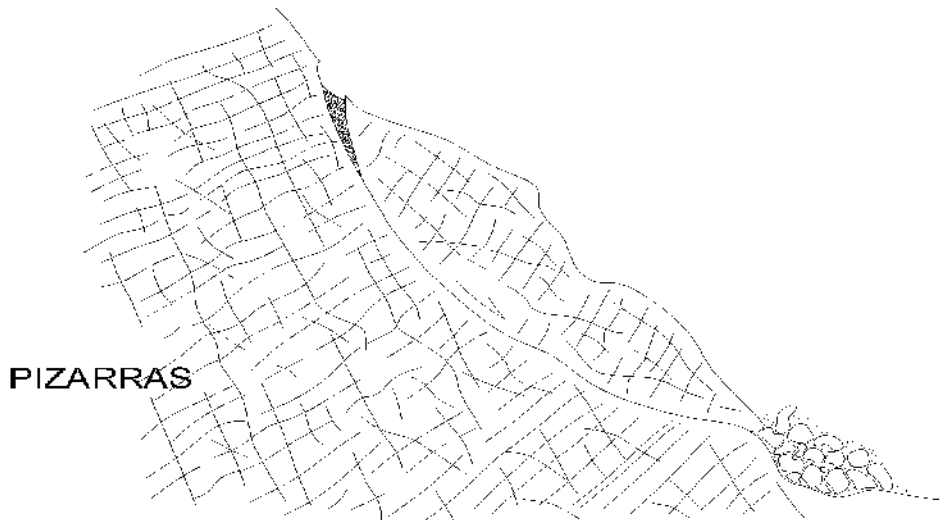
1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

Figura 8. Deslizamiento rotacional en un suelo



La velocidad de estos movimientos varía de lenta a moderada, tiene gran influencia la inclinación de la superficie de rotura en el pie del deslizamiento.

Figura 9. Deslizamiento rotacional en macizo rocoso muy fracturado



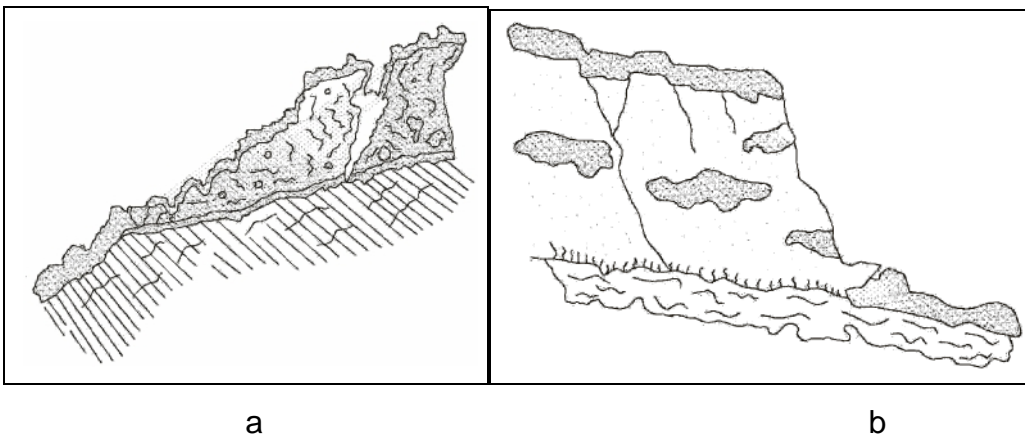
Fuente: Metodología de Análisis, Caracterización de los Movimientos en Masa Nomenclatura de un deslizamiento.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

1.7.3. Deslizamiento traslacional

En este tipo de deslizamientos la masa de terreno se desplaza hacia fuera y abajo, a lo largo de una superficie plana o suavemente ondulada, con pequeños movimientos de rotación.

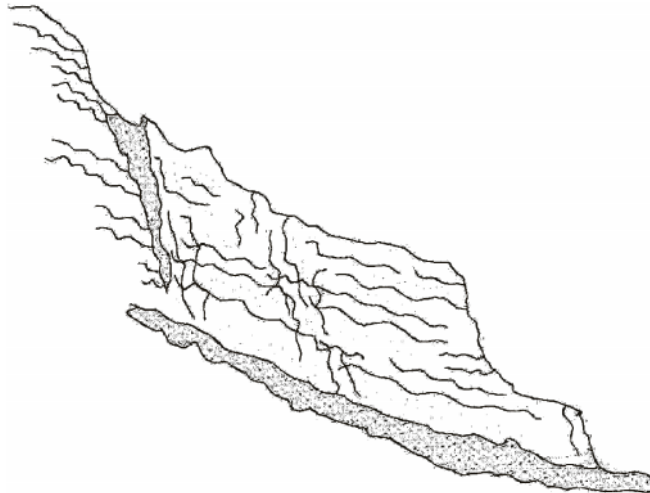
Figura 10. (a) Deslizamiento traslacional en suelo y (b) Deslizamiento traslacional en el contacto suelo-roca



Comúnmente el movimiento de la masa (material) deslizada hace que ésta quede sobre la superficie original del terreno. Los deslizamientos traslacionales están controlados por discontinuidades (estratificación, esquistosidad, diaclasas, fallas, etc.), influyendo la variación de la resistencia al corte entre estratos de diferente naturaleza, diferente grado de meteorización, distintos tipos de relleno en discontinuidades, etc. Generalmente se desarrollan en macizos rocosos, con discontinuidades bien marcadas.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

Figura 11. Deslizamiento traslacional en macizo rocoso



Los desprendimientos son causados por socavación de taludes debido a los cortes que se realizaron para la ampliación de la sección típica y a la erosión de quebradas. En macizos rocosos son causados por socavación debido a la erosión. En algunos casos los desprendimientos son el resultado de meteorización diferencial.

Los desprendimientos o caídas son relevantes desde el punto de vista de la ingeniería, porque la caída de uno o varios bloques puede ocasionar daños a estructuras o a otros taludes que se encuentren en la parte inferior y podría originar una destrucción masiva. Los desprendimientos se producen comúnmente en taludes verticales o casi verticales en suelos débiles a moderadamente fuertes y en macizos rocosos fracturados. Generalmente, antes de la falla ocurre un desplazamiento, el cual puede ser identificado por la presencia de grietas de tensión.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

Figura 12. Desprendimiento de bloques

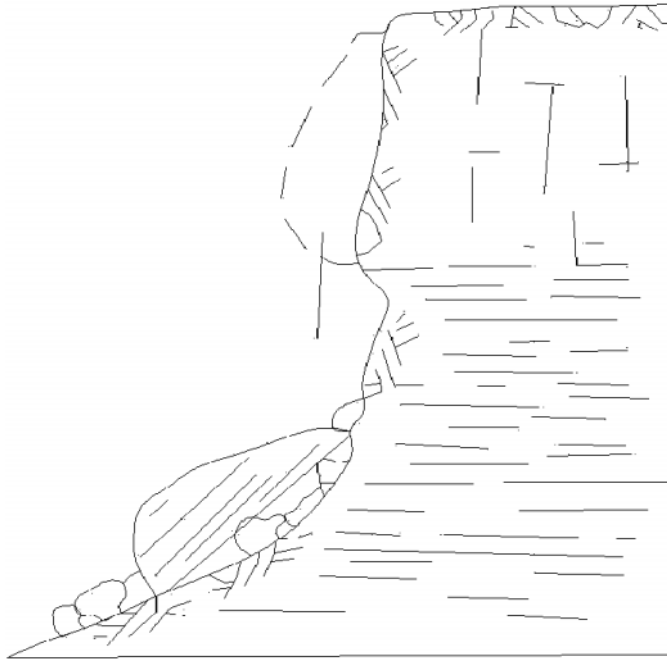
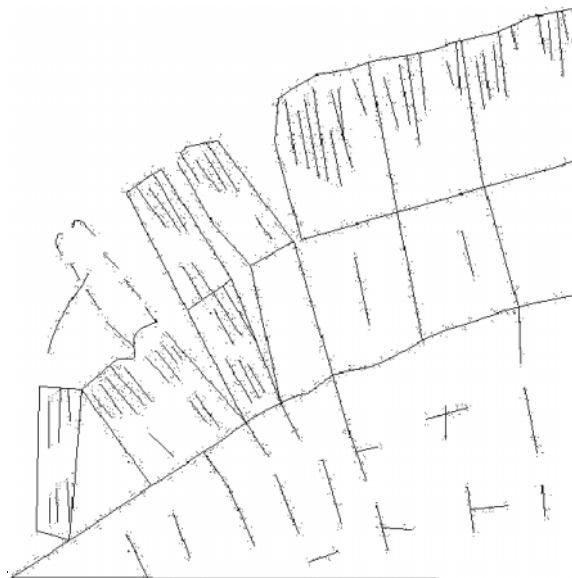


Figura 13. Volcadura de bloques



Fuente: Guía para Identificar Problemas de Deslizamientos, cap. 3 - Pág. 3

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

1.7.4. Derrumbes

- Vulnerabilidad de los sistemas de agua potable frente a deslizamientos

Los derrumbes se encuentran asociados a fallas en suelos y rocas, y de acuerdo con la forma de la superficie de falla se subdividen en rotacionales y planares.

- Derrumbes planares

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

Los deslizamientos planares en macizos rocosos consisten en el deslizamiento como una unidad o unidades (bloques) talud abajo, a lo largo de una o más superficies planas. También se puede generar una falla de cuña a lo largo de la intersección de dos planos, consistente de uno o varios bloques.

Los deslizamientos en bloque pueden ser destructivos especialmente en regiones montañosas donde los deslizamientos masivos de roca resultan desastrosos y en muchos casos no pueden ser prevenidos.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

Figura 14. Deslizamiento planar en macizo rocoso

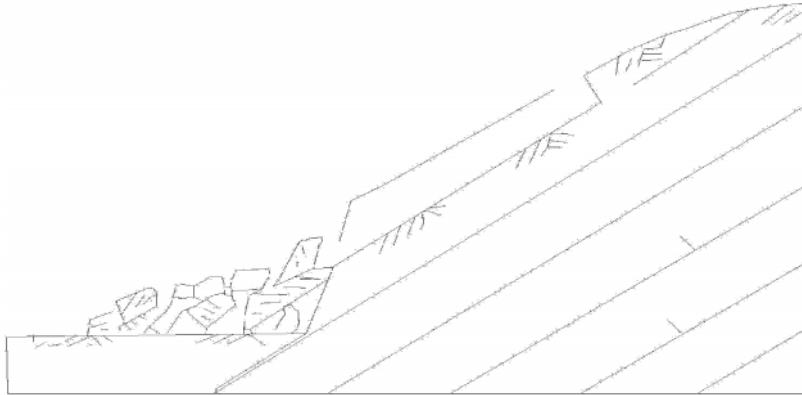
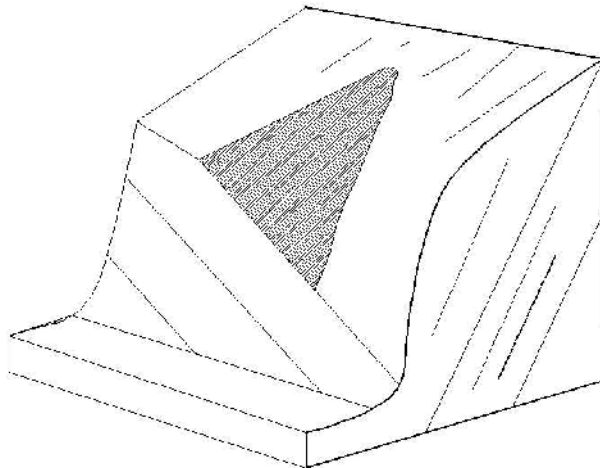


Figura 15. Deslizamiento en forma de cuña



Los deslizamientos planares suelen ocurrir en:

- Rocas sedimentarias que tengan un buzamiento similar o menor a la inclinación de la cara del talud.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

- Discontinuidades, tales como fallas, foliaciones o diaclasas que forman largos y continuos planos de debilidad que interceptan la superficie del talud.
- Intersección de diaclasas o discontinuidades que dan como resultado la falla de un bloque en forma de cuña.

En general, durante los períodos iniciales de la falla se generan grietas de tracción con un pequeño desplazamiento, luego se pueden observar escarpes frescos que dejan los bloques con posterioridad al movimiento. En algunos casos, este movimiento deja sin vegetación la zona deslizada y los escombros quedan expuestos al pie del talud.

- Derrumbes rotacionales

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

La principal causa de este tipo de falla es el incremento de la inclinación del talud, meteorización y fuerzas de filtración; sus consecuencias no son catastróficas, a pesar de que el movimiento puede causar severos daños a estructuras que se encuentren en la masa deslizando o sus alrededores. Cuando se presentan algunos signos tempranos de falla los taludes pueden ser estabilizados.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

En las etapas tempranas del deslizamiento se forman grietas de tensión, luego de la falla parcial se genera una serie de pequeños hundimientos y escarpes, y al momento de la falla total se pueden apreciar varios escarpes en la superficie además de grietas de tensiones concéntricas y profundas, así como una gran masa de material incoherente al pie del talud.

- Deslizamiento lateral y falla progresiva

Los deslizamientos laterales son una forma de falla planar que ocurre en suelos y rocas. La masa se deforma a lo largo de una superficie plana que representa una zona débil, los bloques se separan progresivamente por tensión y retroceden.

Este tipo de falla es común en valles de ríos y se asocia también con arcillas firmes y duras fisuradas, lutitas y estratos con buzamiento horizontal y una zona continua de debilidad. Tal como los materiales encontrados en el proyecto: Tecpán – Los Encuentros.

Los deslizamientos laterales pueden activarse repentinamente por eventos sísmicos. Sin embargo, bajo acciones gravitacionales se generan grietas de tensión. Durante la falla progresiva, las grietas de tensión se abren y los escarpes forman grandes bloques. Tal como sucede en el relleno estructural del kilómetro 113+000 lado derecho.

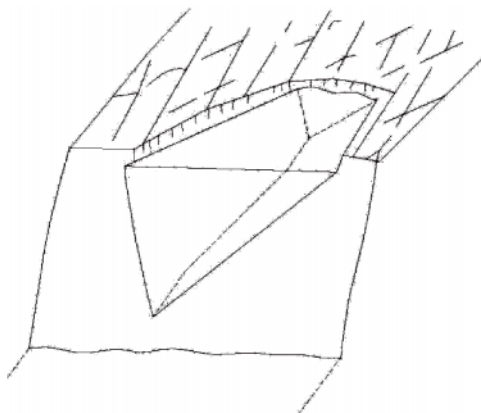
1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

- Deslizamiento de escombros

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

El progreso de estos dos deslizamientos tiende a ser indefinido, siempre que la inclinación de la superficie de deslizamiento sea lo suficientemente grande, y la resistencia al corte, inferior a las fuerzas desestabilizadoras. Existen deslizamientos traslacionales de gran variedad, formados por la intersección de dos discontinuidades o superficies de debilidad.

Figura 16. Cuña directa con grieta de tracción



Fuente: Metodología de Análisis, Caracterización de los Movimientos en Masa Nomenclatura de un deslizamiento.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

Si ambas superficies se inclinan en sentido diferente, se denominan cuñas directas. Cuando la inclinación es hacia el mismo sentido reciben el nombre de cuñas inversas.

Figura 17. Cuña Inversa

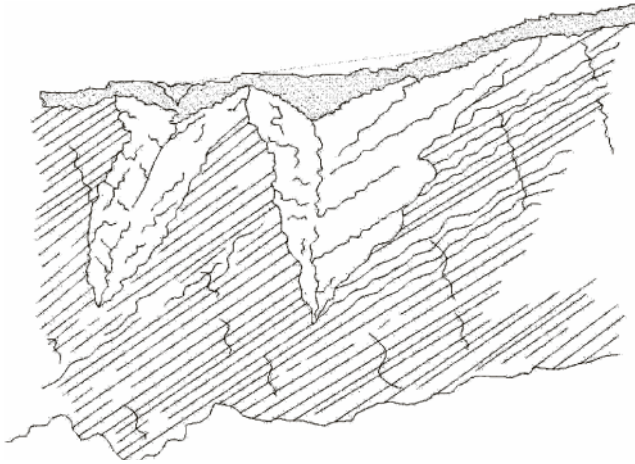
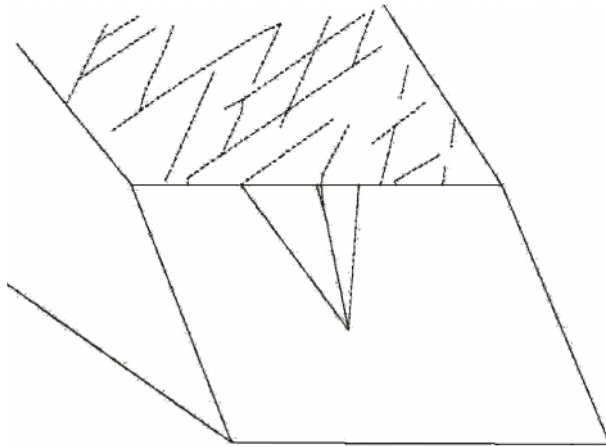


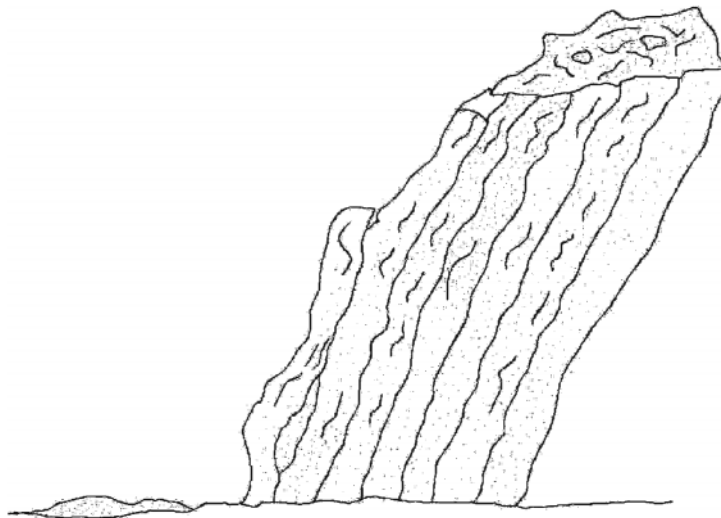
Figura 18. Cuñas directas



1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

Cuando coinciden una serie de condiciones estructurales y geométricas determinadas en un macizo rocoso, pueden aparecer deslizamientos peculiares denominados pandeos "*buckling*".

Figura 19. Pandeo por flexión de placas lisas



Este fenómeno aparece cuando la estratificación es subvertical y existe gran diferencia, entre al menos dos de las tres dimensiones que definen geoméricamente la estructura. Si existe una serie de diaclasas pseudoortogonales a la estratificación pueden producirse pandeos por flexión de placas fracturadas.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

Figura 20. Pandeo por flexión de placas fracturadas

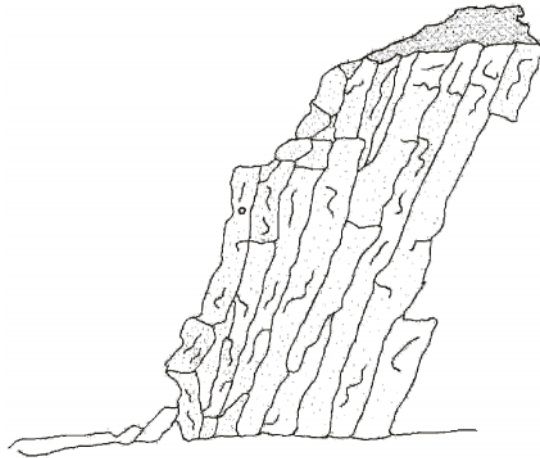
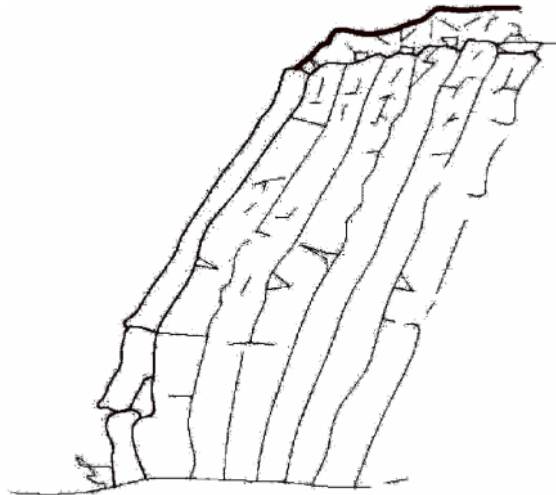


Figura 21. Pandeo por flexión de placas curvas y fracturadas



Generalmente en los deslizamientos de tipo traslacional el movimiento se produce de forma rápida.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

1.8. Resistencia al corte de los suelos

La modelación o representación matemática del fenómeno de falla al cortante en un deslizamiento se realiza utilizando las teorías de la resistencia de materiales. Las rocas y suelos al fallar al corte se comportan de acuerdo a las teorías tradicionales de fricción y cohesión, según la ecuación generalizada de Coulomb:

$$\tau = c' + (\sigma - \mu) \tan \phi' \quad (\text{Para suelos saturados})$$

$$\tau = c' + (\sigma - \mu) \tan \phi' - (\mu - \mu_a) \tan \phi'' \quad (\text{Para suelos parcialmente saturados})$$

Donde:

τ : esfuerzo de resistencia al corte (T/m²)

c' : cohesión o cementación efectiva (T/m²)

σ : esfuerzo normal total (T/m²)

μ : presión del agua intersticial o de poros (T/m²)

μ_a : presión del aire intersticial (T/m²)

ϕ' : ángulo de fricción interna del material (°)

ϕ'' : ángulo de fricción del material no saturado (°)

El análisis de la ecuación de Coulomb requiere predefinir los parámetros ángulo de fricción y cohesión, los cuales se consideran como propiedades intrínsecas del suelo. La presencia de agua reduce el valor de la resistencia del suelo dependiendo de las presiones internas o de poros que se sustraen del valor de la presión normal. A la presión resultante se le conoce con el nombre de presión efectiva σ' .

$\sigma' : \sigma - \mu$

ϕ' : ángulo de fricción para presiones efectivas

c' : cohesión para presiones efectivas

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

1.8.1. Ángulo de fricción

El ángulo de fricción es la representación matemática del coeficiente de rozamiento en forma de $\tan \phi'$. Éste depende de varios factores como el tamaño de los granos, la forma de los mismos, la distribución de tamaños y la densidad.

1.8.2. Cohesión

La cohesión es una medida de la cementación o adherencia entre las partículas del suelo y es usada en mecánica de suelos para representar la resistencia al cortante producida por la cementación, mientras que en la física este término se utiliza para representar la tensión. En suelos fundamentalmente granulares en los cuales no existe ningún tipo de cementante o material que pueda producir adherencia, la cohesión se supone igual a 0 y a estos suelos se les denomina suelos no cohesivos.

1.8.3. Cohesión aparente

En los suelos no saturados el agua en los poros produce un fenómeno de adherencia por presión negativa o fuerzas capilares. Esta cohesión aparente desaparece con la saturación.

1.8.4. Principio de las presiones efectivas

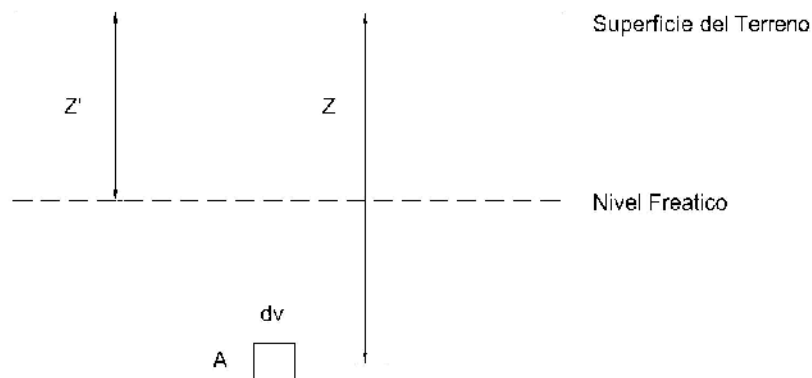
Si se considera un elemento de volumen infinitesimal dentro de una masa de suelo, por debajo del nivel freático, se tiene que el agua que hay en su interior está soportando una presión debida a su propio peso, llamada presión

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

hidrostática, igual al producto del peso unitario del líquido por la profundidad del elemento respecto al nivel freático.

Al mismo tiempo, aunque no haya sobrecarga en la superficie del terreno, a causa del peso propio del suelo existe una presión transmitida de grano a grano en su esqueleto sólido; ésta se llama presión ínter granular, en tanto que la soportada por el agua se llama presión intersticial. La presión total que actúa en el punto donde se encuentra dicho elemento de volumen es igual a la suma de la presión ínter granular y de la intersticial.

Figura 22. Presión soportada por un volumen infinitesimal de suelo



Claro está que tanto la una como la otra pueden tener causas diferentes a las del simple peso propio del suelo. Las presiones intersticiales pueden ser originadas por sobrecargas, debidas a construcciones o por fuerzas debidas a vibraciones; es decir que la presión hidrostática en el agua subterránea es una presión intersticial, pero una presión intersticial puede ser o no hidrostática, es decir puede deberse al agua o al esqueleto de suelo. Cualquiera que sea la naturaleza de las presiones, para los suelos se podrá siempre escribir la ecuación general:

$$\sigma = \sigma' - u$$

Fuente: Metodología de Análisis, Caracterización de los Movimientos en Masa Nomenclatura de un deslizamiento.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

σ : presión total (esfuerzo normal total) en un punto determinado.

σ : presión ínter granular o efectiva (esfuerzo efectivo).

u : presión intersticial o neutra (esfuerzo neutro).

En el caso general, la presión total en un punto determinado puede dividirse en dos: la presión transmitida de grano a grano en el esqueleto sólido del suelo y la presión soportada por el agua intersticial. En los casos en que no exista la presión intersticial o neutra, la presión total será la misma presión ínter granular o efectiva; esto ocurre para puntos que se encuentren por encima del nivel freático. Los esfuerzos ejercidos por el esqueleto, solamente se conocen como esfuerzos efectivos y los esfuerzos hidrostáticos del agua se les denominan presión de poros. La suma de estos conforma los esfuerzos totales.

Solo las presiones ínter granulares pueden producir cambios de volumen en una masa de suelo, o dar origen a resistencia por fricción interna en los suelos. De ahí su nombre de efectivas. Las presiones en el agua de los poros no pueden por sí mismas producir tales dos efectos; por lo mismo se llaman neutras; también se les llama presiones de poros. La afirmación anterior es la que se conoce como principio de las presiones efectivas ó principio de los esfuerzos efectivos. En el caso del cálculo de la presión total, efectiva y neutra para un punto A situado por debajo del nivel freático se tiene:

Presión total

$$\sigma = \gamma_h Z' + \gamma_{sat} (Z - Z')$$

γ_h es la densidad húmeda promedio por encima del nivel freático, y γ_{sat} la densidad saturada promedio por debajo del mismo.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

Presión neutra

$$u = \gamma_w (Z - Z')$$

Presión efectiva en A:

$$\sigma = \sigma - u$$

$$\sigma = \gamma h Z' + \gamma_{sat} (Z - Z') - \gamma_w (Z - Z')$$

$$\sigma = \gamma h Z' + (\gamma_{sat} - \lambda_w) (Z - Z')$$

$$\sigma = \gamma h Z' + \gamma' (Z - Z')$$

De acuerdo con este análisis, para la determinación de la presión efectiva se puede proceder de dos maneras:

- a) Calculando la presión total en el punto en cuestión y restando la presión intersticial, que en este caso es la presión hidrostática.
- b) Calculando directamente la presión efectiva, al utilizar como densidad por debajo del nivel freático la densidad sumergida γ .

Los esfuerzos efectivos son los que controlan el comportamiento del suelo y no los esfuerzos totales. En problemas prácticos, el análisis con esfuerzos totales podría utilizarse en problemas de estabilidad a corto plazo y las presiones efectivas para analizar la estabilidad a largo plazo.

1.8.5. Relación esfuerzo – deformación

Desde el punto de vista de la relación esfuerzo-deformación, en estabilidad de taludes se deben tener en cuenta dos tipos de resistencia:

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

- Resistencia máxima o resistencia pico

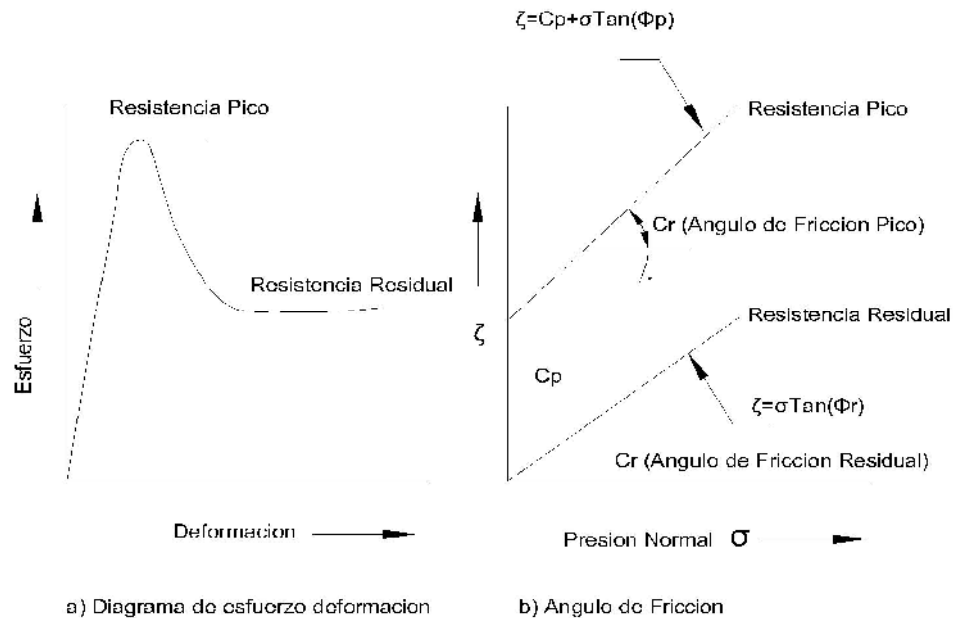
Es la resistencia al corte máxima que posee el material que no fue fallado previamente, la cual corresponde al punto más alto en la curva esfuerzo-deformación. La utilización de la resistencia pico en el análisis de estabilidad asume que dicha resistencia se obtiene simultáneamente a lo largo de toda la superficie de falla. Sin embargo, algunos puntos de la superficie de falla han alcanzado deformaciones mayores que otros. En un fenómeno de falla progresiva, asumir que la resistencia pico actúa simultáneamente en toda la superficie de falla puede producir errores en el análisis.

- Resistencia residual

Es la resistencia al corte que posee el material después de haber ocurrido la falla. Skempton (1964), observó que en arcillas sobre consolidadas, la resistencia calculada del análisis de deslizamientos después de ocurridos, correspondía al valor de la resistencia residual y recomendó utilizar para el cálculo de los factores de seguridad, los valores de los parámetros obtenidos para la resistencia residual f_r y c_r . Sin embargo, en los suelos residuales la resistencia pico tiende a ser generalmente, muy similar a la resistencia residual. Otro factor que determina las diferencias entre la resistencia pico y residual es la sensibilidad, la cual está relacionada con la pérdida de resistencia por el remoldeo o la reorientación de las partículas de arcilla.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

Figura 23. Resistencias pico y residual



En arenas, gravas y limos no plásticos que se denominan suelos granulares, la cohesión es muy baja y puede en muchos casos considerarse de valor cero. El ángulo de fricción depende de la angulosidad y tamaño de las partículas, su constitución, mineralogía y densidad; generalmente en suelos granulares varía de 27° a 42° , dependiendo del tipo de ensayo que se realice. En arcillas normalmente consolidadas y limos arcillosos se puede considerar la fricción igual a cero y la cohesión como el valor total del esfuerzo de resistencia obtenida.

En suelos residuales, generalmente predominan las mezclas de partículas granulares y arcillosas y el ángulo de fricción depende de la proporción grava arena-limo y arcilla y de las características de cada tipo de partícula presente.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

1.8.6. Parámetros de presión de poros

El análisis de esfuerzos efectivos requiere del conocimiento de las presiones de poro en el campo, estas presiones de poro pueden ser estimadas si los cambios de esfuerzos dentro del suelo se pueden determinar. Para esta estimación se pueden utilizar los parámetros de presión de poros A y B propuestos por Skempton (1954), para calcular las presiones de poro en exceso

$$\Delta u = B(\Delta\sigma_3 + A(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3))$$

Donde:

Δu : exceso de presión de poros

A: parámetro de presión de poros A

B: parámetro de presión de poros B

$\Delta\sigma_1$: cambio en el esfuerzo principal mayor

$\Delta\sigma_3$: cambio en el esfuerzo principal menor

Los parámetros A y B deben ser determinados de ensayos de laboratorio o dados por la experiencia. Para suelos saturados B se acerca a uno, pero su valor disminuye drásticamente con la disminución en el grado de saturación. Los valores del parámetro A dependen de las deformaciones y generalmente, alcanzan valores máximos en el momento de la falla.

Suelos normalmente consolidados tienden a generar excesos de presión de poros positivos durante el corte, en contraste, los suelos sobre consolidados pueden esperarse que generen presiones en exceso negativas. La tabla I muestra valores típicos del parámetro A en el momento de la falla.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

Tabla I. Valor del parámetro de Skempton para diferentes arcillas

TIPO DE ARCILLA	VALOR DE PARAMETRO A DE SKEMPTON
Altamente sensitiva	0.75 a 1.5
Normalmente consolidada	0.5 a 1.0
Arcilla arenosa compactada	0.25 a 0.75
Arcilla ligeramente sobre consolidada	0 a 0.5
Arcillas gravosas compactadas	0.25 a +0.25
Arcillas muy sobre consolidadas	0.5 a 0.0

El valor de A está muy influenciado por el nivel al cual el suelo ha sido previamente deformado, el esfuerzo inicial del suelo, la historia de esfuerzos y la trayectoria de esfuerzos, tales como carga y descarga (Lambe y Whitman, 1969).

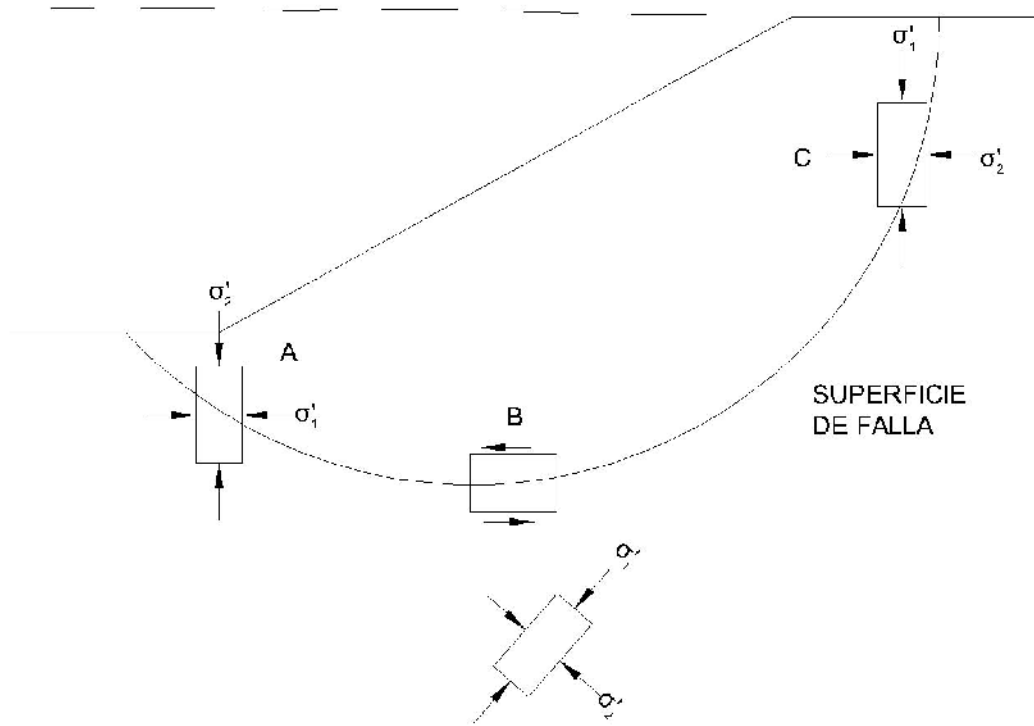
1.8.7. Círculo de Mohr

En un análisis en dos dimensiones, los esfuerzos en un punto pueden ser representados por un elemento infinitamente pequeño sometido a los esfuerzos σ_x , σ_y y τ_{xy} . Si estos esfuerzos se dibujan en unas coordenadas t-s, se puede trazar el círculo de esfuerzos de Mohr. En este círculo se definen los valores de σ máximo (σ_1) y σ mínimo (σ_3), conocidos como esfuerzos principales.

Para interpretar correctamente el fenómeno de falla al cortante en un talud debe tenerse en cuenta cuál es la dirección de los esfuerzos principales en cada sitio de la superficie de falla. El esfuerzo (σ_1) es vertical en la parte superior de la falla y horizontal en la parte inferior.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

Figura 24. Dirección de esfuerzos principales en la falla de un talud



1.8.8. Envolvente de falla

El círculo de Mohr se utiliza para representar o describir la resistencia al cortante de los suelos, utilizando la envolvente de falla Mohr – Coulomb, lo cual equivale a que una combinación crítica de esfuerzos se ha alcanzado. Los esfuerzos por encima de la envolvente de falla no pueden existir. La envolvente de falla de Mohr – Coulomb es generalmente una línea curva que puede representarse en la forma:

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

$$s = A (\sigma')^b$$

Donde:

s : resistencia al cortante

s' : esfuerzo normal efectivo

A y b : constantes

En la práctica normal de ingeniería, generalmente, esta curva se define como una recta aproximada dentro de un rango seleccionado de esfuerzos, en el cual

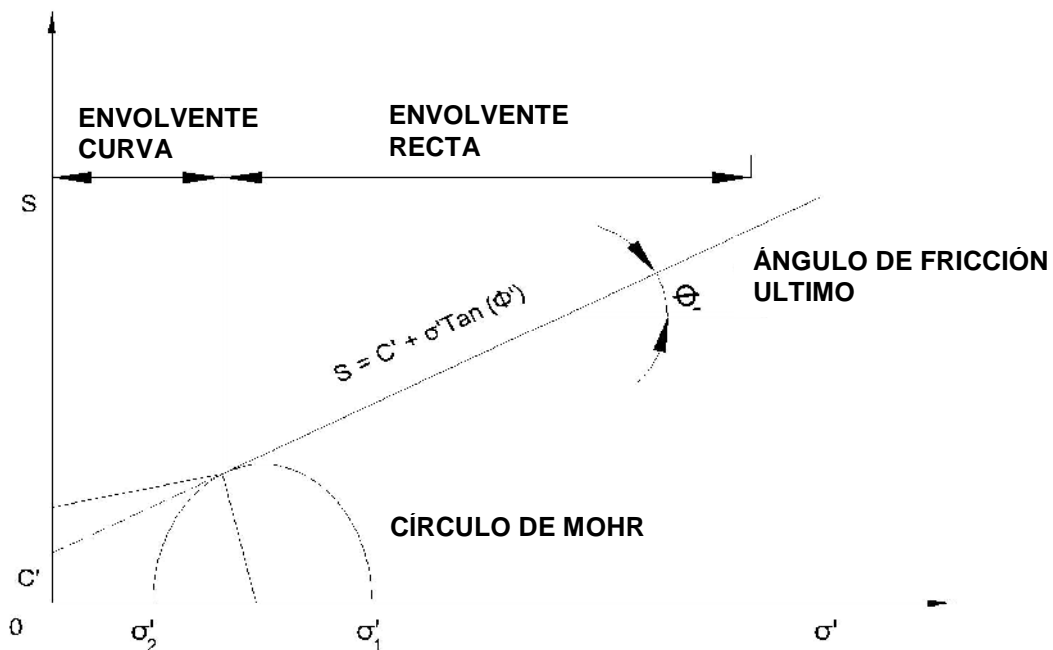
$$s = c' + s' \tan \phi'$$

Donde:

c' : intercepto del eje de resistencia (cohesión)

ϕ' : pendiente de la envolvente (ángulo de fricción)

Figura 25. Envolvente de falla y círculo de Mohr



Fuente: Metodología de Análisis, Caracterización de los Movimientos en Masa Nomenclatura de un deslizamiento.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

En la mayoría de los suelos, la envolvente de falla para niveles de esfuerzos pequeños no es recta sino curva y el error de asumirla como recta puede modificar sustancialmente los resultados de un análisis. En la realidad, no existe un ángulo de fricción para esfuerzos normales bajos y es preferible utilizar todos los valores de la envolvente.

Sin embargo, los ensayos normales de resistencia al cortante no se realizan con suficientes puntos para determinar las características de la curva en el rango de esfuerzos bajos. Hawkins (1996), indica que es recomendable presentar los ángulos de fricción como una función de las presiones normales

$$\phi' = f(\sigma')$$

y, ϕ' (último) = pendiente de la parte recta de la envolvente

El círculo de Mohr puede extenderse también al análisis de suelos parcialmente saturados, teniendo en cuenta las presiones en el agua y el aire en los vacíos Fredlund, 1978.

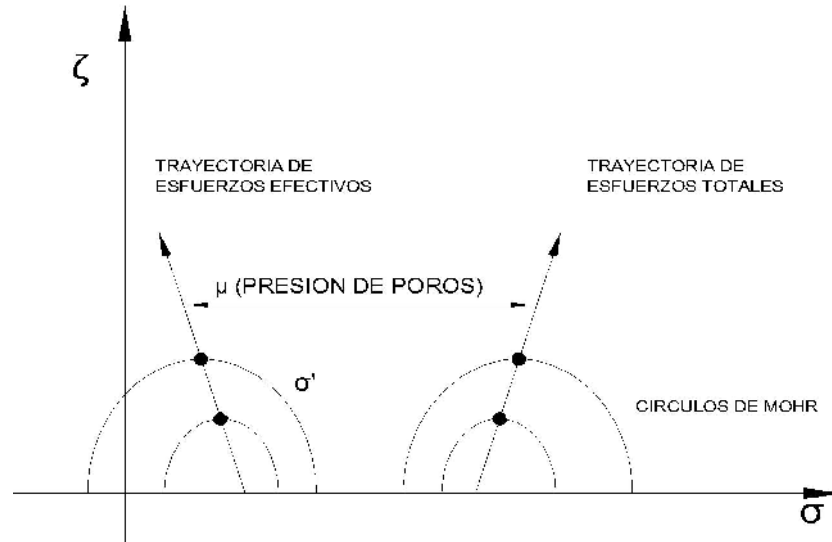
1.8.9. Trayectoria de esfuerzos

El método de la trayectoria de esfuerzos permite estudiar el comportamiento del suelo en el campo o el laboratorio. La trayectoria de esfuerzos muestra estados sucesivos de esfuerzos en un espacio de esfuerzos $p - q$, donde p y q corresponden a los máximos esfuerzos normales y de cortante en el círculo de Mohr.

Para claridad, los círculos de Mohr no se trazan y solo se traza el diagrama de trayectoria de esfuerzos. Se pueden trazar tres tipos diferentes de trayectorias así Lee, 1996

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

Figura 26. Trayectoria de esfuerzos



- Trayectoria de esfuerzos efectivos, la cual pretende presentar el verdadero comportamiento de la muestra de suelo.
- Esfuerzos totales menos presión de poros estática. Esta trayectoria muestra el estado de esfuerzos en el suelo con un margen para la presión de poros en el agua, debida al nivel estático de aguas subterráneas.

Si el nivel de agua no cambia, la diferencia entre la trayectoria de esfuerzos efectivos y la de esfuerzos totales menos la presión de poros estática, es la presión de poros en exceso generada a medida que el suelo experimenta deformaciones.

- Esfuerzos totales, la cual muestra la trayectoria de las coordenadas de los esfuerzos totales solamente. De estas trayectorias de esfuerzos se puede ver el comportamiento típico de los elementos del suelo.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

1.9. Factores que intervienen en el estudio de los deslizamientos

En la generación de un deslizamiento se involucran diversos factores, que son los que determinan el equilibrio o desequilibrio de una masa de material, así como su intensidad, magnitud y frecuencia. Dichos factores pueden dividirse en dos grandes grupos, a saber, los condicionantes y los desencadenantes. Los primeros determinan el estado de equilibrio del material potencialmente deslizable, su participación en la generación del proceso podría considerarse como pasivos; los segundos determinan la ocurrencia del proceso y son factores activos, estos alteran el estado de equilibrio mencionado. Es importante mencionar que un factor puede comportarse de las dos formas, en ocasiones pasivamente y por lo tanto, condicionar el proceso, en otras activamente y de esta forma desencadenarlo. Los factores asociados a deslizamientos, se refieren a condiciones naturales y antrópicas del terreno que varían en diferentes escalas de tiempo y que se combinan para contribuir a la generación de dicho proceso. Entre los factores más importantes encontramos:

1.9.1. Geológicos

La geología aporta un grupo de parámetros importantes para comprender la ocurrencia de los deslizamientos. Entre ellos:

1.9.2. Litológicos

Los tipos de rocas y la calidad de los suelos determinan en muchos casos la facilidad con que la superficie se degrada por la acción de los factores externos entre los cuales tenemos meteorización, intemperismo, etc.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

Las características químicas, físicas, mineralógicas y genéticas de los diferentes materiales que conforman la corteza, determinan en gran parte la forma como estos evolucionan y se comportan en el ambiente (Clima) en que se encuentran.

1.9.3. Tectónicos

Son los factores asociados al tipo, magnitud, e intensidad de la deformación que presentan los materiales rocosos, que genera en ellos elementos, tales como foliaciones, plegamientos, fallas, diaclasas, que afectan su estructura y que condicionan su estabilidad. La importancia de las estructuras radica en que determinan zonas de debilidad por las cuales se originan los deslizamientos.

1.9.4. Geomorfológicos

Son las características morfológicas del relieve de la superficie terrestre, la expresión del nivel de desarrollo alcanzado en el proceso evolutivo. Elementos como la pendiente, agudeza, amplitud, profundidad, de dicho relieve nos dan una idea del grado de equilibrio o desequilibrio de los materiales que constituyen el relieve, y del modo o mecanismos de los procesos que se desarrollan en él.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

1.9.5. Vulcanismo

Es un elemento disparador de fenómenos de inestabilidad, tanto por la propia actividad volcánica (sismos volcánicos y deformación del aparato volcánico), como por la acumulación progresiva de materiales fragmentales (cenizas, bloques, etc.) que por sus características físicas favorecen la inestabilidad de los terrenos en áreas aledañas al aparato volcánico.

1.9.6. Sísmicos

Las vibraciones provocadas por sismos pueden ser lo suficientemente fuertes como para generar deslizamientos de diversa magnitud, afectando extensas áreas.

1.9.7. Antrópicos

Se refieren a todas las actividades mediante las cuales el hombre transforma el medio natural.

- Obras civiles
- Deforestación
- Minería
- Actividades agrícolas
- Sobrepastoreo
- Uso del suelo

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

Todas estas actividades pueden alterar el equilibrio desarrollando o intensificando procesos nocivos para el terreno, que en cierta medida es naturalmente vulnerable, y (procesos morfodinámicos) que se traducen en deslizamientos.

Los factores que afectan la estabilidad de los taludes en las zonas de alta pendiente son entre otros, las pobres técnicas constructivas empleadas al realizar cortes, la construcción de viviendas y la conformación de llenos no estructurales.

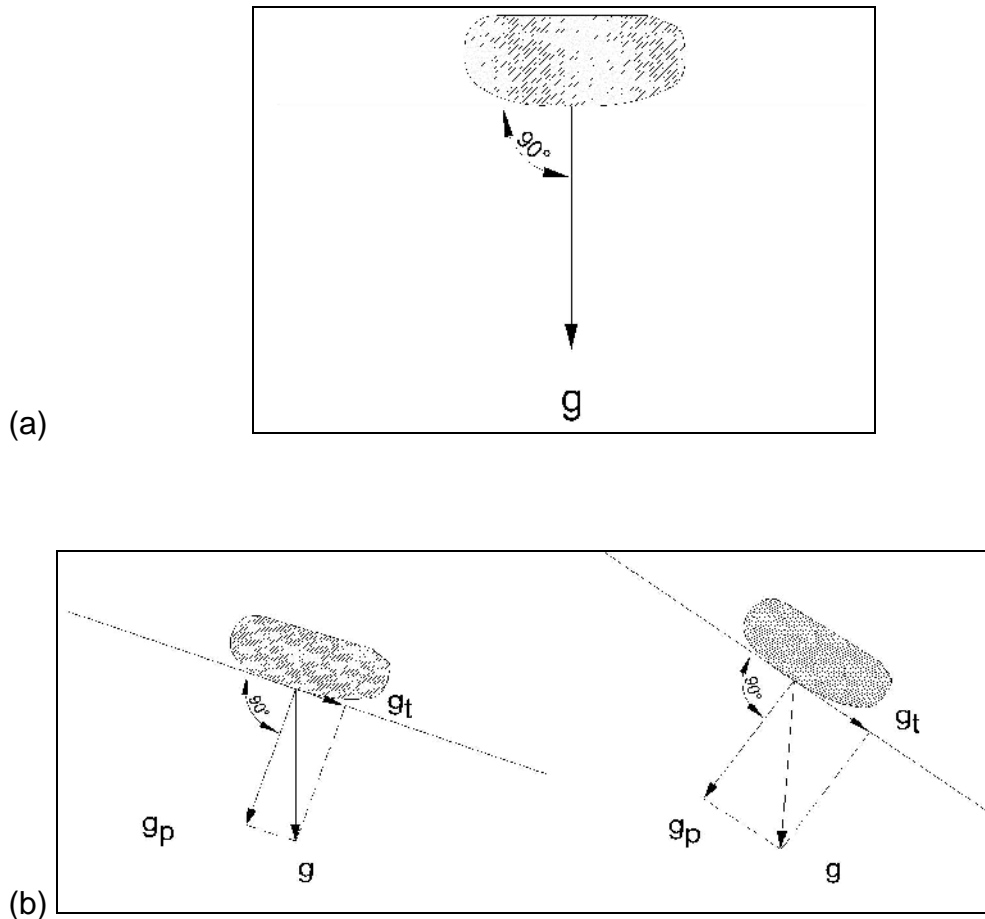
1.10. Otros factores que Intervienen en la estabilidad de los taludes o laderas

1.10.1. Gravedad

La principal fuerza responsable de los movimientos en masa es la gravedad. En una superficie plana la gravedad actúa hacia abajo, en una ladera esta fuerza tiene dos componentes: una componente que actúa normal a la superficie y otra que actúa de forma tangencial a la superficie.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

Figura 27. Componentes tangencial y normal de la gravedad. (Tulane University, 2001)



La componente perpendicular de la gravedad g_p ayuda al objeto a permanecer en su lugar, la componente tangencial g_t , causa esfuerzos cortantes paralelos a la superficie del talud. A medida que la pendiente del talud aumenta, los esfuerzos cortantes aumentan, mientras que la componente perpendicular disminuye.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

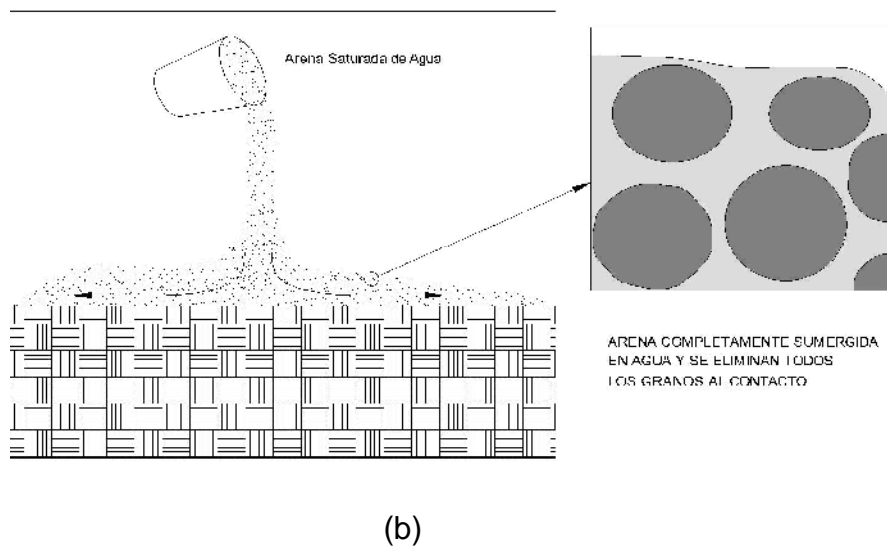
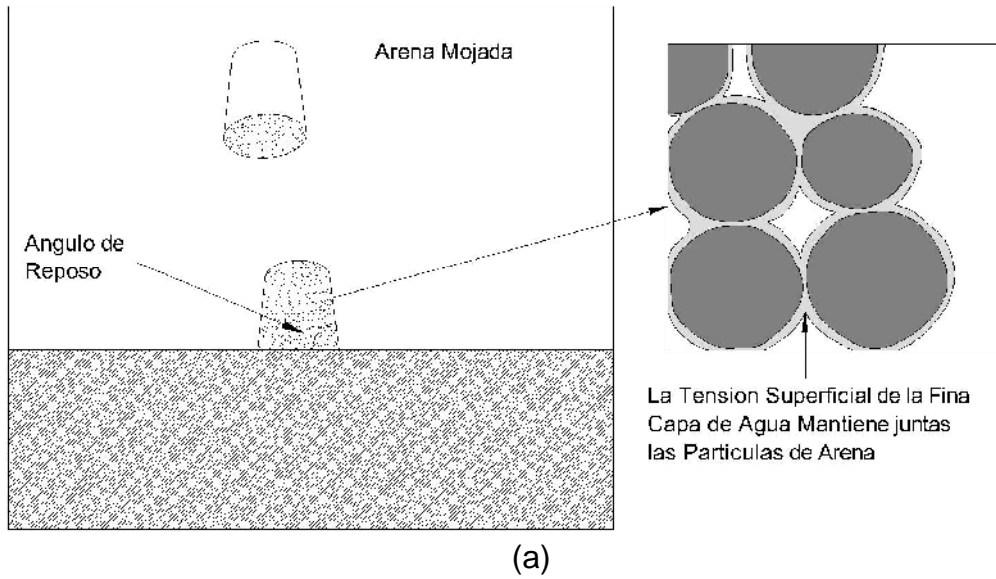
El término resistencia cortante agrupa todas las fuerzas que se oponen al movimiento, incluyendo resistencia a la fricción y cohesión. Si el esfuerzo cortante es mayor que la resistencia cortante se producirá el movimiento. El factor de seguridad F_s es la relación entre la resistencia y los esfuerzos, cuando el F_s es menor de 1.0 el movimiento es inminente.

1.10.2. Fluidificación

Si a un material no consolidado se le agrega un poco de agua, los poros que antes contenían aire se llenan de agua produciéndose una tensión capilar que mejora el grado de cohesión del suelo, pero si el material se satura, el grado de cohesión se reduce considerablemente y se elimina la fricción entre los granos, luego el material tiende a fluir como un líquido. Este fenómeno se denomina fluidificación.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

Figuras 28. (a) y (b) Cohesión aparente y fluidificación (Tulane University, 2001)



Caso (a): Agua de retención

Caso (b): Agua excede agua de retención.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

El comportamiento esfuerzo-deformación de un suelo cohesivo depende de la cantidad de agua que alberga en sus poros. El índice de liquidez (IL) de un suelo permite saber si su comportamiento es similar al de un sólido frágil, plástico o líquido. El índice de liquidez se calcula mediante la siguiente expresión:

$$IL = (w_n - LP) / (LL - LP)$$

Donde:

w_n = humedad natural del suelo

LL = límite líquido

LP = límite plástico

IL = índice de liquidez

Si el índice de liquidez es menor que cero ($IL < 0$), el suelo se comporta como un sólido frágil. Si está entre cero y uno ($0 < IL < 1$), el suelo tendrá un comportamiento plástico. Si el índice de liquidez es mayor de uno ($IL > 1$), el suelo se comportará esencialmente como un líquido viscoso. Durante las lluvias ocurridas en marzo-abril-mayo y septiembre-octubre-noviembre, la humedad de los suelos residuales superficiales se incrementa dramáticamente, haciendo que el índice de liquidez alcance valores superiores a la unidad, degradando la resistencia del suelo completamente, y como consecuencia, alterando sus propiedades plásticas haciendo fluir al suelo.

1.10.3. Presión de poros y sus efectos

La presión de poros depende de la localización de los niveles freáticos, presiones internas de los acuíferos y características geológicas del sitio. La presión de poros varía de acuerdo al régimen de aguas subterráneas.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

Un incremento en la presión de poros positiva o una disminución en la presión de poros negativa equivale a una disminución de la resistencia al cortante y por tanto de la estabilidad.

Figura 29. Presión de poros sobre una superficie de falla potencial (Suárez 1998)

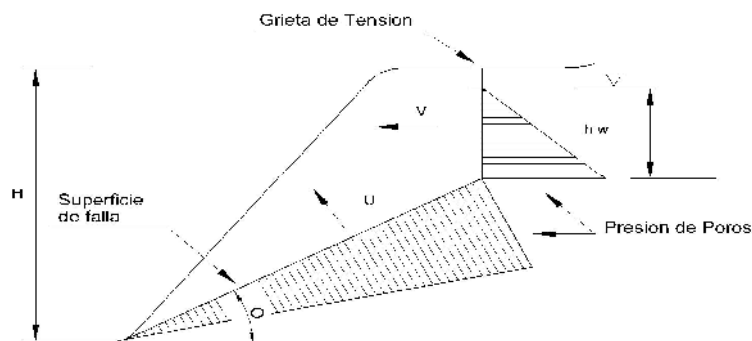
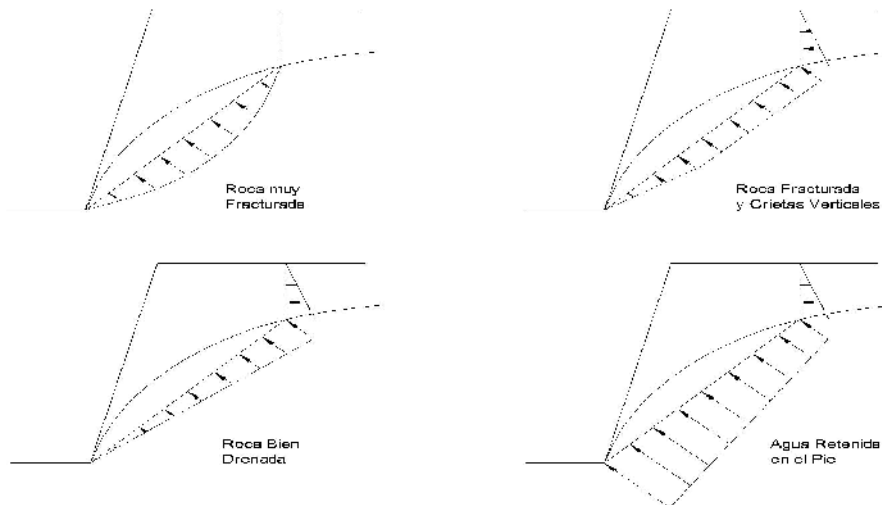


Figura 30. Presiones de poro sobre una superficie de falla potencial para diferentes condiciones de drenaje (Suárez 1998)

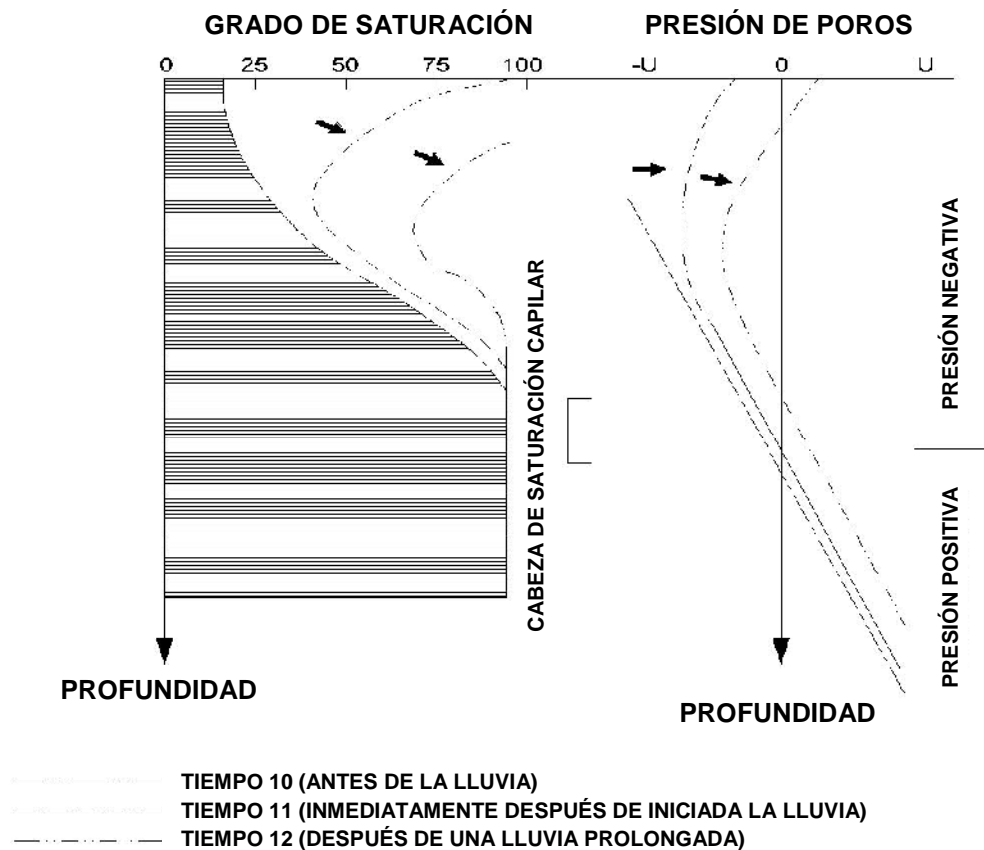


1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

La localización del nivel freático corresponde a la línea de presión de poros igual a cero, en donde la presión es atmosférica. Los valores de presión hidrostática que se encuentran por debajo de este nivel son positivos y los que se encuentran por encima son negativos o de succión.

Por debajo del nivel freático el suelo se encuentra saturado, esto equivale a que el agua llena todos los poros del suelo. Las presiones de poro negativa varían, según el grado de saturación del suelo como se muestra en la figura 28.

Figura 31. Cambios en la presión de poros y el grado de saturación por efecto del agua (Suárez 1998)



Fuente: "Metodología de Análisis, Caracterización de los Movimientos en Masa Nomenclatura de un deslizamiento". Pág. 34.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

La combinación de pendientes en áreas de descarga, con la tendencia del agua subterránea de fluir hacia la cara de la pendiente, y la presencia de mantos de suelo residual relativamente impermeables, conllevan a la generación de altas presiones de poros que pueden desestabilizar las pendientes y producir desprendimientos de bloques de roca de gran magnitud. Terzaghi y Peck (1967), y Deere y Patton (1971), describen situaciones en las cuales estas condiciones han llevado a un estado crítico de estabilidad, produciendo la falla del talud.

Adicionalmente, la presencia de detalles locales desfavorables, como orientaciones de diaclasas con ángulos elevados, puede generar zonas de debilidad en el talud y desarrollar una condición aun más inestable, ya que se producen ocurrencias de presiones muy altas.

1.10.4. Frente húmedo

La infiltración de agua en el subsuelo durante lluvias prolongadas puede reducir las tensiones de succión en el suelo hasta un punto en el cual las pendientes son inestables. De acuerdo a Lumb (1975), la tasa de infiltración del agua de lluvia en un suelo homogéneo es igual a la permeabilidad saturada del suelo cuando no se forma estancamiento del agua en la superficie. Para un suelo con permeabilidad k y porosidad n , se puede demostrar que el frente de humedad por infiltración avanza según la siguiente expresión:

$$h = k t / n (S_f - S_0)$$

Donde:

h = profundidad de avance del frente de humedad después de un tiempo “ t ”

S_0 = grado de saturación inicial

S_f = grado de saturación final

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

En la zona saturada, los poros del suelo están completamente llenos de agua, la presión poro-agua U_w iguala a la presión poro-aire U_a , reduciendo la succión ($U_a - U_w$) a cero. En la zona de transición, la humedad del suelo permanece aproximadamente constante y el agua percola a través del suelo bajo la acción del gradiente potencial de gravitación. La succión en esta zona es reducida a un valor muy bajo.

En la zona de humedecimiento, existe una transición muy marcada entre el contenido de humedad y la tensión por succión, de los valores de la zona de transición a aquellos de la zona todavía no humedecida.

Es importante destacar, que la profundidad de avance del frente de humedad h es directamente proporcional al tiempo t . de lo anterior, se puede inferir que durante las prolongadas lluvias ocurridas en marzo, abril, mayo, septiembre, octubre, noviembre, el frente de húmedo puede penetrar perfiles completos de meteorización, degradando la cohesión aparente (tensión de succión), de todo el manto de suelo residual, a valores muy bajos, lo cual puede generar una disminución en la succión o cohesión aparente que producía el estado de no saturación.

1.10.5. Hidrología y clima

Las variables físicas que constituyen el clima (Temperatura, humedad, radiación solar, etc.) de una región determinan las condiciones de meteorización (Tipo, intensidad, velocidad) a las que están expuestos los materiales.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

1.10.5.1. Hidrogeológicos

El movimiento del agua a través de los suelos y rocas, y el comportamiento de la presión hidrostática en estos hace de suma importancia el estudio hidrogeológico. La hidrogeología de una zona está determinada por la litología, las estructuras y el clima de una zona, esto convierte a la geología en la base de la interpretación de los datos hidrológicos.

Es así como el agua superficial y subterránea además de provocar la saturación, sobrepeso de los suelos y la variación de las presiones ejercidas en el suelo y los materiales rocosos, genera procesos tales como la socavación, erosión de taludes y la disolución de rocas solubles, entre otros.

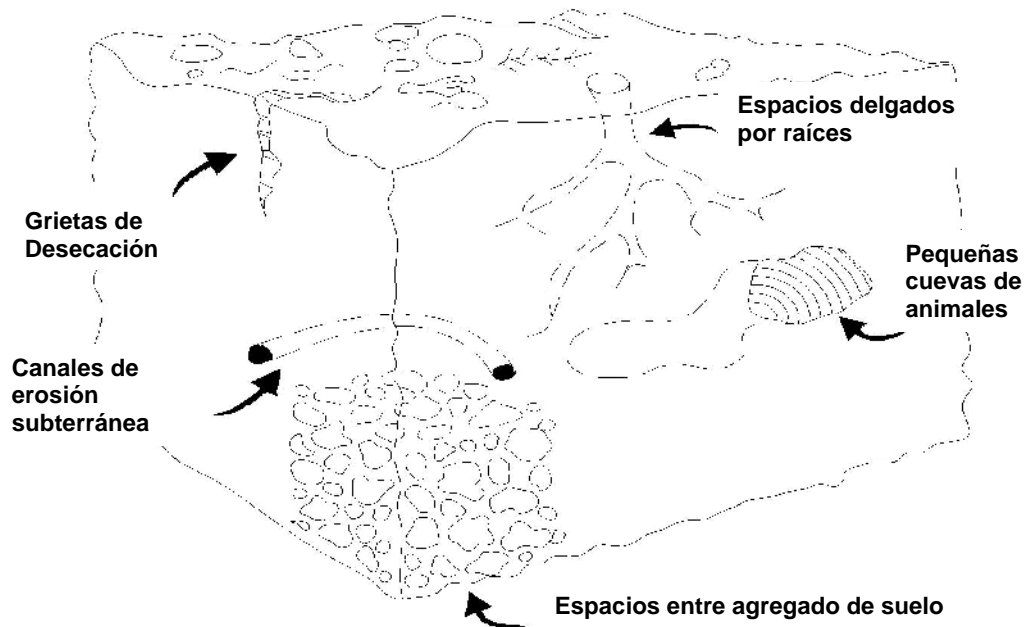
1.10.5.2. Parámetros de hidrogeológicos de interés

En general, las propiedades hidrogeológicas más importantes que influyen en la estabilidad de una ladera tienen que ver con la cantidad de agua que se mueve en el suelo y la capacidad del mismo para almacenarla y permitir su circulación.

Aquí se incluyen propiedades intrínsecas de las partículas, presión de poros y la distribución de los macroporos en la matriz del suelo.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

Figura 32. Desarrollo de los macroporos en el suelo. (Tomado de Sidle 1985)



Estos factores tienen que ver con la cantidad de agua que entra en el suelo y la tasa a la cual ésta se mueve (K), la pendiente del terreno, la profundidad del nivel freático, evapotranspiración, manipulación de la ladera, etc.

La estabilidad de los materiales está determinada por sus características intrínsecas y la ocurrencia o no de diversos procesos de carácter superficial y subsuperficial. Para un buen análisis de un fenómeno como los deslizamientos es de vital importancia, estudiar dichas características y su relación con los procesos.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

Porosidad (n): La porosidad está definida como la relación existente entre el volumen de vacíos de una masa de suelo y el volumen total que la conforma, así:

$$n = V_v / V_T ; = \text{Donde, } V_v \text{ es el volumen de vacíos y } V_T, \text{ es el volumen total.}$$

Otra característica es la relación de vacíos que está definida como la relación existente entre el volumen de vacíos de una masa de suelo con su volumen de sólidos así:

$$e = V_v / V_s , e = \text{Donde, } V_v \text{ es el volumen de vacíos y } V_s \text{ es el volumen total.}$$

Estos dos anteriores parámetros pueden relacionarse, mediante la siguiente expresión:

$$e = n / (1 - n)$$

Un concepto útil en el movimiento del agua por el terreno es la porosidad eficaz, que representa el volumen de poros interconectados entre sí, esta característica está dada por la relación existente entre un llamado volumen eficaz y el volumen total del suelo.

Así:

$$n_e = V_e / V_T$$

La porosidad de los materiales es función de un gran número de factores entre los que podemos mencionar propiedades texturales como la forma, tamaño y disposición de las partículas, propiedades composicionales como el tipo de material, así como también de los procesos evolutivos del material.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

Permeabilidad (k, Conductividad hidráulica): esta propiedad está definida como la capacidad de un material para permitir el flujo a través de él. La permeabilidad es una medida de la capacidad de un medio poroso para conducir fluidos. Implica la determinación de la capacidad de conducción de un determinado fluido.

1.10.6. Agua y estabilidad

El agua es un agente de mucho peso a la hora de determinar la estabilidad de los materiales, de hecho, es un factor que normalmente desencadena deslizamientos por diversas razones, en diferentes procesos, razones entre las que podemos mencionar:

- El aumento en la humedad genera un incremento en el peso de la masa de suelo y por consiguiente favorece las fuerzas motoras en un deslizamiento.
- Acelera los procesos de meteorización y erosión en los materiales, tanto a nivel externo como interno.
- Cuando las presiones neutras del suelo igualan las presiones totales se genera el fenómeno de licuefacción.
- La presión de agua favorece la evolución de grietas de tracción, que incrementan las fuerzas motoras en los deslizamientos.
- Ante temperaturas extremas, la congelación del agua puede generar ampliación de discontinuidades.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

- A escala general, la presencia de agua en los taludes disminuye su estabilidad.

1.10.7. Medidas de mitigación y/o solución a largo plazo

Dentro de las medidas de mitigación, se determinó que de acuerdo a ensayos e investigaciones realizados a los diferentes suelos encontrados, cuáles serían las posibles medidas de mitigación correctivas que pudieran ayudar a estabilizar los taludes que pudieran estar proclives a provocar derrumbes, deslizamientos o desprendimientos, para el efecto se tomaran las medidas que de acuerdo a condiciones de el territorio de Guatemala, pudieran ser llevadas a cabo en función del entorno socioeconómico en que se encuentra y las cuales se describen a continuación.

- Aumentar la resistencia del suelo: son las soluciones que aplican drenaje en el suelo para bajar el nivel freático o la inyección de substancias que aumenten la resistencia del suelo, tales como el cemento u otro conglomerante.

- Disminuir los esfuerzos actuantes en el talud: soluciones tales como el cambio de la geometría del talud mediante el corte parcial o total de éste a un ángulo menor o la remoción de la cresta para reducir su altura.

- Aumentar los esfuerzos de confinamiento (s3) del talud: se puede lograr la estabilización de un talud mediante obras, como los muros de gravedad, las pantallas atirantadas o las bermas hechas del mismo suelo.

En la siguiente sección se discutirán diversas soluciones.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

1.10.7.1. Cambio de la geometría

El cambio de la geometría de un determinado talud puede realizarse mediante soluciones tales como la disminución de la pendiente a un ángulo menor, la reducción de la altura (especialmente en suelos con comportamiento cohesivo) y la colocación de material en la base o pie del talud (construcción de una berma); en esta última solución es común usar material de las partes superiores del talud.

1.10.7.2. Métodos para estabilizar un talud:

- (a) drenaje;
- (b) cambio de la geometría (Hunt 1984)

La consecuencia directa de realizar un cambio favorable en la geometría de un talud es disminuir los esfuerzos que causan la inestabilidad y, en el caso de la implantación de una berma, el aumento de la fuerza resistente. Es importante destacar que la construcción de una berma al pie de un talud debe tomar en cuenta la posibilidad de causar inestabilidad en los taludes que se encuentren debajo, además, se deben tomar las previsiones para drenar el agua que pueda almacenarse dentro de la berma, ya que es probable que pueda haber un aumento de la presión de los poros en los sectores inferiores de la superficie de falla, lo que acrecienta la inestabilidad.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

1.10.7.3. Drenaje

La presencia de agua es el principal factor de inestabilidad en la gran mayoría de las pendientes de suelo o de roca con mediano a alto grado de meteorización. Por lo tanto, se han establecido diversos tipos de drenaje con diferentes objetivos. A continuación se exponen los tipos de drenaje más usados para estabilizar taludes.

- Drenajes sub horizontales: son métodos efectivos para mejorar la estabilidad de taludes inestables o fallados. Consiste en tubos de 5 cm o más de diámetro, perforados y cubiertos por un filtro que impide su taponamiento por arrastre de finos. Se instalan con una pequeña pendiente hacia el pie del talud, penetran la zona freática y permiten el flujo por gravedad del agua almacenada por encima de la superficie de falla.

El espaciamiento de estos drenajes depende del material que se esté tratando de drenar y puede variar desde tres a ocho metros en el caso de arcillas y limos, hasta más de 15 metros en los casos de arenas más permeables.

Drenajes verticales: se utilizan cuando existe un estrato impermeable que contiene agua emperchada por encima de un material más permeable con drenaje libre y con una presión hidrostática menor. Los drenajes se instalan de manera que atraviesen completamente el estrato impermeable y conduzcan el agua mediante gravedad, por dentro de ellos, hasta el estrato más permeable, lo que aliviará el exceso de presión de los poros a través de su estructura.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

Drenajes transversales o interceptores: se colocan en la superficie del talud para proporcionar una salida al agua que pueda infiltrarse en la estructura del talud o que pueda producir erosión en sus diferentes niveles. Las zonas en las que es común ubicar estos drenajes son la cresta del talud para evitar el paso hacia su estructura (grietas de tensión), el pie del talud para recolectar aguas provenientes de otros drenajes y a diferentes alturas del mismo.

Drenajes de contrafuerte: consiste en la apertura de zanjas verticales de 30 a 60 cm de ancho en la dirección de la pendiente del talud para rellenarlas con material granular altamente permeable y con un alto ángulo de fricción ($>35^\circ$).

La profundidad alcanzada deberá ser mayor que la profundidad a la que se encuentra la superficie de falla para lograr el aumento de la resistencia del suelo no sólo debido al aumento de los esfuerzos efectivos, gracias al drenaje del agua que los reducía, sino también al aumento del material de alta resistencia incluido dentro de las zanjas.

Esta solución puede ser útil y de bajo costo en el caso de taludes hechos con materiales de baja resistencia, tales como arcillas y limos blandos o con presencia de materia orgánica en descomposición que tengan entre tres y ocho metros de altura y superficies de falla que no pasen de los cuatro metros.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

1.10.7.4. Soluciones estructurales

Este tipo de soluciones generalmente se usa cuando hay limitaciones de espacio o cuando resulta imposible contener un deslizamiento con los métodos discutidos anteriormente. El objetivo principal de las estructuras de retención es incrementar las fuerzas resistentes de forma activa (peso propio de la estructura, inclusión de tirantes, etc.) y de forma pasiva al oponer resistencia ante el movimiento de la masa de suelo.

Entre las soluciones estructurales más usadas se encuentran las siguientes:

- Muros de gravedad y en cantiliver: la estabilidad de un muro de gravedad, se debe a su peso propio y a la resistencia pasiva que se genera en la parte frontal del mismo. Las soluciones de este tipo son antieconómicas porque el material de construcción se usa solamente por su peso muerto, en cambio los muros en cantiliver, hechos de concreto armado, son más económicos porque son del mismo material del relleno, el que aporta la mayor parte del peso muerto requerido.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

(a) Muros

Se debe tener en cuenta que al poner una estructura con un material de muy baja permeabilidad, como el concreto, al frente de un talud de suelo que almacene agua en su estructura, es muy probable que aumente la presión hidrostática en la parte posterior del muro. Para evitar este problema se debe colocar drenajes subhorizontales a diferentes alturas del muro con el objetivo de disipar el exceso de presión. Un tipo de muro de gravedad que ayuda en este aspecto, es el muro de gavión que al no tener ningún agente cohesionante más que la malla que une los gaviones, permite el paso de agua a través de los mismos. Estos muros además de ser comparativamente económicos, tienen la ventaja de tolerar grandes deformaciones sin perder resistencia.

(b) Muros de gavión

Pantallas: consisten de una malla metálica sobre la cual se proyecta concreto (shotcrete) recubriendo toda la cara del talud. Es común “atirantar” esta corteza de concreto armado mediante anclajes que atraviesan completamente la superficie de falla para posteriormente ser tensados y ejercer un empuje activo en dirección opuesta al movimiento de la masa de suelo.

1.11. Métodos para estabilizar taludes

Tan pronto se comprueba que hay un riesgo de inestabilidad en un determinado talud, se debe buscar la mejor solución y considerar aspectos de costo, naturaleza de las obras afectadas (tanto en la cresta como al pie del talud), tiempo estimado en el que se puede presentar el problema, disponibilidad de los materiales de construcción, etc.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

Dentro de la determinación de las medidas de mitigación de los efectos de falla se pudieran realizar el retiro de material que se queda en la pata del talud, reforestación e impermeabilización de la cara frontal del talud con sus respectivos drenajes horizontales, que pudieran ayudar a que el agua que se filtra hacia las capas inferiores del talud fueran drenadas y así evitar presiones intersticiales que provocan deslizamientos, derrumbes o desprendimientos.

1.12. Determinación de las soluciones a largo plazo

Métodos correctivos para fallas en taludes que podrían ser utilizados en el Proyecto: diseño y construcción de la ampliación a 4 carriles de la ruta CA-01 Occidente Tramo: Tecpán (km 89) - Los Encuentros (km. 124).

Lo que persiguen los métodos correctivos es lo siguiente:

1.12.1. Evitar la zona de falla

Cambios en el alineamiento de la vía, sea el horizontal o vertical

Remoción total del material inestable

Construcción de estructuras que se apoyen en zonas estables (puentes o viaductos).

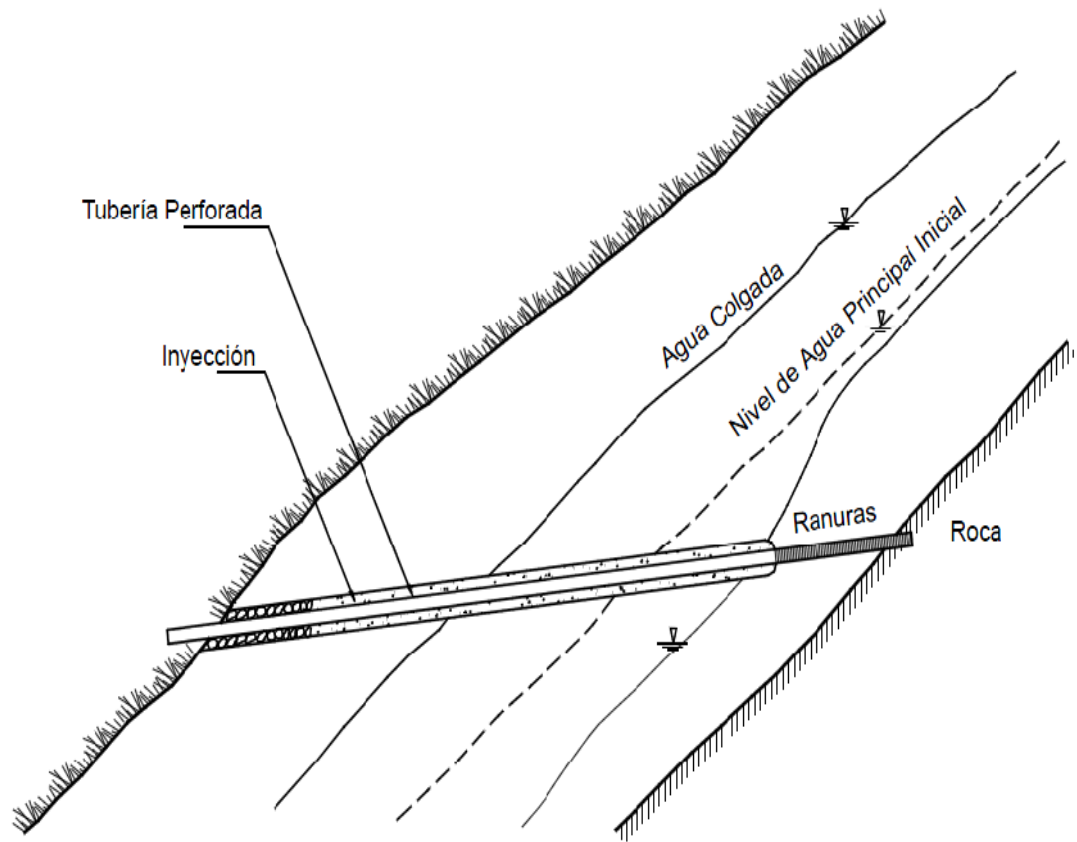
1.12.2. Reducir las fuerzas motoras

Remoción de material en la parte apropiada de la falla

Sub-drenaje para disminuir el efecto de empujes hidrostáticos y el peso de las masas de tierra.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

Figura 33. Subdrén de penetración diseñado para captación solamente en la punta interior



1.12.3. Aumentar las fuerzas resistentes

Sub-drenajes, para aumentar la resistencia al esfuerzo cortante del suelo.

Construcción de estructuras de retención.

Uso de tratamientos electroquímicos para elevar la resistencia del suelo al deslizamiento donde existe un alto contenido de arcilla.

Fuente: "Deslizamiento – Técnicas de Remedición"

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

1.12.4. Descargar la cresta

Este método consiste en la remoción de parte del material localizado en la cresta del talud, produciéndose una disminución de las fuerzas deslizantes. La remoción de material en la cabeza de la falla o en todo el cuerpo del mismo, hasta llegar a la remoción total, es un método que solo se puede aplicar en fallas ya manifestadas.

La remoción de la cabeza busca reducir las fuerzas motoras y balancear la falla, las remociones totales eliminan el problema de raíz. Son métodos mejores para prevenir que para corregir y se puede usar en toda clase de deslizamiento. Su principal desventaja estriba en que el material que se excava se desperdicia, además, que al remover material y disminuir las fuerzas motoras también se pueden causar disminuciones de fuerzas resistentes.

1.12.5. Empleo de bermas laterales o frontales

Una berma es una masa, generalmente, del mismo material del talud, que es colocada en el lado exterior del mismo, a fin de aumentar su estabilidad. El efecto de esta es producir un aumento de las fuerzas resistentes, debido al incremento en la longitud del arco de falla y una disminución de las fuerzas deslizantes por la acción del peso de la berma.

1.12.6. Empleo de materiales ligeros

Consiste en colocar material de terraplén suelos de peso específico bajo, que produzcan, por lo tanto, fuerzas deslizantes pequeñas. Esta solución es aplicable únicamente en terraplenes.

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

1.12.7. Compactación de suelos compresibles

En el caso de un talud, el método consiste en la remoción del material y su posterior colocación de capas compactadas.

1.12.8. Empleo de materiales estabilizantes

El fin que persigue este método es mejorar la resistencia del suelo mediante la aplicación de sustancias cementantes, tales como cemento, asfaltos y sales químicas, pero en la práctica estos procedimientos resultan onerosos.

1.12.9. Empleo de muros de retención

Consiste en la colocación de un muro de contención, con el fin de confinar la masa del suelo inestable. Para ello se debe verificar que la cimentación del muro queda por debajo del plano de falla, de modo que este lo intercepte. Este debe ser dotado de un drenaje adecuado con el fin de canalizar las aguas hacia las salidas que se proyecten a través del muro.

1.12.10. Geosintéticos

Drenajes horizontales de pequeño diámetro

Zanjas de sub drenaje profundas y continuas. Generalmente a una profundidad de 1.50 a 5 metros.

Pozos verticales perforados generalmente de 18.36 pulgadas de diámetro (47 centímetros).

1. TEORÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS

Mejora en el drenaje superficial a lo largo de la parte superior con cunetas abiertas o canales pavimentados sembrar plantas en el talud con raíces profundas y resistentes a la erosión.

Pilotes verticales vaciados en sitio, con la base cimentada por debajo del plano de falla.

Pernos de anclaje en suelo.

2. DEFINICIÓN DEL CASO EN ESTUDIO

2. DEFINICIÓN DEL CASO EN ESTUDIO

En la Ruta CA 01 occidente, tramo Tecpán - Los Encuentros, se han presentado deslizamientos de los taludes laterales a la carretera que afectan el tránsito a los usuarios de la ruta, siendo el origen de estas fallas las variaciones de condición que sufren las laderas anualmente, como por ejemplo, cambio en los niveles de lluvia en la zona, drenado, carga o estabilidad superficial. Estos cambios se han presentado durante la construcción o inmediatamente después de la misma, o pueden desarrollarse con lentitud a lo largo de algunos años.

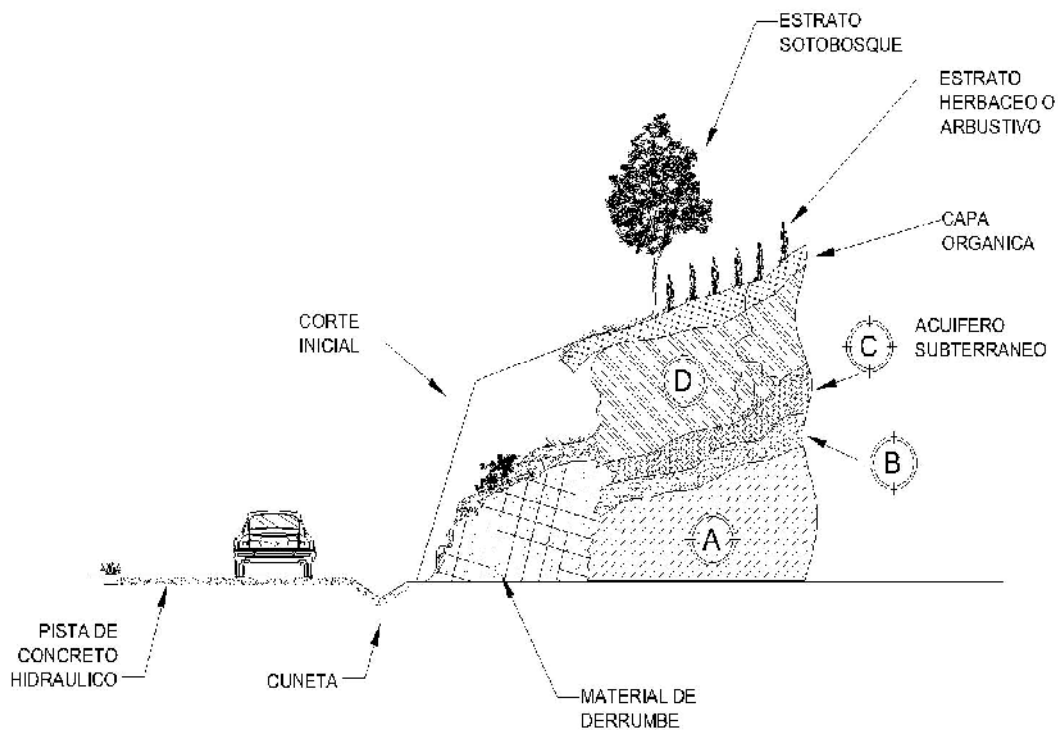
En el tramo en estudio definido por 35 kilómetros de carretera, se han contabilizado 120 taludes que presentan características propias por lo que es necesario realizar un estudio particular, (se analizaron 24 taludes representativos de 120) considerando los diversos estratos que los componen. Durante el análisis que se realizaron, se emplea el Manual Centroamericano de Normas Ambientales para el Diseño, Construcción y Mantenimiento de Carreteras, en lo que corresponde a protección de taludes, por no contar con una normativa específica del Ministerio de Ambiente o de la Dirección General de Caminos. Presentamos a continuación un esquema representativo de los diversos estratos que se presentan en el área del proyecto.

Los taludes objeto de análisis, se encuentran ubicados en los estacionamientos 107+075, 106+940, 103+285, 105+620, 102+580, 104+420, 106+450, 102+460, 95+780, 108+450, 102+460, 102+700, 106+000, 90+450, 91+980, referidos desde el inicio del proyecto en la población de Tecpan, del departamento de Chimaltenango; situados a (izquierda) de la línea de tránsito.

2. DEFINICIÓN DEL CASO EN ESTUDIO

Para el estudio, se ha recopilado información durante 24 meses, que servirá para determinar las causas, efectos y soluciones a la estabilidad de los mencionados taludes.

Figura 34. Sección típica del tramo en estudio



En forma general, de la figura número 32, la sección típica del tramo en estudio, esta constituida por los siguientes estratos:

- Estrato sotobosque: comprendido por la mayoría de árboles de la localidad. Está formado por árboles jóvenes, arbustos y hierbas de mediana altura, con mucha o poca densidad y en este caso cercanas a la orilla del talud, provocando tensiones externas al talud que provocan su caída.

2. DEFINICIÓN DEL CASO EN ESTUDIO

- Estrato herbáceo o arbustivo: presente en la mayoría de taludes y está comprendida por cultivos, gramínea y/o maleza, la cual se propaga fácilmente en temporada de invierno, lo cual favorece a la saturación del suelo. En algunos casos son cultivos que tienen un sistema de riego permanente lo que provoca una mayor saturación del suelo aun en época de verano.
- Capa orgánica: material permeable, el cual permite que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna, que se constituye como nutriente y que tiene características que permiten su explotación y uso agrícola.
- Estrato “D”: arcillas de plasticidad alta; son suelos finos donde más del 35% de las partículas del material son menores al 0.06 mm, y un 65% al 100% son finos, el límite líquido se encuentra entre el 50% al 90%.
- Estrato “C”: acuífero subterráneo; formados por la filtración de fluido (pluvial, por lo general) el cual ha sido absorbido desde la superficie hasta llegar a los espacios entre piedras, arena o grava donde se mantiene depositada hasta alcanzar una capa levemente impermeable (acuífero limitado).
- Estrato “B”: acuíferos limitados; formados por la filtración de fluido depositado en acuíferos subterráneos, estos se encuentran sobre una capa (por lo general impermeable) que no permitirá el paso del agua, esto provoca a que el agua se deposite y se encuentre bajo presión, hasta encontrar salidas (ver estratigrafía en figura número 1).

2. DEFINICIÓN DEL CASO EN ESTUDIO

- Estrato “A”: arcillas de plasticidad extremadamente alta; son suelos finos donde más del 35% de las partículas del material son menores a 0.06 mm, y un 65% al 100% son finos y su límite líquido sobrepasa el 90%.

Algunos taludes encontrados han existido durante años en estado de falla incipiente, es decir, a punto de producir un movimiento. Esto resulta especialmente evidente en el caso de laderas naturales y los taludes definidos por la intervención del hombre. En estas situaciones, las interferencias humanas, tales como deforestación o cortes en el pie de talud pudieron provocar el movimiento.

En el análisis por realizar los taludes tanto en corte como construidos es necesario tener en cuenta las condiciones de estabilidad tanto inmediatas como a largo plazo.

2.1. Antecedentes del estudio de talud

En el mes de octubre del 2005, la república de Guatemala fue afectada por las consecuencias derivadas de la Tormenta Tropical Stan, provocando desastres naturales, como inundaciones, deslizamientos, destrucción parcial de la red vial de país, etc., que ha provocado en la población, severos daños económicos y sociales; y que han exigido la intervención del Estado con medidas que hagan posible una pronta solución a los problemas derivados de este fenómeno natural. El Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda convocó al Evento Público número DGC-018-2006-C, para contratar la ejecución de los trabajos de Diseño y Construcción del Proyecto CA-1 Occidente, Tramo: Tecpan (Km. 89) – Los Encuentros (Km. 124).

2. DEFINICIÓN DEL CASO EN ESTUDIO

El tramo Tecpán – Los Encuentros se ubica sobre la Ruta CA-1 Occidente, inicia en el kilómetro 89 y finaliza en el kilómetro 124 de la mencionada ruta. Su longitud es de treinta y cinco kilómetros sobre terreno montañoso. Actualmente, el tramo está pavimentado con sección típica “B”, aunque algunas secciones en pendiente han sido ampliadas a tres carriles. En algunos puntos contiguos a ciertas poblaciones existen construcciones formales dentro de los límites del derecho de vía.

El proyecto consiste en el diseño y la construcción de la ampliación de la sección típica existente, a una sección típica pavimentada tipo “A” Modificada de las especificaciones de la Dirección General de Caminos (ampliación a 4 carriles). La estructura de pavimento que se pretende proporcionar tendrá una vida útil mínima de veinte años; se realizará además la construcción, ampliación y/o reconstrucción del sistema del drenaje menor para evacuar las aguas de lluvia, incluidos los tragantes de concreto y tuberías transversales de metal corrugado colocándose un diámetro mínimo de treinta pulgadas; se colocará la señalización horizontal y vertical restrictiva, preventiva e informativa de acuerdo a las normas del Manual Centroamericano de Dispositivos y Señales de la SIECA; también se efectuarán los trabajos adecuados para la mitigación ambiental y todos aquellos que sean necesarios para que la obra quede en total funcionamiento.

De acuerdo a la metodología propuesta para el diseño y construcción del proyecto, la estructura del pavimento propuesta consiste en la estabilización de la base existente, fresado del pavimento deteriorado, colocación de concreto hidráulico.

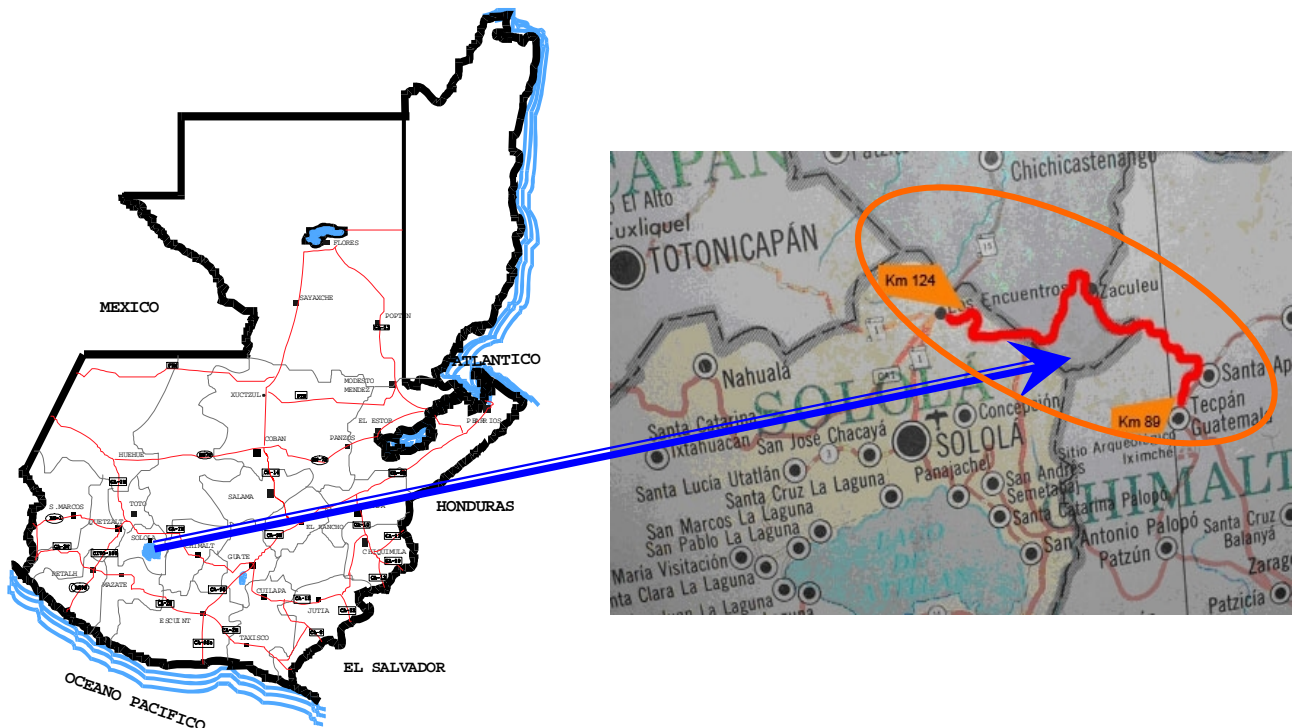
2. DEFINICIÓN DEL CASO EN ESTUDIO

Durante el proceso de ejecución del proyecto, se han experimentado desprendimientos en los taludes por diversas causas, que han provocado la interrupción del tránsito.

2.2. Localización geográfica del caso en estudio

El proyecto que define el caso en estudio, se ubica entre las latitudes $14^{\circ} 45' 43''$ Norte, $14^{\circ} 51' 30''$ Norte y las longitudes $90^{\circ} 59' 36''$ Oeste, $91^{\circ} 09' 06''$ Oeste; iniciando en la población de Tecpán del departamento de Chimaltenango, pasando por las poblaciones de Santa Apolonia, Cantón Chupol en la parte sur del departamento de El Quiché, y finaliza en la localidad de Los Encuentros en la parte norte del departamento de Sololá.

Figura 35. Localización geográfica



Fuente: "Google Maps" Autor: Google Inc.

2. DEFINICIÓN DEL CASO EN ESTUDIO

2.3. Descripción de las características físicas del entorno del emplazamiento del caso estudiado

Como quedó establecido, el caso en estudio pasa por la jurisdicción de tres departamentos de la república de Guatemala, siendo estos los de Chimaltenango, El Quiché y Sololá.

Los 35 kilómetros de vía se encuentra emplazada en la parte montañosa del área geográfica descrita; es la ruta donde llega el tránsito local para desplazarse hacia la Ciudad Capital y hacia el Occidente del país; la ruta tiene característica de Ruta Centroamericana, que dentro de la clasificación nacional es de importancia de nivel primario; dentro de su curso, a la altura de la población de Patzicia se deriva de esta la Ruta Nacional 1 que se dirige hacia la población de Panajachel, en el departamento de Sololá; y al final de su trazo, inicia la Ruta Nacional 15 que se dirige hacia el interior del departamento de El Quiché, y continua a partir de Los Encuentros hasta la población de La mesilla, en el departamento de Huehuetenango, con la calidad de Ruta Centroamericana.

Dentro de las características físicas del entorno del emplazamiento del caso en estudio, las más importantes y de interés técnico desde la aplicación de Ingeniería Vial, son las siguientes:

2. DEFINICIÓN DEL CASO EN ESTUDIO

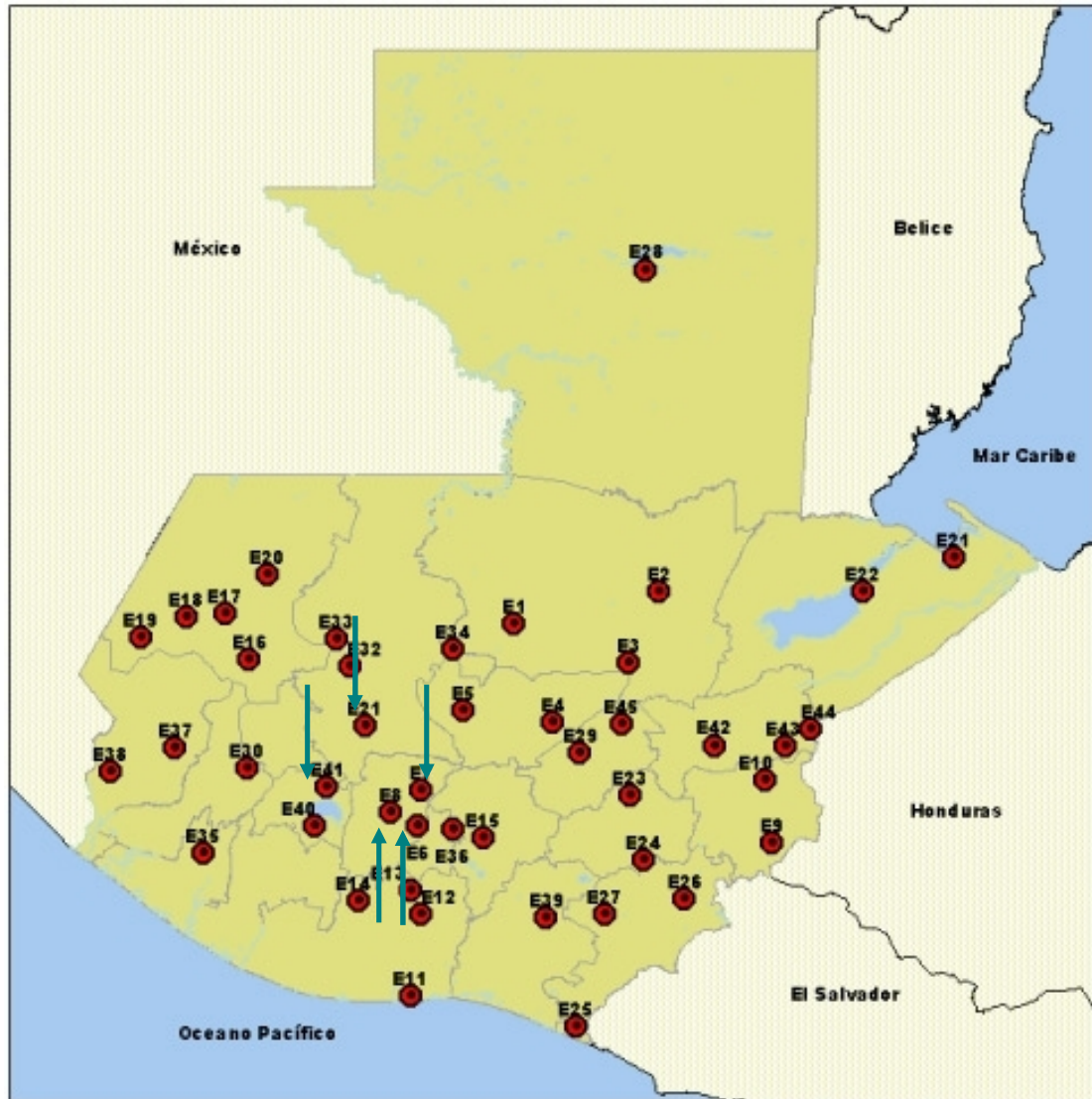
2.3.1. Clima

El clima de la región específica del proyecto, está controlado por 5 estaciones meteorológicas del Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología – INSIVUMEH - , que están ubicadas 3 en el departamento de Chimaltenango uno en el departamento de El Quiché, y uno en el departamento de Sololá; en lo referente a la pluviometría, se cuenta con un record específico producto de control interno de la empresa supervisora del proyecto.

Las estaciones de control en el departamento de Chimaltenango son las de San Martín Jilotepeque y la de Santa Cruz Balanyá.

2. DEFINICIÓN DEL CASO EN ESTUDIO

Figura 36. Mapa de ubicación estaciones meteorológicas Insivumeh



Fuente: "Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología"

En el departamento de Chimaltenango se consultó las estaciones E6 denominada Alameda ICTA; E7 denominada San Martín Jilotepeque, y E8 denominada Balanyá; en el departamento de El Quiché la estación E21 denominada Chinique, y en el departamento de Solola la estación E41 denominada El Tablón.

2. DEFINICIÓN DEL CASO EN ESTUDIO

De la información consultada se ha obtenido los siguientes resultados:

Tabla II. Datos climáticos obtenidos en INSIVUMEH

ESTACION	LLUVIA(MM) (PROMEDIO/AÑO)	DIAS DE LLUVIA/AÑO	TEMPERATURA MAXIMA (PROMEDIO/AÑO)	TEMPERATURA MINIMA (PROMEDIO/AÑO)	TEMPERATURA ABSOLUTA MAXIMA	TEMPERATURA ABSOLUTA MINIMA	VELOCIDAD DE VIENTO
SAN MARTIN JILOTEPEQUE							
2006	1498.2	128	24.3	11.7	37	1.5	2.5
2007	1085.52	117	24.4	8.3	31.2	1	2.6
2008	1564.92	134	23.3	8.4	31	1	2.5
ALAMEDA ICTA							
2006	1433.9	90	18.5	13.2	39.5	4	4.4
2007	1028.8	104	18.2	12.1	24	22	4.87
2008	68.4	11	18.5	11.7	29	26	4.78
BALANYA							
2006	1275.1	137	22.5	10.1	28	-0.5	14.3
2007	898	107	22.3	10.73	25.45		5.1
2008	1119.2	131	21.8	10.49	24.99		1.1
CHINIQUE							
2006							
2007							
2008							
EL TABLON							
2006	1496.6	11.9	23.2	9.1	23.97	4.77	4.1
2007	1045.3	11.82	23.5	8.76	24.03	5.35	4.97
2008	1491.3	120	21.1	9		4.8	4.84

FUENTE: "Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología"

2. DEFINICIÓN DEL CASO EN ESTUDIO

Datos obtenidos en el Proyecto diseño y construcción del proyecto CA-1 occidente, tramo: Tecpán (km. 89) – Los Encuentros (km. 124).

Tabla III. Datos climáticos obtenidos en INSIVUMEH

ESTACION	LLUVIA(MM) (PROMEDIO/AÑO)	DIAS DE LLUVIA/AÑO	TEMPERATURA MAXIMA (PROMEDIO/AÑO)	TEMPERATURA MINIMA (PROMEDIO/AÑO)	TEMPERATURA ABSOLUTA MAXIMA	TEMPERATURA ABSOLUTA MINIMA
km 89+000						
2006	1178.15	356.5				
2007	995.2	99				
2008	1296.6	188				
ESTACION	LLUVIA(MM) (PROMEDIO/AÑO)	DIAS DE LLUVIA/AÑO	TEMPERATURA MAXIMA (PROMEDIO/AÑO)	TEMPERATURA MINIMA (PROMEDIO/AÑO)	TEMPERATURA ABSOLUTA MAXIMA	TEMPERATURA ABSOLUTA MINIMA
km 89+000						
2006	965.42	294.5				
2007	450.7	56				
2008	1000.5	193				

FUENTE: "Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología"

El clima del área de influencia del proyecto se puede determinar que los parámetros más importantes desde del punto de vista e interés técnico de ingeniería vial son los siguientes:




- Precipitación media anual
- Días de lluvia promedio anual
- Temperatura mínima anual
- Temperatura máxima anual
- Temperatura mínima absoluta anual
- Temperatura máxima absoluta anual
- Velocidad del viento
- Evaporación media anual
- Brillo solar medio anual

2. DEFINICIÓN DEL CASO EN ESTUDIO







Figura 38. Mapa de precipitación promedio anual Sololá

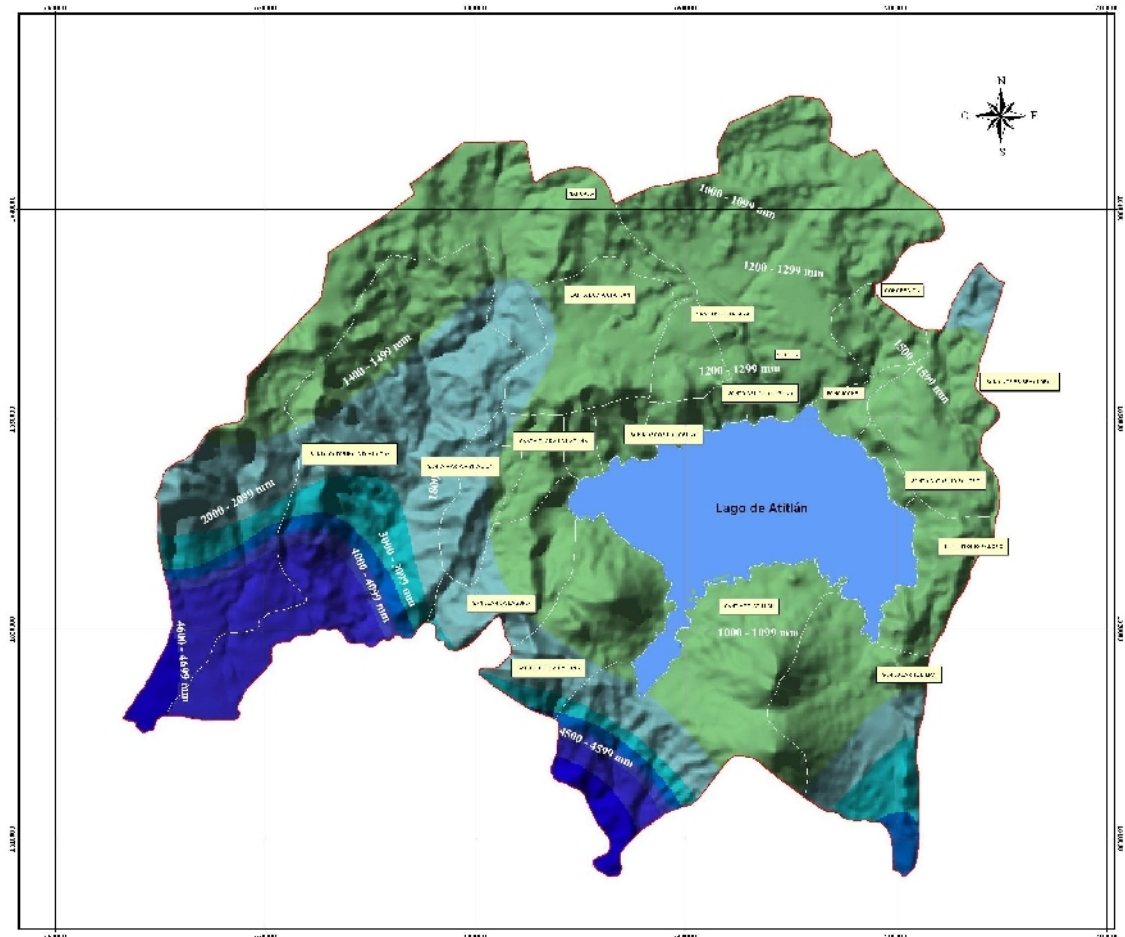
Departamento de Sololá

Legenda:

-  Límite Departamental
-  Límite Municipal
-  Cuerpos de Agua

Rangos de Precipitación Promedio Anual (mm)

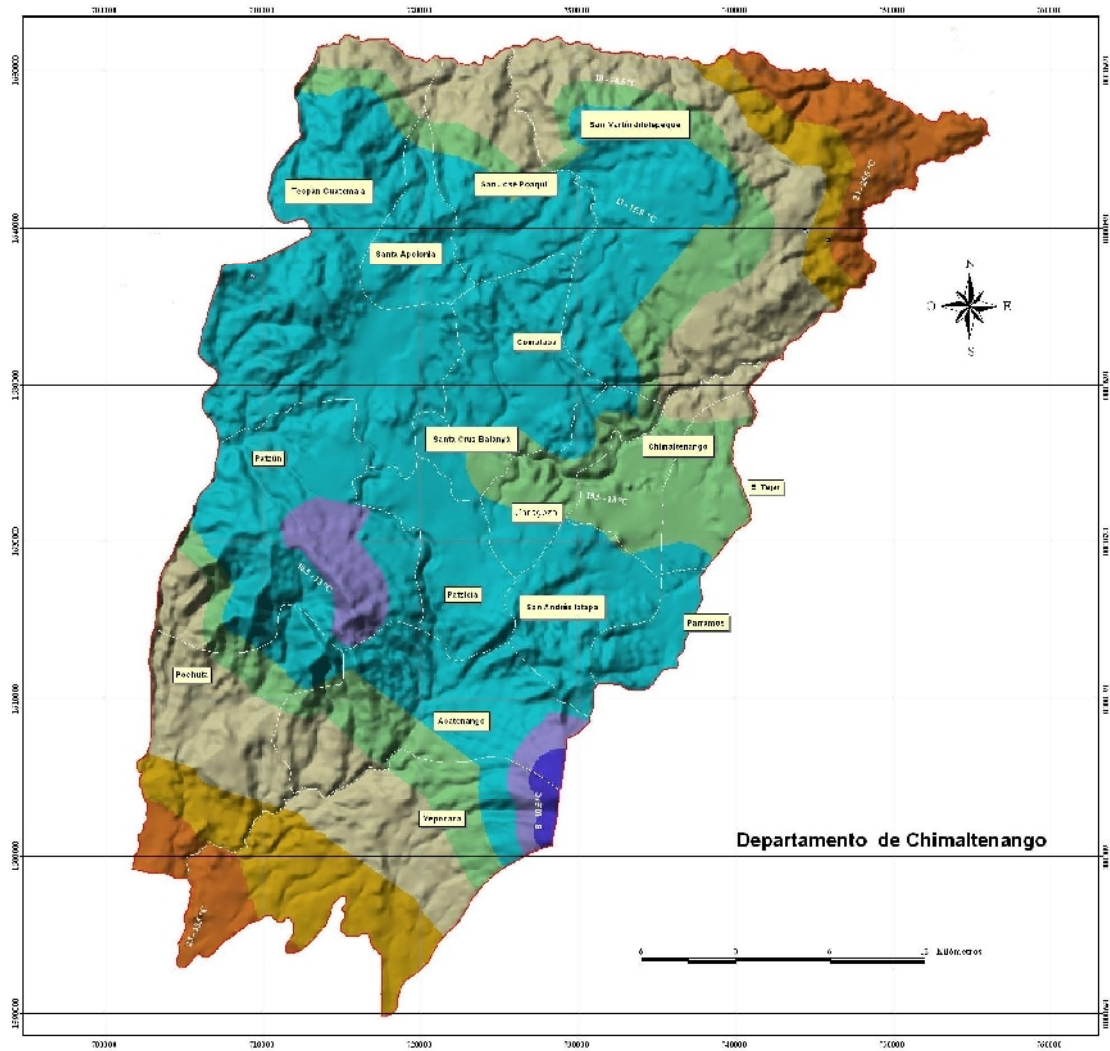
- | | |
|---|---|
|  2000-2499 |  3500-3999 |
|  2500-2999 |  4000-4499 |
|  3000-3499 |  4500-4999 |



Fuente: Instituto Geográfico Nacional.

2. DEFINICIÓN DEL CASO EN ESTUDIO

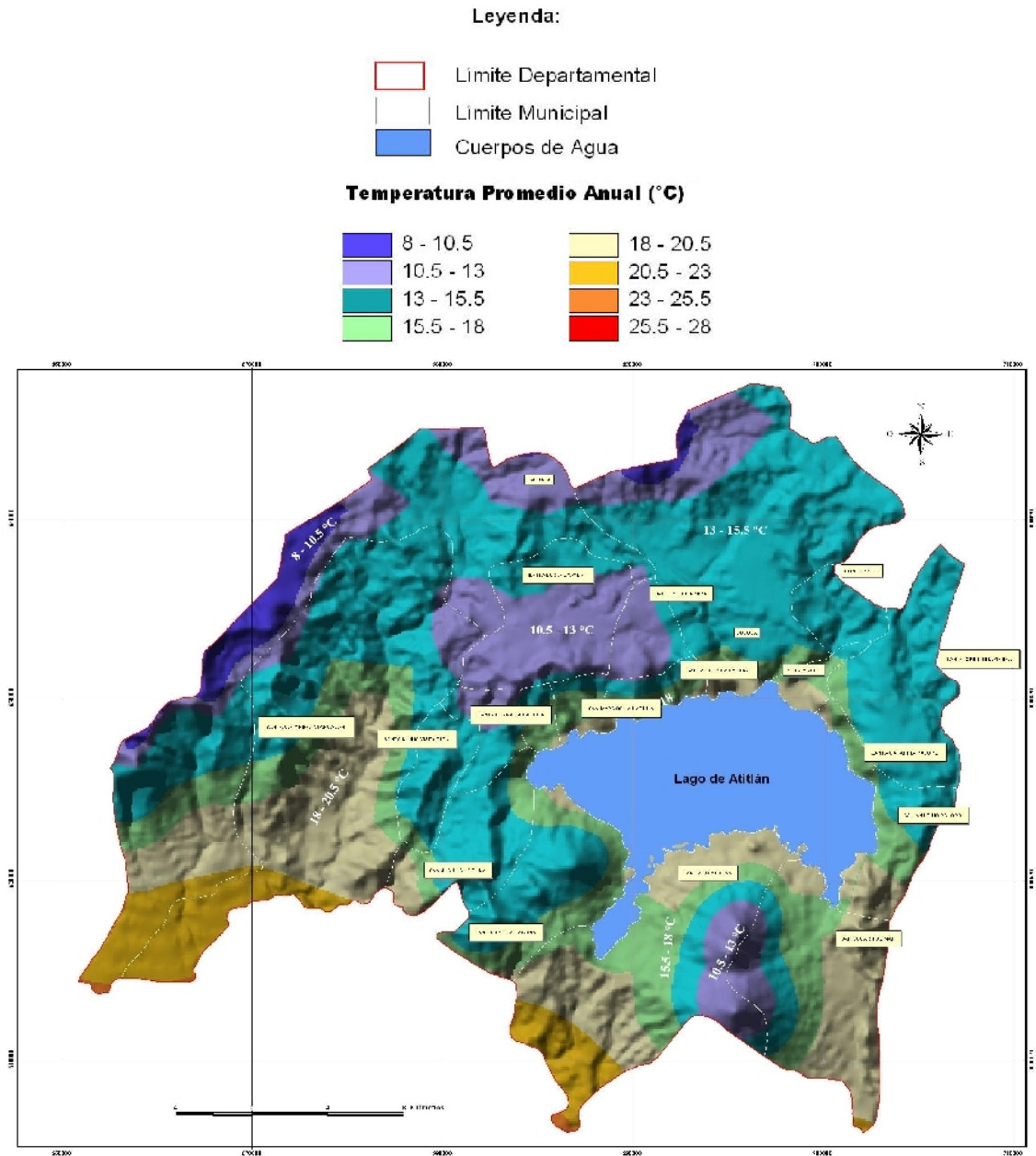
Figura 39. Mapa de temperatura promedio anual Chimaltenango



Fuente: Instituto Geográfico Nacional.

2. DEFINICIÓN DEL CASO EN ESTUDIO

Figura 40. Mapa de temperatura promedio anual Sololá
Departamento de Sololá



Fuente: Instituto Geográfico Nacional.

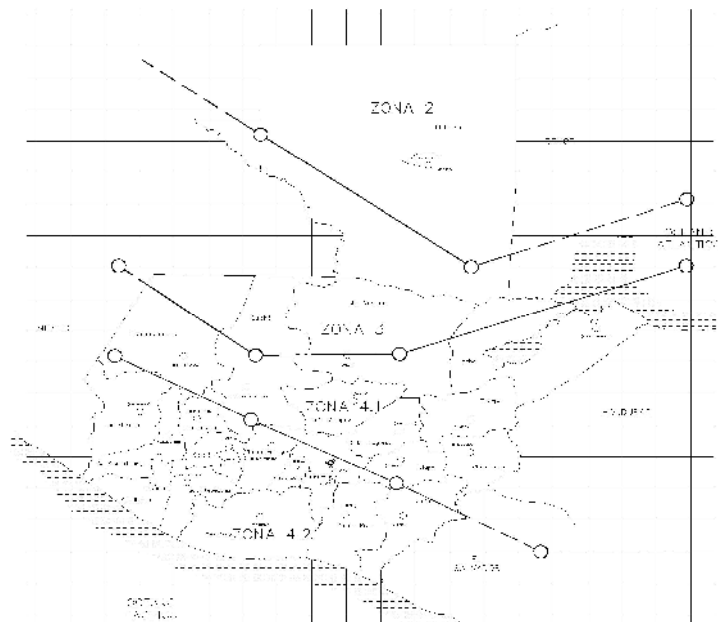
2. DEFINICIÓN DEL CASO EN ESTUDIO

2.3.2. Geología

El área de influencia del proyecto en su lugar de emplazamiento (disposición física) en lo que respecta a geología de acuerdo al mapa regional, se encuentra situado en la falla del Motagua, con suelos Jurásico – Cretacéo, Sedimentos Mesozoicos, Perioditas no serpentinizadas y sedimentos Jurásico – Terciario.

En cuanto a la geología específica de los taludes estudiados, se puede mencionar que, la composición del suelo es de limo arcilloso color café y de arena limosa color. Desde el punto de vista técnico, la zona se encuentra dentro de la clasificación 4.1 y 4.2 de las regiones sísmicas de la república de Guatemala, cada zona tiene definidas sus aceleraciones sísmicas que se deben tomar en cuenta para el diseño sismoresistente de las estructuras de ingeniería que son vulnerables a los sismos.

Figura 41. Mapa de macrozonificación sísmica de Guatemala



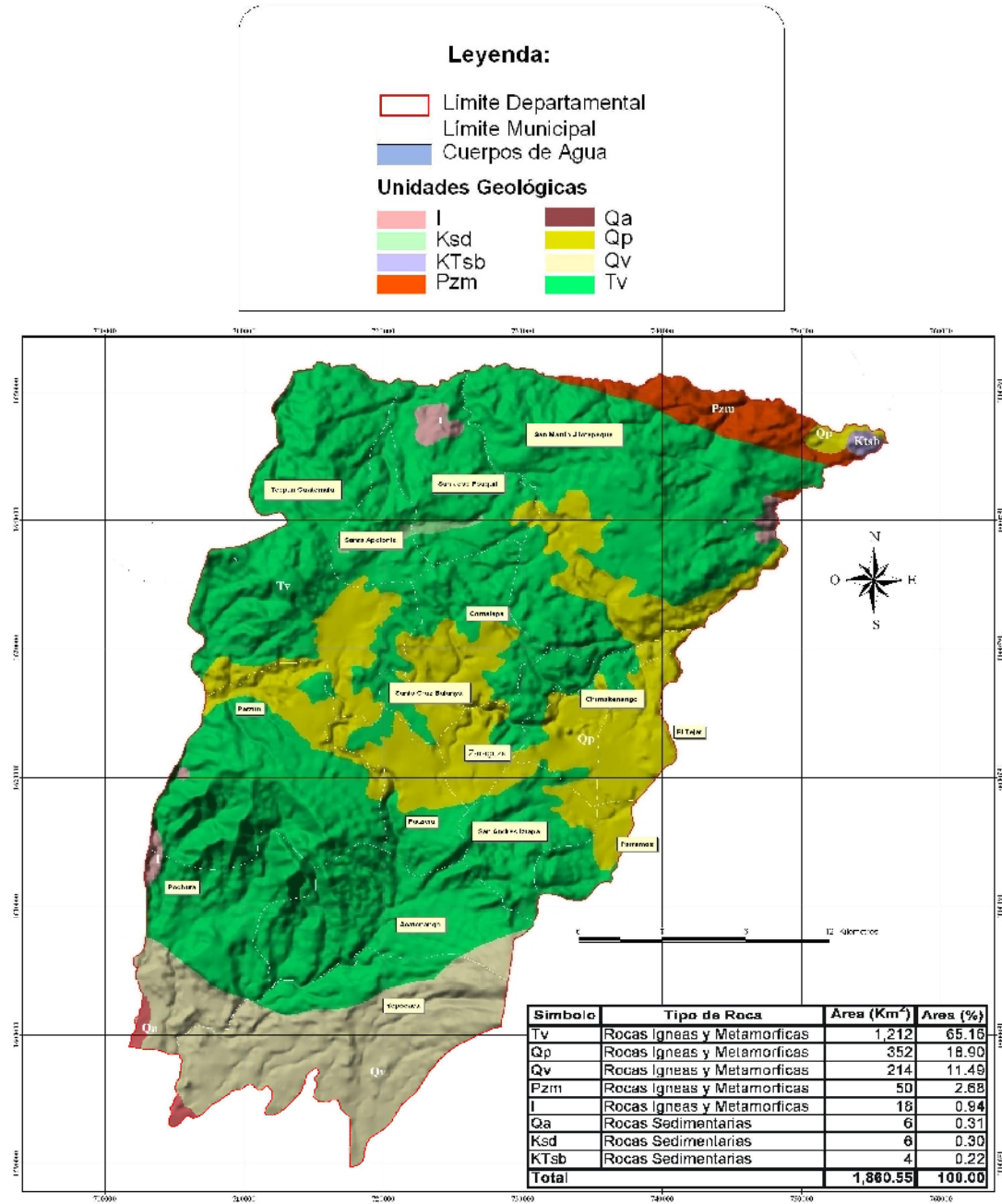
Fuente: Mapa de Macrozonificación Sísmica de Guatemala.

2. DEFINICIÓN DEL CASO EN ESTUDIO

Figura 42. Mapa de unidades geológicas Chimaltenango

MAPAS CHIMALTENANGO

Departamento de Chimaltenango



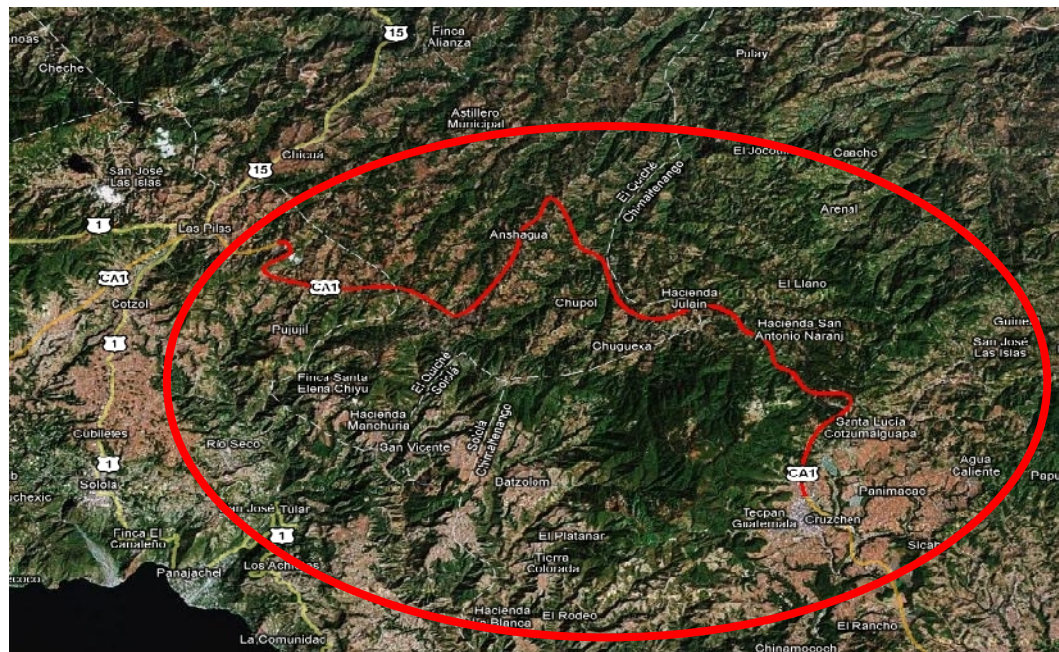
Fuente: Instituto Geográfico Nacional.

2. DEFINICIÓN DEL CASO EN ESTUDIO

2.3.3. Topografía

La topografía del área de influencia del proyecto esta constituida por dos tipos, al inicio en el municipio de Tecpán, es plana con medianas alturas, conforme avanza se interna en territorio con topografía accidentada que define taludes de mediana altura, su altura inicia en 2286 metros sobre el nivel del mar y finaliza en 2310 msnm.

Figura 44. Mapa de ubicación geográfica



2.3.4. Cultivos

Por ser su área de influencia determinada por tres departamentos, cada uno con una región cercana al trazo de la ruta, se puede definir en forma muy general que los cultivos que generan la economía de las poblaciones más cercanas son los siguientes: maíz, café, frijol, trigo, hortalizas, cereales, papa, habas arvejas y árboles frutales.

Fuente: Google Earth 5.0.

2. DEFINICIÓN DEL CASO EN ESTUDIO

Además se cultiva pasto de diversas clases para alimentación de ganado lanar, vacuno, caprino y caballar.

En lo referente a su vegetación, en forma general, el área de influencia del proyecto cuenta con los siguientes estratos:

En el departamento de Chimaltenango:

- bs-S bosque seco subtropical
- bh-S(t) bosque húmedo subtropical templado
- bmh-S(c) bosque muy húmedo subtropical cálido.
- bh-MB bosque húmedo montano bajo subtropical
- bmh-MB bosque muy húmedo montano bajo subtropical

En el departamento de Solola:

- Bosque muy húmedo subtropical cálido bmh-S(c)
- Bosque húmedo montano bajo subtropical bh-MB
- Bosque muy húmedo montano bajo subtropical bmh-MB
- Bosque muy húmedo montano subtropical bmh-M

En el departamento de El Quiché

- bs-S bosque seco subtropical
- bh-S (t) bosque húmedo subtropical templado
- bh-S (c) bosque húmedo subtropical cálido
- bo-S bosque pluvial subtropical
- bmh-S (c) bosque muy húmedo subtropical cálido
- bh - MB bosque húmedo montano bajo subtropical
- bmh-MB bosque muy húmedo montano subtropical

3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EFECTUADO

En este capítulo se establece una metodología para detectar y prevenir posibles problemas en áreas propensas a deslizamientos mediante el estudio del caso proyecto: Tecpán – Los Encuentros.

- La identificación de los mecanismos de falla más comunes en los distintos tipos de materiales geológicos; encontrados en el proyecto en estudio.
- El establecimiento de criterios para la recolección de información.
- La búsqueda e interpretación de efectos clave para identificar la posible inestabilidad de los taludes.
- Distintos tipos de ensayos realizados a lo largo del tramo en cuestión.

Adicionalmente, se presentan algunas de las medidas correctivas comúnmente utilizadas para lograr la estabilización de taludes fallados.

Cuando se iniciaron los trabajos de diseño y construcción de la ampliación a 4 carriles de la ruta CA-01, occidente, Tramo: Tecpán – Los Encuentros, donde no se contempló el análisis, identificación y localización de taludes vulnerables a deslizamiento, desprendimientos y derrumbes, debido a la ocurrencia en los que los mismos estaban fallando, por una serie de factores,

3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EFECTUADO

en enero del año 2009, se tomó la determinación de realizar una investigación seria de las causas que estaban provocando la falla de taludes, es así como se inicia con la identificación y localización de taludes, tomando como caso el Tramo: Tecpán – Los Encuentros.

Los taludes vulnerables o proclives a fallas se encuentran en las siguientes estaciones, que posteriormente se colocarán, de acuerdo al tipo de falla relacionado, es importante mencionar que como parte de la identificación y localización de los taludes, se realizaron una serie de ensayos de laboratorio incluyendo el ensayo triaxial, para determinar las características y comportamiento del suelo, para así determinar las causas que produjeron o pueden producir la falla en los taludes y asociarlos a los distintos tipos de falla investigados.

3.1. Identificación y localización de taludes vulnerables y proclives a fallas en el tramo

Provocado de la ocurrencia de falla de los taludes en el proyecto: Diseño y construcción de la ampliación a cuatro carriles de la ruta CA-01, occidente Tramo: Tecpán - Los Encuentros, a partir de julio del año 2007, se inició con la identificación de taludes proclives a fallas, es así como se toma la determinación de darle un seguimiento de identificación y localización de los taludes, para esto se tomó como referencia las dos estaciones que se presentan en el año que son la de invierno y verano. Por tal razón, se elaboró un formato de evaluación de taludes, el cual determina la geometría y estratigrafía del talud en estudio.

3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EFECTUADO

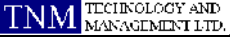
También se procede a realizar estudios de suelos a los taludes ya evaluados, de acuerdo a formato presentado en la gráfica anterior, para identificar las posibles causas de falla que pudieran provocar que ocurrieran desprendimientos, deslizamientos o derrumbes, se realizaron ensayos triaxiales en tres taludes, los cuales son representativos por la similitud del suelo y geometría, en la siguiente tabla se presentan taludes vulnerables por varias causas a la desestabilización.

Este capítulo presenta una clasificación de tipos de falla de taludes basada en el reconocimiento en campo de los factores geológicos que condicionan la falla y los ensayos realizados a los materiales de los taludes en proceso o estado de falla. Los deslizamientos de taludes ocurren de muchas maneras y aún persiste cierto grado de incertidumbre en su predictibilidad, rapidez de ocurrencia y área afectada. Sin embargo, existen ciertos patrones que ayudan a identificar y reconocer áreas potenciales de fallas, lo cual permite el tratamiento del talud para eliminar o reducir a un mínimo el riesgo de falla.


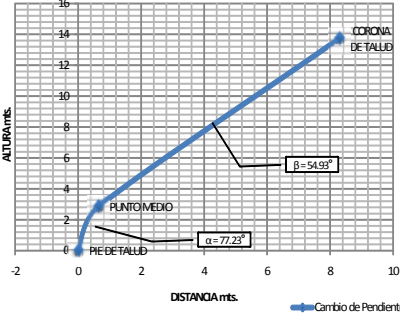
La metodología utilizada para detectar y prevenir posibles derrumbes, desprendimientos y deslizamientos en el caso en estudio fue la siguiente clasificación de taludes proclives a fallas, de acuerdo a un formato de evaluación de taludes donde se evalúa la geometría y estratigrafía del talud, que presentó en la siguiente gráfica, así como una serie de ensayos de laboratorios de suelos realizados a los materiales, tales como granulometría, límite de Atterberg, y proctor, para el tramo en estudio se determinó que el tipo de falla que comúnmente se daría sería el de deslizamiento rotacional por el tipo de material encontrado y porque tiene bastante capacidad de absorción de agua que permite que por el propio peso falle de acuerdo a las características de deslizamiento rotacional.

3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EFECTUADO

Tabla IV. Análisis de taludes tramo: Tecpán - Los Encuentros

		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA AMPLIACIÓN A 4 CARRILES DE LA RUTA CA-1 OCCIDENTE TRAMO "TECPÁN (km 89) - LOS ENCUENTROS (km 124)"
Título: ANÁLISIS DE TALUDES TRAMO TECPÁN-LOS ENCUENTROS		
Versión No. 1	Fecha de emisión: 08/02/2009	Página: 101

EST. INICIAL: 116+230	EST. FINAL: 116+330	LADO: IZQUIERDO
OBRA: TECPÁN-LOS ENCUENTROS	CONTRATISTA: CONASA	SUPERVISOR: TNM LIMITADA

ANÁLISIS FOTOGRÁFICO		GEOLOGÍA DE TALUD	
		SI	NO
		DESCRIPCIÓN	
		<input checked="" type="checkbox"/>	
		<input checked="" type="checkbox"/>	
		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
		COLOR: CAFE OSCURO Y CLARO	
		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		ENCARA DE TALUD, CON RIESGO	
ELEVACION FRONTAL DEL TALUD		ESTATIGRAFIA DE TALUD	
		DESCRIPCIÓN	
		CAPA 1: VEGETAL	
		CAPA 2: LIMO ARCILLOSO	
		CAPA 3:	
OBSERVACIONES:		GEOMETRIA DE TALUD	
		ALTURA	13.72
		GRADO INCLINACION (pie):	77.23
		GRADO INCLINACION (corona):	54.93
		LONGITUD	40
RECOMENDACIONES:		PRESENCIA DE AGUA	
		SI	NO
		DESCRIPCIÓN	
		NACIMIENTOS	
		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
		SUB-TERRANEA	
		<input type="checkbox"/>	
		<input checked="" type="checkbox"/>	
REFERENCIAS:		FALLAS ESTRUCTURALES O VISIBLES EN EL TALUD	
		SI	NO
		DESCRIPCIÓN	
		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		LOMOS DE PRESION	
		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RECOMENDACIONES:		PERFILES	
		CONCAVOS	EXISTEN
		CONVEXOS	EXISTEN
RECOMENDACIONES:		VEGETACION ENCONTRADA SOBRE TALUD	
		DESCRIPCIÓN	
		TIPO DE SIEMERA	
		ARBOLES	
		0%	EXISTE EN CORONA
		OTROS	
		MALEZA	
REFERENCIAS:		ESTABILIZACION	
		REVEGETACION	
		CONTRACUNETAS	
		REVESTIMIENTO DE TALUD	
		COLOCACION DE MURO	
		COLOCACION DE GAVIONES	

ELABORO:	REVISO:	V6 B6 :
INSPECTOR	ING. MARCO VINICIO ROMERO AJUDANTE DE DELEGADO	NOMBRE Y FIRMA

PROHIBIDA LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO, SIN LA AUTORIZACION DEL AJUDANTE DE DELEGADO RESIDENTE
ABARCA LAS MUESTRAS DE REFERENCIA

Romero Marco Vinicio año (2009) "Metodología de Estudio Efectuado", Tabla IV Análisis de Taludes, proyecto Tecpán (km. 89) – Los Encuentros (km.124)

3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EFECTUADO

3.2. Tabla de localización de taludes vulnerables y proclives a fallas

Tabla V. Localización de taludes vulnerables y proclives a falla

EST.	UBICACION	DESCRIPCION DE TALUD VULNERABLE A FALLA
90+400	L/I	desprendimiento de material grueso en cara
91+100	L/I	desprendimiento de finos en corona
91+650	L/I	desprendimiento de finos en corona
91+940	L/I	desprendimiento de material grueso en cara y riesgo en corona
92+000	L/I	desprendimiento de material grueso en cara
92+100	L/I	desprendimiento de material grueso en cara
92+260	L/I	desprendimiento de material grueso en cara
94+180	L/I	desprendimiento de finos en cara
95+750	L/I	desprendimiento de finos en cara y riesgo en corona
96+550	L/I	riesgo en corona
96+800	L/I	desprendimiento de gruesos y deslizamiento de finos
97+030	L/I	desprendimientos de material grueso
97+250	L/I	desprendimiento de gruesos y riesgo en corona
97+400	L/I	desprendimiento de material grueso
97+610	L/I	desprendimiento de material grueso
99+800	L/I	riesgo en corona
106+600	L/I	desprendimiento de material grueso
108+400	L/I	riesgo en corona y cara de talud
109+250	L/D	riesgo en corona y cara de talud
112+120	L/I	riesgo en corona y cara de talud
113+900	L/I	desprendimiento de finos y riesgo en corona de talud
114+450	L/I	desprendimiento de material grueso
115+240	L/I	riesgo en corona de talud
118+500	L/D	riesgo en corona de talud
118+850	L/I	desprendimiento de material grueso en cara
118+935	L/I	riesgo en corona
119+350	L/D	riesgo en corona y deslizamiento de finos
122+220	L/I	riesgo en corona

L/I = lado izquierdo

L/D = lado derecho

3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EFECTUADO

3.3. Determinación del tipo de falla en los taludes analizados

Para determinar el tipo de probable falla de un talud, se tomó como base el historial de falla de los taludes ya fallados, en el proyecto; diseño y construcción de la ampliación a 4 carriles de la ruta CA-01, occidente, Tramo: Tecpán – Los Encuentros, es así como se inicia con una inspección al proyecto de los probables taludes que pudieran estar proclives a la inestabilidad, dando inicio a la identificación y localización de los mismos, para ello se realizó un levantamiento topográfico, para determinar la geometría del talud, también se realizaron ensayos de suelos, tomando tres muestras representativas del resto de taludes los cuales son representativos de todos los taludes proclives a fallas, luego los resultados de los taludes proclives a fallas se compararon con los resultados de los taludes ya fallados, para determinar el tipo de falla en función del historial con que se cuenta.

En aquellos lugares identificados como más propensos a la inestabilidad, según lo descrito anteriormente, deberá obtenerse información adicional para caracterizar mejor el subsuelo y conocer los parámetros que sirvan de base para el análisis y solución del problema.

La obtención de información consta de tres fases:

En la primera fase, se debe recopilar la información disponible (oral y escrita) acerca del sitio de estudio, desde relatos de eventos pasados por parte de los lugareños, hasta estudios geológicos y geotécnicos previos, incluidos los planos topográficos, pluviosidad y sismicidad de la zona.

La segunda fase es el trabajo de campo, en el cual se ejecutan ensayos en el sitio y se obtienen muestras de suelo.

3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EFECTUADO

La tercera fase consiste en el trabajo de laboratorio, para determinar las propiedades y características del material mediante ensayos de caracterización y resistencia.

Para el caso en mención, se realizaron una serie de investigaciones que incluyeron procedimientos que se describen en lo siguiente:

3.3.1. Perforaciones

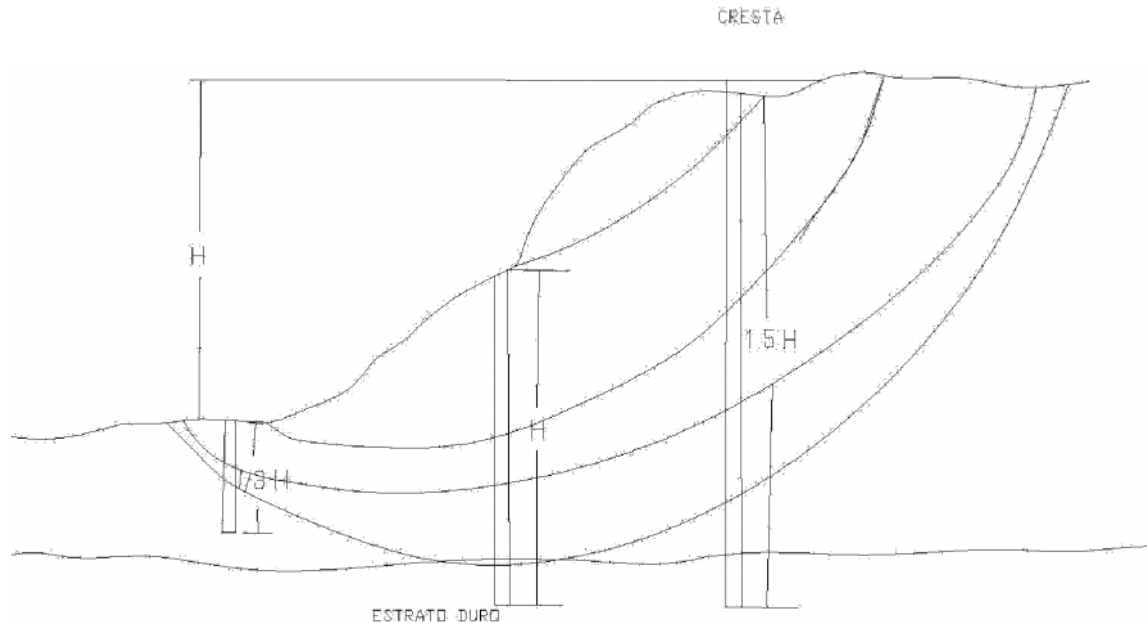
Los objetivos principales de las perforaciones son definir la litología del área de estudio y tomar muestras para su posterior análisis en el laboratorio.

El número y ubicación de las perforaciones a realizar en un estudio dependen del tamaño y forma del área considerada. Los criterios para determinar estas dos características básicas varían considerablemente, sobre todo en áreas planas.

En el caso de taludes, es recomendable hacer un mínimo de tres perforaciones; este número se puede incrementar dependiendo del tamaño del talud. Se puede hacer una perforación en la cresta con una profundidad aproximada de 1,5 veces la altura del talud, otra hacia la mitad del talud con una profundidad comparable con la altura de ese talud y una última al pie del mismo con una profundidad aproximada de 1/3 de la altura.

3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EFECTUADO

Figura 45. Ubicación de las perforaciones



3.3.2. Calicatas

Mediante las calicatas, método de exploración más superficial que el anterior, es posible tomar muestras más voluminosas de material para tener una vista “interna” del suelo y detectar posibles planos de falla (sobre todo en materiales arcillosos). Estas calicatas generalmente se excavan a mano y miden 1,5 x 1,5 x 2,0 metros de profundidad, aunque también puede utilizarse procedimientos mecánicos.

3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EFECTUADO

3.3.3. Ensayos de campo

En el campo se busca obtener la mayor cantidad de información posible. Para lograr este objetivo es necesario realizar los ensayos que mejor se relacionen con el suelo en cuestión, ya que a partir de ellos y mediante correlaciones desarrolladas a lo largo del tiempo se pueden inferir ciertas propiedades de los materiales en estudio. Algunos de los ensayos para la caracterización de suelos son:

Prueba de penetración estándar – SPT (ASTM-1586): la información que provee este ensayo, el cual permite determinar la densidad relativa de los suelos granulares y la consistencia de los suelos cohesivos.

Prueba de penetración de cono - CPT (ASTM D-3441): este ensayo permite medir la resistencia a la penetración en el subsuelo, tanto de la parte inferior del cono como en las paredes de una extensión cilíndrica al mismo.

3.3.4. Ensayos de laboratorio

En el laboratorio se busca identificar el tipo de material con el que se está tratando y establecer los parámetros del suelo (resistencia) requeridos para los análisis posteriores.

- Ensayos de clasificación

Lo primero que se debe realizar en el laboratorio es identificar visualmente las muestras de suelo de las perforaciones y calicatas para prever el tipo y número de ensayos posteriores. A continuación se identifican los ensayos más frecuentes para clasificar suelos:

3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EFECTUADO

Granulometría por tamizado: para determinar la proporción del tamaño de las partículas que componen dicha muestra.

Hidrómetro: tiene el objetivo determinar la distribución del agua dentro de la muestra.

Límites de Atterberg: se definen arbitrariamente y determinan el contenido de humedad del suelo en diferentes estados.

Peso unitario: para medir el peso del suelo en un determinado volumen.

Gravedad específica: para medir la densidad de las partículas que componen el suelo.

- Ensayo de resistencia

Los ensayos de resistencia tienen por finalidad estimar la resistencia del suelo.

Para estimar la resistencia no drenada del suelo se utilizan ensayos como el penetrómetro y la veleta de bolsillo (también pueden ser realizados en campo) y los ensayos no drenados con y sin confinamiento en la cámara triaxial (más costosos). En el caso de la resistencia drenada del suelo también se puede utilizar la cámara triaxial con velocidades más bajas de aplicación de las cargas y el ensayo de corte directo. Este último generalmente se reserva para los materiales granulares.

3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EFECTUADO

Piezómetros: miden la presión de agua intersticial que hay en un determinado nivel del subsuelo. El piezómetro de boca abierta es el más sencillo de todos y es el que se usa de preferencia en suelos granulares de alta permeabilidad. Existen piezómetros más complicados como los de hilo vibratorio y los neumáticos, recomendables para suelos cohesivos de baja permeabilidad.

3.3.5. Determinación de la geometría de la posible falla

3.3.5.1. Generalidades para la resistencia del suelo

Los principales parámetros que definen la resistencia del suelo son el ángulo de fricción interna en el caso de suelos granulares y la resistencia al corte no drenada en el caso de suelos cohesivos.

El ángulo de fricción interna f puede estimarse en el laboratorio con el ensayo de corte directo y ensayo triaxial consolidado drenado.

También existen correlaciones entre el ángulo de fricción interna f y ensayos *in-situ* como la prueba de penetración estándar (SPT) o la prueba de penetración de cono (CPT).

La resistencia al corte no drenada (S_u) puede estimarse con ensayos de laboratorio, tales como el ensayo triaxial consolidado no drenado (CIU), el ensayo sin consolidar sin drenar (UU), el ensayo de compresión sin confinar (q_u) y el ensayo de corte directo simple (DSS). Para los ensayos *in-situ* se puede usar la prueba de veleta de campo (FV), la prueba de penetración de cono (CPT) y el penetrómetro de bolsillo.

3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EFECTUADO

Las arcillas duras y altamente sobreconsolidadas fallan bajo una condición drenada, porque el exceso de presión de los poros es negativo y por lo tanto, a medida que este se disipa, las arcillas sobre consolidadas se debilitan.

Las arcillas blandas y limos fallan en condiciones no drenadas porque el exceso de presión de los poros es positivo y, por lo tanto, la condición crítica es a corto plazo pues a medida que las arcillas disipan el exceso de presión de los poros, las mismas se consolidan y ganan resistencia. La mayoría de los suelos granulares disipan el exceso de presión de los poros rápidamente debido a su alta permeabilidad y por lo tanto fallan en condiciones drenadas excepto cuando son sometidos a carga dinámica (sismo) cuando una falla no drenada es posible.

Como se dijo anteriormente, las arcillas blandas fallan en condiciones no drenadas. La resistencia al corte no-drenado en limos y arcillas blandas se puede medir directamente en el campo con el ensayo de veleta o en el laboratorio con un ensayo de compresión simple sin confinar. Skempton propuso la siguiente correlación para estimar la resistencia al corte no drenado.

$$S_u/s'_p = 0,11 + 0,0037 I_p$$

Donde:

I_p = es el índice de plasticidad

s'_p = es la presión de consolidación.

3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EFECTUADO

3.3.5.1.1. Muestreo

El muestreo en las perforaciones depende del material que se consiga y el grado de precisión de los datos geotécnicos. Los tres métodos de muestreo más usados en la investigación geotécnica son los siguientes:

- Muestreadores de penetración percusiva: tales como la cuchara partida utilizada en el ensayo de SPT. Con estos muestreadores se pueden tomar muestras de la gran mayoría de los suelos.
- Muestreadores de penetración por presión aplicada: tales como el muestreador de pistón y el tubo Shelby (perturbación reducida), usado para recuperar materiales cohesivos de baja consistencia a medianamente alta.
- Muestreadores de penetración rotacional: tales como el tubo doble Dennison (diseñado especialmente para arcillas duras) y los que usan brocas de alta resistencia para perforar roca y suelos con cierto grado de litificación.

3.3.5.1.2. Instrumentación

En el estudio de taludes, la inestabilidad puede detectarse mediante instrumentos que se colocan en el subsuelo. Estos instrumentos, con el tiempo, revelarán ciertas características del talud que complementarán la información de los ensayos de campo y de laboratorio. Estos instrumentos son:

- Inclínómetros: establecen la posición de la superficie de falla de un deslizamiento.

3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EFECTUADO

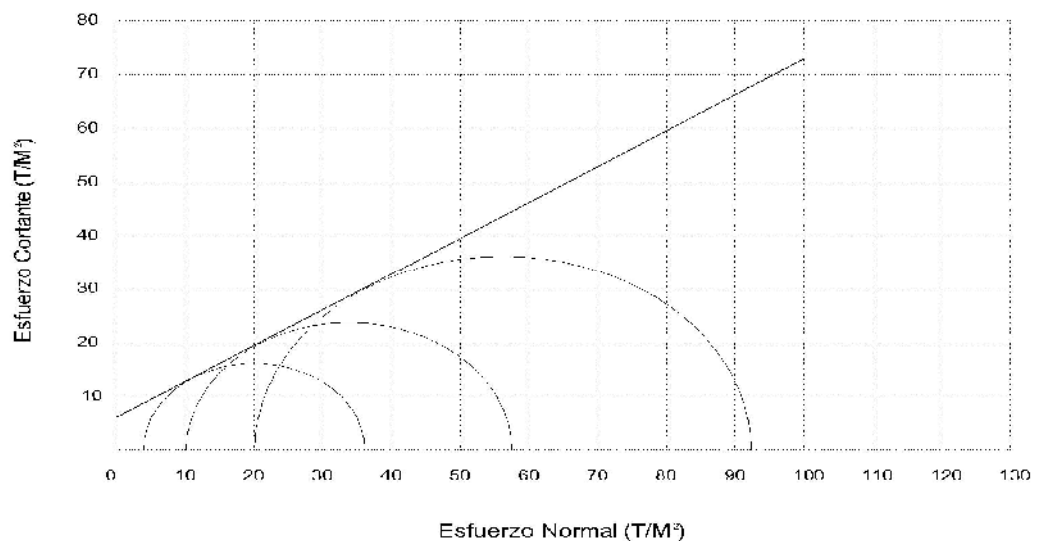
3.3.5.2. Geometría de tipo de falla de taludes representativos

La geometría de tipo de falla en taludes representativos, se determinó en función de los resultados de los ensayos triaxiales, a través de la envolvente de falla, la cual está representada por la gráfica que posteriormente se presenta en la fig. 1, la envolvente de falla representa la dirección o forma de falla geométrica que pudiera ocurrir después del deslizamiento, desprendimiento o derrumbe, para ello se tomaron tres muestras representativas del proyecto: Diseño y construcción de la ampliación a 4 carriles de la ruta CA-01, occidente, Tramo: Tecpán – Los Encuentros, las cuales tuvieron las mismas características de suelos que otros taludes proclives a fallas, es así como se toma de referencia los taludes de las siguientes estaciones 95+780, 102+590 y 108+450 todos del lado izquierdo, los cuales son representativos de 32 taludes proclives a falla. En el ensayo triaxial se determina a través de esfuerzos el ángulo de fricción interna del suelo y la cohesión del mismo.

3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EFECTUADO

Tabla VI. Cuadro de resultados obtenidos en los ensayos triaxiales

ESTACION	ANGULO DE FRICCION	COHESION	DESCRIPCION
95+780	25.42	2.8 kg/cm ²	limo arcilloso color café
102+590	16.21	4.2 kg/cm ²	limo arcilloso color café
108+450	33.79	6 kg/cm ²	arena limosa color gris



Gráfica (1) de envolvente de falla del talud ubicado en el Km. 108+450 L.I.

3.4. Tipos de falla en suelos cohesivos y de otros tipos encontrados en el Tramo: Tecpán – Los Encuentros.

Los métodos más comunes para el análisis de la estabilidad de taludes en suelos cohesivos se basan en una consideración de equilibrio del límite plástico. Es necesario primero definir las relaciones geométricas de la superficie de deslizamiento y luego considerar la masa de suelo que va a moverse como cuerpo libre en equilibrio.

Fuente: "Metodología de Estudio Efectuado", Tabla IV Análisis de Taludes, proyecto Tecpan (km. 89) – Los Encuentros (km. 124)

3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EFECTUADO

Sin embargo, en los corte la excavación origina una caída inicial de la presión de poro, pero a medida que se desarrolla la infiltración, aumenta gradualmente. Los esfuerzos efectivos y las resistencias al cortante tienen en general relación inversa con la presión de poro.

3.4.1. Determinación de las causas que pueden provocar la falla en los taludes estudiados

Para determinar las causas de pueden provocar la falla en los taludes, se determinó que se realizarían una serie de estudio de suelos, antes y después del invierno, esto como medida para determinar si el agua que cae de las constantes lluvias tiene algún efecto en la desestabilización de los taludes en estudio además de estudiar las características del suelo, para ello se realizaron ensayos de granulometría, proctor, límites de Atemberger, con la finalidad de clasificar los suelos encontrados, así como las humedades naturales de los taludes para poderlas comparar con las humedades óptimas de los mismos materiales ensayados, para ello se tomaron de referencia los taludes de las siguientes estaciones 95+780, 102+590 y 108+450 todos del lado izquierdo arrojando la siguiente información que se detalla en la siguiente tabla.

Tabla VII. Ensayos realizados

Est.	Fecha	Humedad Natural	Humedad Optima	Clasificacion AASHTO	
107+075	26/03/2009	21.80%	28.30%	a-3	arenoso
106+940	28/03/2009	19.00%	24.30%	a-2-4	arenoso
106+600	17/06/2009	16%	28.70%	a-1-a	arenoso
103+285	31/03/2009	11.60%	14.20%	a-1-a	arenoso
105+620	01/04/2009	14.90%	41.70%	a-7-6	arcilloso
102+580	16/06/2009	20.10%	40%	a-7-6	arcilloso

Fuente: "Metodología de Estudio Efectuado", Tabla IV Análisis de Taludes, proyecto Tecpan (km. 89) – Los Encuentros (km. 124)

3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EFECTUADO

La clasificación y determinación de la estratigrafía del talud se determinó mediante calicatas, método de exploración, es posible tomar muestras más voluminosas de material, y de acuerdo a resultados obtenidos de las muestras que se tomaron como referencia estaciones 95+780, 102+590 y 108+450 todos del lado izquierdo, se pudo clasificarlas de acuerdo al sistema británico de clasificación de suelos para propósitos de ingeniería y la tabla, el propósito de evaluar tres muestras que fueran representativas de los taludes proclives a fallas fue el de tener resultados en menor tiempo, y poder presentar alguna propuestas correctivas en un tiempo considerado corto, para que pudiera surgir efectos en un corto plazo.

Tabla VIII. Ensayos de suelos realizados en laboratorio

Est.	Fecha	Equivalente de arena	Limite liquido	Limite Plastico	Clasificacion
107+075	26/03/2009	45.00%	0.00%	0	a-3
106+940	28/03/2009	13.00%	0.00%	0	a-2-4
106+600	17/06/2009	24%	42.00%	39	a-1-a
103+285	31/03/2009	25.00%	28.00%	25	a-1-a
105+620	01/04/2009	12.00%	50.00%	39	a-7-6
102+580	16/06/2009	11.00%	43%	35	a-7-6

Como se puede observar en la tabla VII y la tabla VII la causa de la falla de taludes en el Tramo Tecpán – Los Encuentros fue el alto contenido de agua encontrado en los suelos y mala calidad del material.

3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EFECTUADO

3.4.2. Descripción genérica de tipo de falla

3.4.2.1. Grietas de tensión

En los suelos cohesivos, las grietas de tensión tienden a formarse cerca de la parte superior del talud a medida que se desarrolla la condición de equilibrio límite.

Figura 46. Comportamiento de las grietas de tensión tramo “Tecpán- Los Encuentros” km 116+200 L.I.



3.4.2.2. Taludes heterogéneos sin drenado

Un suelo verdaderamente homogéneo exhibe la misma resistencia al corte sin drenar en todos los puntos de su masa. Aunque es obvio que este tipo de condición solo puede existir desde el punto de vista teórico.

3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EFECTUADO

3.4.2.3. Problemas de estratos múltiples

Uno de los tipos comunes de taludes en suelos con estratos múltiples es el que se presenta cuando un suelo se deposita en bancos de desperdicio o se acumulan en la superficie preexistente de otro suelo para construir un terraplén. El tratamiento de este tipo de problema depende de manera primordial de los valores comparativos de la resistencia al corte sin drenar de los suelos a ambos lados de una interfase.

3.4.2.4. Efectos de una capa dura

Cuando la capa de soporte tiene una resistencia al corte mucho más alta, el desarrollo del círculo crítico de deslizamiento queda restringido a la capa más débil que esta por encima.

Figura 47. Deslizamiento parte Corona 122 + 710



Fuente: "Metodología de Estudio Efectuado", Tabla IV Análisis de Taludes, proyecto Tecpan (km. 89) – Los Encuentros (km. 124)

3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EFECTUADO

3.4.3. Tipo de fallas encontrados y relacionados con el proyecto

Tecpán – Los Encuentros

Los tipos de fallas mas frecuentes encontrados en los taludes en el tramo: Tecpán (km. 89) – Los Encuentros (km. 124) Diseño y construcción son los siguientes:

3.4.3.1. Falla por deslizamiento superficial

106+350 al 106+485 L.I; 107+060 al 107+100 L.I; 96+270 al 96+380; 97+190 al 97+320 L.I; 97+350 al 97+515 L.I; 98+590 al 98+710L.I; 98+740 al 99+000 L.I.

Este tipo de falla se produce por la acción de las fuerzas naturales que tienden a hacer que las partículas y porciones del suelo próximo a su frontera deslicen hacia abajo. Este fenómeno es más intenso cerca de la superficie inclinada del talud debido a la ausencia de presión normal confinante.

Otras causas que pueden producir este tipo de falla son: aumento de las cargas actuantes en la cresta del talud disminución de la resistencia del suelo al esfuerzo cortante o en el caso de laderas naturales, razones de conformación geológica que escapen de un análisis detallado.

Frecuentemente, la debilidad del estrato está ligada a elevadas presiones de poros por el agua contenida en las arcillas o a fenómenos de elevación de la presión del agua en los estratos de arena (acuíferos), las fallas están ligadas a las temporadas de lluvia por la recarga del agua de los suelos, ya que absorben mas rápidamente de lo que se escurre por lo que aumentan de peso.

3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EFECTUADO

3.4.3.2. Falla por movimiento del cuerpo del talud

90+000 al 90+140 L.I; 92+140 al 92+210 L.I; 92+665 al 92+800 L.I; 92+900 al 92+940 L.I; 94+530 al 94+700 L.I; 99+220 al 99+325 L.I y 119+300 al 119+450 L.D.

Deslizamiento de tierra este tipo de movimiento se caracteriza por su brusquedad, el cual afecta a masas considerables de tierra, generando una superficie de falla profunda. Se considera que la superficie de falla se forma cuando actúan esfuerzos cortantes superiores a la resistencia del material. Cuando la superficie de falla pasa el pie de talud se origina la llamada falla de base. En el caso que pase justo por el pie de talud sería la falla al pie del talud y cuando la falla ocurre en el cuerpo de talud se produce la falla local.

3.4.3.3 Falla de flujos

91+810 al 91+890 L.I; 91+910 al 92+020 L.I; 92+250 al 92+335 L.I; 98+380 al 98+480 L.I y 114+050 al 114+300 L.I

3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EFECTUADO

En este grupo quedan comprendidos los flujos de fragmentos de roca, asociados a fenómenos de presión del aire atrapado entre fragmentos, semejante a los mecanismos de presión de poros del agua. Flujos en materiales húmedos: son flujos que requieren una proporción apreciable de agua contenida en el suelo normalmente llamado flujo de tierra. Si el contenido de agua en el material es muy elevado se denomina flujo de lodo. Los flujos de tierra se desarrollan típicamente en el pie de los deslizamientos de tipo rotacional en el cuerpo del talud. En los flujos de lodo, el deslizamiento ocurre en materiales finos con elevado contenido de agua. Este tipo de falla ha sucedido en el proyecto Tecpán los Encuentros después de un lapso de lluvia prolongado por días.

Figura 48. Deslizamiento km 113+300 L.I.



3.4.3.4 Fallas por erosión

90+300 al 90+500 L.I; 92+070 al 92+140 L.I; 96+780 al 96+960 L.I; 99+450 al 99+600 L.I.

Fuente: "Metodología de Estudio Efectuado", Tabla IV Análisis de Taludes, proyecto Tecpan (km. 89) – Los Encuentros (km. 124)

3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EFECTUADO

Estas son fallas provocadas por la acción del viento y del agua sobre el talud, siendo más evidente en aquellos que tienen una pendiente más pronunciada, la falla se manifiesta en irregularidades, socavaciones y canalización en el plano del talud.

3.4.3.5 Falla por licuación

99+325 al 99+440 L.I; 102+660 al 102+760 L.I; 113+500 al 113+550 L.I. Estas fallas ocurren en arcillas extra sensitivas y arenas poco compactas, 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. Las dos causas que pueden atribuirse esa pérdida de la resistencia son: 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.

Figura 49. Tramo Tecpán – Los Encuentros km 113+500 L.I.



Figura No. 47. "Metodología de estudio efectuado", Op.cit. Tabla IV Análisis de Taludes, proyecto Tecpán (km. 89) – Los Encuentros (km. 124)

3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EFECTUADO

3.4.3.6. Falla por falta de capacidad de carga en el terreno de cimentación

Este tipo de falla se produce cuando el terreno tiene una capacidad de carga inferior o las cargas impuestas.

3.4.3.7. Falla por desprendimientos

(km. 92+200, 92+800, 97+800 y 98+000 todos de lado izquierdo)

Son fallas repentinas de taludes verticales o casi verticales que producen el desprendimiento de un bloque o múltiples bloques que descienden en caída libre (figura 3.1). La volcadura de los bloques generalmente desencadena un desprendimiento.

3.4.3.8. Flujo de escombros

Este tipo de falla es similar a las avalanchas, excepto que la cantidad de agua es mayor y por ello la masa fluye como lodo. La principal causa es el aporte de grandes lluvias y material suelto en la superficie. Así como lo demuestran los ensayos de laboratorio realizados a las muestras sacadas en el tramo: Tecpán – Los Encuentros.

3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EFECTUADO

IX. Tabla resumen

ESTACION	TIPO DE FALLA ENCONTRADA
106 + 350 @ 106 + 485 L/I	Deslizamiento Superficial
107 + 060 @ 107 + 100 L/I	
96 + 270 @ 96 + 380	
97 + 190 @ 97 + 320 L/I	
97 + 350 @ 97 + 515 L/I	
98 + 590 @ 98 + 710 L/I	
98 + 740 @ 99 + 000 L/I	
90 + 000 @ 90 + 140 L/I	Por movimiento del cuerpo de talud
92 + 140 @ 92 + 210 L/I	
92 + 665 @ 92 + 800 L/I	
92 + 900 @ 92 + 940 L/I	
94 + 530 @ 94 + 700 L/I	
99 + 220 @ 99 + 325 L/I	
119 + 300 @ 119 + 450 L/D	
91 + 810 @ 91 + 890 L/I	De Flujos
91 + 910 @ 92 + 020 L/I	
92 + 250 @ 92 + 335 L/I	
98 + 380 @ 98 + 480 L/I	
114 + 050 @ 114 + 300 L/I	
90 + 300 @ 90 + 500 L/I	Por erosión
92 + 070 @ 92 + 140 L/I	
96 + 780 @ 96 + 960 L/I	
99 + 450 @ 99 + 600 L/I	
99 + 325 @ 99 + 440 L/I	Por Licuación
102 + 660 @ 102 + 760 L/I	
113 + 500 @ 113 + 550 L/I	
92 + 200 L/I	Por Desprendimiento
92 + 800 L/I	
97 + 800 L/I	
98 + 000 L/I	

3.5. Determinación de posibles causas de falla en los taludes analizados

3.5.1. Generalidades

Existen una serie de factores de los cuales depende la estabilidad de los taludes, tales son:

3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EFECTUADO

3.5.1.1 Factores geomorfológicos

- Topografía de los alrededores y geometría del talud
- Distribución de las discontinuidades y estratificaciones

3.5.1.2. Factores internos

- Propiedades mecánicas de los suelos constituyentes
- Estado de esfuerzos actuantes

3.5.1.3. Factores climáticos

- Agua superficial
- Agua subterránea

En general, las causas de los deslizamientos pueden ser externas o internas.

3.5.1.4. Externas

Producen aumento de los esfuerzos cortantes actuantes sin modificar la resistencia al esfuerzo cortante del material. El aumento de la altura del talud o el hacerlo más escarpado, son causas de este tipo, como también son la colocación de cualquier tipo de sobrecarga en la cresta del talud o la ocurrencia de sismos.

3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EFECTUADO

3.5.1.5. Internas

Son las que ocurren sin cambio de las condiciones exteriores del talud. Estos disminuyen la resistencia al esfuerzo cortante del suelo constitutivo, el aumento de presión de poros o la disipación de la cohesión son causas de este tipo.

Aumento de peso de la tierra, por aumento del contenido de humedad.

Remoción por socavación de una parte de la masa del suelo.

Socavaciones producidas por perforaciones de túneles, derrumbes de cavernas o erosión por filtración.

Choques producidos por terremotos o voladuras.

Grietas de tracción

Presión de agua en las grietas.

3.5.2. Causas que producen disminución de la resistencia en el proyecto Tecpán – Los Encuentros

Expansión de las arcillas por absorción de agua

Presión de agua intersticial

Destrucción de la estructura por vibraciones o actividad sísmica

3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EFECTUADO

Fisuras capilares producidas por las alternativas de expansión y retracción o por tracción.

Deformación y falla progresiva en suelos sensibles

Deshielo de suelos helados o lentes de hielo

Deterioro del material cementante

Pérdida de la tensión capilar por secamiento

3.5.3. Causas que producen el aumento de esfuerzos en el proyecto Tecpán – Los Encuentros

Cargas externas

Construcciones

Agua

Cultivos y sobre suelos cohesivos, tales como arcillas blandas o turbas.

3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EFECTUADO

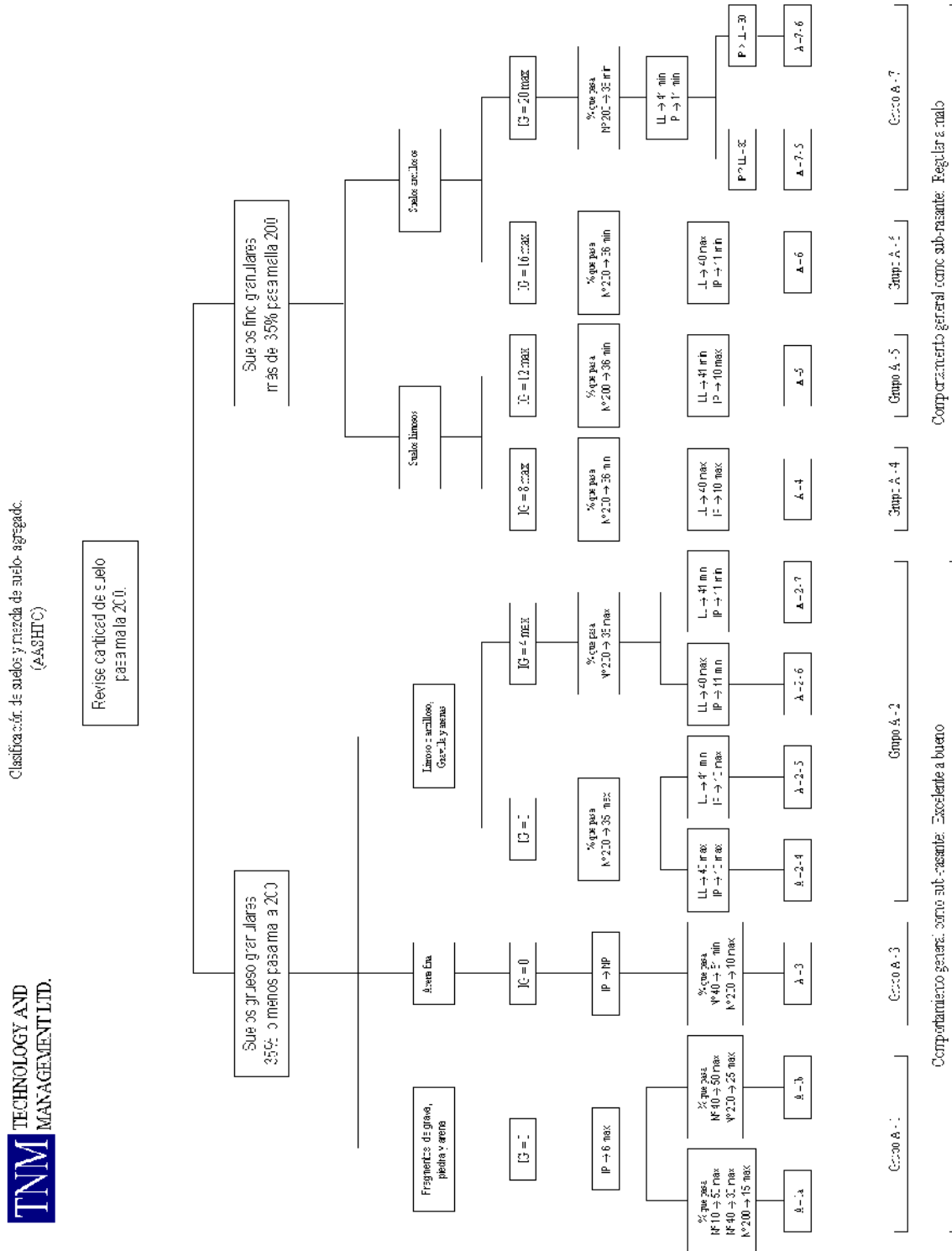
X. Tabla resumen con sus causas de falla

ESTACION	TIPO DE FALLA ENCONTRADA	CAUSAS
106 + 350 @ 106 + 485 L/I	Deslizamiento superficial	Altos contenidos de agua y tipo de material
107 + 060 @ 107 + 100 L/I		
96 + 270 @ 96 + 380		
97 + 190 @ 97 + 320 L/I		
97 + 350 @ 97 + 515 L/I		
98 + 590 @ 98 + 710 L/I		
98 + 740 @ 99 + 000 L/I		
90 + 000 @ 90 + 140 L/I	Por movimiento del cuerpo de talud	
92 + 140 @ 92 + 210 L/I		
92 + 665 @ 92 + 800 L/I		
92 + 900 @ 92 + 940 L/I		
94 + 530 @ 94 + 700 L/I		
99 + 220 @ 99 + 325 L/I	De flujos	
119 + 300 @ 119 + 450 L/D		
91 + 810 @ 91 + 890 L/I		
91 + 910 @ 92 + 020 L/I		
92 + 250 @ 92 + 335 L/I		
98 + 380 @ 98 + 480 L/I	Por erosión	
114 + 050 @ 114 + 300 L/I		
90 + 300 @ 90 + 500 L/I		
92 + 070 @ 92 + 140 L/I		
96 + 780 @ 96 + 960 L/I	Por licuación	
99 + 450 @ 99 + 600 L/I		
99 + 325 @ 99 + 440 L/I		
102 + 660 @ 102 + 760 L/I	Por desprendimiento	
113 + 500 @ 113 + 550 L/I		
92 + 200 L/I		
92 + 800 L/I		
97 + 800 L/I		
98 + 000 L/I		

Fuente: "Metodología de Estudio Efectuado", Tabla IV Análisis de Taludes, proyecto Tecpan (km. 89) – Los Encuentros (km. 124)

3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EFECTUADO

Tabla XI. Evaluación y análisis de resultado



3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EFECTUADO

Tabla XII. Datos generales sobre taludes ensayados

DATOS GENERALES SOBRE LOS TALUDES ENSAYADOS					
DATOS OBTENIDOS DE LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO E INSPECCION VISUAL					
ESTACION	ALTURA (mts.)	GRADO DE INCLINACION TALUD	LONGITUD (mts.)	NACIMIENTOS	OBSERVACIONES
102+590	36.8	65.22°	200	1	NACIMIENTO SUB-TERRANEO
95+780	20.01	61.03°	345	0	
108+450	25.62	55.06	330	0	

Tabla XIII. Taludes ensayados en el tramo: Tecpán – Los Encuentros

TALUDES ENSAYADOS EN EL TRAMO: TECPAN – LOS ENCUENTROS					
DATOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS TRIAXIALES					
ESTACION	Angulo de fricción interna	cohesión	L.L.	CLASIFICACION	OBSERVACIONES
102+590	16.21	4.20 kg/cm ²	44	Limo arcilloso	
95+780	25.42	2.80 kg/cm ²	67	Limo arcilloso	
108+450	33.79	6.00 kg/cm ²	92	Arena limosa	

3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EFECTUADO

Tabla XIV. Resultados de ensayos laboratorio, granulometrías, proctor y límites de atemberg

Estacion	Fecha	Humedad natural	Humedad optima	equivalente de arena	limite liquido	clasificacion	Observaciones
107+075	26/03/2009	21.8	28.3	45	N.A.	A-3	material arenoso
106+940	28/03/2009	18	24.3	13	N.A.	A-2-4	material arenoso
106+600	17/06/2009	16	28.7	24	42	A-1-a	material arenoso
103+285	31/03/2009	11.6	14.2	25	28	A-1-a	
105+620	01/04/2009	14.9	41.7	12	50	A-2-7	arcilloso
102+580	16/06/2009	20.1	40	11	46	A-7-6	arcilloso
104+420	15/05/2009	22.5	24	34	71	A-7	arcilloso
106+450	24/06/2009	13.1	21.8	32		A-1-b	arenoso
102+460	08/06/2009	25.3	38.5	42	50	A-2-5	arcilloso
95+780	16/06/2009	71.7	50	11	67	A-7-6	
108+450	27/06/2009	28.8	17	37		A-2-4	
102+460	30/06/2009	4.3	23.8	44		A-2-4	
102+700	09/07/2009	11.7	26.2	19	45	A-2-5	
106+000	11/07/2009	4.1	29	39		A-1-a	
90+450	14/07/2009	41.5	32.5	38	27	A-1-a	
91+980	15/07/2009	36.1	25.7	31	31	A-2-4	arcilloso
108+170	18/03/2009	26	51.5	13	56	A-7-6	arcilloso
108+260	22/03/2009	16.9	39.2	16	59	A-7-6	arcilloso
108+260	23/03/2009	11.3	20.2	32	92	A-7-6	arcilloso
108+135	22/03/2009	11.6	26	13	38	A-4	arcilloso
107+150	24/03/2009	8.9	16.5	14	29	A-2-7	arcilloso
107+300	24/03/2009	14.4	27.5	30	37	A-2-6	arcilloso
106+940	25/03/2009	10.9	27.4	25	41	A-2-4	arenoso
104+260	21/03/2009	25.7	40.2	2	53	A-7-6	arcilloso

Tabla XV. Precipitación promedio anual

AÑO	CAMPAMENTO	KM. 115+500
2006	174.8 mm	157.7 mm
2007	82.93 mm	37.56 mm
2008	108.05 mm	149.9 mm
2009	111.09 mm	134.06 mm

Fuente: "Metodología de estudio efectuado" Tabla IV Análisis de Taludes, proyecto Tecpan (km. 89) – Los Encuentros (km. 124)

3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EFECTUADO

Tabla XVI. Resumen con posibles soluciones

ESTACIÓN	TIPO DE FALLA ENCONTRADA	CAUSAS	SOLUCIÓN
106 + 350 @ 106 + 485 L/I	Deslizamiento Superficial	1. Rompimiento de tuberías existentes de agua potable 2. Infiltración de Agua superficial 3. Tipo de material	1. Construcción de bermas 2. Construcción de contra cunetas
107 + 060 @ 107 + 100 L/I			
96 + 270 @ 96 + 380			
97 + 190 @ 97 + 320 L/I			
97 + 350 @ 97 + 515 L/I			
98 + 590 @ 98 + 710 L/I			
98 + 740 @ 99 + 000 L/I	Por movimiento del cuerpo de talud	1. Saturación de suelo 2. Venas de agua 3. Pozos ciegos 4. Retención de agua por vegetación encontrada 5. Tipo de material	1. Darle la inclinación de los taludes de acuerdo al tipo de material encontrado 2. Alejar los taludes de la sección típica
90 + 000 @ 90 + 140 L/I			
92 + 140 @ 92 + 210 L/I			
92 + 665 @ 92 + 800 L/I			
92 + 900 @ 92 + 940 L/I			
94 + 530 @ 94 + 700 L/I			
99 + 220 @ 99 + 325 L/I	De Flujos	1. Altos contenidos de agua 2. Suelo encontrado	1. Construcción de drenajes adecuados que sirvan para desfogar el agua. 2 Alejar los taludes de la sección típica
119 + 300 @ 119 + 450 L/D			
91 + 810 @ 91 + 890 L/I			
91 + 910 @ 92 + 020 L/I			
92 + 250 @ 92 + 335 L/I			
98 + 380 @ 98 + 480 L/I	Por erosión	1. Nacimientos encontrados, que con el invierno incrementaron su caudal 2. Tipo de material	Construcción de drenajes adecuados 2 Construcción de contracunetas 3. Construcción de bajadas de agua 4. Construcción de tuberías para desfogar el agua
114 + 050 @ 114 + 300 L/I			
90 + 300 @ 90 + 500 L/I			
92 + 070 @ 92 + 140 L/I			
96 + 780 @ 96 + 960 L/I	Por Licuación	1. Altos contenidos de agua 2. Tipo de suelo encontrado	1. Alejar los taludes de la sección típica 2. Construcción de drenajes
99 + 450 @ 99 + 600 L/I			
99 + 325 @ 99 + 440 L/I			
102 + 660 @ 102 + 760 L/I	Por Desprendimiento	1. Cambios drásticos que sufren los suelos, debido al cambio climático 2. Tipo de suelo encontrado	1. Construcción de contracunetas 2 Construcción de mallas que evite que el material llegue hacia la carretera
113 + 500 @ 113 + 550 L/I			
92 + 200 L/I			
92 + 800 L/I			
97 + 800 L/I			
98 + 000 L/I			

Los procedimientos constructivos de mitigación ambiental, deberán realizarse de acuerdo a Normas AASHTO y de acuerdo al Manual Centroamericano de Normas Ambientales para el Diseño, Construcción y mantenimiento de carreteras SIECA.

Fuente: "Metodología de Estudio Efectuado" Tabla IV Análisis de Taludes, proyecto Tecpan (km. 89) – Los Encuentros (km. 124)

3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO EFECTUADO

4. DEFINICIÓN Y SÍNTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

4. DEFINICIÓN Y SÍNTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

4.1. Definición de la metodología propuesta

La metodología que se pretende dar a conocer es un proceso de investigación que sigue a la propedéutica y permite sistematizar los métodos y las técnicas necesarias para llevar a cabo planteamientos y procedimientos que conlleven a la disminución de impactos ambientales producidos por el hombre, a través de construcciones o ampliaciones de carreteras a nivel general dentro del territorio de Guatemala, los cuales son vías que facilitan el descubrimiento de conocimientos seguros y confiables para solucionar los problemas que la vida plantea a través de las diferentes actividades de la construcción de carreteras.

En la tabla número XXIV, se puede observar las fases del método propuesto para la evaluación técnica en la estabilización de taludes, que debe ser realizada por un equipo de profesionales y técnicos multidisciplinario para que pueda implementarse de manera apropiada.

La metodología utilizada consiste en cinco fases y tiene por objeto obtener información correspondiente de carácter teórico y técnico sobre la estabilidad de taludes y análisis de estabilización de taludes y terraplenes, analizar su contenido (los motivos iniciales y los actuales, que llevaron a la falla), y efectuar una comparación con el comportamiento de los suelos dependiendo el grado de saturación de los mismos.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

4.2. Descripción de la metodología propuesta

4.2.1. Fase 1. Verificación y localización del lugar de estudio

Plantea la verificación y localización del lugar en estudio, en función de una visita técnica, en el cual para fines de práctica, se tomarán datos generales y para ello deberá llenarse el formato propuesto que incluye las siguientes características: lugar en estudio, tramo en estudio, fecha de emisión del estudio, así como estación final e inicial, lado, geología, estratigrafía, la geometría, presencia de agua, fallas estructurales o visuales, perfiles y vegetación encontrada. Esta información será comparada con la información existente del lugar de falla, cuando sea posible.

Para esta fase se deben utilizar aparatos de topografía como estación total, GPS y otros tipos de instrumentos de medición.

En la visita de campo deberá ser ejecutada por un profesional de la Ingeniería y los especialistas que se considere convenientes, quienes deberán llenar el formato propuesto dentro de los cuales aportaran las consideraciones que a su juicio ameriten.

Es importante mencionar que los factores más importantes que intervienen en los deslizamientos son:

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Factores condicionantes:

- Geológicos
- Litológicos
- Tectónicos
- Geomorfológicos
- Vulcanismo
- Vegetación
- Gravedad
- Hidrogeológicos


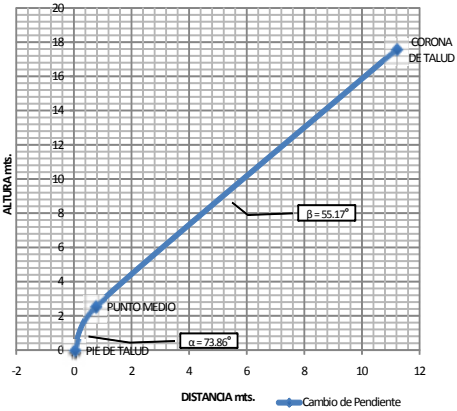
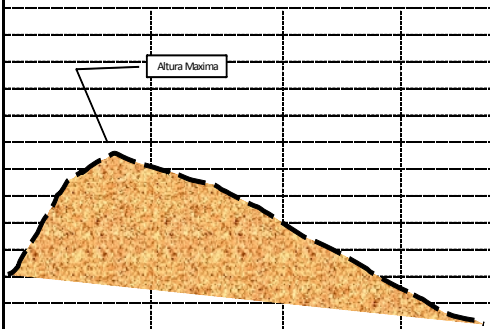
Factores activadores:

- Sísmicos
- Antrópicos
- Fluidificación
- Presión de poros y sus efectos
- Cambio en la presión de poros y el grado de saturación por efecto de agua
- Frente húmedo

En la tabla XVII, se puede observar la hoja de campo propuesta donde se deberá incluir la información sintetizada del talud o taludes objeto de estudio, y que será parte del informe técnico final que deberá emitir el equipo profesional y técnico multidisciplinario que ejecutó el estudio.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Tabla XVII. Formato para análisis de taludes

Título: ANÁLISIS DE TALUDES TRAMO TECPAN LOS ENCUENTROS		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA AMPLIACIÓN A 4 CARRILES DE LA RUTA CA-1 OCCIDENTE TRAMO "TECPÁN (km 89) - LOS ENCUENTROS (km 124)"																																									
Version No. 1	Fecha de emisión: 08/02/2009	Página: 77																																									
EST. INICIAL: 107+060	EST. FINAL: 107+250	LADO: IZQUIERDO																																									
OBRA: <u>TECPAN - LOS ENCUENTROS</u>																																											
ANÁLISIS FOTOGRAFICO		GEOLOGIA DE TALUD																																									
		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>SI</th> <th>NO</th> <th>DESCRIPCION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ARCILLA</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>LIMO</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>LIMO ARENOSO</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>GRAVA</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ARENOSO</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>COLOR</td> <td colspan="3">CAFÉ Y BEIGE</td> </tr> <tr> <td>MATERIAL SUELTO</td> <td>X</td> <td></td> <td>EN CARA DE TALUD, SIN RIESGO</td> </tr> </tbody> </table>			SI	NO	DESCRIPCION	ARCILLA	X			LIMO		X		LIMO ARENOSO	X			GRAVA		X		ARENOSO		X		COLOR	CAFÉ Y BEIGE			MATERIAL SUELTO	X		EN CARA DE TALUD, SIN RIESGO								
			SI	NO	DESCRIPCION																																						
ARCILLA	X																																										
LIMO		X																																									
LIMO ARENOSO	X																																										
GRAVA		X																																									
ARENOSO		X																																									
COLOR	CAFÉ Y BEIGE																																										
MATERIAL SUELTO	X		EN CARA DE TALUD, SIN RIESGO																																								
		ESTATIGRAFIA DE TALUD <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>DESCRIPCION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CAPA 1</td> <td>VEGETAL</td> </tr> <tr> <td>CAPA 2</td> <td>ARCILLA</td> </tr> <tr> <td>CAPA 3</td> <td>LIMO ARENOSO</td> </tr> </tbody> </table>			DESCRIPCION	CAPA 1	VEGETAL	CAPA 2	ARCILLA	CAPA 3	LIMO ARENOSO																																
			DESCRIPCION																																								
CAPA 1	VEGETAL																																										
CAPA 2	ARCILLA																																										
CAPA 3	LIMO ARENOSO																																										
GRAFICA DE TALUD 		GEOMETRIA DE TALUD <table border="1"> <tbody> <tr> <td>ALTURA</td> <td>17.57</td> <td>METROS</td> </tr> <tr> <td>GRADO INCLINACION (pie):</td> <td>73.86</td> <td>GRADO INCLINACION (corona): 55.17</td> <td>GRADOS</td> </tr> <tr> <td>LONGITUD</td> <td>190</td> <td>METROS</td> </tr> </tbody> </table>		ALTURA	17.57	METROS	GRADO INCLINACION (pie):	73.86	GRADO INCLINACION (corona): 55.17	GRADOS	LONGITUD	190	METROS																														
		ALTURA	17.57	METROS																																							
GRADO INCLINACION (pie):	73.86	GRADO INCLINACION (corona): 55.17	GRADOS																																								
LONGITUD	190	METROS																																									
PRESENCIA DE AGUA <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>SI</th> <th>NO</th> <th>DESCRIPCION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NACIMIENTOS</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>SUPERFICIAL</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>SUB-TERRANEA</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			SI	NO	DESCRIPCION	NACIMIENTOS				SUPERFICIAL		X		SUB-TERRANEA		X		FALLAS ESTRUCTURALES O VISIBLES EN EL TALUD <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>SI</th> <th>NO</th> <th>DESCRIPCION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>GRIETAS CORONA TALUD</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>GRIETAS CARA TALUD</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>BERMAS</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>EROSION TALUD</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>LOMOS DE PRESION</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			SI	NO	DESCRIPCION	GRIETAS CORONA TALUD		X		GRIETAS CARA TALUD	X			BERMAS		X		EROSION TALUD	X			LOMOS DE PRESION	X		
			SI	NO	DESCRIPCION																																						
NACIMIENTOS																																											
SUPERFICIAL		X																																									
SUB-TERRANEA		X																																									
	SI	NO	DESCRIPCION																																								
GRIETAS CORONA TALUD		X																																									
GRIETAS CARA TALUD	X																																										
BERMAS		X																																									
EROSION TALUD	X																																										
LOMOS DE PRESION	X																																										
PERFILES <table border="1"> <tbody> <tr> <td>CONCAVOS</td> <td>EXISTEN</td> </tr> <tr> <td>CONVEXOS</td> <td>EXISTEN</td> </tr> </tbody> </table>		CONCAVOS	EXISTEN	CONVEXOS	EXISTEN	VEGETACION ENCONTRADA SOBRE TALUD <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>DESCRIPCION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>TIPO DE SIEMBRA</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ARBOLES</td> <td>80% EXISTE EN CORONA</td> </tr> <tr> <td>OTROS</td> <td>MILPA Y MALEZA</td> </tr> </tbody> </table>			DESCRIPCION	TIPO DE SIEMBRA		ARBOLES	80% EXISTE EN CORONA	OTROS	MILPA Y MALEZA																												
		CONCAVOS	EXISTEN																																								
CONVEXOS	EXISTEN																																										
	DESCRIPCION																																										
TIPO DE SIEMBRA																																											
ARBOLES	80% EXISTE EN CORONA																																										
OTROS	MILPA Y MALEZA																																										
ESTABILIZACION <table border="1"> <tbody> <tr> <td>REVEGETACION</td> <td>SE RECOMIENDA LA SIEMBRA DE MAS ARBOLES</td> </tr> <tr> <td>CONTRACUNETAS</td> <td>NECESARIAS</td> </tr> <tr> <td>REVESTIMIENTO DE TALUD</td> <td></td> </tr> <tr> <td>COLOCACION DE MURO</td> <td></td> </tr> <tr> <td>COLOCACION DE GAVIONES</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		REVEGETACION	SE RECOMIENDA LA SIEMBRA DE MAS ARBOLES	CONTRACUNETAS	NECESARIAS	REVESTIMIENTO DE TALUD		COLOCACION DE MURO		COLOCACION DE GAVIONES																																	
		REVEGETACION	SE RECOMIENDA LA SIEMBRA DE MAS ARBOLES																																								
CONTRACUNETAS	NECESARIAS																																										
REVESTIMIENTO DE TALUD																																											
COLOCACION DE MURO																																											
COLOCACION DE GAVIONES																																											
<small>PROHIBIDA LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO, SIN LA AUTORIZACION DEL AUXILIAR DE DELEGADO RESIDENTE ABARCA LAS MUESTRAS DE REFERENCIA.</small>																																											

Fuente: " Metodología de Estudio Efectuado", Tabla IV Análisis de Taludes, proyecto Tecpan (km. 89) – Los Encuentros (km. 124)

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Objetivos de la fase 1:

Identificar el lugar visualmente para formase una idea de las posibles causas que podrían hacer fallar un talud o hacerlo proclive a falla.

Medios:

Transporte

Formato de taludes propuesto

4.2.2. Fase 2. Aplicación de la geotecnia

La geotécnica es la investigación de la capa de suelo y roca que está por debajo de la tierra así determinan las propiedades y estudian los cimientos para la posterior construcción de edificaciones, puentes y obras arquitectónicas.

Además de investigar y estudiar el suelo, los ingenieros especializados en realizar estudios de geotecnia también se encargan de proveer el riesgo que puede tener la realización del proyecto para los seres humanos, dando así la posibilidad de alertar a los responsables de la obra.

Gracias al estudio de la geotecnia se han prevenido pérdidas humanas en deslizamientos de tierra, caídas de roca y flujos de lodo.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

4.2.2.1. Estudios y sondeos geofísicos

Este tipo de análisis se realiza para determinar el estado del suelo desde la parte física. Se determina tanto la estructura como las condiciones de la tierra, a partir de técnicas basadas en la aplicación de las leyes de la Física al estudio de la tierra, tales como: el paso de las ondas sísmicas en distintos medios, los métodos eléctricos, gravimétricos magnéticos.

Los ingenieros geofísicos están preparados y altamente capacitados para trabajar en todo tipo de terreno y realizar informes del sub suelo.

4.2.2.2. Estudios hidrológicos e hidrogeológicos

Permiten el conocimiento de los recursos hídricos que se encuentran bajo la tierra para optimizar el planteamiento del proyecto de construcción. Además de determinar la humedad del suelo, los estudios hidrológicos permiten analizar las propiedades físicas y químicas del agua.

Estos estudios se realizan de varias maneras, pueden ser métricos, en tiempo real o de manera cualitativa o cuantitativa. Todos estos procedimientos y estudios ayudarán a comprender mejor el estado del suelo y de los recursos hídricos del terreno donde se desea trabajar.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

4.2.2.3. Sondeos geotécnicos

Estos procedimientos se realizan en una profundidad de hasta 150 metros y permiten la implementación de maquinaria pesada y su desplazamiento para efectuar ensayos en el interior del terreno y extraer testigos. Se pueden realizar dos tipos de sondeos dependiendo del material del suelo y de sus características, siendo los más comunes los de rotación y percusión. El primero permite perforar casi cualquier tipo de suelo a profundidades elevadas pero es muy difícil su utilización a la hora de perforar gravas o bolos, donde se utiliza la técnica de percusión.

4.2.2.4. Mecánica de suelos

Es la implementación de la física para determinar los efectos de la carga impuesta en un terreno determinado. Esto evita a posteriori la deformación del suelo o la declinación de las capas de la superficie terrestre por sobrepeso. Además se evitan deformaciones en las edificaciones y grietas o en casos severos, el desplome o el colapso de la obra.

Esta ciencia también permite valorar y determinar la disposición del suelo para ser explorado y construido. Gracias al avance de la ciencia, hoy en día es posible contar con modernas técnicas de estudios y maquinaria inteligente que permite trabajar de la mano de la física.

4.2.2.5. Suelos y calicatas

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Es un método de exploración que generalmente permite entregar datos exactos y acertados sobre el estado del suelo. Además su costo, comparado con otros métodos de investigación es relativamente bajo.

Esta técnica permite la inspección del suelo en tiempo real, la toma de muestras y la realización de ensayos. Los trabajos se realizan hasta los diez metros de profundidad. Este análisis se puede realizar en todo tipo de terrenos, ya sea homogéneo o heterogéneo y siempre garantiza un acierto en la información que entrega.

4.2.2.6. Cálculo de estabilidad de taludes

Los taludes se les conocen como zonas planas inclinadas que resisten grandes presiones de tierra. Muchas veces pueden presentar inestabilidad debido a fallas geológicas u obras realizadas por el hombre. Es importante realizar un estudio previo a iniciar un trabajo de construcción, ya que su inestabilidad puede ocasionar graves accidentes.

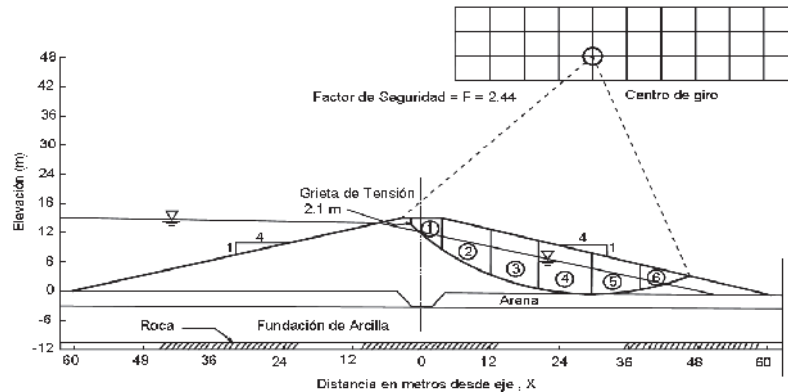
Los taludes pueden ser de roca o de tierra y cada uno tiene una manera diferente de ser analizado. Primero se debe analizar el tipo de estabilidad y posteriormente se procede al análisis que puede ser tridimensional o bidimensional.

Es primordial verificar la estabilidad los taludes antes de realizar un proceso de excavación o de construcción.

4.2.2.7. Análisis de estabilidad

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Figura 50. Ejemplo de un análisis de estabilidad de taludes (U. S. Corps of Engineers 2003)



- Determinar las condiciones de estabilidad del talud (si es estable o inestable y el margen de estabilidad).

La modelación matemática de los taludes es parte de la práctica de la ingeniería geotécnica, con el objeto de analizar las condiciones de estabilidad de los taludes naturales y la seguridad y funcionalidad del diseño en los taludes artificiales (Figura 48).

Existe una gran cantidad de metodologías para la modelación matemática, la cual depende del objetivo del análisis y de los resultados que se deseen obtener. Los objetivos principales del análisis matemático de los taludes son los siguientes:

- Investigar los mecanismos potenciales de falla (analizar cómo ocurre la falla).

Fuente: Ejemplo de un análisis de estabilidad de taludes (U. S. Corps of Engineers, 2003)

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

- Determinar la sensibilidad o susceptibilidad de los taludes a diferentes mecanismos de activación (Efecto de las lluvias, sismos, etc.).
- Comparar la efectividad de las diferentes opciones de remediación o estabilización y su efecto sobre la estabilidad del talud.
- Diseñar los taludes óptimos en término de seguridad, confiabilidad y economía.

Herramientas disponibles

Para el análisis de estabilidad de taludes se dispone de varias herramientas tales como:

Tablas o ábacos

Se han elaborado tablas y ábacos para calcular en forma rápida y sencilla, los factores de seguridad para una variedad de condiciones.

Análisis gráficos

Históricamente, se han utilizado procedimientos gráficos o de polígonos de fuerzas para calcular las condiciones de estabilidad de los taludes. Estos sistemas gráficos son poco usados actualmente.

Cálculos manuales

La mayoría de métodos de análisis se desarrollaron para cálculos matemáticos manuales o con calculadora, de acuerdo con fórmulas simplificadas.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Hojas de cálculo

Algunos autores han desarrollado hojas de cálculo, las cuales pueden utilizarse para el análisis de taludes sencillos o con bajo nivel de complejidad.

Uso de “*Software*”

La técnica de análisis que se escoja depende de las características de los sitios y del modo potencial de falla; dando especial consideración a las fortalezas, las debilidades y las limitaciones de cada metodología de análisis. Hasta el año 1975, la mayoría de los análisis de estabilidad se realizaban en forma gráfica o utilizando calculadoras manuales.

Con la llegada del computador los análisis se pudieron realizar en forma más detallada; inicialmente utilizando tarjetas FORTRAN y recientemente con programas de software, los cuales cada día son más poderosos.

Teniendo en cuenta la gran cantidad de aplicaciones numéricas disponibles en la actualidad, es esencial que el ingeniero entienda las fortalezas y limitaciones inherentes a cada metodología. Existen una gran cantidad de herramientas informáticas para el análisis de estabilidad de taludes.

Dentro de estas herramientas, los métodos de equilibrio límite son los más utilizados; sin embargo, los métodos esfuerzo - deformación utilizando elementos finitos, han adquirido gran importancia y uso en los últimos años.

La mayoría de los análisis de estabilidad se realizan utilizando programas comerciales de “*software*”, los cuales permiten analizar taludes complejos o con cantidad significativa de información, de forma eficiente.

Se recomienda en lo posible, utilizar siempre programas de computador.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

4.2.2.8. Metodologías para el análisis de la estabilidad

Dentro de las metodologías disponibles, se encuentran los métodos de límite de equilibrio, los métodos numéricos y los métodos dinámicos para el análisis de caídos de roca y flujos, entre otros.

Los métodos numéricos son la técnica que muestra la mejor aproximación al detalle, de las condiciones de estabilidad en la mayoría de los casos de evaluación de estabilidad de taludes.

Sin embargo, los métodos de límite de equilibrio, son más sencillos de utilizar y permiten analizar los casos de falla traslacional y de falla rotacional, así como las fallas de inclinación ("*Toppling*") y las fallas en cuña.

Igualmente, los métodos de límite de equilibrio permiten el análisis combinado con técnicas probabilísticas (Stead y otros, 2000).

En el caso de los sistemas de falla complejos, es conveniente utilizar metodologías de modelación que tengan en cuenta los factores que producen los movimientos.

Los factores que generan el deslizamiento pueden ser complejos y muy difíciles de modelar; no obstante, con el objeto de analizar esas situaciones complejas, existen algunas herramientas utilizando elementos finitos, diferencias finitas, elementos discretos y modelos dinámicos.

Igualmente, se pueden integrar al análisis modelaciones de hidrogeología y las solicitaciones sísmicas.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

En la tabla XVII se presenta un resumen de las metodologías utilizadas en los análisis convencionales de estabilidad de taludes.

Tabla XVIII. Metodologías utilizadas en la modelación de taludes

Método	Parámetros Utilizados	Ventajas	Limitaciones
Límite de equilibrio	Topografía del talud, estratigrafía, ángulo de fricción, cohesión, peso unitario, niveles freáticos y cargas externas.	Existe una gran cantidad de paquetes de software. Se obtiene un número de factor de seguridad. Analiza superficies curvas, rectas, cuñas, inclinaciones, etc. Análisis en dos y tres dimensiones con muchos materiales, refuerzos y condiciones de nivel de agua.	Genera un número único de factor de seguridad sin tener en cuenta el mecanismo de inestabilidad. El resultado difiere de acuerdo con el método que se utilice. No incluye análisis de las deformaciones.
Esfuerzo-deformación continuos	Geometría del talud, propiedades de los materiales, propiedades elásticas, elasto-plásticas y de "creep". Niveles freáticos, resistencia.	Permite simular procesos de deformación. Permite determinar la deformación del talud y el proceso de falla. Existen programas para trabajar en dos y tres dimensiones. Se puede incluir análisis dinámico y análisis de "creep".	Es complejo y no lineal. Comúnmente no se tiene conocimiento de los valores reales a utilizar en la modelación. Se presentan varios grados de libertad. No permite modelar roca muy fracturada.
Discontinuos Esfuerzo-deformación elementos discretos	Geometría del talud, propiedades del material, rigidez, discontinuidades resistencia y niveles freáticos.	Permite analizar la deformación y el movimiento relativo de bloques.	Existe poca información disponible sobre las propiedades de las juntas. Se presentan problemas de escala, especialmente en los taludes en roca.
Cinemáticos estereográficos para taludes en roca	Geometría y características de las discontinuidades. Resistencia a las discontinuidades.	Es relativamente fácil de utilizar. Permite la identificación y análisis de bloques críticos, utilizando teoría de bloques. Pueden combinarse con técnicas estadísticas.	Útiles para el diseño preliminar. Se requiere criterio de ingeniería para determinar cuáles son las discontinuidades críticas. Evalúa las juntas.
Dinámica de caídos de roca	Geometría del talud, tamaño y forma de los bloques y coeficiente de restitución.	Permite analizar la dinámica de los bloques y existen programas en dos y tres dimensiones.	Existe muy poca experiencia de su uso en los países tropicales.
Dinámica de flujos	Relieve del terreno. Concentración de sedimentos, viscosidad y propiedades de la mezcla suelo-agua.	Se puede predecir el comportamiento, velocidades, distancia de recorrido y sedimentación de los flujos.	Se requiere calibrar los modelos para los materiales de cada región. Los resultados varían de acuerdo con el modelo utilizado.

Fuente: Suárez Jaime, Deslizamientos: "Análisis Geotécnica", Capítulo 4, Pág. 129, Metodologías utilizadas en la modelación de taludes

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

4.2.2.9. Características del análisis de límite de equilibrio

Un análisis de límite de equilibrio permite obtener un factor de seguridad o a través de un análisis regresivo, obtener los valores de la resistencia al cortante en el momento de la falla. Una vez se han determinado las propiedades de resistencia al cortante de los suelos, las presiones de poros y otras propiedades del suelo y del talud, se puede proceder a calcular el factor de seguridad del talud. Este análisis de estabilidad consiste en determinar si existe suficiente resistencia en los suelos del talud para soportar los esfuerzos de cortante que tienden a causar la falla o deslizamiento.

La mayoría de los métodos de límite de equilibrio tienen en común, la comparación de las fuerzas o momentos resistentes y actuantes sobre una determinada superficie de falla. Las variaciones principales de los diversos métodos son, el tipo de superficie de falla y la forma cómo actúan internamente las fuerzas sobre la superficie de falla.

4.2.2.10. Concepto de factor de seguridad (F. S.)

El factor de seguridad es empleado por los ingenieros para conocer cuál es el factor de amenaza para que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña. Fellenius (1922) presentó el factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla:

$$F.S. = \frac{\text{Resistencia al cortante disponible}}{\text{Esfuerzo al cortante actuante}}$$

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

En las superficies circulares donde existe un centro de giro y momentos resistentes y actuantes:

$$F.S. = \frac{\text{Momento resistente disponible}}{\text{Momento actuante}}$$

Existen además, otros sistemas para plantear el factor de seguridad, tales como la relación de altura crítica y altura real del talud, métodos probabilísticos, así como tablas empíricas locales basadas en el comportamiento típico de los taludes.

La mayoría de los sistemas de análisis asumen un criterio de “límite de equilibrio” donde el criterio de falla de Coulomb es satisfecho a lo largo de una determinada superficie. Se estudia un cuerpo libre en equilibrio, partiendo de las fuerzas actuantes y de las fuerzas resistentes que se requieren para producir el equilibrio. Calculada esta fuerza resistente, se compara con la disponible del suelo o roca y se obtiene una indicación del factor de seguridad.

Otro criterio es dividir la masa que se va a estudiar en una serie de tajadas, dovelas o bloques y considerar el equilibrio de cada tajada por separado. Una vez realizado el análisis de cada tajada se analizan las condiciones de equilibrio de la sumatoria de fuerzas o de momentos.

$$F.S. = \frac{\sum \text{Resistencias disponibles al cortante}}{\sum \text{Esfuerzos al cortante}}$$

$$F.S. = \frac{\sum \text{Momentos resistentes disponibles}}{\sum \text{Momentos actuantes}}$$

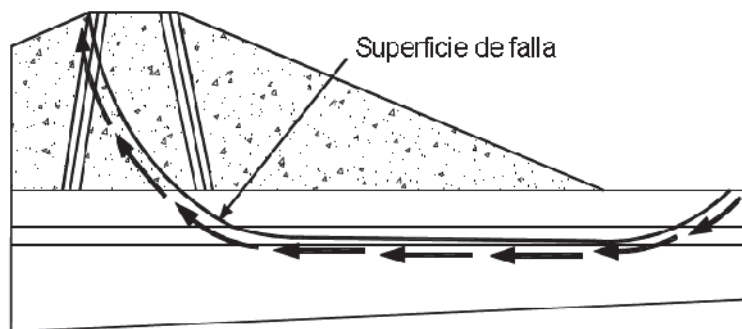
4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

4.2.2.11. Concepto de superficie de falla

El término superficie de falla se utiliza para referirse a una superficie asumida a lo largo de la cual puede ocurrir el deslizamiento o la rotura del talud (Figura 49); sin embargo, este deslizamiento o rotura no ocurre a lo largo de esas superficies si el talud es diseñado adecuadamente. En los métodos de límite de equilibrio el factor de seguridad se asume que es igual para todos los puntos a lo largo de la superficie de falla; por lo tanto, este valor representa un promedio del valor total en toda la superficie. Si la falla ocurre, los esfuerzos de cortante serían iguales en todos los puntos a todo lo largo de la superficie de falla.

Generalmente, se asume un gran número de superficies de falla para encontrar la superficie de falla con el valor mínimo de factor de seguridad, la cual se denomina “superficie crítica de falla”. Esta superficie crítica de falla es la superficie más probable para que se produzca el deslizamiento; no obstante, pueden existir otras superficies de falla con factores de seguridad ligeramente mayores, los cuales también se requiere tener en cuenta para el análisis.

Figura 51. Superficie de falla y dirección de la resistencia al cortante
(U. S. Corps of Engineers)



Fuente: Suárez Jaime, (2003). Deslizamientos: "Análisis Geotécnica", Cap. 4, Pág. 131, Superficie de falla y dirección de la resistencia al cortante (U. S. Corps of Engineers,).

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Formas de la superficie de falla

Las técnicas de límite de equilibrio se utilizan cuando las fallas corresponden a los deslizamientos de traslación o de rotación sobre superficies de falla determinadas (Figura 50). Se pueden estudiar superficies planas, circulares, logarítmicas, parabólicas y combinaciones de éstas. En los últimos años, se han desarrollado algunos modelos de superficies de falla con forma no geométrica.

Análisis de superficies planas

Cuando existen discontinuidades planas en la roca o en el suelo del talud, se acostumbra realizar el análisis de falla a traslación. Esta técnica asume el deslizamiento traslacional de un cuerpo rígido a lo largo de un plano o a lo largo de la intersección de dos planos, como el caso de la falla en cuña.

Análisis de superficies curvas

En los suelos o rocas blandas, las superficies de falla a deslizamiento, tienden a tener una superficie curva. A estas superficies se les conoce como “círculos de falla o superficies de falla rotacionales”. En los análisis de estabilidad, se debe determinar la localización de la superficie crítica de falla y el factor de seguridad a lo largo de esta superficie.

Las grietas de tensión

La existencia de grietas de tensión aumenta la tendencia de un suelo a fallar (Figura 51); la longitud de la superficie de falla a lo largo de la cual se genera resistencia, es reducida y adicionalmente, la grieta puede llenarse con agua. En el caso de las lluvias, se pueden generar presiones de poros transitorias que afectan la estabilidad del talud.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

La profundidad de las grietas de tensión puede determinarse de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Z_c = \frac{2c}{\gamma} \tan^2 \left(45 + \frac{1}{2} \phi \right)$$

Donde:

Z_c = Profundidad de la grieta de tensión.

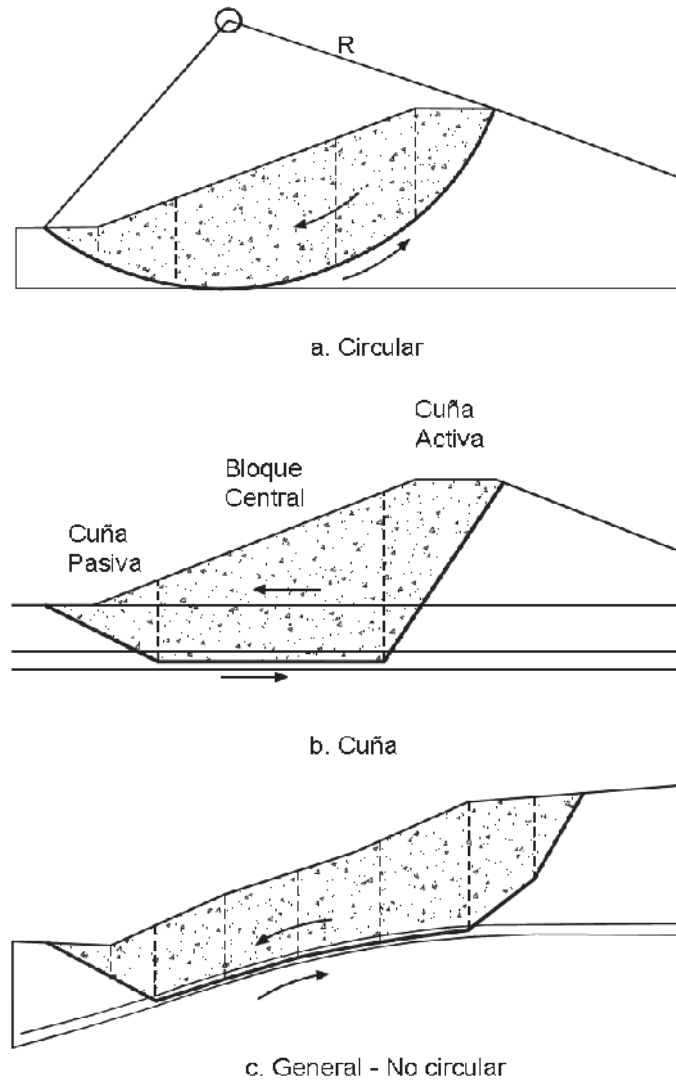
c = Cohesión.

γ = Peso unitario del suelo

ϕ = Ángulo de fricción.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Figura 52. Formas de la superficie de falla (U. S. Corps of Engineers, 2003)



La presencia de grietas de tensión dificulta, en forma considerable, la confiabilidad de los análisis cuando no se tiene en cuenta este factor. Las grietas de tensión son muy importantes y profundas en los cortes de taludes donde existe un alivio de presiones de confinamiento al ejecutarse la excavación.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

4.2.2.12. Parámetros utilizados en los análisis de límite de equilibrio

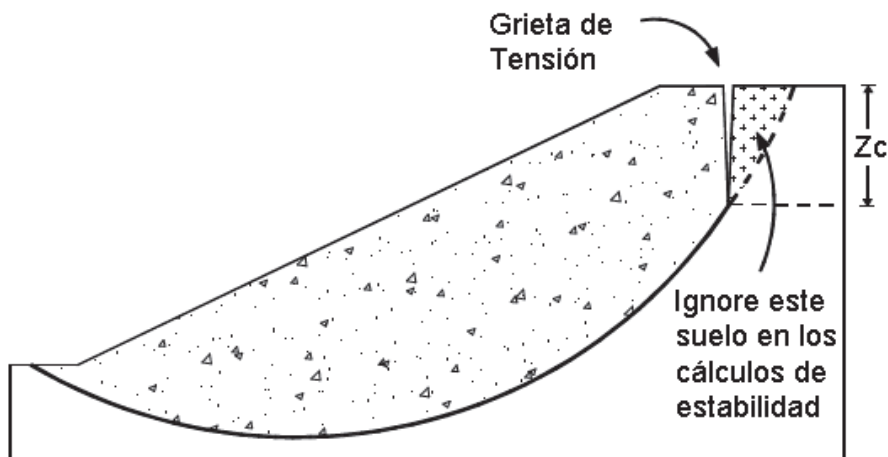
Los modelos tienen en cuenta los factores primarios que afectan la estabilidad. Estos factores incluyen geometría del talud, parámetros geológicos, presencia de grietas de tensión, cargas dinámicas por acción de los sismos, flujo de agua, propiedades de resistencia y peso unitario de los suelos, etc. Sin embargo, no todos los factores que afectan la estabilidad de un talud se pueden cuantificar para incluirlos en un modelo matemático de límite de equilibrio. Por lo tanto, hay situaciones en las cuales un enfoque de límite de equilibrio no produce resultados satisfactorios.

Pesos unitarios

El peso unitario es tal vez el parámetro más sencillo de medir para el análisis de estabilidad de los taludes, es el que influye menos en el factor de seguridad. Los pesos unitarios totales son pesos húmedos por encima del nivel freático y saturados por debajo de éste nivel. En el caso de que se utilicen pesos sumergidos, se debe ignorar la presencia de nivel freático. La densidad saturada se puede determinar asumiendo un valor de gravedad específica G , el cual se puede suponer igual a 2.68 para la mayoría de los suelos (Cornforth, 2005).

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Figura 53. Esquema de una grieta de tensión para análisis de límite de equilibrio (U. S. Corps of Engineers, 2003).



Resistencia al cortante

La resistencia al cortante que se va a utilizar en los análisis, puede ser medida por alguno de los métodos de laboratorio o de campo que se indicaron en el capítulo 3. Se debe tener en cuenta si se trata de condiciones drenadas o no drenadas o si el análisis es realizado en estado no-saturado. Los parámetros deben corresponder a los niveles de esfuerzos sobre las superficies de falla potenciales. En los casos en los cuales ya ha ocurrido la falla del talud, se recomienda emplear las resistencias residuales (Skempton, 1970, 1977, 1985). Igualmente, debe tenerse en cuenta la disminución de resistencia, con el tiempo. Para suelos que son completamente saturados, el ángulo de fricción para condiciones no drenadas, es igual a cero. La resistencia no drenada para suelos saturados puede ser determinada a partir de los ensayos no-consolidados no-drenados.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Para los suelos parcialmente saturados, tales como arcillas compactadas o suelos arcillosos por encima del nivel freático, las resistencias no drenadas deben obtenerse a partir de ensayos no-consolidados, no-drenados en muestras con el mismo grado de saturación que el suelo en el campo. La envolvente de falla para esos suelos generalmente, es curva y por lo tanto, es importante utilizar el mismo rango de presiones de confinamiento, tanto en los ensayos de laboratorio como en los de campo.

Condiciones drenadas o no drenadas

Las fallas de los taludes pueden ocurrir en condiciones drenadas o no drenadas. Si la inestabilidad es causada por los cambios en la carga, tal como la remoción de materiales de la parte baja del talud o aumento de las cargas en la parte superior (en suelos de baja permeabilidad) éstos pueden no tener tiempo suficiente para drenar durante el tiempo en el cual ocurre el cambio de carga. En ese caso, se dice que las condiciones son no drenadas.

Generalmente, los suelos tienen permeabilidades suficientes para disipar las presiones de poros en exceso y se comportan en condiciones drenadas. Para las ratas normales de carga que equivalen a meses o semanas, se pueden considerar drenados suelos con permeabilidades mayores de 10⁻⁴ cm/seg. En cambio, los suelos con permeabilidades menores de 10⁻⁷ cm/seg, se consideran no drenados. Mientras, las permeabilidades intermedias se consideran parcialmente drenadas.

Duncan (1996), recomienda que para los taludes en los cuales la causa de la falla es el aumento de la presión de poros (debida a las lluvias), el problema debe analizarse como condición drenada.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Para determinar las condiciones de drenaje, Duncan (1996) sugiere utilizar la siguiente expresión:

$$T = \frac{C_v t}{D^2}$$

Donde:

T = Factor adimensional

C_v = Coeficiente de consolidación

t = Tiempo de drenaje

D = Longitud del camino de drenaje a distancia de salida de agua al cambio de presiones.

Si T es mayor de 3, la condición es drenada.

Si T es menor de 0.01, la condición es no drenada.

Si T está entre 0.01 y 3.0, ocurre drenaje parcial durante el tiempo de cambio de cargas. En este caso, deben analizarse ambas condiciones, el caso drenado y el caso no drenado.

Esfuerzos totales y efectivos

Como se estudió en el capítulo anterior, los problemas de estabilidad de taludes pueden analizarse suponiendo sistemas de esfuerzos totales o efectivos. En principio, siempre es posible analizar la estabilidad de un talud utilizando el método de presión efectiva, porque la resistencia del suelo es gobernada por las presiones efectivas tanto en la condición drenada, como en la condición no drenada; sin embargo, en la práctica es virtualmente imposible determinar con precisión cuáles son los excesos de presión de poros que se van a generar por los cambios en las cargas (excavaciones, colocación de rellenos o cambios en el nivel de agua).

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Debido a esto, no es posible desarrollar análisis precisos de estabilidad en estas condiciones, utilizando procedimientos de esfuerzos efectivos. No obstante, se puede trabajar todo el análisis usando presiones efectivas, sin que se requiera especificar los valores de los excesos de poros en las condiciones no drenadas. La mayoría de los modelos de análisis trabajan con base en las presiones efectivas.

Estabilidad a corto y a largo plazo

En la estabilidad a corto plazo debe tenerse en cuenta que los suelos que no tienen un drenaje rápido, están sujetos a presiones de poros por acción de las cargas aplicadas. En la estabilidad a largo plazo, se supone que los suelos están drenados. Para la estabilidad (a corto plazo) de las arcillas normalmente consolidadas y de limos, se recomienda modelar con análisis de esfuerzos totales. Aunque se puede realizar el análisis empleando esfuerzos efectivos, es muy difícil estimar o medir las presiones de poros para su utilización en el análisis.

Para las arcillas sobre consolidadas, el análisis de estabilidad a corto plazo, prácticamente es imposible de realizar, debido a que la resistencia del suelo cambia muy rápidamente con el tiempo. En este caso, se recomienda utilizar la experiencia local en la formación arcillosa específica analizada y usar criterios empíricos (Cornforth, 2005).

La estabilidad a largo plazo, es más fácil de analizar que la estabilidad a corto plazo. Para todos los casos, se recomienda emplear análisis de esfuerzos efectivos.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

4.2.2.13. Limitaciones de los métodos de límite de equilibrio

Los análisis de límite de equilibrio tienen algunas limitaciones entre las cuales se encuentran las siguientes:

- Se basan solamente en la estática. Como los métodos de límite de equilibrio se basan solamente en la estática y no tienen en cuenta las deformaciones, las distribuciones de presiones, en muchos casos, no son realistas. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que estos esfuerzos no realistas, generalmente ocurren en algunas tajadas del análisis y no significa que el factor de seguridad general sea inaceptable.
- Suponen los esfuerzos uniformemente distribuidos. Debe tenerse cuidado cuando existan concentraciones de esfuerzos debidos a la forma de la superficie de falla o a la interacción de suelo-estructura.
- Utilizan modelos de falla muy sencillos. El diseño de taludes utilizando solamente la modelación con métodos de límite de equilibrio es completamente inadecuado si los procesos de falla son complejos, especialmente cuando están presentes los procesos de “creep”, la deformación progresiva, el flujo, la rotura por fragilidad, la licuación y otras formas de deterioro de la masa del talud.
- Generalmente se asume el material como isotrópico. La mayoría de los trabajos que aparecen en la literatura sobre el tema, asumen que el suelo es un material isotrópico y han desarrollado métodos de análisis de superficies circulares o aproximadamente circulares. Sin embargo, el mecanismo de falla en los materiales residuales donde aparece el suelo, la roca meteorizada y la roca sana, así como las formaciones aluviales y coluviales no-isotrópicas, requiere de nuevos enfoques y del estudio de las superficies de falla no simétricas.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

A pesar de las debilidades de un modelo específico, determinar el factor de seguridad asumiendo superficies probables de falla, permite al ingeniero tener una herramienta muy útil para la toma de decisiones. Los métodos de límite de equilibrio son una herramienta muy útil en la práctica y se recomienda tener cuidado de no abusar en la aplicación del método para casos complejos donde la distribución de esfuerzos y las deformaciones juegan un papel importante en el comportamiento del talud (Krahn, 2004).

4.2.2.14. Presiones de poros

Las condiciones de presión de poros son generalmente obtenidas de las características de las aguas subterráneas y pueden especificarse para los análisis, utilizando los siguientes métodos:

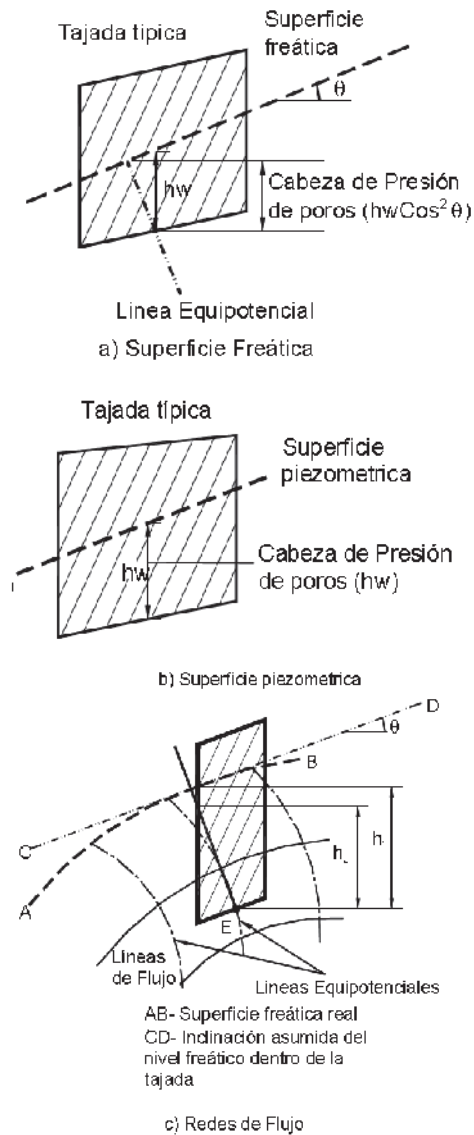
Superficie freática

Esta superficie o línea en dos direcciones, se define como el nivel libre del agua subterránea. En una superficie freática, la presión de poros es calculada de acuerdo con las condiciones de estado de régimen permanente (“*Steady-state*”). Este concepto se basa en la suposición de que todas las líneas equipotenciales sean ortogonales. Entonces, si la inclinación del segmento de superficie freática es θ y la distancia vertical entre el punto y la superficie freática es h_w , la presión de poros está dada por la expresión (Figura 52):

$$u = \gamma_w (h_w \cos^2 \theta)$$

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Figura 54. Representación de la presión de poros



En el caso de líneas freáticas de gran pendiente, el cálculo anterior puede resultar sobreestimado y se requiere tener en cuenta que las líneas equipotenciales tienden a ser curvas.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Datos piezométricos

Es la especificación de presiones de poros en puntos discretos dentro del talud y la utilización de un esquema de interpolación para estimar las presiones de poros requeridas en cualquier punto. Las presiones piezométricas pueden determinarse mediante piezómetros, redes de flujo o soluciones numéricas, haciendo uso de diferencias finitas o elementos finitos.

Aunque este sistema está disponible solamente en muy pocos de los programas de computador existentes, se recomienda por su confiabilidad, para representar las condiciones reales en el campo (Chugh, 1981).

Relación de presión de poros

Este es un método muy simple y popular para normalizar el valor de la presión de poros en un talud de acuerdo con la definición:

$$r_u = \frac{u}{\sigma_v}$$

Donde:

u = Presión de poros

σ_v = Esfuerzo total vertical del suelo a una profundidad z .

Este factor se implementa fácilmente, pero la mayor dificultad está asociada con la asignación de este parámetro en diferentes partes del talud. En ocasiones, el talud requiere de una extensiva subdivisión en regiones con diferentes valores de r_u .

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Superficie piezométrica

Se define para el análisis de una determinada superficie de falla. Debe tenerse claridad en que la superficie piezométrica no es la superficie freática y que el método para calcular la presión de poros, es diferente en los dos casos. En la superficie piezométrica, la presión de poros es la distancia vertical entre la superficie piezométrica indicada y el punto a analizar.

Presión de poros constante

Es un procedimiento que puede utilizarse si el ingeniero desea especificar una presión de poros constante, a una determinada capa del suelo. Este sistema puede emplearse para analizar la estabilidad de rellenos colocados sobre suelos blandos, durante la construcción, donde se generan presiones de poros de acuerdo con la teoría de la consolidación.

4.2.2.15. Presiones de poros negativas

En algunos casos, el ingeniero desea utilizar en los análisis las presiones de poros negativas para aprovechar la resistencia adicional o la cohesión aparente, debida a la succión en suelos no saturados. Aunque teóricamente la cohesión aparente es una realidad física, algunos autores no recomiendan su incorporación en los modelos de límite de equilibrio, debido a que puede generar valores de resistencia no confiables (Abramson y otros, 2002). Sin embargo, con los modelos de computador (actualmente disponibles) es relativamente sencillo incorporar las presiones de poros negativas para tener en cuenta el escenario de la situación no saturada.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

4.2.2.16. Efecto de los ductos de agua en la corona de los taludes

Siempre que sea posible, es imperativa la localización de los ductos de agua lejos de la corona de taludes o laderas donde se requiera su estabilidad. Como regla general, la distancia entre la corona de los taludes y la localización de todo tipo de tuberías y servicios, debe ser igual a la altura total del talud. Aunque éste es el estándar mínimo recomendado (Abramson, 1996), en ocasiones se requieren aislamientos mayores. Cuando no es posible mantener estos aislamientos, el talud debe ser diseñado para tener en cuenta su saturación debida a la muy posible infiltración de agua, teniendo en cuenta que en gran cantidad de casos, se producen fugas de los ductos.

4.2.2.17. Métodos de límite de equilibrio

Durante muchos años se ha realizado el análisis de los movimientos de los taludes o laderas, haciendo uso de las técnicas de límite de equilibrio. Este sistema supone que en el caso de una falla, las fuerzas actuantes y resistentes, son iguales a lo largo de la superficie de falla y equivalentes a un factor de seguridad de 1.0.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

El análisis se puede realizar estudiando directamente la totalidad de la longitud de la superficie de falla o dividiendo la masa deslizada en tajadas o dovelas. Cada día se han ido mejorando los sistemas de dovelas desarrollados por Petterson y Fellenius (1936). Algunos métodos son precisos y otros, solamente aproximados (Figura 53). Los métodos de Bishop (1955) y Janbú (1954) han sido muy utilizados en los últimos 50 años y se han desarrollado métodos de análisis más precisos y complejos como los de Morgenstern y Price (1965) y Spencer (1967), ayudados por programas de *software* que permiten realizar análisis muy rigurosos. Generalmente, los métodos son de iteración y cada uno de éstos posee un cierto grado de precisión.

En la tabla XIX se enumeran algunos de los métodos más utilizados.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

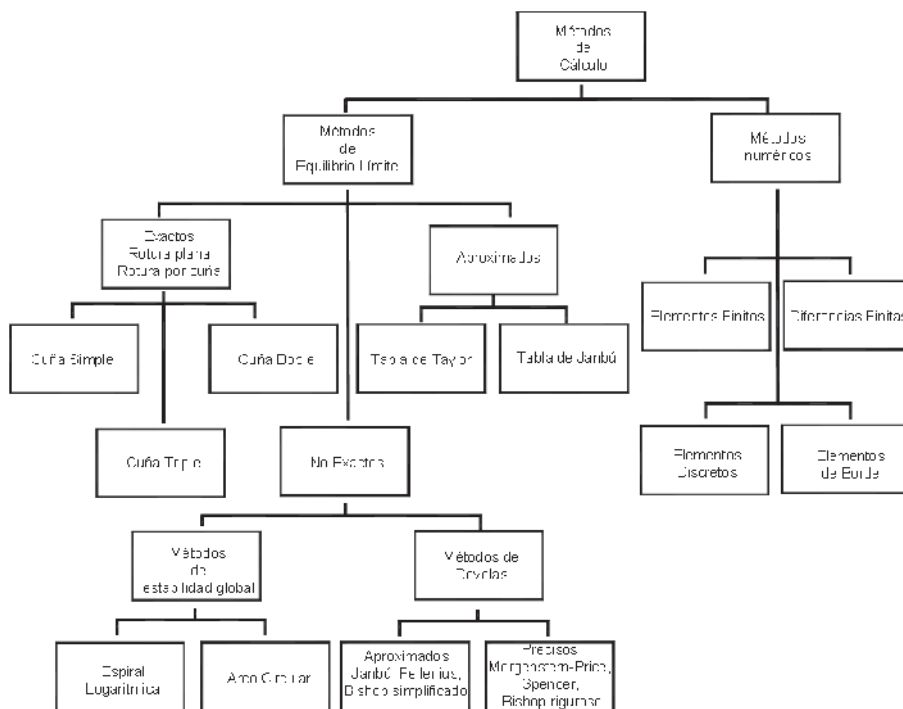
Tabla XIX. Métodos de análisis de estabilidad de taludes

Método	Superficies de Falla	Equilibrio	Características
Talud infinito	Rectas	Fuerzas	Bloque delgado con nivel freático, falla paralela a la superficie.
Bloques o cuñas	Cuñas con tramos rectos	Fuerzas	Cuñas simples, dobles o triples, analizando las fuerzas que actúan sobre cada cuña.
Espiral logarítmica (Frohlich, 1958)	Espiral logarítmica	Fuerzas y momentos	Superficie de falla en espiral logarítmica. El radio de la espiral varía con el ángulo de rotación.
Arco circular, (Fellenius, 1922)	Circulares	Momentos	Círculo de falla, el cual es analizado como un solo bloque. Se requiere que el suelo sea cohesivo ($\phi = 0$).
Ordinario o de Fellenius (Fellenius 1927)	Circulares	Fuerzas	No tiene en cuenta las fuerzas entre dovelas.
Bishop simplificado (Bishop 1955)	Circulares	Momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante, entre dovelas, son cero.
Janbú Simplificado (Janbú 1968)	Cualquier forma	Fuerzas	Asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas.
Sueco Modificado, U.S. Army Corps of Engineers (1970)	Cualquier forma	Fuerzas	Las fuerzas entre dovelas tienen la misma dirección que la superficie del terreno.
Lowe y Karafiath (1960)	Cualquier forma	Fuerzas	Las fuerzas entre dovelas están inclinadas en un ángulo igual al promedio de la superficie del terreno y las bases de las dovelas.
Spencer (1967)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	La inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada, pero son desconocidas.
Morgenstern y Price (1965)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	Las fuerzas entre dovelas, sea asume, que varían de acuerdo con una función arbitraria.
Sarma (1973)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	Utiliza el método de las dovelas en el cálculo de la magnitud de un coeficiente sísmico requerido para producir la falla.

Fuente: "Análisis Geotécnica", Capítulo 4, Pág. 136

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Figura 55. Organigrama de métodos de análisis de estabilidad de taludes



4.2.2.18. Tablas para análisis rápidos

Para los taludes simples homogéneos, se han desarrollado tablas que permiten un cálculo rápido del factor de seguridad. Existe una gran cantidad de tablas desarrolladas por diferentes autores. La primera de éstas fue desarrollada por Taylor en 1966. Desde entonces, han sido presentadas varias tablas sucesivamente por Bishop y Morgenstern (1960), Hunter y Schuster (1968), Janbú (1968), Morgenstern (1963), Spencer (1967), Terzaghi y Peck (1967) y otros.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

El uso de tablas no debe reemplazar los análisis rigurosos, sino que puede servir de base de comparación de los resultados, o para la evaluación rápida y general de las condiciones de estabilidad.

Las tablas dan una “idea” general del nivel de estabilidad de un talud. Las tablas de mayor utilidad son las que se elaboran para áreas homogéneas, específicas, locales con base en los análisis completos de estabilidad y debidamente validadas en campo.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Tabla XX. Listado de tablas para el cálculo de la estabilidad de taludes disponibles en la literatura.

Autor	Parámetros	Inclinación del Talud	Método Analítico Utilizado	Observaciones
Taylor (1966)	c_u c, ϕ	0-90° 0-90°	$\phi = 0$ Círculo de fricción	Análisis no drenado. Taludes secos solamente.
Bishop y Morgenstern (1960)	c, ϕ, r_u	11-26.5°	Bishop	Primero en incluir efectos del agua.
Gibson y Morgenstern	c_u	0-90°	$\phi = 0$	Análisis no drenado con cero resistencia en la superficie y c_u aumenta linealmente con la profundidad.
Spencer (1967)	c, ϕ, r_u	0-34°	Spencer	Círculos de pie solamente.
Janbú (1968)	c_u c, ϕ, r_u	0-90°	$\phi = 0$ Janbú GPS	Una serie de tablas para diferentes efectos de movimiento de agua y grietas de tensión.
Hunter y Schuster (1968)	c_u	0-90°	$\phi = 0$	Análisis no drenado con una resistencia inicial en la superficie y c_u aumenta linealmente con la profundidad.
Chen y Ciger (1971)	c, ϕ	20-90°	Análisis límite	
O'Connor y Mitchell (1977)	c, ϕ, r_u	11-26°	Bishop	Bishop y Morgenstern (1960) extendido para incluir $N_c = 0.1$
Hoek y Bray (1977)	c, ϕ c, ϕ	0-90° 0-90°	Círculo de fricción Cuña	Incluye agua subterránea y grietas de tensión. Análisis de bloque en tres dimensiones.
Cousins (1978)	c, ϕ	0-45°	Círculo de fricción	Extensión del método de Taylor (1966).
Charles y Soares (1984)	ϕ	26-63°	Bishop	Envolvente de falla no lineal de Mohr-Coulomb.
Barnes (1991)	c, ϕ, r_u	11-63°	Bishop	Extensión de Bishop y Morgenstern (1960) para un rango mayor de ángulos del talud.

Fuente: "Deslizamientos: Análisis Geotécnica". Capítulo 4, Pág. 138, Listado de tablas para el cálculo de la estabilidad de taludes

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

4.2.2.19. Tabla de Taylor

Una forma rápida para determinar el factor de seguridad de un talud, es utilizando las tablas de Taylor. Es importante tener en cuenta que el método de Taylor supone un suelo homogéneo y un manto rígido profundo. Este método sólo se utiliza para suelos cohesivos ($c \neq 0$) y se aplica solamente para el análisis de esfuerzos totales, debido a que no considera presiones de poros.

A continuación se presenta el procedimiento de manejo de la tabla de Taylor.

Paso 1. Parámetros que se requieren para el análisis.

- Altura del talud H (metros)
- Cohesión del suelo C_u (KN/m²)
- Pendiente del talud α (grados)
- Peso específico del suelo γ (KN/m³)
- Profundidad hasta el manto de suelo duro impenetrable D (Metros)

Paso 2. Calcular el factor de profundidad d

El factor de profundidad, d , se calcula por medio de la fórmula:

$$d = \frac{D}{H}$$

Donde:

D = profundidad del manto de suelo duro impenetrable (Roca).

H = altura del talud.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Paso 3. Determinar el número de estabilidad (N_o)

Del gráfico de Taylor (Figura 54) se determina el valor del número de estabilidad, N_o , el cual depende del ángulo del talud, ϕ , y del valor de “d” que se calculó en el paso anterior.

Paso 4. Calcular C_{req} para el factor de seguridad de 1.0.

Se utiliza la siguiente expresión:

$$N_o = \frac{\gamma^* H}{C_{req}}$$

Donde:

N_o = Numero de estabilidad que se obtiene de la tabla

C_{req} = Cohesión requerida para |F.S. = 1.0

= Peso unitario del suelo

H = Altura del talud

Paso 5. Calcular el Factor de seguridad del talud

Como paso final se calcula el factor de seguridad con la siguiente fórmula:

$$F.S. = \frac{C_u}{C_{req}}$$

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

4.2.2.20. Tablas de Janbú

Las tablas desarrolladas por Janbú (1968), permiten el análisis de diferentes condiciones geotécnicas y factores de sobrecarga en la corona del talud, incluyendo los niveles freáticos y grietas de tensión.

El método de tablas de Janbú presenta dos procedimientos, uno para suelos cohesivos ($c > 0$), y otro para suelos friccionantes ($c = 0$). Para suelos cohesivos, el procedimiento es el mismo de Taylor. Para los suelos friccionantes o mixtos, el procedimiento es un poco más complejo.

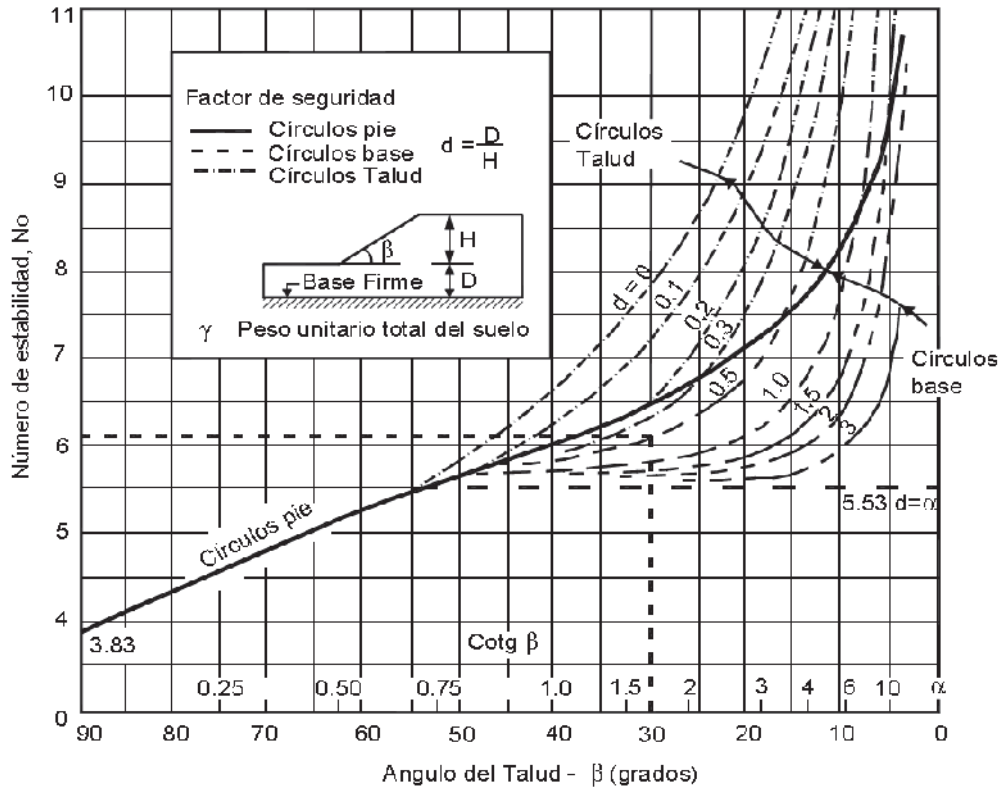
Procedimiento para las Tablas de Janbú para $c = 0$.

Paso 1. Parámetros que se requieren para el análisis

- Altura de cada suelo H (metros)
- Pendiente del talud α (grados)
- Cohesión del suelo C_u (KN/m²)
- Altura del nivel freático H_W (m)
- Peso específico del suelo γ (KN/m³)
- Perfil geotécnico incluyendo todos los mantos del suelo

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Figura 56. Tabla de Taylor



- Profundidad hasta el manto de suelo duro impenetrable D (Metros)

Paso 2. Calcular el factor de profundidad d

Calcular el factor d, por medio de la siguiente fórmula:

$$d = \frac{H_w}{H}$$

HW= Altura del nivel freático

H = Profundidad del pie del talud al punto más bajo del círculo de falla.

Fuente: "Deslizamientos: Análisis Geotécnica", Capitulo 4, Pág. 140, Tabla de Taylor (Taylor, 1966).

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Paso 3. Obtener la localización del círculo crítico (X_o , Y_o). (Figura 55)

De las Figuras 55 y 56, determinar la localización del centro del círculo crítico X_o , Y_o . Para los taludes más empinados que 53° , el círculo crítico pasa por el pie. Para taludes más tendidos de 53° , el círculo crítico pasa tangente a la superficie firme o roca.

Paso 4. Calcular C promedio

Utilizando como guía el círculo estimado, se determina el valor promedio de la resistencia, C. Esto se realiza calculando el promedio ponderado de las resistencias a lo largo del arco de falla, con el número de grados interceptado por cada tipo de suelo como factor de ponderación.

Paso 5. Calcular el factor de reducción

Puede encontrarse factor de reducción por carga adicional, factor de reducción por sumergencia e infiltración, factor de reducción por grieta de tracción sin presión hidrostática en la grieta y factor de reducción por grieta de tracción con presión hidrostática en la grieta. En las figuras 57 a 58, se muestran las tablas que se emplearán según el caso que se presente.

Paso 6. Calcular P_d

P_d se calcula con la siguiente fórmula:

$$P_d = \frac{(\gamma^* H) + q - (\gamma_w^* H_w)}{\mu_q * \mu_w * \mu_t}$$

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Figura 57. Coordenada X_0 para el círculo crítico.

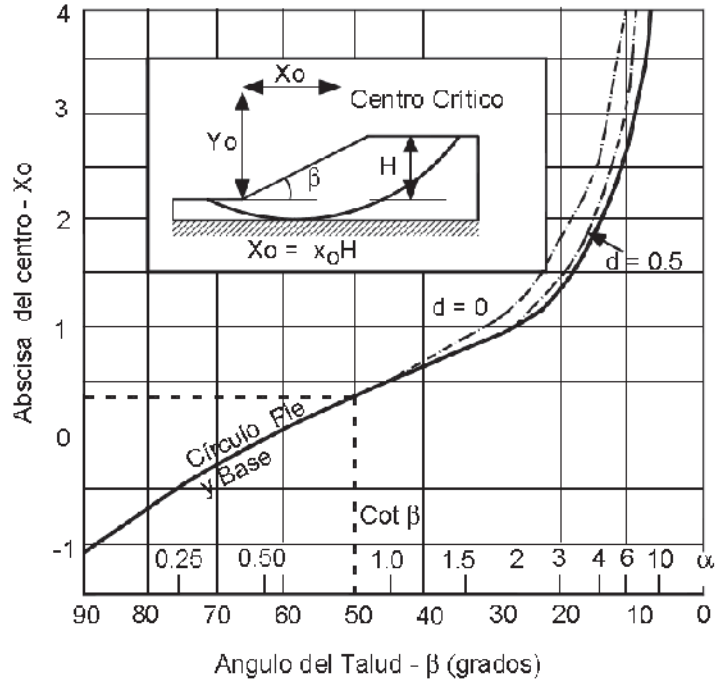
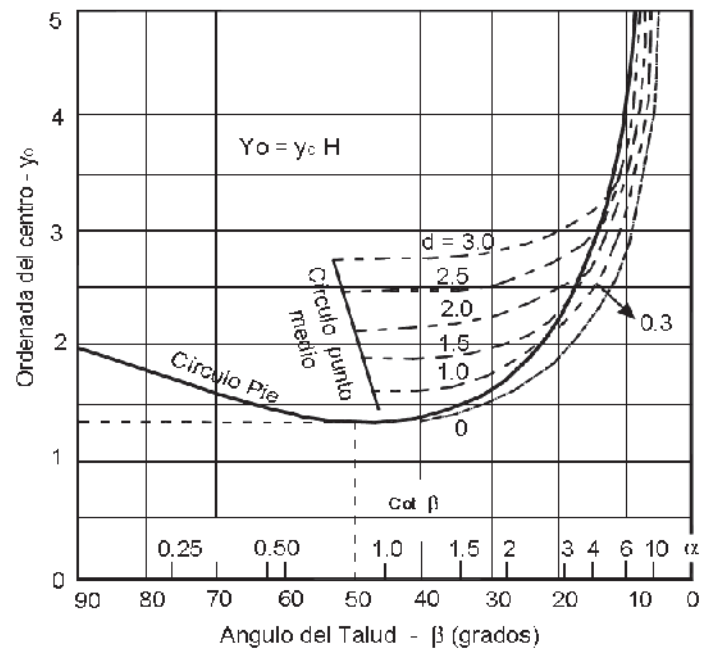


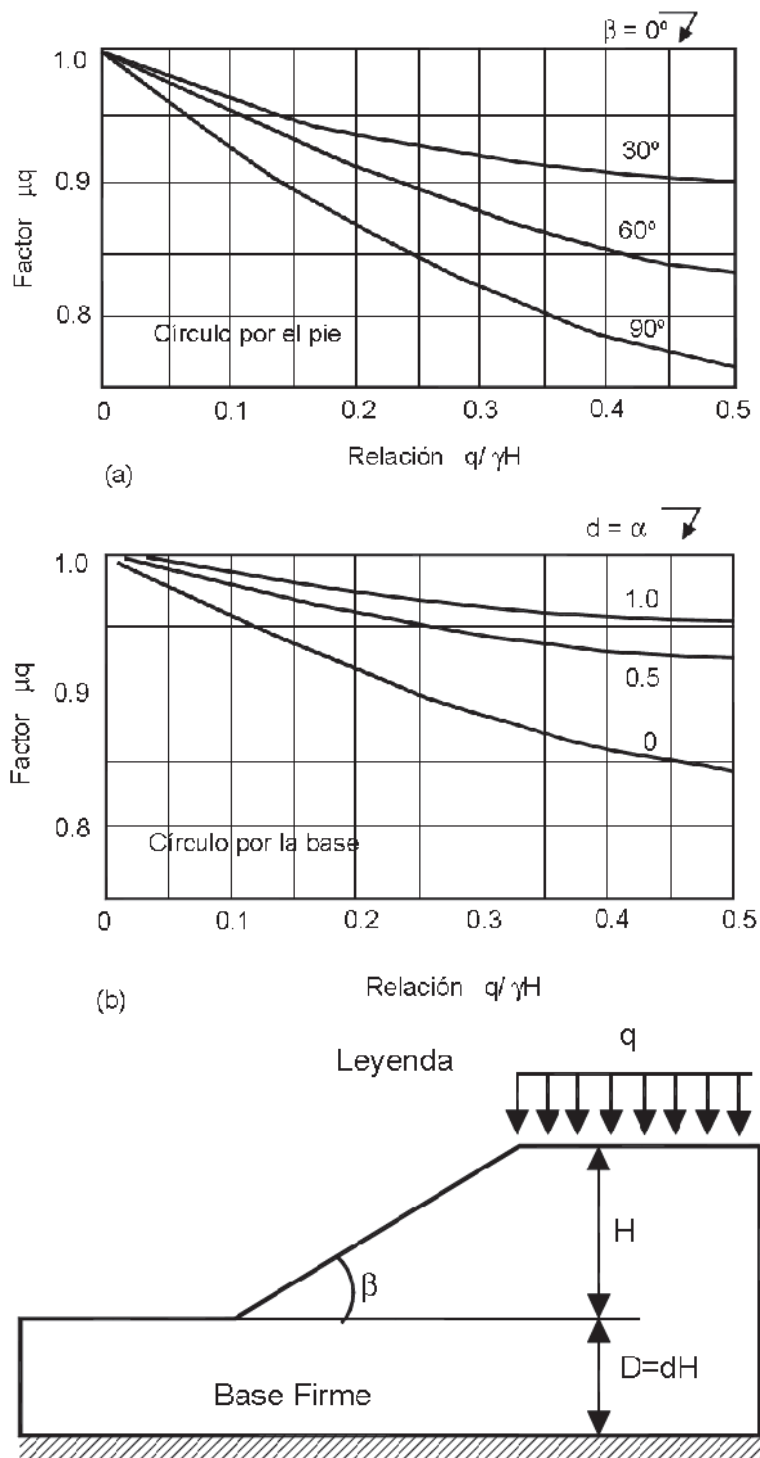
Figura 58. Coordenada Y_0 para el círculo crítico.



Fuente: "Deslizamientos: Análisis Geotécnica", Capítulo 4, Pág. 141, Coordenadas X_0 y Y_0 para Círculo Crítico (Janbú 1968)

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

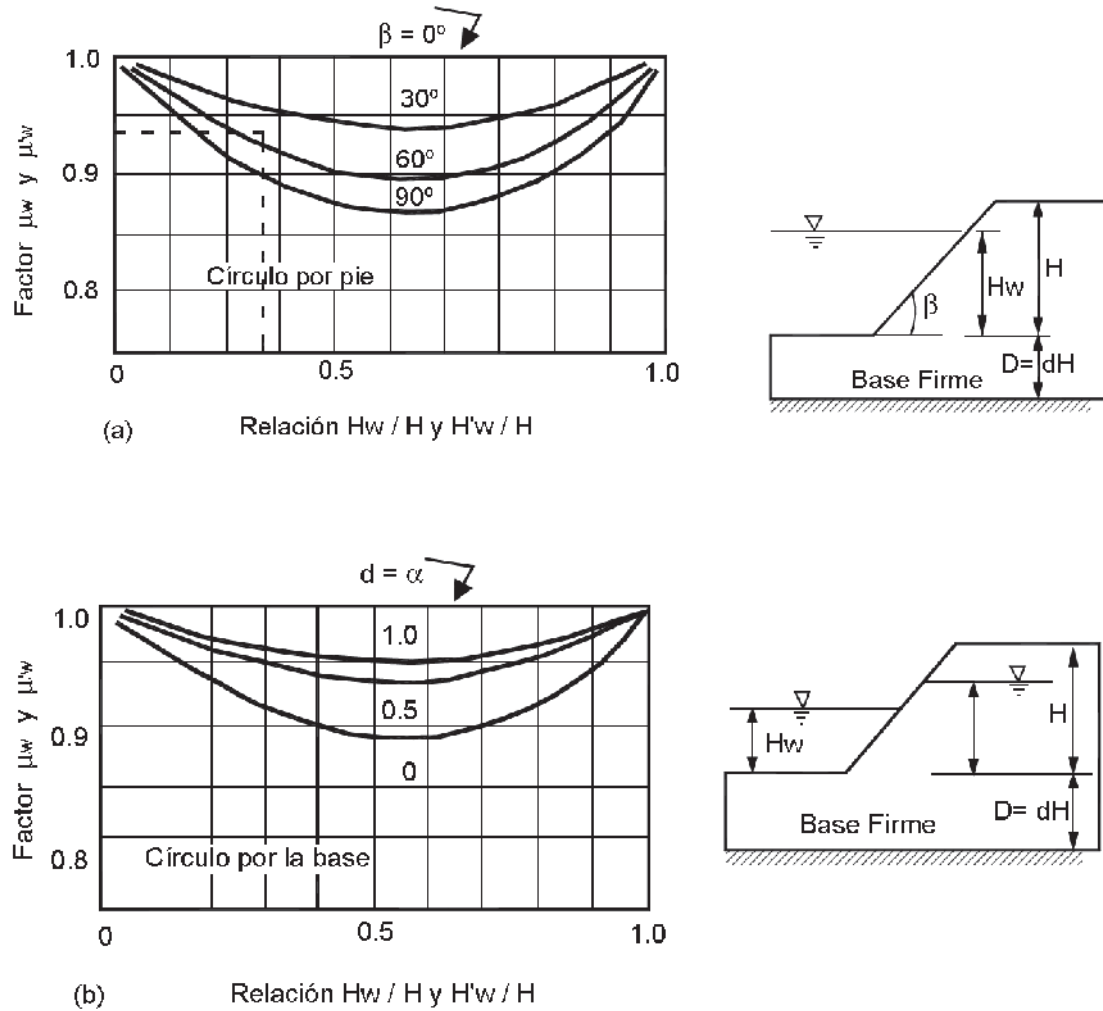
Figura 59. Factor de reducción por carga adicional para tablas de Janbú



Fuente: "Deslizamientos: Análisis Geotécnica", Capítulo 4, Pág. 141, Factor de reducción por carga adicional para tablas de Janbú

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

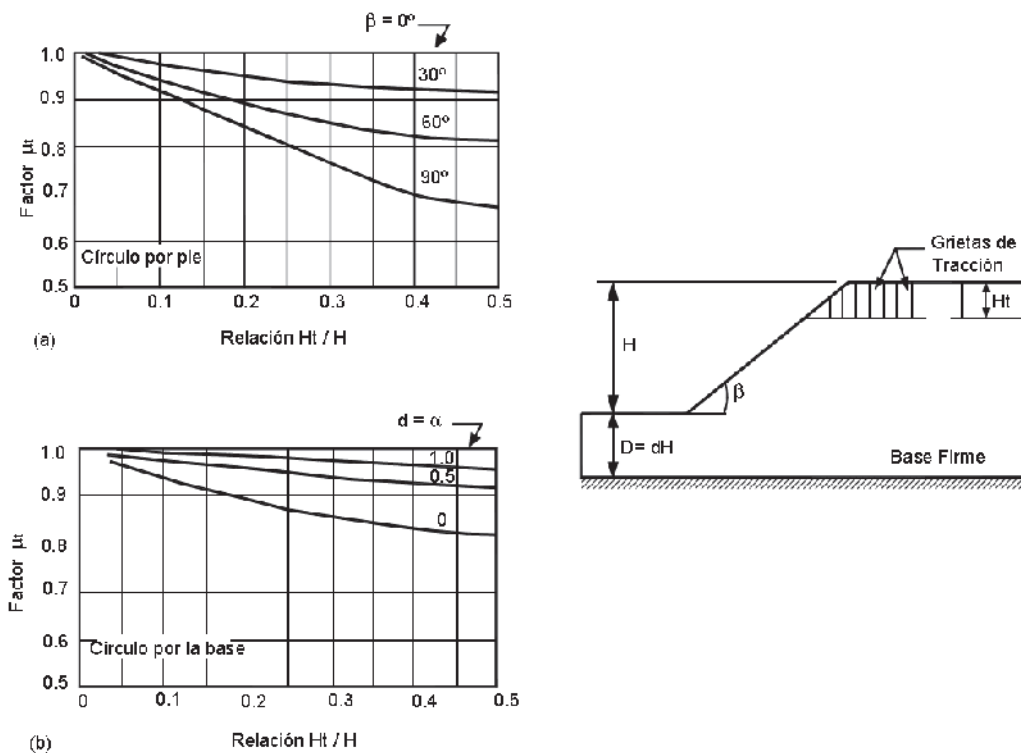
Figura 60. Factor de reducción por sumergencia (μ_w) e infiltración ($\mu'w$).



Fuente: "Deslizamientos: Análisis Geotécnica", Capítulo 4, Pág. 142, Factor de reducción por sumergencia (μ_w) e infiltración ($\mu'w$).

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Figura 61. Factor de reducción por grieta de tracción sin presión Hidrostática en ésta. (Janbú, 1968)



Donde:

γ = peso unitario promedio del suelo

H = altura del talud

q = sobrecarga

w = peso unitario del agua

H_w = altura de agua fuera del talud

μ_q = factor de reducción por sobrecarga

μ_w = factor de reducción por sumergencia

μ_t = factor de reducción por grieta de tensión

Si no hay sobrecarga, $\mu_q = 1$; si no hay sumergencia, $\mu_w = 1$ y si no hay grieta de tensión, $\mu_t = 1$.

Fuente: Suárez Jaime, Deslizamientos: Análisis Geotécnica, Capítulo 4, Pág. 142, Factor de reducción por grieta de tracción sin presión hidrostática en ésta (Janbú, 1968)

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

En la fórmula de P_d se toma $q = 0$, $\mu q = 1$ para la condición no consolidada

Paso 7. Calcular el número de estabilidad N_o

De la Figura 61, se determina el valor del número de estabilidad, N_o , que depende del ángulo del talud.

Paso 8. Calcular la cohesión requerida

Se calcula despejando c_{req} de la fórmula del número de estabilidad N_o .

$$N_o = \frac{\gamma^* H}{C_{req}}$$

Paso 9. Calcular el factor de seguridad

Se utiliza la expresión:

$$F.S. = \frac{N_o * C_{req}}{P_d}$$

Procedimiento para las Tablas de Janbú para $\phi > 0$.

A continuación, se describen los pasos a seguir para este caso, que es similar al anterior desde el paso 1 hasta el paso 6.

Paso 1. Parámetros que se requieren para el análisis

Paso 2. Calcular el factor d .

Paso 3. Obtener la localización del círculo crítico.

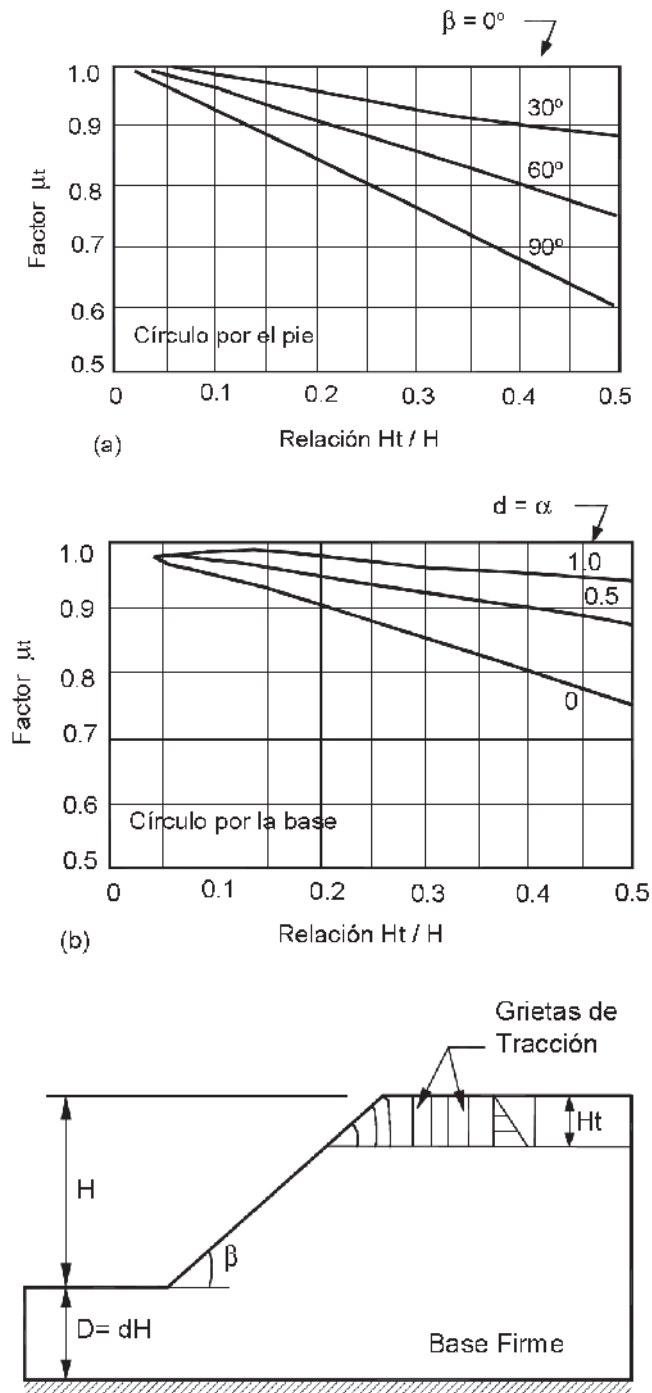
Paso 4. Calcular C promedio

Paso 5. Calcular el factor de reducción

Paso 6. Calcular P_d

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Figura 62. Factor de reducción por grieta de tracción con presión hidrostática en ésta.



Fuente: "Deslizamientos: Análisis Geotécnica". Capítulo 4, Pág. 143, Factor de reducción por grieta de tracción con presión hidrostática en ésta

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Figura 63. Número de estabilidad

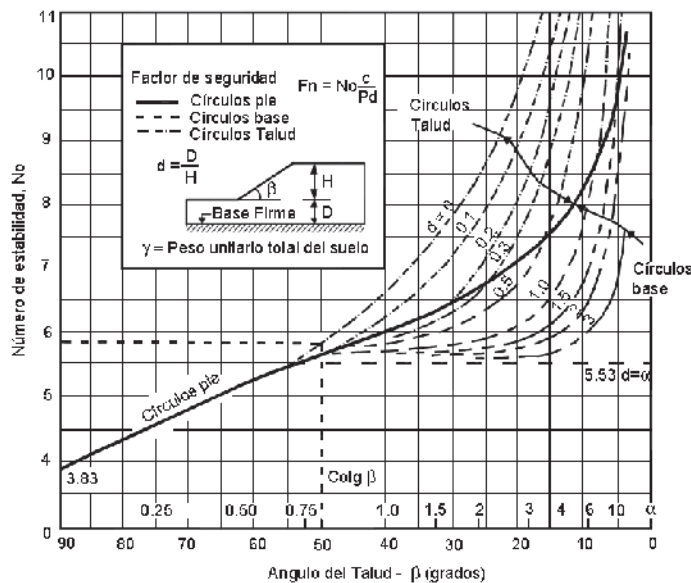
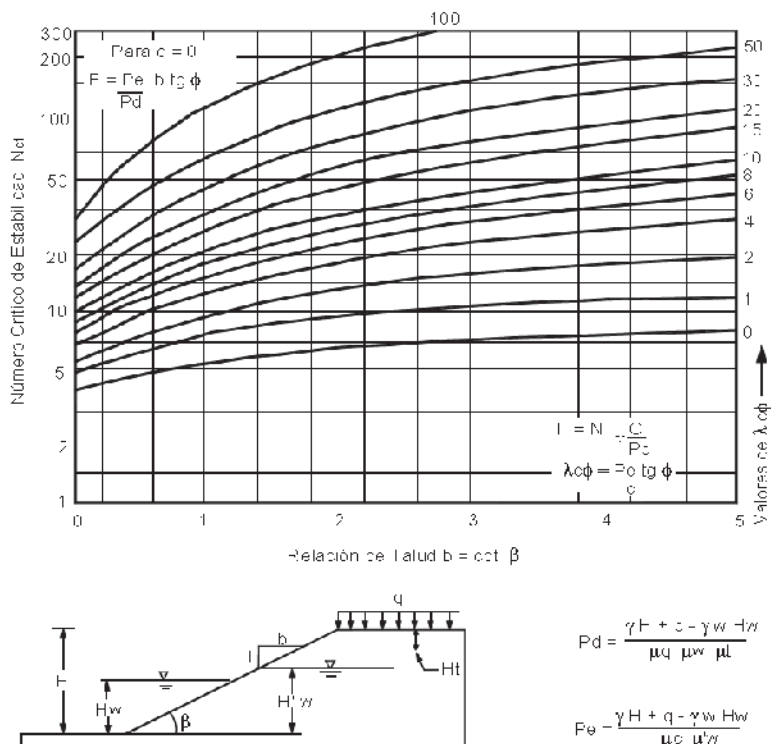


Figura 64. Número de estabilidad N_{cf} .



Fuente : "Deslizamientos: Análisis Geotécnica", Capítulo 4, Pág. 144, Número de estabilidad N_d .

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Paso 7. Calcular P_e

P_e se calcula con la siguiente fórmula:

$$P_e = \frac{(\gamma * H) + q - (\gamma_w * H'_w)}{\mu_q * \mu'_w}$$

Donde:

H'_w = altura del agua dentro del talud.

μ'_w = factor de reducción por infiltración.

Si la sobrecarga se aplica rápidamente, de modo que no hay suficiente tiempo para que los suelos se consoliden bajo la sobrecarga, se toma $q=0$ y

$\mu_q = 1$ en la fórmula de P_e . Si no existe sobrecarga,

$\mu_q = 1$, y si no existe infiltración, $\mu'_w = 1$.

Paso 8. Calcular el parámetro a dimensional C . Este parámetro es calculado con la siguiente fórmula:

$$\lambda C \phi = \frac{P_e * \tan \phi}{C}$$

Donde:

$\tan \phi$ = valor promedio de $\tan \phi$.

C = valor promedio de las cohesiones

Paso 9. Calcular el número de estabilidad N_{cf}

Para calcular este número de estabilidad, se usa la tabla presentada en la Figura 62.

Paso 10. Calcular el factor de seguridad

El factor de seguridad se calcula con la siguiente fórmula:

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

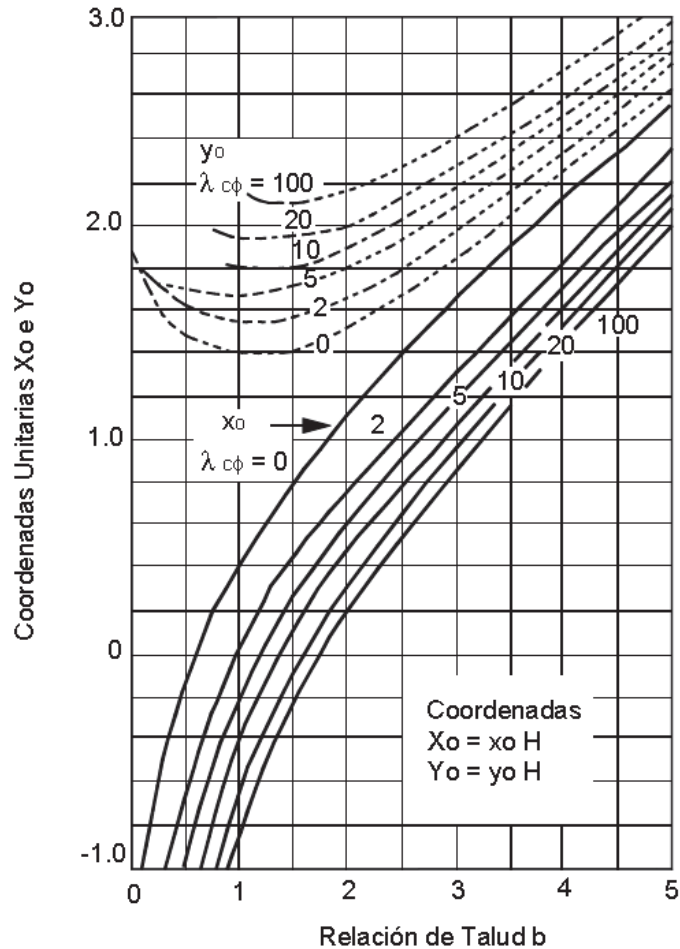
$$F.S. = N_{ef} * \frac{C}{P_d}$$

Paso 11. Obtener la localización del círculo crítico.

Para obtener las coordenadas del círculo crítico, se emplea la tabla mostrada en la Figura 63.

Se calcula $b = \cot \gamma$

Figura 65. Coordenadas del centro del círculo crítico (suelos con $\phi > 0$).



Fuente: "Deslizamientos: Análisis Geotécnica", Capítulo 4, Pág. 145, Coordenadas del centro del círculo crítico (Suelos con $\phi > 0$).

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

4.2.2.21. Método del talud infinito

Con frecuencia, en los deslizamientos de gran magnitud, la mayor parte de la masa deslizada se mueve aproximadamente en forma paralela a la superficie del terreno. La naturaleza del movimiento está controlada por algún elemento geológico como una capa de roca o una capa de materiales poco resistentes. Si la longitud relativa del deslizamiento es muy grande en relación con su espesor, la contribución de la resistencia en la cabeza y el pie del deslizamiento, es menor comparada con la resistencia del resto de la superficie de falla.

En las condiciones indicadas, se presenta una falla paralela a la superficie del talud, a una profundidad somera y la longitud de la falla es mayor comparada con su espesor. Este tipo de deslizamiento se puede analizar suponiendo un talud infinito.

El método del talud infinito es un sistema muy rápido y sencillo para determinar el factor de seguridad de un talud, suponiendo un talud largo con una capa delgada de suelo, en el cual, cualquier tamaño de columna de suelo es representativo de todo el talud (Figura 64). Las suposiciones del método del talud infinito son las siguientes: suelo isotrópico y homogéneo, talud infinitamente largo y superficie de falla paralela al talud. El principal uso del método del talud infinito es la elaboración de planos de amenaza a los deslizamientos mediante el uso de SIGs.

Para un talud uniforme y relativamente largo, en el cual el mecanismo de falla esperado no es muy profundo, los efectos de borde son despreciables y el factor de seguridad puede calcularse (para un talud infinito) a partir de una unidad de área con base en el criterio Mohr - Coulomb.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

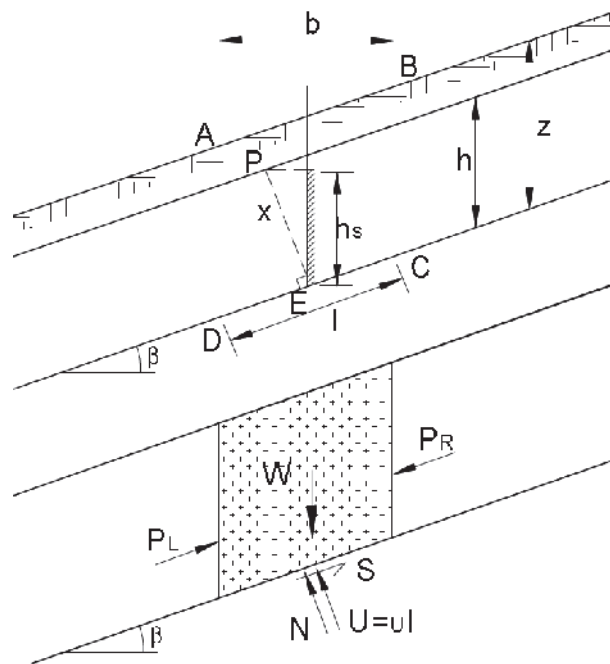
Analizando el elemento de la figura 64 y realizando una igualdad de fuerzas resistentes y actuantes, se obtiene la siguiente expresión:

$$F.S. = \frac{c' + (\gamma z - \gamma_w h) \cos^2 \beta \tan \phi'}{\gamma z \sin \beta \cos \beta}$$

Simplificando para un talud seco de suelos sin cohesión ($c' = 0$)

$$F.S. = \frac{\tan \phi}{\tan \beta}$$

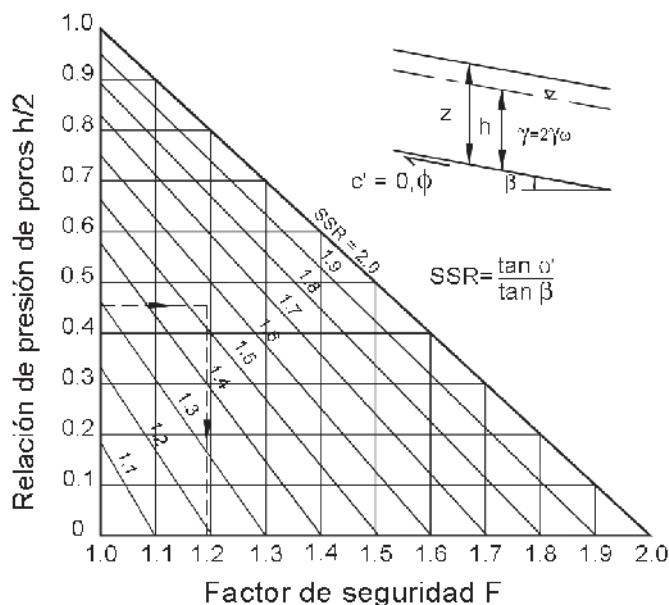
Figura 66. Diagrama de análisis, método del talud infinito



Fuente: "Deslizamientos: Análisis Geotécnica", Capítulo 4, Pág. 146, Diagrama de análisis, método del talud infinito. (Cornforth 2005)

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Figura 67. Determinación del factor de seguridad FS para diferentes alturas del nivel de agua de una determinada relación de resistencia para el talud seco (SSR).



El ángulo de fricción para el factor de seguridad igual a 1.0, se le denomina ángulo de reposo.

Si en el caso anterior, el nivel de agua se encuentra en la superficie del terreno y por lo tanto, el suelo se encuentra totalmente saturado y la cohesión es cero, se obtiene la siguiente expresión:

$$F.S. = \frac{\gamma' \tan \phi'}{\gamma \tan \beta}$$

Donde:

γ' = peso unitario sumergido

γ = peso unitario saturado

Fuente: "Deslizamientos: Análisis Geotécnica" Capítulo 4, Pág. 146, Determinación del factor de seguridad FS para diferentes alturas del nivel de agua de una determinada relación de resistencia para el talud seco (SSR). (Cornforth, 2005).

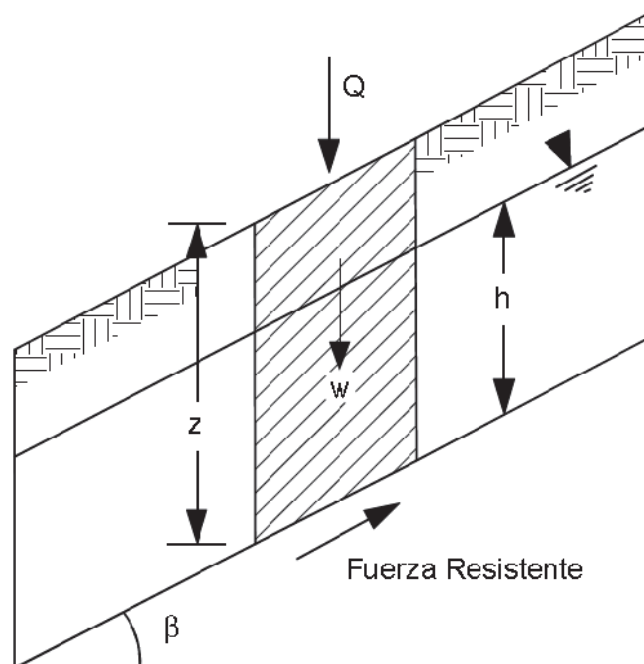
4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

De la anterior expresión se obtiene que si el suelo se encuentra saturado totalmente, el factor de seguridad es aproximadamente la mitad del factor de seguridad del talud seco. El factor de seguridad disminuye a medida que sube el nivel del agua (Figura 65). El factor de seguridad varía con la posición del nivel freático de acuerdo con la relación r_u que se denomina coeficiente de presión de poros y que relaciona la presión de poros con la altura del suelo.

$$r_u = \frac{u}{\gamma z}$$

El método del talud infinito también se puede aplicar a los taludes de suelos cohesivos siempre y cuando la falla sea paralela a la superficie del talud.

Figura 68. Talud infinito.



Fuente: Deslizamientos: Análisis Geotécnica, Capítulo 4, Pág. 147, Talud Infinito

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

El método del talud infinito cumple condiciones para el equilibrio de fuerzas y el equilibrio de momentos a pesar de que no se considera explícitamente, debido a que las fuerzas son colineales y la fuerza normal actúa en el centro del bloque (Duncan y Wright, 2005).

Este método es muy preciso para el análisis de los suelos estratificados, con falla paralela a la superficie del terreno.

4.2.2.22. Procedimiento para el Método de Talud Infinito

Paso 1. Parámetros que se requieren para el análisis. Se requiere conocer:

- Altura de la masa deslizante z (metros).
- Altura del agua subterránea medida durante el movimiento h (metros).
- Ángulo de inclinación con la horizontal (grados).
- Peso específico del suelo (KN/m^3).
- Ángulo de fricción (grados).
- Cohesión C (KN/m^2).

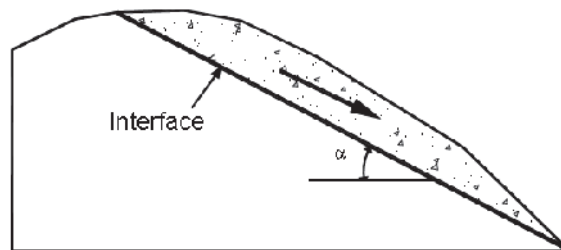
Paso 2. Calcular el factor de seguridad.

El factor de seguridad varía con la posición del nivel freático y se determina por medio de la siguiente expresión:

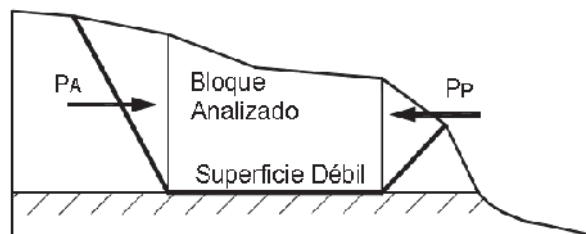
$$F.S. = \frac{Pp + c'_m L + (W - u) \tan \theta'_m}{P_a}$$

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

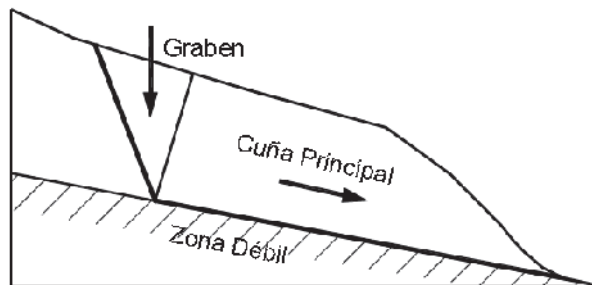
Figura 69. Tipos de bloques o cuñas para análisis de estabilidad de los taludes.



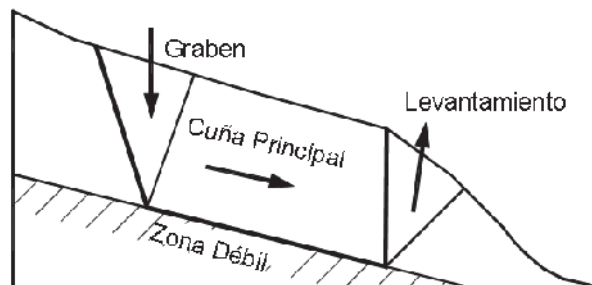
a) Cuña Simple



b) Bloque Deslizante



c) Cuña Doble



d) Cuña Triple

Fuente: "Deslizamientos: Análisis Geotécnica", Capítulo 4, Pág. 147, Tipos de bloques o cuñas para análisis de estabilidad de los taludes

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

4.2.2.23. Análisis de bloques o cuñas

El análisis de estabilidad de los taludes puede realizarse suponiendo superficies de falla rectas predeterminadas. Pueden analizarse superficies compuestas por una sola línea o por varias líneas, formando cuñas simples, dobles o triples (Figura 67). Este tipo de análisis es apropiado cuando hay una superficie potencial de falla relativamente recta a lo largo de un material relativamente duro o relativamente blando; por ejemplo, los mantos aluviales débiles. Uno de estos métodos es conocido como “método del bloque deslizante”.

En el análisis de cuñas dobles o triples, se requiere determinar la localización del bloque central crítico, las inclinaciones críticas de las cuñas activa y pasiva, y los factores de seguridad mínimos o críticos.

Los métodos para la localización del bloque central crítico se muestran en la figura 68 (a) y se refieren a la variación sistemática de las coordenadas de los dos extremos de la base del bloque central hasta encontrar el factor de seguridad mínimo. Para cada posición del bloque central, se varían las inclinaciones de las cuñas activa y pasiva con el fin de encontrar el factor de seguridad mínimo para cada posición del bloque. (Figura 68 (b)). Una suposición que se efectúa con frecuencia, es establecer la inclinación de cada cuña activa a un ángulo de $45^\circ + \gamma/2$ y cada cuña pasiva a $45^\circ - \gamma/2$. Esta suposición solo es válida cuando las superficies superiores de las cuñas son horizontales, pero puede utilizarse cuando son pendientes suaves. Otra técnica utilizada es la suposición de cuñas que aumentan de inclinación, de abajo hacia arriba.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

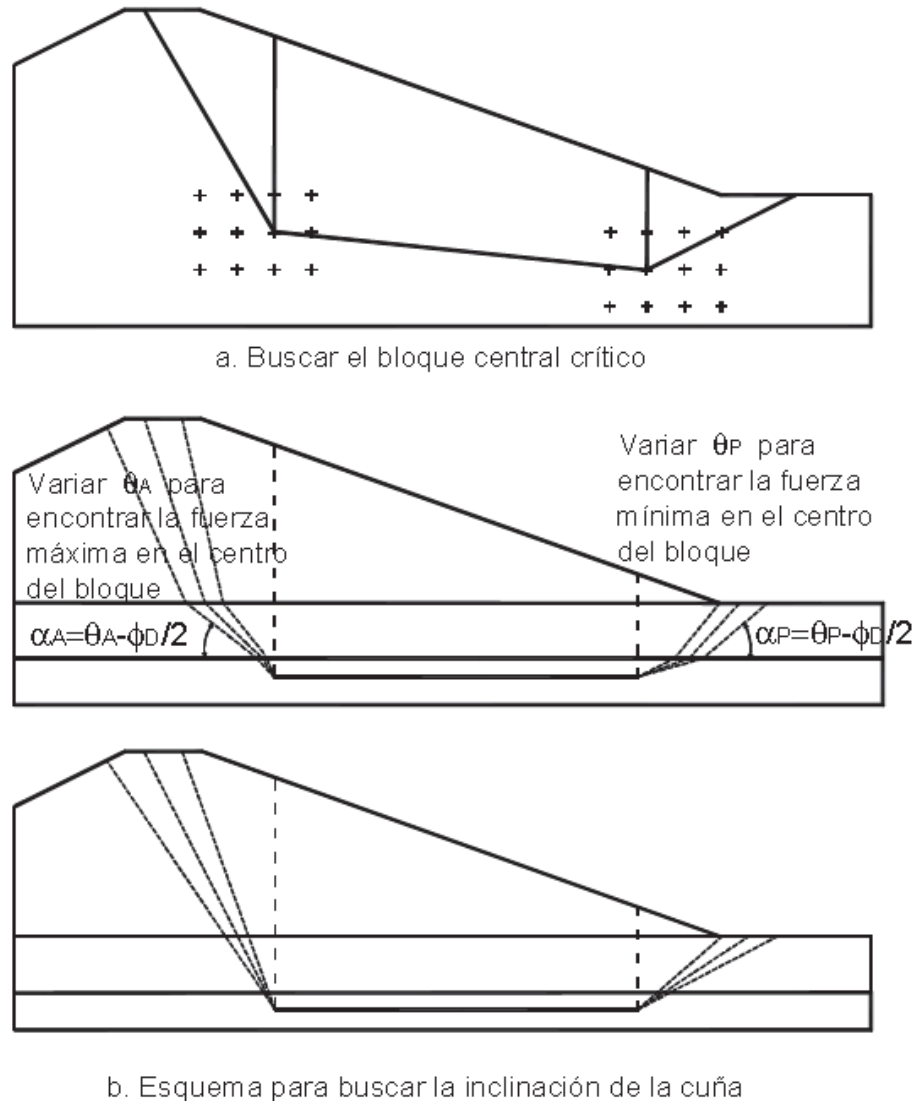
4.2.2.24. Método del bloque deslizante

El análisis del bloque deslizante se puede utilizar cuando a una determinada profundidad existe una superficie de debilidad relativamente recta y delgada (subhorizontal). La masa que se mueve puede dividirse en dos o más bloques y el equilibrio de cada bloque se considera independiente, al utilizar las fuerzas entre bloques (Figura 69).

No se considera la deformación de los bloques, que es útil, cuando existe un manto débil o cuando aparece un manto muy duro sobre el cual se puede presentar el deslizamiento.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Figura 70. Análisis de cuñas. Suposiciones de localización de cuñas para calcular factores de seguridad



En el caso de tres bloques, a la cuña superior se le llama “cuña activa” y las otras dos, “cuña central” y “pasiva”, respectivamente. El factor de seguridad se puede calcular sumando las fuerzas horizontales de esta manera:

Fuente: “Deslizamientos: Análisis Geotécnica”, Pág. 148, Análisis de cuñas. Suposiciones de localización de cuñas para calcular factores de seguridad

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

$$F.S. = \frac{(C * L) + (W \cos \alpha * \tan \phi')}{W \sin \alpha}$$

Donde:

P_p = fuerza pasiva producida por la cuña inferior.

P_a = fuerza activa producida por la cuña superior.

c'_m = cohesión efectiva del suelo blando en la base del bloque central.

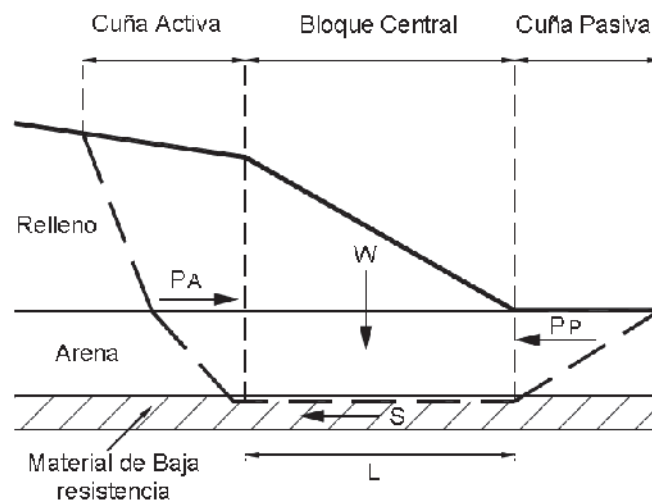
L = longitud del fondo del bloque central.

W = peso total del bloque central.

u = fuerza total de poros en el fondo del bloque central.

m = fricción del suelo en el fondo del bloque

Figura 71. Esquema del método del bloque deslizante.



Los valores de las presiones activas y pasivas se pueden obtener utilizando las teorías de presión de tierras de Rankine o de Coulomb; teniendo en cuenta el valor de la cohesión movilizada. Cuando hay dos bloques interrelacionados, se puede obtener una expresión similar.

Fuente: "Deslizamientos: Análisis Geotécnica", Pág. 149, Esquema del método del bloque deslizante

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

4.2.2.25. Método de la cuña simple

Este método supone una superficie recta de un solo tramo, el cual puede analizarse como una cuña simple, con la superficie de falla inclinada, a un determinado ángulo con la horizontal (Figuras 70 y 71). Una falla de superficie plana puede ser analizada, fácilmente, con una solución de forma cerrada, la cual depende de la geometría de la pendiente y de los parámetros de fuerza cortante del suelo a lo largo del plano de falla.

Se requiere calcular las siguientes fuerzas:

- El peso de la cuña (W), descompuesto en la fuerza tangente y la fuerza normal, FN y FT .
- $FN = W \cos \alpha$
- $FT = W \sin \alpha$
- La fuerza de cohesión, $F_c = C \times L$
- La fuerza de fricción, $F_f = FN \times \tan \phi'$.

El factor de seguridad se determina por medio de la expresión:

$$F.S. = \frac{(C * L) + (W \cos \alpha * \tan \phi')}{W \sin \alpha}$$

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Figura 72. Fuerzas que actúan sobre una cuña simple

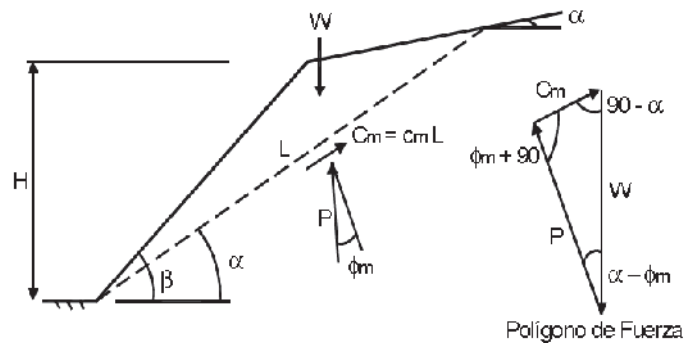
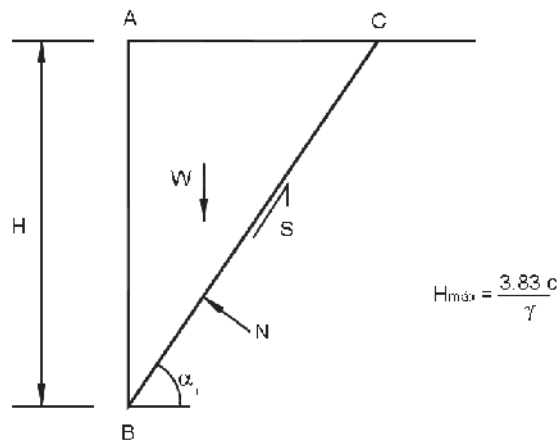


Figura 73. Análisis de la altura máxima de un talud vertical en un suelo cohesivo analizado con cuña simple



4.2.2.26. Método de la cuña doble

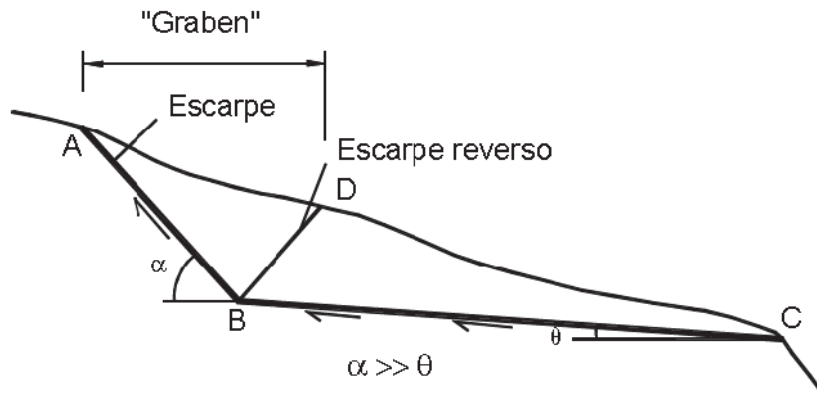
Se hace el análisis de una cuña con dos tramos rectos de superficie de falla (figura 72). La cuña superior tiene generalmente una pendiente fuerte y la inferior, una pendiente más suave.

La cuña superior genera una fuerza de empuje sobre la cuña inferior y ésta debe ser capaz de resistir la fuerza impuesta por la cuña superior.

Fuente: "Deslizamientos: Análisis Geotécnica", Pág. 149, Análisis de la altura máxima de un talud vertical en un suelo cohesivo analizado con cuña simple

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Figura 74. Sección típica de una falla de doble cuña.



Generalmente, se utiliza para simular fallas sobre las superficies planas, duras, tales como roca o sobre superficies planas, blandas (manto de arcilla blanda).

Debido a que las dos cuñas son geoméricamente muy diferentes, se produce un hundimiento de la cuña superior (graben) y la cuña inferior se mueve horizontalmente.

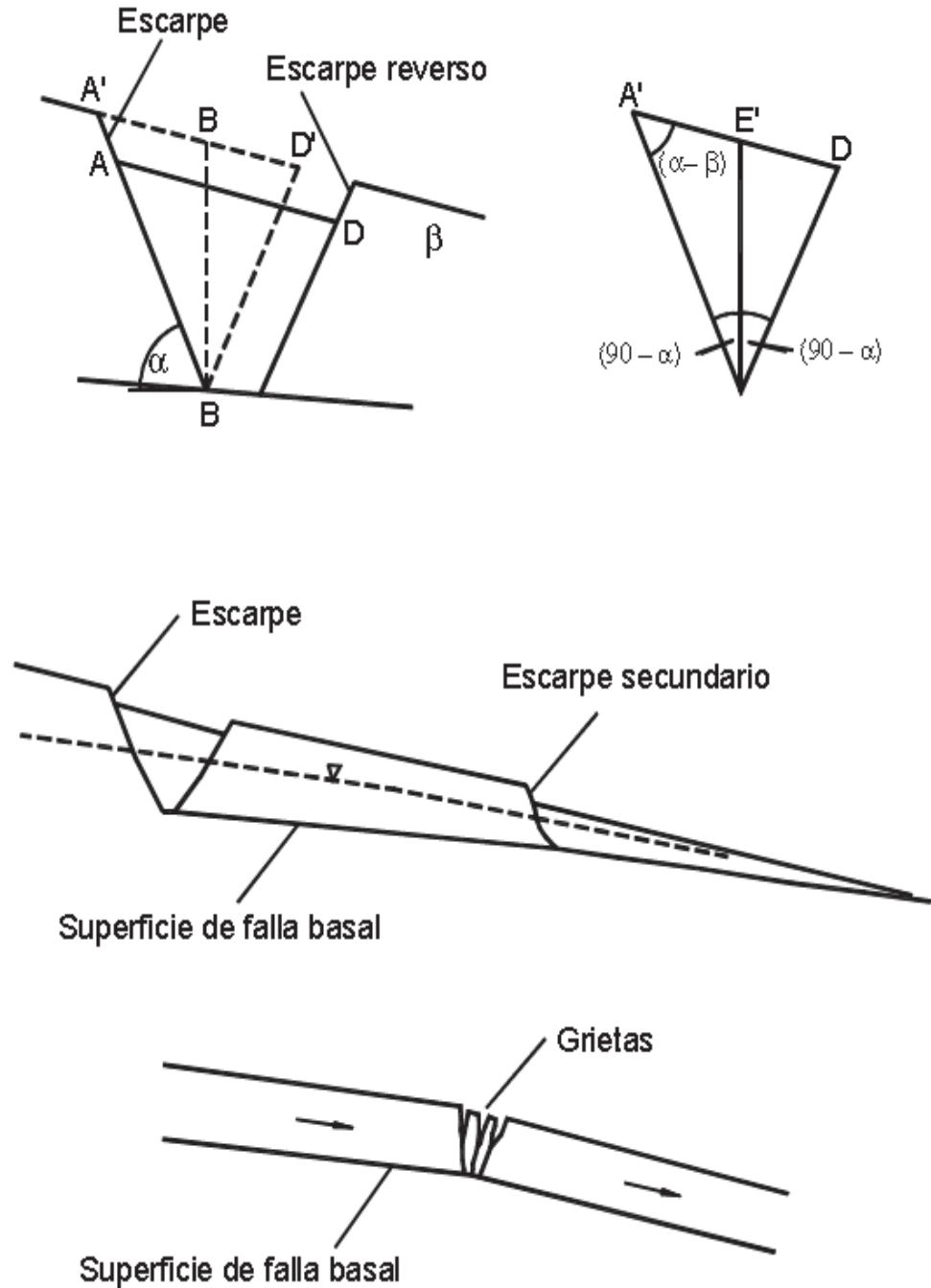
En el campo, este tipo de fallas se reconocen por la presencia del "graben" (figura 73). La localización, profundidad y extensión del "graben" permite determinar la profundidad de la falla en campo. Para el análisis, se estudia la estabilidad de cada bloque en forma independiente con las respectivas fuerzas (Figura 74).

Adicionalmente a la formación del "graben", se puede presentar un escarpe secundario en la parte inferior del deslizamiento y en la práctica, se forman tres cuñas.

Fuente: "Deslizamientos: Análisis Geotécnica", Pág. 150, Sección típica de una falla de doble cuña

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

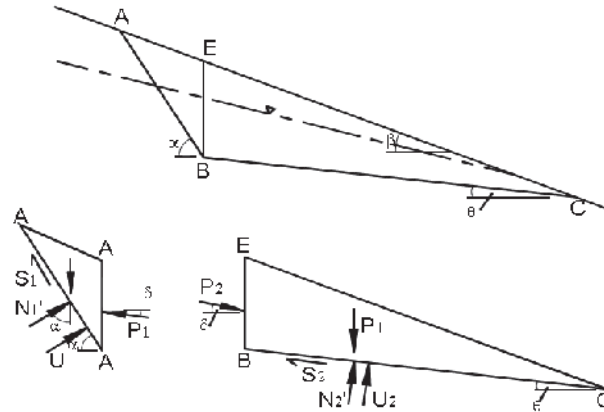
Figura 75. Formación de "graben" en una falla de doble cuña.



Fuente: " Deslizamientos: Análisis Geotécnica", Pág. 150, Formación de "graben" en una falla de doble cuña

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Figura 76. Fuerzas que actúan sobre las cuñas en una falla de doble cuña



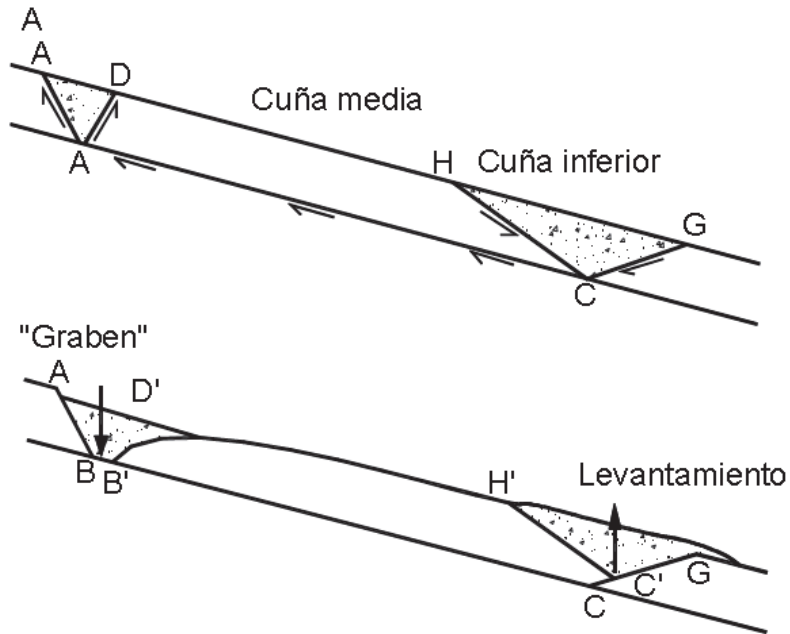
4.2.2.27. Método de la cuña triple

La falla de triple cuña es común en los grandes deslizamientos. Al igual que la falla de doble cuña, ésta es controlada por detalles geológicos como, una formación de roca o la presencia de mantos blandos. En la figura 75 se muestra cómo ocurre un hundimiento en la parte superior del deslizamiento (graben) y cómo ocurre un levantamiento en la parte inferior, del tal modo, que se forma la tercera cuña.

En la falla de triple cuña, las dos cuñas superiores empujan a la cuña inferior para generar el levantamiento del pie del movimiento. Uno de los factores más importantes para determinar son los ángulos de falla de la cuña superior y de la cuña inferior, los cuales no son controlados por las características geológicas del talud. El análisis se realiza estudiando (en forma independiente) las fuerzas que actúan sobre cada bloque (Figura 76).

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Figura 77. Esquema típico de una falla de triple cuña



4.2.2.28. Ángulos de las cuñas

Cuando se encuentra un caso para el análisis con cuña triple, es importante investigar los posibles ángulos de las cuñas de la cabeza y del pie. Existe muy poca información de casos históricos y no existen reglas simples para suponer estos ángulos (Cornforth, 2005). Cuando ocurre una falla, se recomienda excavar "apiques" para determinar los ángulos con el objeto de poderlos utilizar en el análisis de casos similares en la misma formación geológica.

Generalmente, la inclinación de la cuña superior es de pendiente fuerte y la de la cuña inferior es de baja pendiente, esta inclinación puede ser hasta de 10° .

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

4.2.2.29. Método de la espiral logarítmica

En el procedimiento de la espiral logarítmica, la superficie de falla se supone que tiene una forma de espiral como se muestra en la figura 77.

Inicialmente, suponemos un punto de centro y un radio r_0 para definir la espiral. El radio de la espiral varía con el ángulo de rotación θ , alrededor del centro de la espiral, de acuerdo con la expresión:

$$r = r_0 e^{\theta \tan \phi_d}$$

Donde:

ϕ_d = es el ángulo de fricción desarrollado el cual, depende del ángulo de fricción del suelo y del factor de seguridad.

Los esfuerzos al cortante se pueden expresar en esfuerzos totales de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\tau = \frac{c}{F} + \sigma \frac{\tan \phi}{F}$$

o en términos de las resistencias desarrolladas.

$$\tau = C_d + \sigma \tan \phi_d$$

Las ecuaciones de la espiral logarítmica son relativamente complejas para los cálculos manuales, debido a la forma de la superficie de falla.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Figura 78. Fuerzas que actúan en una falla de triple cuña

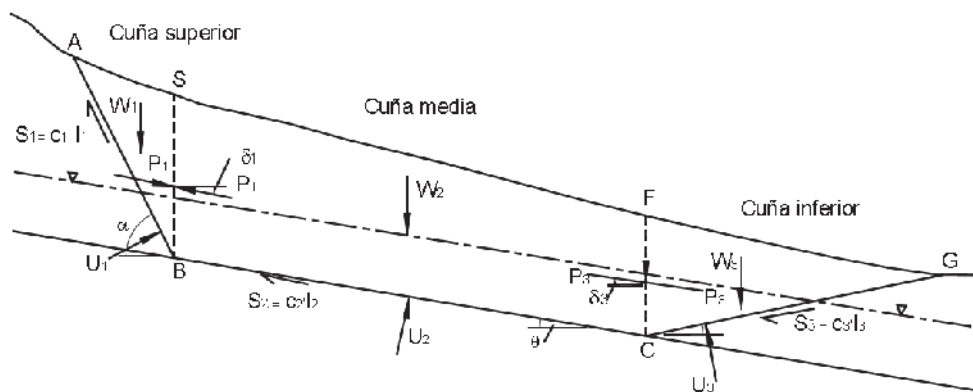
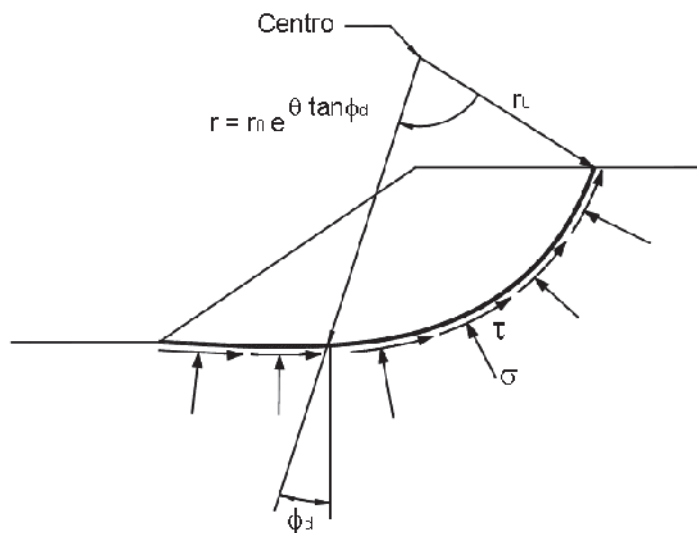


Figura 79. Talud y superficie de falla espiral logarítmica



Sin embargo, con el uso del computador el análisis relativamente es sencillo. El método de la espiral logarítmica satisface equilibrios de fuerzas y de momentos y eso hace que el procedimiento sea comparativamente preciso.

Fuente: "Deslizamientos: Análisis Geotécnica". Pág. 151 y 152, Fuerzas que actúan en una falla de triple cuña, (Cornforth. 2005) v Talud v superficie de falla espiral logarítmica (Frohlich. 1953).

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Para algunos autores, el método de la espiral logarítmica, teóricamente es el mejor procedimiento para el análisis de taludes homogéneos. Igualmente, este método es utilizado en varios programas de computador para el diseño de taludes reforzados utilizando geomallas o “*nailing*” (Duncan y Wright, 2005).

4.2.2.30. Métodos de círculos de falla

Las fallas observadas en los materiales relativamente homogéneos, ocurren a lo largo de las superficies curvas. Por facilidad de cálculo, las superficies curvas se asimilan a círculos y la mayoría de los análisis de estabilidad de taludes se realizan suponiendo fallas circulares.

La localización de los círculos de falla generalmente se hace dibujando una grilla de puntos para centros de giro de los círculos y desde esos puntos, se trazan los círculos utilizando alguno de los siguientes criterios (Figura 78):

- Círculos de igual diámetro.
- Círculos que pasan por un mismo punto.
- Círculos tangentes a una o varias líneas determinadas.

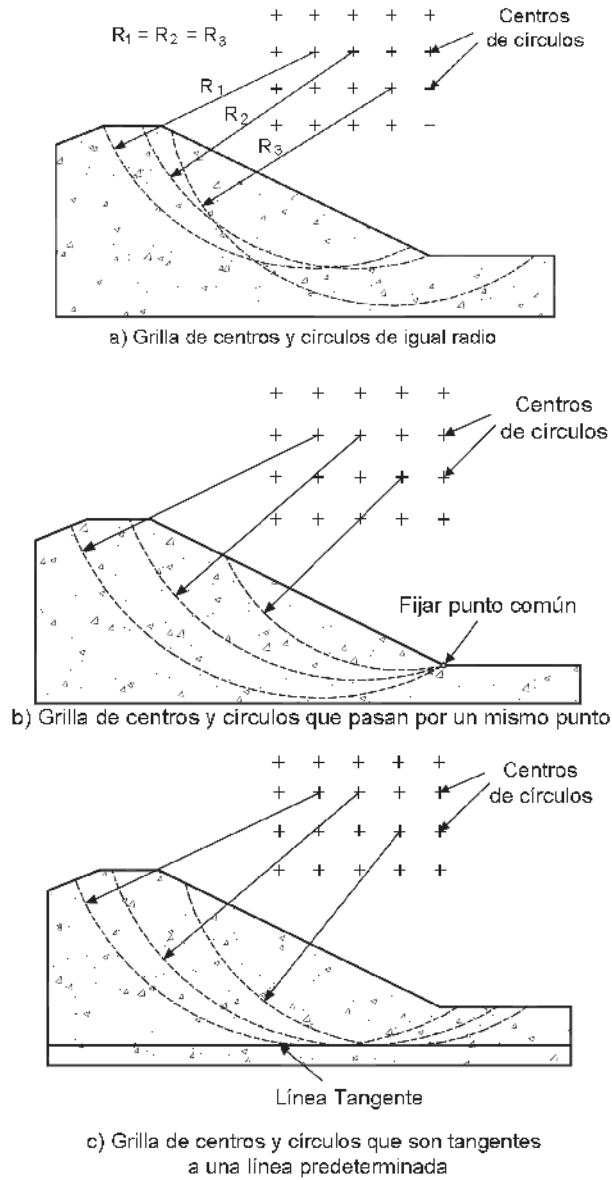
Los factores de seguridad para todos y cada uno de los círculos se calculan por medio de uno o varios de los métodos existentes y el factor de seguridad del talud es el mínimo $F. S.$ obtenido de todos los círculos analizados.

4.2.2.31. Método del arco circular

El método del arco circular se le utiliza sólo para los suelos cohesivos ($c = 0$). El método fue propuesto por Petterson en 1916 (Petterson, 1955) pero sólo fue formalizado por Fellenius en 1922.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

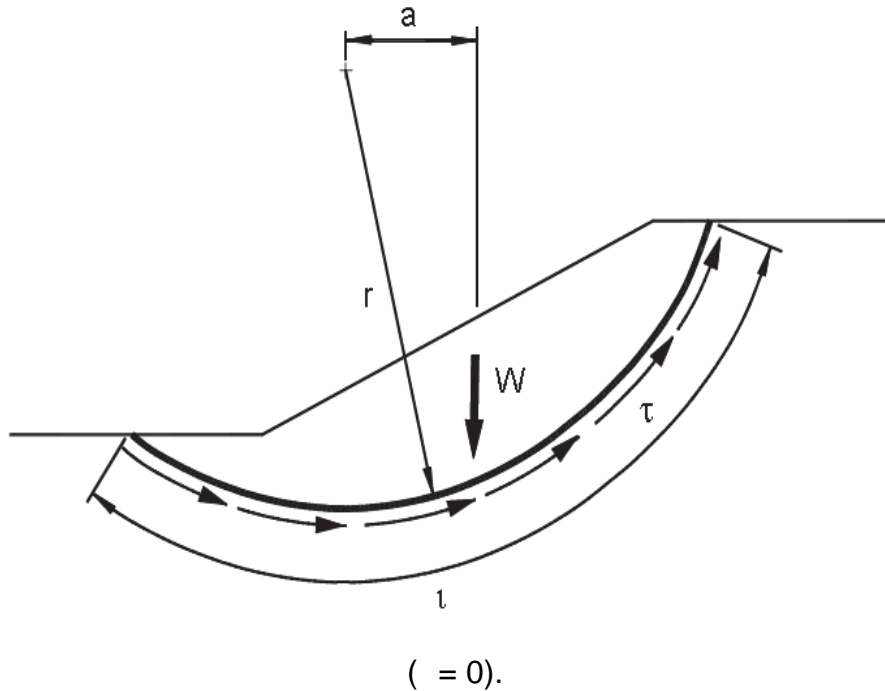
Figura 80. Alternativas de procedimiento de localización de los círculos de falla para el análisis de estabilidad de taludes.



Fuente: "Deslizamientos: Análisis Geotécnica", Pág. 152, Alternativas de procedimiento de localización de los círculos de falla para el análisis de estabilidad de taludes

4. DEFINICIÓN Y SÍNTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Figura 81. Fuerzas en un análisis de arco circular



En la práctica, el método es un caso de la espiral logarítmica en el cual la espiral se convierte en círculo. No obstante, los análisis son más sencillos para el caso del arco circular y por otra parte, el desarrollo de este método fue anterior al de la espiral logarítmica.

En el método del arco circular se supone un círculo de falla y se analizan los momentos con relación al centro del círculo (Figura 79).

$$F = \frac{clr}{W_a}$$

Fuente: "Deslizamientos: Análisis Geotécnica", Pág. 153, Fuerzas en un análisis de arco circular (= 0) (Duncan y Wright, 2005).

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Donde:

c = cohesión.

l = longitud del arco de círculo.

r = radio del círculo.

W = peso total de la masa en movimiento.

a = brazo de la fuerza W con respecto al centro del círculo.

El método del arco circular satisface tanto el equilibrio de fuerzas como el equilibrio de momentos. Aunque la ecuación fue desarrollada inicialmente para un valor único de cohesión, puede extenderse para cohesiones diferentes a lo largo del arco circular y se puede reemplazar el término $c * l * r$ por el término $c * l * r$.

El procedimiento de análisis es sencillo y la única dificultad es el cálculo del brazo (“ a ”) para el momento de la fuerza W .

Comúnmente, el análisis se realiza en forma manual elaborando gráficos.

4.2.2.32. Métodos de dovelas

En la mayoría de los métodos con fallas curvas o circulares, la masa de la parte superior de la superficie de falla se divide en una serie de tajadas verticales. El número de tajadas depende de la geometría del talud y de la precisión requerida para el análisis. Entre mayor sea el número de tajadas, se supone que los resultados serán más precisos. En los procedimientos de análisis con tajadas, generalmente se considera el equilibrio de momentos con relación al centro del círculo para todas y cada una de las tajadas (figura 80).

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Entre los diversos métodos que utilizan dovelas, hay diferencias, especialmente en lo referente a las fuerzas que actúan sobre las paredes laterales de las tajadas (Figuras 81 y 82). El método ordinario o de Fellenius, no tiene en cuenta las fuerzas entre tajadas.

El método simplificado de Bishop supone que las fuerzas laterales entre tajadas, son horizontales y desprecia las fuerzas de cortante y otros métodos más precisos como los de Morgenstern y Price, que utilizan una función para calcular las fuerzas entre dovelas.

4.2.2.33. Método ordinario o de fellenius

El método de Fellenius es conocido también como método Ordinario, método sueco, método de las Dovelas o método U.S.B.R. Este método asume superficies de falla circulares, divide el área de falla en tajadas verticales, obtiene las fuerzas actuantes y resultantes para cada tajada y con la sumatoria de los momentos con respecto al centro del círculo (producidos por estas fuerzas) se obtiene el Factor de Seguridad.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Figura 82. Esquema de un sistema típico de análisis con tajadas o dovelas

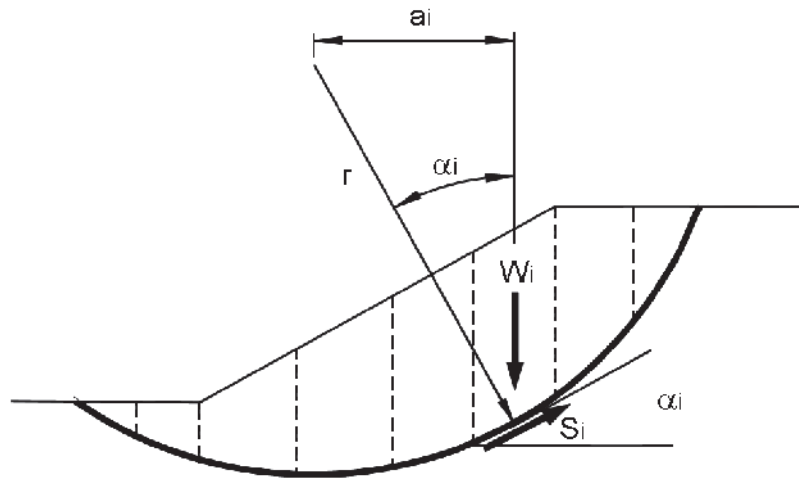
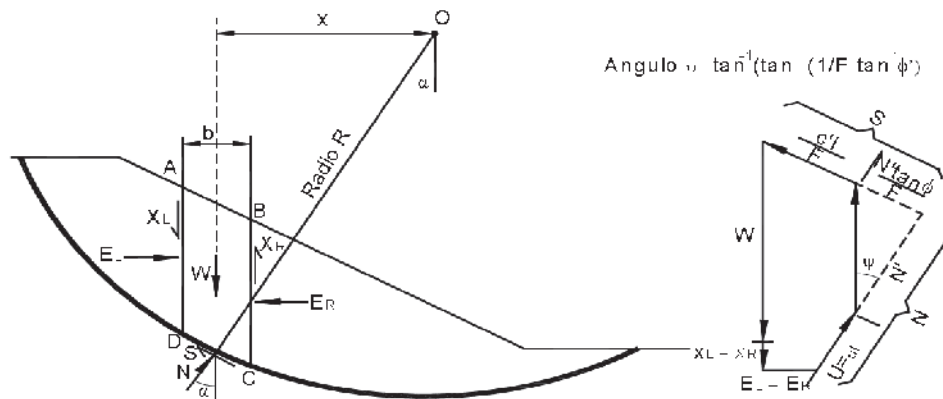


Figura 83. Fuerzas que actúan sobre una dovela en un análisis de estabilidad del arco circular con dovelas.



Fuente: "Deslizamientos: Análisis Geotécnica", Pág. 153 y 154, Fuerzas que actúan sobre una dovela en un análisis de estabilidad del arco circular con dovelas. (Cornforth, 2005)

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Las fuerzas que actúan sobre una dovela son (Figura 83):

- El peso o fuerza de gravedad, la cual se puede descomponer en una tangente y una normal a la superficie de falla.
- Las fuerzas resistentes de cohesión y fricción que actúan en forma tangente a la superficie de falla.
- Las fuerzas de presión de tierra y cortante en las paredes entre dovelas, no son consideradas por Fellenius.

Al realizar la sumatoria de momentos con respecto al centro del círculo, se obtiene la siguiente expresión:

$$F.S. = \frac{\sum [C' \Delta l + (W \cos \alpha - u \Delta l \cos^2 \alpha) \text{Tan} \phi']}{\sum W \sin \alpha}$$

Donde:

= ángulo del radio del círculo de falla con la vertical bajo el centroide en cada tajada.

W = peso total de cada tajada.

u = Presión de poros = w h w

l = longitud del arco de círculo en la base de la tajada

C', ϕ' = parámetros de resistencia del suelo.

La ecuación anterior se conoce como ecuación de Fellenius.

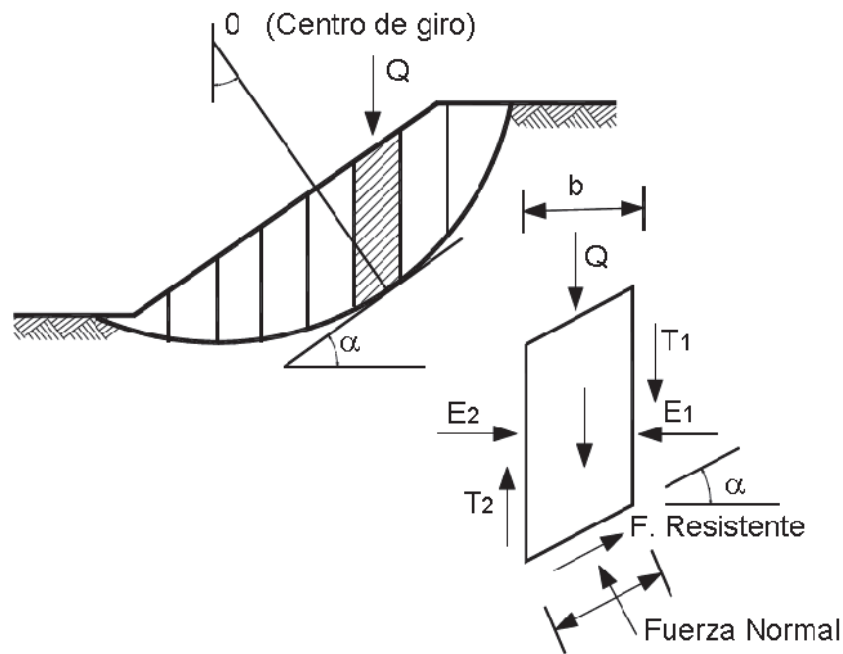
El método ordinario o de Fellenius solamente satisface los equilibrios de momentos y no satisface el equilibrio de fuerzas. Para el caso de $u = 0$, el método ordinario da el mismo valor del factor de seguridad que el método del arco circular.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Los análisis del método de Fellenius son muy sencillos y se pueden realizar con métodos manuales o en el computador. Debe tenerse en cuenta que el método ordinario es menos preciso que otros procedimientos y la precisión disminuye a medida que la presión de poros se hace mayor.

Algunos autores recomiendan que el método ordinario no se utilice para diseño, sino solamente como una base de referencia. Generalmente, el método ordinario da factores de seguridad menores que otros métodos.

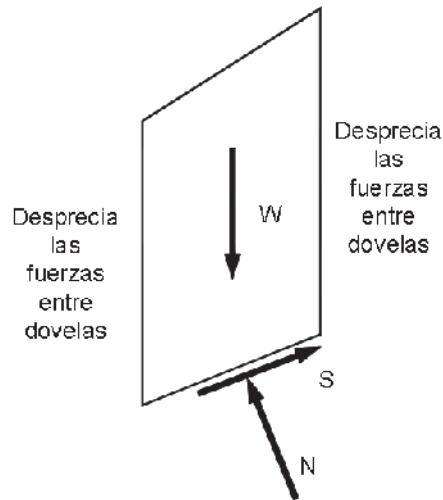
Figura 84. Fuerzas que actúan sobre una dovela en los métodos de dovelas



Fuente: "Deslizamientos: Análisis Geotécnica", Pág. 154, que actúan sobre una dovela en los métodos de dovelas.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Figura 85. Fuerzas que actúan sobre una dovela en el método ordinario o de Fellenius.



4.2.2.34. Método de Bishop

Bishop (1955) presentó un método utilizando dovelas y teniendo en cuenta el efecto de las fuerzas entre las dovelas. Bishop asume que las fuerzas entre dovelas son horizontales (Figura 84); es decir, que no tiene en cuenta las fuerzas de cortante.

La solución rigurosa de Bishop es muy compleja y por esta razón, se utiliza una versión simplificada de su método, de acuerdo con la expresión:

$$F.S. = \frac{\sum \left[c' \Delta l \cos \alpha + (W' u \Delta l \cos \alpha) \tan \phi' \right]}{\sum W \sin \alpha}$$

Fuente: "Deslizamientos: Análisis Geotécnica", Pág. 155, Fuerzas que actúan sobre una dovela en el método ordinario o de Fellenius (Duncan y Wright, 2005).

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Donde:

l = longitud de arco de la base de la dovela

W = peso de cada dovela

C' , ϕ = parámetros de resistencia del suelo.

u = presión de poros en la base de cada dovela = $\gamma_w \times h_w$

α = ángulo del radio y la vertical en cada dovela.

Como se puede observar en la ecuación, el término factor de seguridad FS se encuentra tanto en la izquierda como en la derecha de la ecuación; se requiere un proceso de interacción para calcular el factor de seguridad.

El método simplificado de Bishop es uno de los métodos más utilizados actualmente para el cálculo de factores de seguridad de los taludes. Aunque el método sólo satisface el equilibrio de momentos, se considera que los resultados son muy precisos en comparación con el método ordinario.

Aunque existen métodos de mayor precisión que el método de Bishop, las diferencias de los factores de seguridad calculados, no son grandes. La principal restricción del método de Bishop simplificado, es que solamente considera las superficies circulares.

4.2.2.35. Método de Janbú

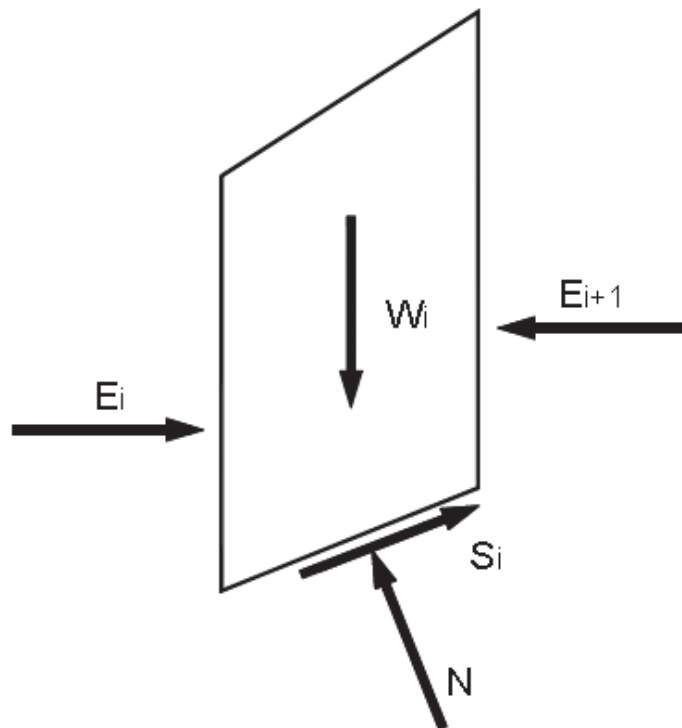
El método simplificado de Janbú se basa en la suposición de que las fuerzas entre dovelas son horizontales y no tienen en cuenta las fuerzas de cortante.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Janbú considera que las superficies de falla no necesariamente son circulares y establece un factor de corrección f_0 . El factor f_0 depende de la curvatura de la superficie de falla (figura 85). Estos factores de corrección son solamente aproximados y se basan en análisis de 30 a 40 casos.

En algunos casos, la suposición de f_0 puede ser una fuente de inexactitud en el cálculo del factor de seguridad. Sin embargo, para algunos taludes la consideración de este factor de curvatura representa el mejoramiento del análisis.

Figura 86. Esquema de fuerzas sobre una dovela en el método de Bishop simplificado.



Fuente: "Deslizamientos: Análisis Geotécnica", Pág. 155, Esquema de fuerzas sobre una dovela en el método de Bishop simplificado

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

El método de Janbú solamente satisface el equilibrio de esfuerzos y no satisface el equilibrio de momentos. De acuerdo con Janbú (ecuación modificada):

$$F.S. = \frac{f_o \sum \left\{ \left[c' b + (W - ub) \tan \phi \right] \frac{1}{\cos \alpha m a} \right\}}{\sum (W \tan \alpha)}$$

4.2.2.36. Método del Cuerpo de Ingenieros (Sueco Modificado)

En el método del Cuerpo de Ingenieros (1970) la inclinación de las fuerzas entre dovelas, / es seleccionada por el analista y tiene el mismo valor para todas las dovelas.

El Cuerpo de Ingenieros recomienda que la inclinación deba ser igual al promedio de la pendiente del talud. Este método satisface equilibrio de fuerzas pero no satisface el equilibrio de momentos.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Figura 87. Diagrama para determinar el factor f_o para el método de Janbú

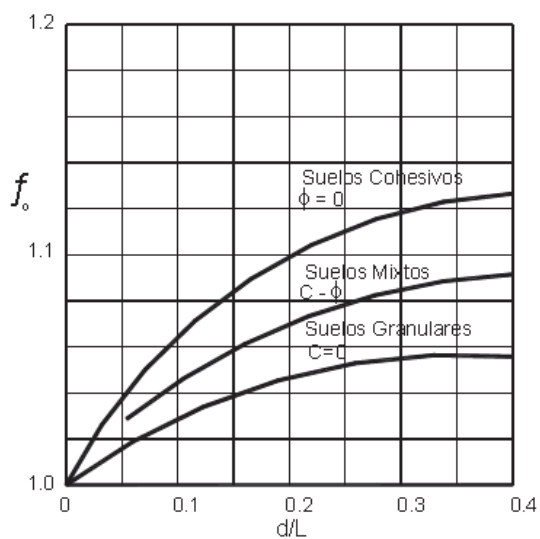
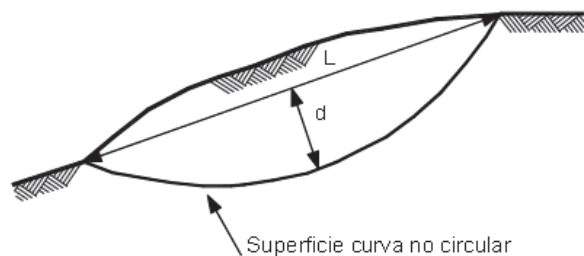
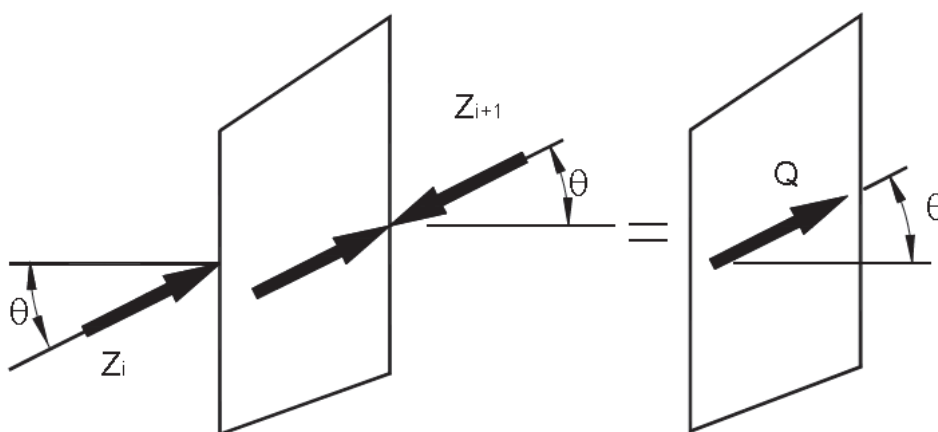


Figura 88. Paralelismo de las fuerzas entre dovelas en el método de Spencer



Fuente: "Deslizamientos: Análisis Geotécnica", Pág. 156, Diagrama para determinar el factor f_o para el método de Janbú v Paralelismo de las fuerzas entre dovelas en el método de Spencer.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

4.2.2.37. Método de Lowe y Karafiath

El método de Lowe y Karafiath (1960) es prácticamente idéntico al del Cuerpo de Ingenieros, con la excepción que la dirección de las fuerzas entre partículas, varía de borde a borde en cada dovela. Su resultado es menos preciso que los que satisfacen el equilibrio completo y al igual que el método del Cuerpo de Ingenieros, es muy sensitivo a la inclinación supuesta de las fuerzas entre partículas. Si se varía el ángulo de estas fuerzas, se varía substancialmente el factor de seguridad.

4.2.2.38. Método de Spencer

El método de Spencer es un método que satisface totalmente el equilibrio tanto de momentos como de esfuerzos. El procedimiento de Spencer (1967) se basa en la suposición de que las fuerzas entre dovelas son paralelas las unas con las otras, o sea, que tienen el mismo ángulo de inclinación (figura 86).

La inclinación específica de estas fuerzas entre partículas, es desconocida y se calcula como una de las incógnitas en la solución de las ecuaciones de equilibrio. Spencer inicialmente propuso su método para superficies circulares pero este procedimiento se puede extender fácilmente a superficies no circulares.

Spencer plantea dos ecuaciones una de equilibrio de fuerzas y otra de equilibrio de momentos, las cuales se resuelven para calcular los factores de seguridad F y los ángulos de inclinación de las fuerzas entre dovelas (Figura 87).

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Para resolver las ecuaciones F y \dots , se utiliza un sistema de ensayo y error donde se asumen los valores de estos factores (en forma repetitiva) hasta que se alcanza un nivel aceptable de error.

Una vez se obtienen los valores de F y \dots se calculan las demás fuerzas sobre las dovelas individuales. El método de Spencer se considera muy preciso y aplicable para casi todo tipo de geometría de talud y perfiles de suelo y es tal vez, el procedimiento de equilibrio más completo y más sencillo para el cálculo del factor de seguridad. (Duncan y Wright, 2005).

4.2.2.39. Método de Morgenstern y Price

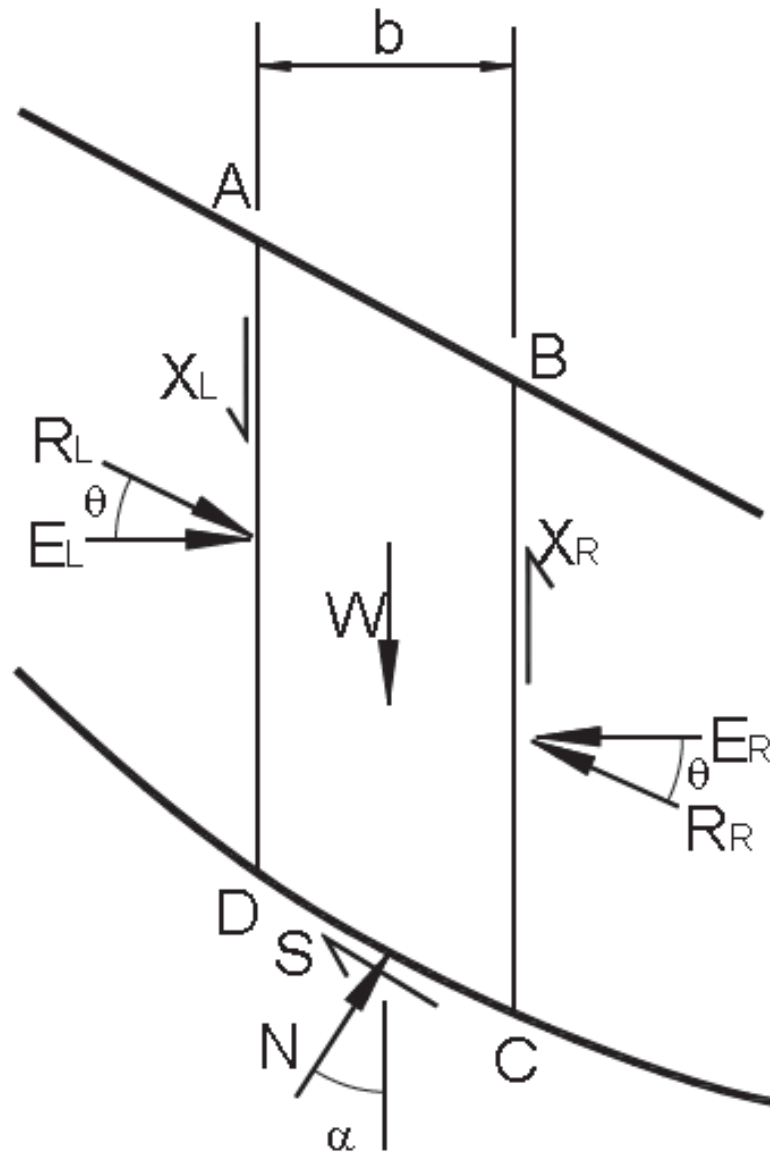
El método de Morgenstern y Price (1965) asume que existe una función que relaciona las fuerzas de cortante y las fuerzas normales entre dovelas.

Esta función puede considerarse constante, como en el caso del método de Spencer, o puede considerarse otro tipo de función. La posibilidad de suponer una determinada función para determinar los valores de las fuerzas entre dovelas, lo hace un método más riguroso que el de Spencer.

Sin embargo, esta suposición de funciones diferentes tiene muy poco efecto sobre el cálculo de factor de seguridad cuando se satisface el equilibrio estático y hay muy poca diferencia entre los resultados del método de Spencer y el de Morgenstern y Price. El método de Morgenstern y Price, al igual que el de Spencer, es un método muy preciso, prácticamente aplicable a todas las geometrías y perfiles de suelo.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

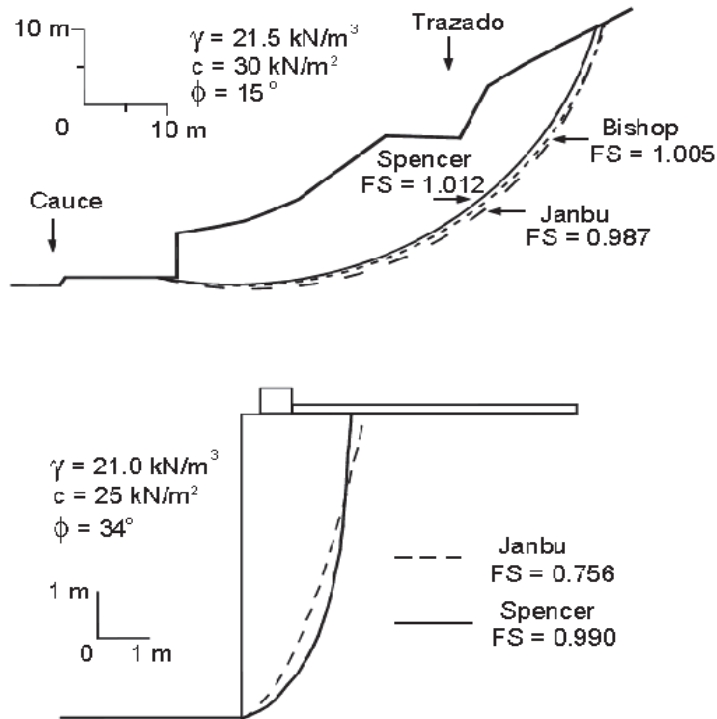
Figura 89. Fuerzas que actúan sobre las dovelas en el método de Spencer



Fuente: " Deslizamientos: Análisis Geotécnica", Pág. 157, Fuerzas que actúan sobre las dovelas en el método de Spencer.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Figura 90. Diferencias entre los resultados de varios métodos



4.2.2.40. Método de Chen y Morgenstern

El método de Chen y Morgenstern (1983) es una refinación del método de Morgenstern y Price e intenta mejorar los estados de esfuerzos en las puntas de la superficie de falla. Chen y Morgenstern recomiendan las fuerzas entre partículas, deben ser paralelas al talud, en los extremos de la superficie de falla.

Fuente: "Deslizamientos: Análisis Geotécnica", Pág. 157, Diferencias entre los resultados de varios métodos. En cuál de los casos es fundamental saber cuál de los métodos es el que da el verdadero valor del Factor de Seguridad? (Dibujo de Payá).

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

4.2.2.41. Método de Sarma

El método de Sarma (1973) es muy diferente a todos los métodos descritos anteriormente porque éste considera que el coeficiente sísmico y el factor de seguridad son desconocidos. Se asume entonces, un factor de seguridad y se encuentra cuál es el coeficiente sísmico requerido para producir éste.

Generalmente, se asume que el factor de seguridad es 1.0 y se calcula el coeficiente sísmico requerido para que se obtenga este factor de seguridad. En el método de Sarma, la fuerza cortante entre tajadas es una relación con la resistencia al cortante. El procedimiento de Sarma fue desarrollado para análisis sísmicos de estabilidad y tiene algunas ventajas sobre otros métodos para este caso.

Tabla XXI. Comparación de los resultados del cálculo de factor de seguridad para varios métodos

Talud	Factor de Seguridad Calculado				
	Bishop	Spencer	Janbú	Morgenstern-Price	Ordinario
Talud 2H:1V	2.08	2.07	2.04	2.08	1.93
Talud sobre una capa de suelo débil	1.38	1.37	1.45	1.38	1.29
Talud con una línea piezométrica	1.83	1.83	1.83	1.83	1.69
Talud con dos líneas piezométricas	1.25	1.25	1.33	1.25	1.17

Fuente: " Deslizamientos: Análisis Geotécnica", Pág. 158, Comparación de los resultados del cálculo de factor de seguridad para varios métodos (Fredlund y Krahn, 1977).

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

4.2.2.42. Comparación de los diversos métodos

La cantidad de métodos que se utilizan, dan resultados diferentes y en ocasiones, contradictorios los cuales son una muestra de la incertidumbre que caracteriza los análisis de estabilidad.

Los métodos más utilizados por los ingenieros geotécnicos de todo el mundo, son el simplificado de Bishop y los métodos precisos de Morgenstern y Price y Spencer. Cada método da valores diferentes en el factor de seguridad (Figura 88).

Aunque una comparación directa entre los diversos métodos no es siempre posible, los factores de seguridad determinados por el método de Bishop difieren aproximadamente un 5% con respecto a soluciones más precisas. Mientras el método simplificado de Janbú generalmente subestima el factor de seguridad hasta valores del 30 y en algunos casos los sobreestima hasta valores del 5%. Esta aseveración fue documentada por Fredlund y Krahn (1977) Tabla XXI.

Los métodos que satisfacen el equilibrio en forma más completa son más complejos y requieren de un mejor nivel de comprensión del sistema de análisis. En los métodos más complejos y precisos se presentan, con frecuencia, problemas numéricos que conducen a valores irreales de F.S, por exceso o defecto.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Por las razones anteriormente expuestas, se prefieren los métodos más sencillos y fáciles de manejar como es el método simplificado de Bishop. Todos los métodos que satisfacen el equilibrio completo, dan valores similares del factor de seguridad (Fredlund y Krahn, 1977, Duncan y Wright, 1980). No existe un método de equilibrio completo que sea significativamente más preciso que otro. El método de Spencer es más simple que el de Morgenstern y Price o el de Chen y Morgenster. Los métodos de Morgenstern son más flexibles para tener en cuenta diversas situaciones de fuerzas entre dovelas; no obstante, se debe tener en cuenta que la dirección de las fuerzas entre partículas en estos métodos, no afecta en forma importante el resultado del factor de seguridad. El método de Sarma, tiene ciertas ventajas en relación con los demás métodos, para el análisis sísmico.

Alva Hurtado (1994) presenta las siguientes conclusiones al comparar los diversos métodos (Tabla XXII).

- Cualquier método que satisface el Equilibrio de Momentos, da el mismo factor de seguridad en el análisis de $\tau = 0$ con superficies de falla circular.
- El Método Ordinario de Dovelas (Fellenius), da error en el lado conservador para el caso de $\tau > 0$. Con presiones de poros pequeñas, para los análisis en función de esfuerzos totales y de esfuerzos efectivos, el error es menor del 10%. Para pendientes casi planas con presiones de poros altas, el error puede ser mayor del 50%.
- Para el análisis de $\tau = 0$ ó $\tau > 0$ con presiones de poros bajas o altas, el método simplificado de Bishop es adecuado y estable para el análisis de falla circular.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

- Numéricamente, sólo hay problemas de convergencia cuando los extremos de la superficie de falla son muy parados, casi verticales.
- En los métodos que satisfacen solamente el equilibrio de fuerzas, el factor de seguridad es muy sensible a la inclinación asumida por las fuerzas laterales. El método de Lowe y Karafiath es razonable para el análisis de $\phi > 0$ pero no conservador (10-15%) para $\phi = 0$.
- Si todas las condiciones de equilibrio son satisfechas, la magnitud del error en el factor de seguridad es muy pequeña, usualmente $\pm 5\%$ de la respuesta correcta.

4.2.2.43. Análisis sísmico

Los eventos sísmicos son capaces de inducir fuerzas de gran magnitud (de naturaleza cíclica) las cuales pueden producir la falla rápida de taludes y laderas. Además, la resistencia al corte de un suelo, puede reducirse a causa de las cargas oscilatorias que generan deformaciones cíclicas, o debido a la generación de presiones de poros altas.

La combinación de la acción de las cargas sísmicas y la disminución de la resistencia pueden producir una disminución general de la estabilidad. El caso más crítico es el de los materiales no plásticos de grano fino, como son los limos o las arenas finas.

En el análisis de estabilidad se requiere analizar los cinco factores que se indican a continuación:

- Magnitud de la fuerza sísmica.
- Disminución de la resistencia a causa de las cargas oscilatorias.
- Disminución de la resistencia por aumento de la presión de poros.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

- Fenómeno de resonancia.
- Amplificación de las cargas sísmicas por la presencia de suelos blandos.

Para los eventos sísmicos se han propuesto cuatro métodos de análisis para la evaluación de la estabilidad de los taludes y laderas. (Houston y otros, 1987):

- Método pseudoestático, en el cual las cargas del sismo son simuladas como cargas estáticas horizontales y verticales.
- Método del desplazamiento o de las deformaciones, el cual se basa en el concepto de que las aceleraciones reales pueden superar la aceleración límite permitida, produciendo desplazamientos permanentes (Newmark, 1965).
- Método de la estabilidad después del sismo, la cual es calculada utilizando las resistencias no drenadas en muestras de suelo representativas que han sido sometidas previamente a fuerzas cíclicas comparables a las del sismo esperado (Castro y otros, 1985).
- Método de análisis dinámico por elementos finitos. Por medio del análisis en dos o tres dimensiones, que utiliza un modelo específico, se pueden obtener detalles relacionados con esfuerzos, deformaciones cíclicas o permanentes (Finn 1988, Prevost y otros, 1985).

Los dos primeros métodos son los más utilizados en la práctica de la geotecnia debida, especialmente, a su facilidad de implementación.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

4.2.2.44. Análisis de estabilidad de taludes utilizando métodos numéricos

Frecuentemente, los mecanismos de falla de los deslizamientos son muy complejos e incluyen factores muy difíciles de investigar con análisis convencionales de límite de equilibrio. Estos análisis se limitan a problemas relativamente simples que incluyen muy poca información del mecanismo de falla. Las fallas de los taludes (en su gran mayoría) son progresivas, no se inicia la falla al mismo tiempo, como lo suponen los métodos de límite de equilibrio.

Tabla XXII. Diferencias básicas entre diversos métodos de análisis de estabilidad de taludes

Procedimiento	Condición de Equilibrio Satisfecha				Ecuaciones e Incógnitas	Forma de la superficie de falla	Aplicable A	
	Mom. total	Mom. Dovela	Vert	Horiz			Cálculos Manuales	Cálculos en Computador
Método ordinario de dovelas	si	no	no	no	1	circular	si	si
Método de Eishop Modificado	si	no	no	no	n+1	circular	si	si
Método de Janbú Procedimiento generalizado de dovelas.	si	si	si	si	3n	cualquiera	si	si
Métodos de Spencer y Morgenstern y Price.	si	si	si	si	3n	cualquiera	no	si
Método de Lowe y Karafath	no	no	si	si	2n	cualquiera	si	si
Método de Espiral Logarítmica	si	-	si	si	3	espiral logarítmica	si	si

Fuente: "Deslizamientos: Análisis Geotécnica", Pág. 160, Diferencias básicas entre diversos métodos de análisis de estabilidad de taludes (Alva Hurtado, 1994).

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

La mayoría de problemas de estabilidad de taludes incluyen complejidades relacionados con geometría, anisotropía, comportamiento no lineal, esfuerzos “in situ” y la presencia de procesos concomitantes como son las presiones de poros y las cargas sísmicas.

La principal delimitación de los métodos de límite de equilibrio, está en su inhabilidad para tener en cuenta las deformaciones, las cuales pueden determinar el proceso de falla particularmente, en los procesos de falla progresiva y los que dependen del factor tiempo.

Para resolver estas limitaciones se utilizan técnicas de modelación numérica que permiten soluciones aproximadas a problemas que no son posibles resolver utilizando procedimientos de límite de equilibrio. En este aspecto, los modelos numéricos son más precisos.

Los modelos numéricos son muy útiles para analizar las fallas en las cuales no existe una superficie continua de cortante como es el caso de las fallas por “volteo”. La incorporación de los defectos o discontinuidades dentro del modelo, permiten estudiar el comportamiento del talud.

Los métodos numéricos de análisis se pueden clasificar en varias categorías, como se muestra en la tabla XXII.

4.2.2.45. Modelos numéricos continuos

Los modelos continuos son los mejores para analizar taludes de suelo, de roca masiva intacta, rocas blandas o materiales tan fracturados que se comportan como suelos. De estos se conocen los programas FLAC, UDEC (Benko-Stead-1993), PLAXIS entre otros.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

El análisis con masas continuas utilizado en la estabilidad de taludes, incluye los métodos de elementos finitos y de diferencias finitas. En ambos, el área problema se divide o discretiza en un grupo de subdominios o elementos. La solución del problema se basa en aproximaciones numéricas a las ecuaciones de equilibrio, esfuerzo-deformación y deformación-desplazamiento. Alternativamente, el procedimiento puede incluir aproximaciones a la conectividad de los elementos, la continuidad de los desplazamientos y los esfuerzos entre elementos.

4.2.2.46. Métodos de elementos finitos

El método de elementos finitos fue introducido por Clough y Woodward (1967). El método, esencialmente, divide la masa de suelo en unidades discretas que se llaman elementos finitos. En el método UDEC, el talud se divide en bloques de acuerdo al sistema de juntas o grietas, los cuales pueden ser rígidos o deformables.

Estos elementos se interconectan en sus nodos y en los bordes predefinidos. El método típicamente utilizado, es la formulación de desplazamientos que presenta los resultados en forma de esfuerzos y desplazamientos a los puntos nodales. La condición de falla obtenida es la de un fenómeno progresivo en donde no todos los elementos fallan simultáneamente.

La herramienta es muy poderosa, su utilización es relativamente compleja y su uso se ha venido popularizando para la solución de problemas prácticos. Wong (1984) menciona la dificultad de obtener factores de seguridad de la falla, pero esta limitación ha sido resuelta por métodos más recientes (Ugai, 1989).

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

El análisis por elementos finitos debe satisfacer las siguientes características:

- Debe mantenerse el equilibrio de esfuerzos en cada punto, el cual es realizado empleando la teoría elástica para describir los esfuerzos y deformaciones. Para predecir el nivel de esfuerzos se requiere conocer la relación esfuerzo - deformación.
- Las condiciones de esfuerzos de frontera se deben satisfacer.

Existe dificultad en la mayoría de los casos prácticos, reales, para definir la relación esfuerzo - deformación, por lo difícil que es describir los depósitos de suelos naturales en términos de esfuerzo - deformación. Otra limitante es el poco conocimiento de los esfuerzos reales *"in situ"* que se requieren para ser incorporados en el modelo.

Tabla XXIII. Métodos numéricos para la estabilidad de taludes (Modificado de Deangeli y Ferrero, 2000)

MÉTODO	CARACTERÍSTICAS	UTILIZACIÓN
Elementos Finitos (FEM)	Se asume una malla de elementos con sus respectivos nodos y las propiedades elastoplásticas de los materiales.	Se aplica a taludes que puedan considerarse como masas continuas sin bloques.
Diferencias Finitas (FDM)	Se elabora una malla con una variedad de relación esfuerzo-deformación.	Se utiliza para modelar masa rocosa con un alto grado de fracturación.
Elementos Distintos o Discretos (DEM)	Se divide el talud en elementos con sus propiedades internas y de las uniones entre los elementos que se pueden mover libremente.	Se aplica para analizar inclinación de bloques.
Elementos de Borde (BEM)	Se discretizan las áreas para poder modelar la ocurrencia de agrietamientos en el talud.	Se utiliza para estudiar problemas de propagación de grietas.

Fuente: "Deslizamientos: Análisis Geotécnica", Pág. 161, Métodos numéricos para la estabilidad de taludes (Modificado de Deangeli y Ferrero, 2000).

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Generalmente, se hace el análisis en dos direcciones por la facilidad de su aplicación y de acuerdo con la capacidad de los computadores sencillos. Sin embargo, las soluciones en tres dimensiones son cada día más populares.

El análisis planar, o en dos direcciones, asume cero esfuerzo o cero deformación en las superficies laterales del modelo; por lo tanto, para que se simulen las condiciones de campo, se requiere que existan esas condiciones.

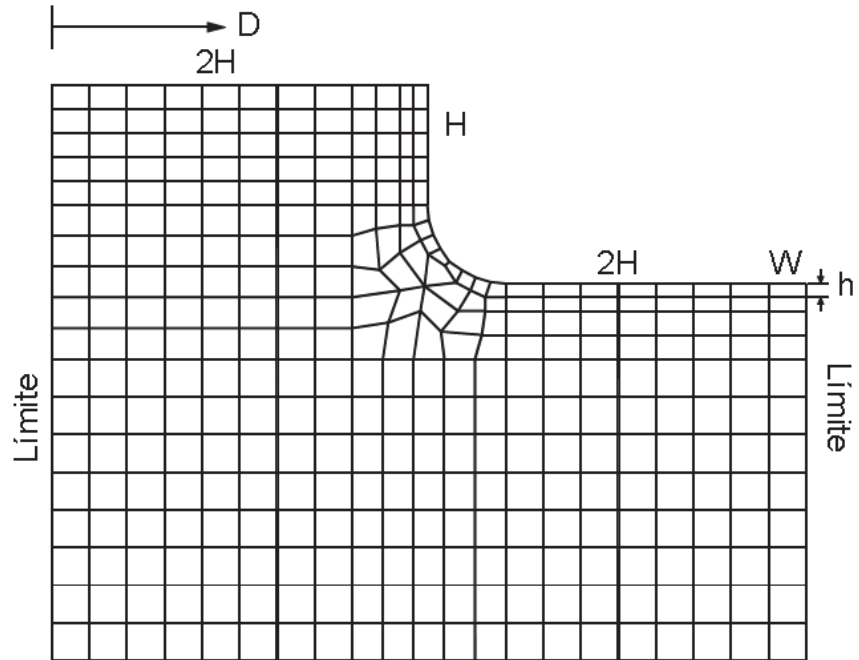
El empleo del análisis en dos direcciones se puede ampliar aplicándole al modelo, una carga hidrostática lateral.

En la figura 89 se muestra una malla típica para el análisis de un talud por elementos finitos (Ashford y Sitar, 1994). Generalmente, las mallas analizadas contienen elementos de tamaño uniforme con anchos (w) y alturas (h) iguales. El tamaño y la forma de los elementos influyen en gran manera sobre los resultados obtenidos.

Es común que entre más pequeños sean los elementos, se obtengan mayores niveles de esfuerzos de tensión en la cresta del talud. La altura del elemento, es tal vez el factor más importante y se recomiendan por lo menos diez niveles de elementos entre el pie y la cabeza del talud para simular en forma precisa el comportamiento del éste.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Figura 91. Malla típica 2D para el análisis de un talud vertical por elementos finitos



En la literatura existe una gran cantidad de sistemas de elementos finitos con sus respectivos programas de computador. Los elementos finitos pueden emplearse para estudiar las diversas posibilidades de falla en un talud (Figura 90), o para encontrar los efectos de varios sistemas de estabilización en el estudio de casos generales, donde las propiedades de los suelos o rocas y condiciones de frontera, se pueden suponer. En la estabilidad de taludes, los métodos de elementos finitos en 3-D, permiten analizar condiciones que los métodos de equilibrio límite no permiten. El análisis en 3-D es el mayor aporte de los elementos finitos a la estabilidad de taludes (Figura 91).

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

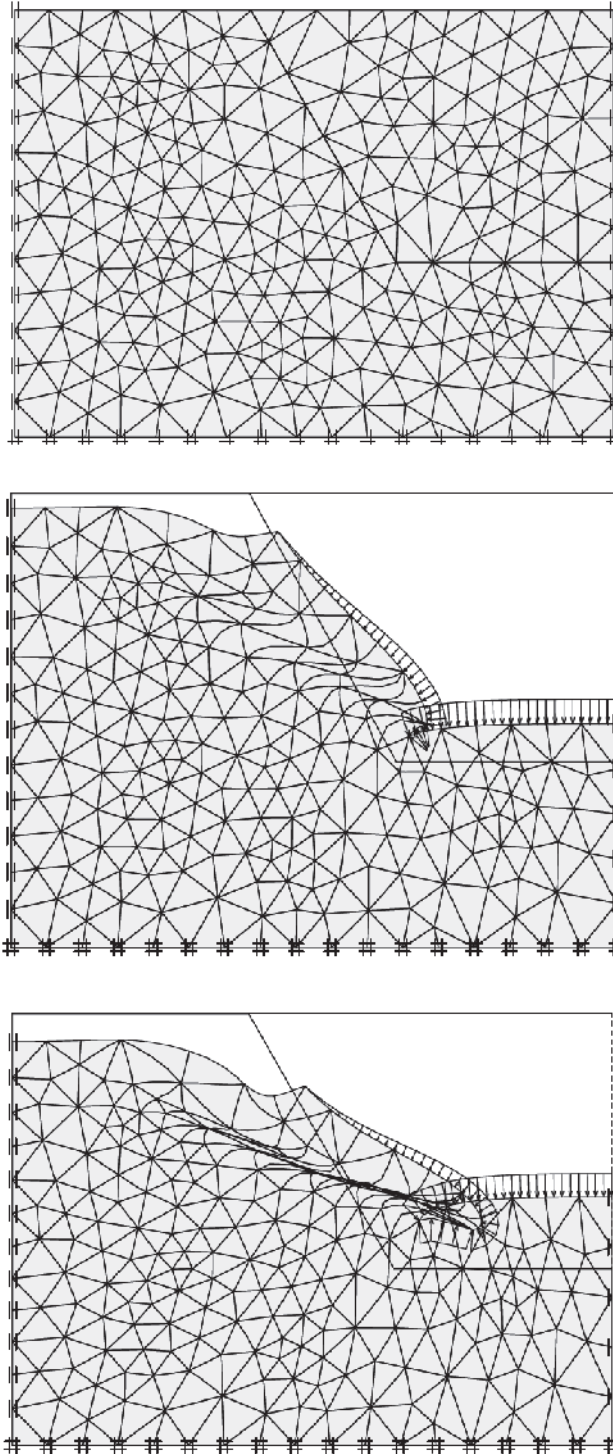
El método de elementos finitos es hoy el más utilizado y probablemente, el modelo numérico más versátil para el análisis de estabilidad de taludes. Las principales ventajas y desventajas del método de elementos finitos se resumen en los siguientes puntos (Carter y otros, 2001).

Ventajas de los métodos de elementos finitos:

- Se puede considerar el comportamiento no lineal de los materiales en la totalidad del dominio analizado.
- Es posible modelar la secuencia de excavación incluyendo la instalación de refuerzos y sistemas de estructura de soporte.
- La falla es progresiva.
- Los detalles estructurales de juntas o fisuras cercanas pueden modelarse utilizando una técnica de homogenización.
- Se puede introducir un comportamiento de los materiales con base en el tiempo.
- El sistema de ecuaciones es simétrico con excepción de los problemas elastoplásticos y de flujo.
- Se puede emplear una formulación convencional de deformaciones para la mayoría de las posibilidades de carga.
- Se han desarrollado formulaciones especiales para incluir el análisis del agua subterránea.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Figura 92. Modelación de falla utilizando modelo de elementos finitos. (PLAXIS)



Fuente: "Deslizamientos: Análisis Geotécnica", Pág. 163, de falla utilizando modelo de elementos finitos. (PLAXIS)

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

- Existe mucha experiencia sobre el uso de estos modelos y los programas de software han sido actualizados teniendo en cuenta esas experiencias.

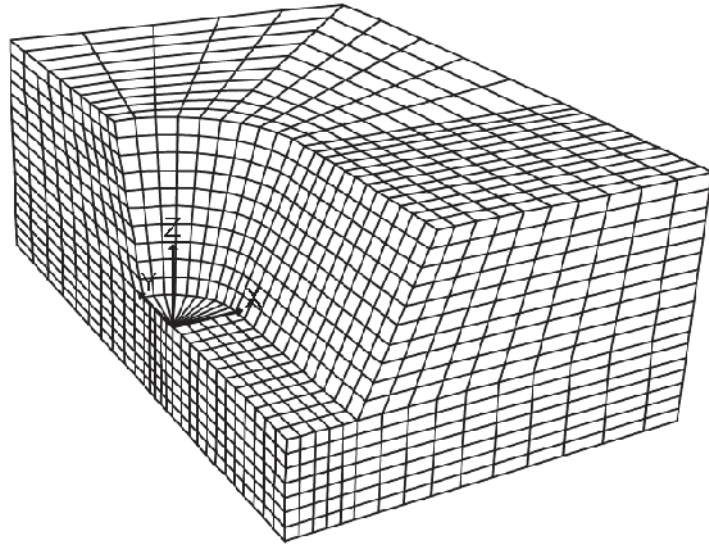
Desventajas de los métodos de elementos finitos.

- Debido a que el sistema de ecuaciones es muy grande, se requieren tiempos prolongados y capacidades altas de memoria dependiendo de la estructura general de los taludes y la implementación de los algoritmos del código de elementos finitos.
- La totalidad del volumen del dominio analizado tiene que discretizarse.
- Algunos modelos requieren de algoritmos sofisticados de acuerdo con el tipo de material constitutivo utilizado.
- El método no es apropiado para rocas muy fracturadas o suelos altamente fisurados cuando las discontinuidades se encuentran distribuidas en forma no uniforme y controlan el comportamiento mecánico de los taludes.

Las anteriores desventajas son mucho más pronunciadas en el análisis 3D y menos fuertes en el análisis 2D. Sin embargo, teniendo en cuenta la tendencia a utilizar modelos 3D, el manejo de los modelos de elementos finitos, relativamente es complejo.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Figura 93. Malla típica 3D para un talud utilizando FLAC-3D



4.2.2.47. Evaluación del factor de seguridad, utilizando elementos finitos

Ugai (1989) desarrolló un método para calcular el factor de seguridad utilizando el criterio de Mohr-Coulomb por medio de elementos finitos. El factor de seguridad es evaluado realizando una reducción gradual de los parámetros de resistencia al cortante c' y ϕ' del suelo e induciendo a una falla del análisis. Inicialmente, la fuerza de gravedad se aplica en estado elástico para obtener la primera distribución de esfuerzos en todo el talud. Luego, la reducción gradual de la resistencia va a producir un esfuerzo residual en los elementos fallados y así se evalúa la fuerza residual.

El valor inicial de F se asume lo suficientemente pequeño para obtener como resultado un problema elástico. Luego, el valor de F se va aumentando etapa por etapa hasta que se desarrolle una falla global del talud (Popescu y otros, 2000).

Fuente: "Deslizamientos: Análisis Geotécnica", Pág. 163, Malla típica 3D para un talud utilizando FLAC-3D.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

A este método se le conoce como modelo de elementos finitos de reducción de resistencia al cortante (SSRFEM). En forma similar, se han desarrollado procedimientos para calcular el factor de seguridad para envolventes de falla no lineales (Tanaka y Sakai, 1993). Los resultados del círculo crítico de falla y el factor de seguridad, son diferentes si se asume que la envolvente de falla es o no lineal.

Si se supone la envolvente de falla no lineal (Criterio de Maksimovic), las superficies críticas de falla son menos profundas y los factores de seguridad son significativamente menores.

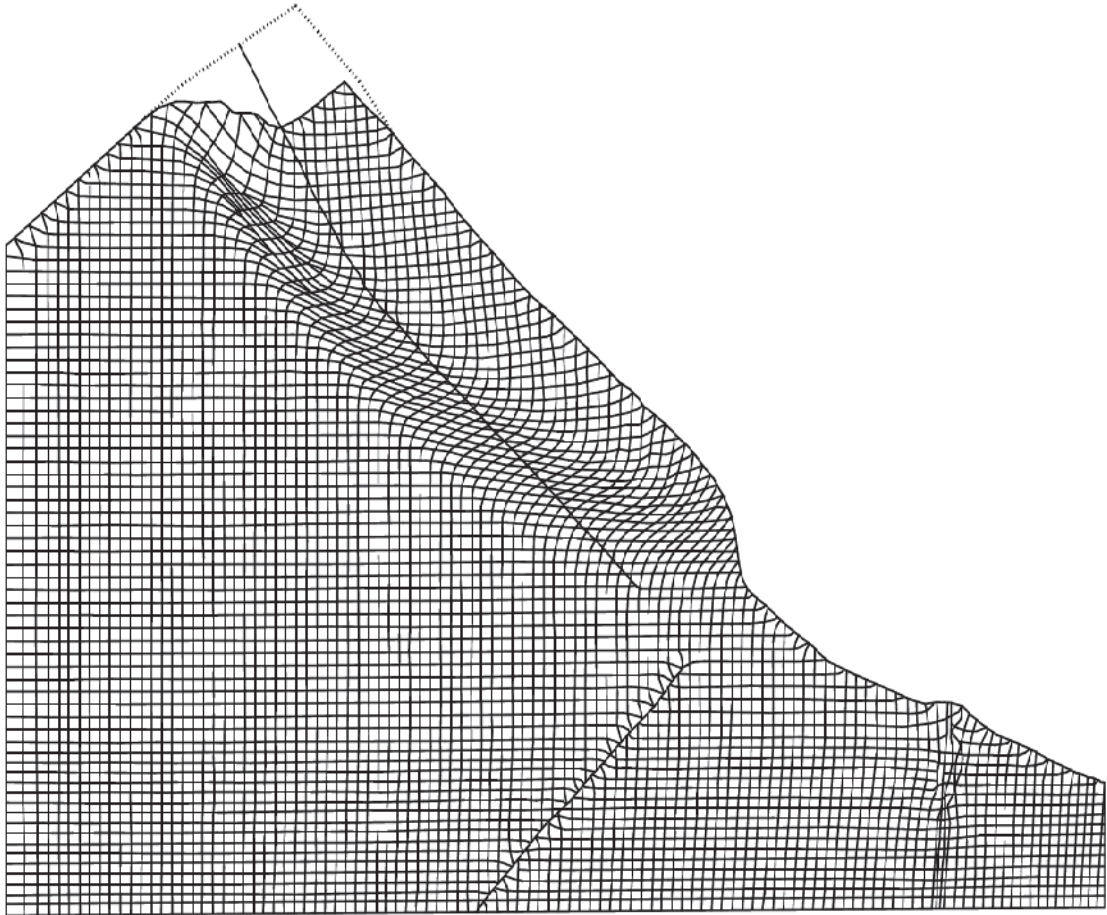
4.2.2.48. Métodos de Diferencias Finitas

En el método de diferencias finitas, los materiales son representados por zonas que forman una malla de acuerdo con la geometría y se puede seleccionar una variedad de relaciones esfuerzo/deformación (FLAC 1998). El método se basa en el esquema de cálculo de "Lagrange", el cual permite modelar deformaciones de gran escala y el colapso de los materiales.

El esquema general del análisis consiste en el reequilibrio del sistema y el estudio de las condiciones de falla (Figura 92). El método de diferencias finitas es poco utilizado en la estabilidad de taludes, con excepción de los análisis de flujo, consolidación y transporte de contaminantes. Sin embargo, el método puede manejarse en reemplazo o como complemento del método de elementos finitos. El método de diferencias finitas tiene la ventaja de que no requiere la solución de gran cantidad de ecuaciones y es más fácil introducir modelos especiales de suelo. No obstante, el modelo de diferencias finitas es muy complejo en 3D y existe muy poca experiencia de su uso en la estabilidad de taludes.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Figura 94. Análisis de un talud con un modelo elasto-plástico, utilizando diferencias finitas en el código FLAC

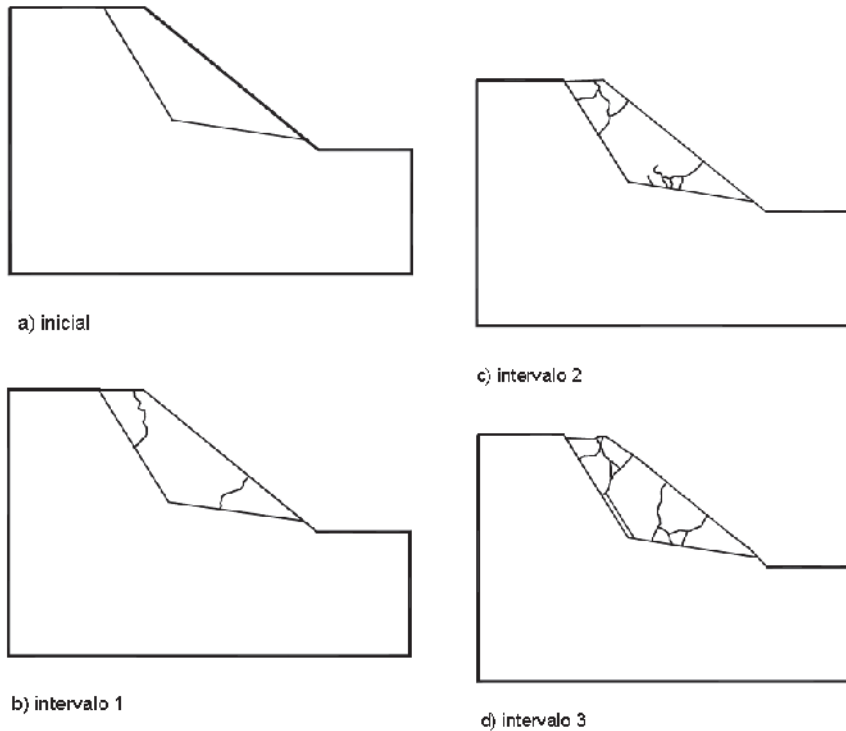


Fuente: "Deslizamientos: Análisis Geotécnica", Pág. 164, Análisis de un talud con un modelo elasto-plástico utilizando diferencias finitas en el código FLAC (Stead y otros, 2000).

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Figura 95. Modelo de fractura utilizando elementos de borde con modelo

ELFEN



4.2.2.49. Método de elementos de borde (BEM)

El método de elementos de borde ha adquirido gran importancia en el análisis de estabilidad de taludes en materiales discontinuos o fracturados y es una alternativa al método de elementos finitos (Figura 93). Igualmente, permite trabajarlo en forma conjunta (Beer y Watson, 1992).

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Ventajas del método de elementos de borde

- La desratización del área y no del volumen reduce los esfuerzos de procesamiento.
- La desratización de áreas conduce a los sistemas de menor número de ecuaciones y se requiere menos tiempo de computador y capacidad de disco.
- Se puede modelar fracturas e interfaces entre materiales localizados donde se requiera.

Desventajas del método de elementos de borde

- Sólo se pueden considerar comportamientos en materiales elásticos, con excepción de las interfaces y discontinuidades.
- Los sistemas de ecuaciones generalmente son asimétricos.
- No es posible modelar secuencias de excavación ni estructuras de soporte.
- La formulación estándar no permite trabajar con gran cantidad de juntas distribuidas en forma aleatoria, en la roca.
- Existe poca experiencia en comparación con el método de elementos finitos.

En la figura 94 se muestra cómo se inicia el proceso de deslizamiento en un talud rocoso, empleando una técnica combinada de elementos de borde y elementos finitos. Se puede observar cómo se van presentando y ampliando los agrietamientos a tensión para formar fracturas semiverticales normales a la dirección del movimiento.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

A medida que la densidad de estas fracturas aumenta, se va desarrollando una superficie de cortante o superficie de falla semicurva (Eberhard y otros, 2004).

4.2.2.50. Modelo combinado de elementos finitos y elementos de borde

Teniendo en cuenta las desventajas que se indicaron anteriormente (de los métodos de elementos finitos y elementos de borde) se pueden minimizar estas limitaciones, utilizando los dos métodos en forma combinada. Estos modelos combinados se pueden obtener discretizando el suelo o la roca dentro de una determinada zona particular de interés, por ejemplo, alrededor de un túnel (Beer y Watson, 1992). Sin embargo, la modelación de discontinuidades importantes es complicada y se genera un sistema de ecuaciones no simétricas en el modelo combinado. Como este sistema es relativamente nuevo, todavía se deben resolver algunas dificultades, aunque ya existen ciertas experiencias positivas.

4.2.2.51. Métodos de elementos distintos o discretos

Los métodos numéricos continuos (elementos finitos y diferencias finitas), no permiten analizar en forma precisa, la influencia de la estructura geológica. Aunque los métodos continuos pueden modificarse para acomodar las discontinuidades, este procedimiento es difícil y complicado. Los métodos numéricos discontinuos, por su parte, permiten modelar en forma relativamente sencilla, taludes donde el mecanismo de falla está controlado por el comportamiento de las discontinuidades. Cuando un talud en roca tiene más de dos grupos de discontinuidades, es conveniente utilizar modelos discontinuos.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

No obstante, en ocasiones se requiere trabajar con modelos que permitan tanto elementos continuos como discontinuos.

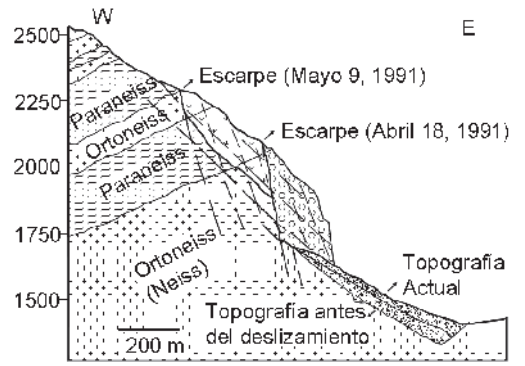
Hay diferentes variaciones de los modelos discontinuos, así:

- Método de elementos distintos o discretos.
- Métodos de análisis de flujo de partículas.
- Métodos de deformaciones discontinuas.

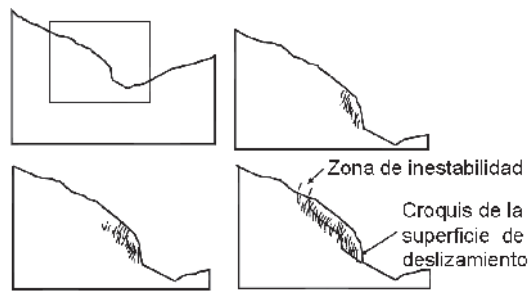
Un modelo discontinuo trata las masas de roca como un ensamblaje de elementos distintos de bloques o cuerpos interactuantes que están sometidos a cargas externas y se espera que tengan movimientos significativos en el tiempo (Figuras 95 y 96). A esta metodología se le conoce como “elementos discretos”. El desarrollo de los procedimientos de elementos discretos ha permitido un avance importante en la modelación de taludes en roca. La base del método de elementos discretos es que la ecuación dinámica de equilibrio para cada bloque en el sistema, es formulada y resuelta repetitivamente hasta que las condiciones y leyes de contacto y de borde, se satisfacen.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

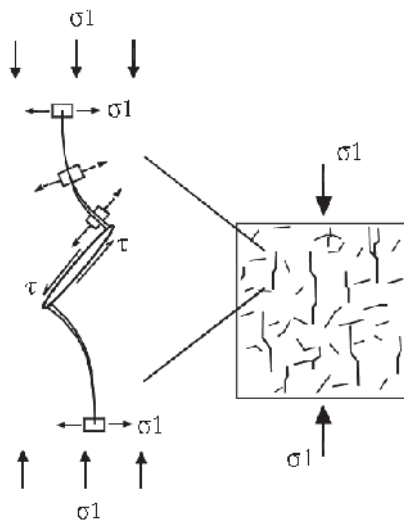
Figura 96. Resultados de un modelo combinado de elementos finitos y elementos de borde



a) Marco Geológico



b) Resultado del modelo



c) Propagación de Grietas

Fuente: "Deslizamientos: Análisis Geotécnico", Pág. 166, Resultados de un modelo combinado de elementos finitos y elementos de borde. A (Marco geológico). B (resultado del modelo). C (Propagación de grietas) (Eberhard y otros, 2004).

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Esto representa una interacción no lineal compleja entre los diversos bloques. Los factores externos, como las presiones de poros y las fuerzas sísmicas, también se pueden simular sobre los elementos discretos.

El método de elementos distintos o discretos es particularmente útil para el análisis de caídos, inclinaciones y deslizamientos diversos en los macizos de roca (Stead y otros, 2000).

Los elementos discretos se basan en la mecánica de medios discontinuos donde el comportamiento del talud está gobernado principalmente, por el efecto de las juntas y grietas. En estos casos, el método de elementos finitos no es aplicable y se requiere trabajar con elementos discretos o independientes.

Este método está caracterizado por lo siguiente:

- Se calculan deformaciones finitas y rotaciones de cada uno de los bloques suponiendo los bloques rígidos o deformables.
- Los bloques que originalmente se encuentran conectados, pueden separarse en el proceso de análisis.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Figura 97. Fuerzas que actúan sobre un sistema de partículas discretas

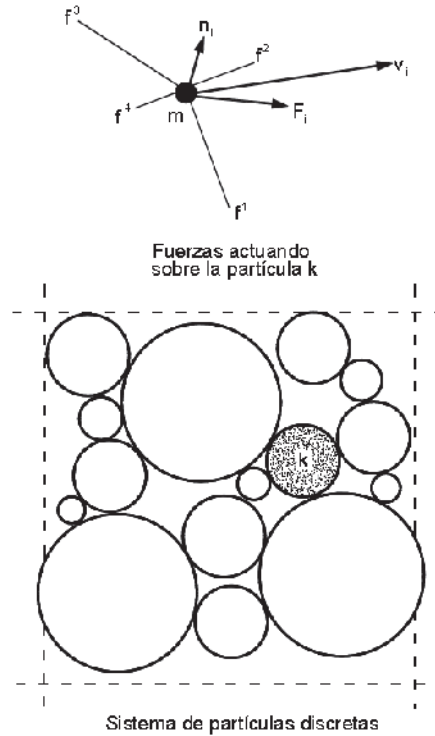
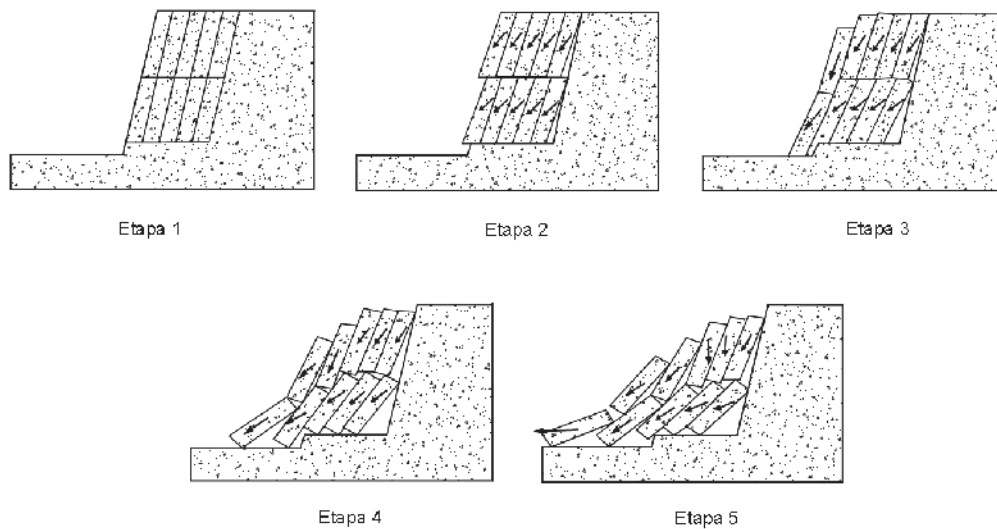


Figura 98. Esquema del análisis de falla de un talud con inclinación reversa, con elementos discretos



Fuente: "Deslizamientos: Análisis Geotécnica", Pág. 167, Fuerzas que actúan sobre un sistema de partículas discretas y Esquema del análisis de falla de un talud con inclinación reversa, con elementos discretos.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

- Se pueden desarrollar automáticamente contactos nuevos entre los bloques que se desplazan o rotan.

Los códigos UDEC y 3-DEC son los más utilizados, y ambos emplean esquemas de diferencias finitas como en el programa FLAC.

El modelo de elementos discretos no es comparable con el modelo de elementos finitos, debido a que en cada uno de estos modelos los materiales se comportan de diferente forma. La principal desventaja del método de elementos discretos es la dificultad para establecer etapas de construcción. Además, el sistema 3-DEC consume mucho tiempo de computador.

La elaboración de un modelo de elementos discretos requiere experiencia en la determinación de los valores más apropiados para los parámetros de entrada tales como la rigidez de las juntas. Estos parámetros generalmente no se pueden obtener de los ensayos de laboratorio y al suponerlos, conduce a problemas de cálculo.

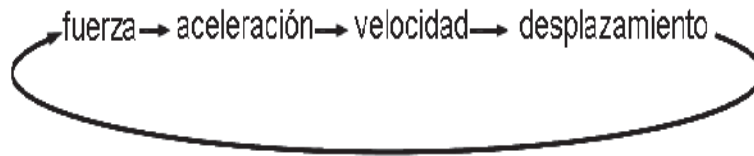
4.2.2.52. Métodos de flujo de partículas

Una variante de los métodos de elementos distintos es la modelación de flujo de partículas (Itasca, 1996). Esta metodología permite simular el flujo de partículas granulares debido a la fricción entre partículas (Figura 97). También, es posible simular materiales intactos o bloques dentro del flujo utilizando uniones entre partículas. Además, se pueden formar “*clusters*” de partículas para simular bloques intactos.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

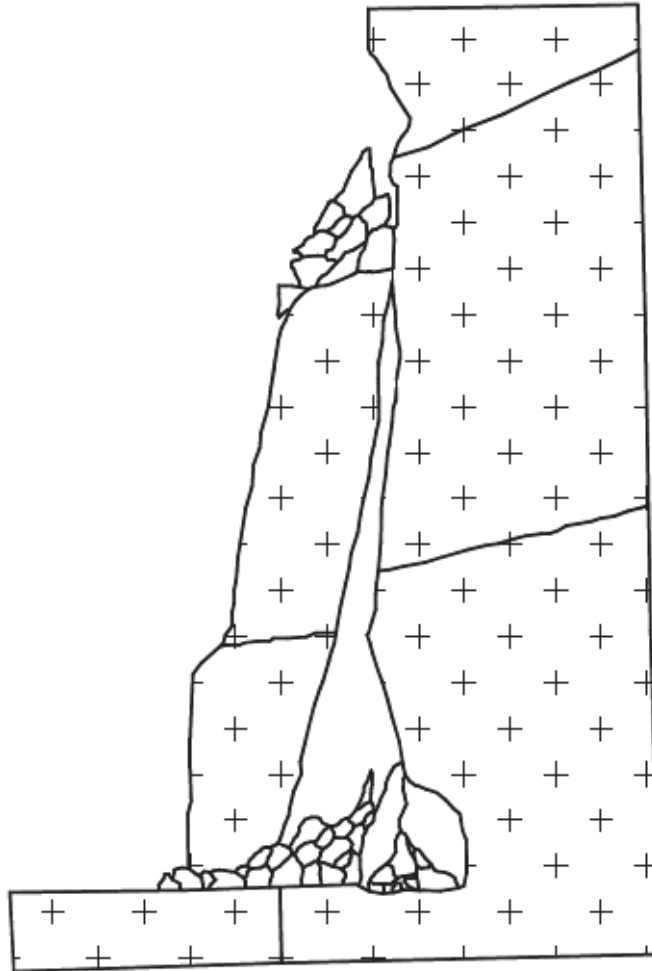
Si los esfuerzos exceden la resistencia de las uniones, se produce la rotura de los elementos internos. Los métodos de flujo de partículas permiten analizar casos de licuación de suelos.

Figura 99. Las fuerzas entre las partículas se convierten, en velocidades y deformaciones en un continuo de flujo



4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Figura 100. Análisis de deformación discontinua



4.2.2.53. Métodos de deformación discontinua

Los métodos de deformación discontinua permiten simular deslizamientos en roca, inclinaciones y caídos (Chen y Omishi, 1999). La figura 98 muestra un análisis de falla utilizando deformaciones discontinuas.

Fuente: "Deslizamientos: Análisis Geotécnica", Pág. 168, Análisis de deformación discontinua (Chen y Ohnishi, 1999).

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

4.2.2.54. Qué modelo utilizar para cada problema

Cada problema es diferente y es difícil establecer criterios generales sobre qué modelo se debe utilizar en cada caso. En algunas ocasiones, se pueden utilizar varios tipos de modelo y se debe escoger aquel con el cual se tenga mayor experiencia y familiaridad. En la figura se muestra, en forma esquemática que los métodos de límite de equilibrio son muy útiles para el análisis sencillo de estabilidad de taludes.

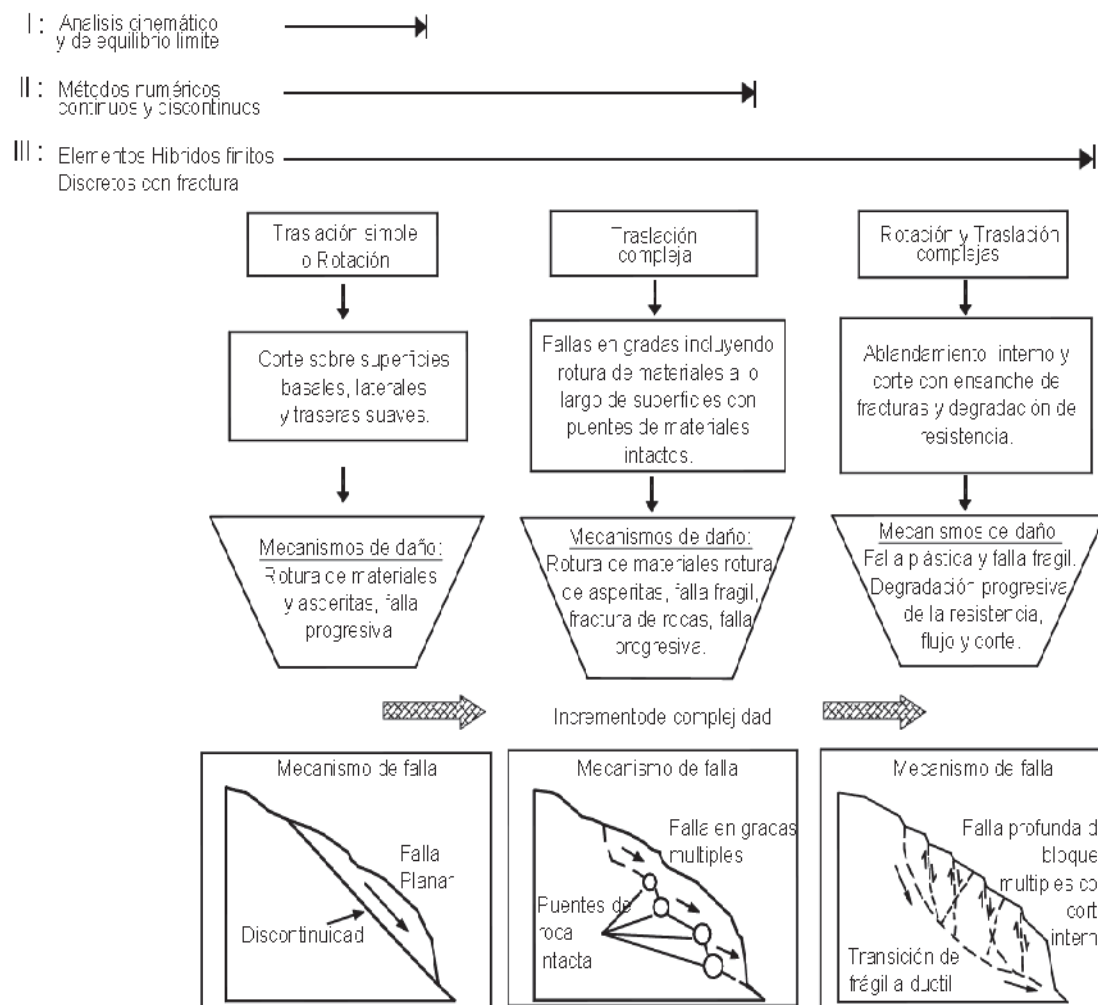
Si los patrones de comportamiento del suelo son complejos, se requiere un modelo de elementos finitos o diferencias finitas y si los materiales se encuentran fracturados, se recomienda utilizar un modelo de elementos discretos o de elementos de borde.

4.2.2.55. Análisis en tres dimensiones

La mayoría de los deslizamientos posee una geometría en tres dimensiones; varios autores han presentado métodos de análisis, de los cuales merece especial interés el de Yamagami y Jiang (1996).

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Figura 101. Diagrama que muestra el tipo de modelo que se recomienda utilizar de acuerdo con la complejidad de los movimientos



Este método utiliza las ecuaciones de factor de seguridad de Janbú junto con un esquema de minimización basado en la programación dinámica. Con este programa se obtiene la superficie de falla crítica en tres dimensiones, sin restricción a la forma de la falla, su respectivo factor de seguridad y la dirección del movimiento (Figura 100).

Fuente: "Deslizamientos: Análisis Geotécnica", Pág. 129, Diagrama que muestra el tipo de modelo que se recomienda utilizar de acuerdo con la complejidad de los movimientos (Stead y otros, 2006).

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

4.2.2.56. Análisis de equilibrio límite 3-D

Ocasionalmente, se realizan análisis de estabilidad de equilibrio límite en tres dimensiones. Al igual que con los métodos 2-D se requiere realizar una serie de suposiciones para que el problema sea estáticamente determinado. La mayoría de métodos 3-D tiene limitaciones importantes y son útiles solamente para conocer el efecto de la situación 3-D sobre una determinada superficie de falla. Los métodos de equilibrio límite 3-D se utilizan muy poco en diseño (U. S. Corps of Engineers, 2003).

4.2.2.57. Análisis numérico 3-D

Los métodos de elementos finitos utilizan con frecuencia análisis 3-D. Estos modelos son muy útiles para la evaluación de la estabilidad en macizos rocosos donde el efecto de las discontinuidades actúa en tres dimensiones, situación que es muy difícil modelar usando modelos 2-D.

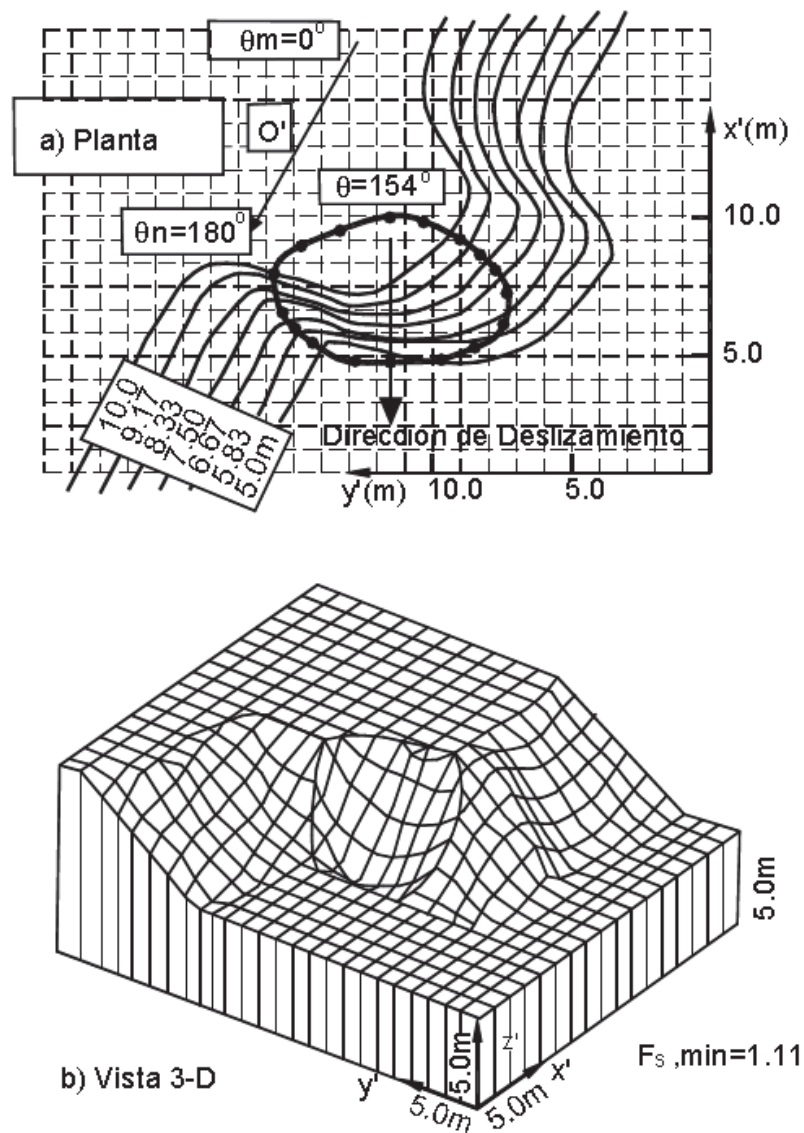
El análisis de elementos finitos 3-D tiene las siguientes desventajas:

- Es muy complejo discretizar el volumen total en 3-D
- El tiempo de corrida del computador y el espacio requerido son muy grandes.
- No son viables para rocas o suelos muy fisurados, con fracturas en muchas direcciones
- Se necesitan algoritmos muy sofisticados.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

El uso de técnicas 3D con diferencias finitas o con elementos discretos, tiene actualmente muchas limitaciones. No se han desarrollado hasta el momento (2008) herramientas eficientes para el análisis 3-D, comparadas con los procesos elaborados para elementos finitos.

Figura 102. Dirección del deslizamiento y superficie de falla crítica en un análisis en tres dimensiones.



Fuente: "Deslizamientos: Análisis Geotécnica", Pág. 170, Dirección del deslizamiento y superficie de falla crítica en un análisis en tres dimensiones (Yamagami y Jiang, 1996).

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

4.2.2.58. Análisis químico del agua

Indispensable para determinar el estado de los recursos hídricos del terreno donde se pretende realizar la construcción. Además del contenido de humedad, se realizan muestras y estudios sobre la composición química del agua que puede tener un factor determinante a la hora de realizar el proyecto.

También se realiza un análisis del contenido mineral del agua, de los residuos o contenidos de sales, carbono u amonio. Este análisis determina la calidad del suelo y su posterior comportamiento al transcurrir del tiempo y luego de que la obra sea terminada.

4.2.2.59. Análisis geotécnico

Con estos análisis, se permite determinar la calidad y la resistencia del suelo, proceso necesario para determinar el tipo de cimentación adecuada para realizar cualquier construcción.

Estos trabajos son elaborados por especialistas en ingeniería geológica y los resultados son precisos.

Para iniciar un buen proyecto de construcción es necesario que el análisis geotécnico sea realizado por un equipo multidisciplinario responsable y que garantice un resultado que cumpla con todos los requerimientos.

Los que de acuerdo a su criterio tomaran decisiones importantes como la forma de evaluación y los métodos mas apropiados para llevar a cabo los análisis que ellos consideren dentro de los cuales estarían los siguientes

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

4.2.2.60. Sondeo y perforaciones

Estos sistemas permiten la exploración del suelo de cualquier densidad y determinar su estado para la facilitación de cualquier proceso. Los sondeos y perforaciones también se utilizan en excavaciones petrolíferas. En esta etapa se realiza el estudio de gabinete correspondiente, para decidir el alcance del estudio geotécnico a realizar.

En esta etapa se realiza la modelación de fenómeno de falla al cortante, con la finalidad de encontrar el ángulo de fricción interna y cohesión del suelo en estudio. Previo a realizar dicho ensayo se realizarán análisis de los estratos que componen dicho talud, dentro de los cuales se verificará si contiene las siguientes características:

- Corte inicial
- Estrato sotobosque
- Estrato herbáceo o arbustivo
- Capa orgánica
- Acuífero subterráneo
- Material de derrumbe
- Cuneta
- Pista concreto hidráulico

Para la fase en mención, se deberán realizar las siguientes investigaciones que incluyen procedimientos que se describen en los siguientes:

- Perforaciones
- Calicatas

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

- Ensayos de campo
- Ensayos de laboratorio
- Ensayos de clasificación
- Ensayos de resistencia
- Generalidades para la resistencia del suelo
- Muestreo
- Instrumentación

Para la clasificación y la identificación del suelo en estudio se realizarán los siguientes ensayos de laboratorio:

- Proctor
- Límite
- CBR
- Equivalente de arena
- Ensayo de corte directo

Objetivo de la fase 2:

Obtener el criterio necesario sobre el alcance del estudio geotécnico de acuerdo a las condiciones del lugar definido para su análisis.

Medios:

- Laboratorio de suelos
- Transporte

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

4.2.3. Fase 3. Análisis de resultados

Análisis de resultados obtenidos en la Fase 2 y determinar las causas de las fallas.

Efectuar una comparación con el comportamiento de los suelos dependiendo el grado de saturación de los mismos y asociarlo a los distintos tipos de falla que en el capítulo 1 se mencionaron.

Previo a la identificación de la falla, deberán analizarse los resultados obtenidos de los materiales y que a continuación se describen:

Resistencia al corte de los suelos

Angulo de fricción

Cohesión

Cohesión aparente

Principio de las presiones efectivas

Relación esfuerzo – deformación

Parámetros de presión de poros

Círculo de Mohr

Envolvente de falla

Trayectoria de esfuerzos

Objetivos de la fase 3:

Establecer las condiciones de los materiales en su estado natural y en estado de falla, identificar el tipo de falla y sus causas.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Medios:

Comparación de registros o resultados que se pudieran tener en el tramo de estudio.

Utilización de tablas encontradas en las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes, septiembre, 2001; Manual Centro Americano de Normas Ambientales.

4.2.4. Fase 4. Causas

Se realizarán de acuerdo a la información obtenida en los pasos de las fases anteriores.

Las mismas se identifican de acuerdo a una serie de procedimientos y análisis obtenidos en las fases anteriores, las cuales pueden ser las siguientes:

4.2.4.1. Geológicos

La Geología aporta un grupo de parámetros importantes para comprender la ocurrencia de los deslizamientos.

4.2.4.2. Litológicos

Los tipos de rocas y la calidad de los suelos determinan en muchos casos la facilidad con que la superficie se degrada por la acción de los factores externos entre los cuales tenemos meteorización, intemperismo, etc.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Las características químicas, físicas, mineralógicas, y genéticas de los diferentes materiales que conforman la corteza, determinan en gran parte la forma como estos evolucionan y se comportan en el ambiente (Clima) en que se encuentran.

4.2.4.3. Tectónicos

Son los factores asociados al tipo, magnitud, e intensidad de la deformación que presentan los materiales rocosos, que genera en ellos elementos, tales como, foliaciones, plegamientos, fallas, diaclasas, que afectan su estructura y que condicionan su estabilidad. La importancia de las estructuras radica en que determinan zonas de debilidad por las cuales se originan los deslizamientos.

4.2.4.4. Geomorfológicos

Son las características morfológicas del relieve de la superficie terrestre, la expresión del nivel de desarrollo alcanzado en el proceso evolutivo. Elementos como la pendiente, agudeza, amplitud, profundidad, de dicho relieve nos dan una idea del grado de equilibrio o desequilibrio de los materiales que constituyen el relieve, y del modo o mecanismos de los procesos que se desarrollan en él.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

4.2.4.5. Vulcanismo

Es un elemento disparador de fenómenos de inestabilidad, tanto por la propia actividad volcánica (sismos volcánicos y deformación del aparato volcánico), como por la acumulación progresiva de materiales fragmentales (cenizas, bloques, etc.) que por sus características físicas favorecen la inestabilidad de los terrenos en áreas aledañas al aparato volcánico.

4.2.4.6. Sísmicos

Las vibraciones provocadas por sismos pueden ser lo suficientemente fuertes como para generar deslizamientos de diversa magnitud, afectando extensas áreas.

4.2.4.7. Antrópico

Se refieren a todas las actividades mediante las cuales el hombre transforma el medio natural.

- Obras civiles
- Deforestación
- Minería
- Actividades Agrícolas
- Sobrepastoreo
- Uso del suelo

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Todas estas actividades pueden alterar el equilibrio desarrollando o intensificando procesos nocivos para el terreno, que en cierta medida es naturalmente vulnerable, y (Procesos morfo dinámicos) que se traducen en deslizamientos.

Los factores que afectan la estabilidad de los taludes en las zonas de alta pendiente son entre otros, las pobre técnicas constructivas empleadas al realizar cortes, la construcción de viviendas y la conformación de llenos no estructurales.

4.2.4.8. Gravedad

La principal fuerza responsable de los movimientos en masa es la gravedad. En una superficie plana la gravedad actúa hacia abajo, en una ladera esta fuerza tiene dos componentes: una componente que actúa normal a la superficie y otra que actúa de forma tangencial a la superficie.

4.2.4.9. Fluidificación

Si a un material no consolidado se le agrega un poco de agua los poros que antes contenían aire se llenan de agua produciéndose una tensión capilar que mejora el grado de cohesión del suelo, pero si el material se satura, el grado de cohesión se reduce considerablemente y se elimina la fricción entre los granos, luego el material tiende a fluir como un líquido. Este fenómeno se denomina fluidificación.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

4.2.4.10. Presión de poros y sus efectos

La presión de poros depende de la localización de los niveles freáticos, presiones internas de los acuíferos y características geológicas del sitio. La presión de poros varía de acuerdo al régimen de aguas subterráneas.

Un incremento en la presión de poros positiva o una disminución en la presión de poros negativa equivale a una disminución de la resistencia al cortante y por tanto de la estabilidad.

4.2.4.11. Cambio en la presión de poros y el grado de saturación por efecto de agua

La combinación de pendientes en áreas de descarga, con la tendencia del agua subterránea de fluir hacia la cara de la pendiente, y la presencia de mantos de suelo residual relativamente impermeables, conllevan a la generación de altas presiones de poros que pueden desestabilizar las pendientes y producir desprendimientos de bloques de roca de gran magnitud. Terzaghi y Peck, 1967, y Deere y Patton, 1971 describen situaciones en las cuales éstas condiciones han llevado a un estado crítico de estabilidad produciendo la falla del talud.

Adicionalmente, la presencia de detalles locales desfavorables, como orientaciones de diaclasas con ángulos elevados, puede generar zonas de debilidad en el talud y desarrollar una condición aún más inestable, ya que se producen ocurrencias de presiones muy altas.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

4.2.4.12. Frente húmedo

La infiltración de agua en el subsuelo durante lluvias prolongadas puede reducir las tensiones de succión en el suelo hasta un punto en el cual las pendientes son inestables. De acuerdo a Lumb, 1975, la tasa de infiltración del agua de lluvia en un suelo homogéneo es igual a la permeabilidad saturada del suelo cuando no se forma estancamiento del agua en la superficie. Para un suelo con permeabilidad k y porosidad n , se puede demostrar que el frente de humedad por infiltración avanza según la siguiente expresión:

$$h = k t / n (S_f - S_0)$$

Donde:

h = profundidad de avance del frente de humedad después de un tiempo " t "

S_0 = grado de saturación inicial

S_f = grado de saturación final

En la zona saturada, los poros del suelo están completamente llenos de agua, la presión poro-agua U_w iguala a la presión poro-aire U_a , reduciendo la succión ($U_a - U_w$) a cero. En la zona de transición, la humedad del suelo permanece aproximadamente constante y el agua percola a través del suelo bajo la acción del gradiente potencial de gravitación. La succión en esta zona es reducida a un valor muy bajo.

En la zona de humedecimiento, existe una transición muy marcada entre el contenido de humedad y la tensión por succión, de los valores de la zona de transición a aquellos de la zona todavía no humedecida.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Es importante destacar, que la profundidad de avance del frente de humedad h es directamente proporcional al tiempo t . De lo anterior se puede inferir que durante las prolongadas lluvias ocurridas en Marzo-Abril-Mayo y Septiembre-Octubre-Noviembre, el frente de húmedo puede penetrar perfiles completos de meteorización, degradando la cohesión aparente (tensión de succión), de todo el manto de suelo residual, a valores muy bajos, lo cual puede generar una disminución en la succión o cohesión aparente que producía el estado de no saturación.

4.2.4.13. Hidrogeológicos

El movimiento del agua a través de los suelos y rocas y el comportamiento de la presión hidrostática en estos hacen de suma importancia el estudio hidrogeológico. La hidrogeología de una zona está determinada por la litología, las estructuras y el clima de una zona, esto convierte a la geología en la base de la interpretación de los datos hidrológicos.

Es así como el agua superficial y subterránea además de provocar la saturación, sobrepeso de los suelos y la variación de las presiones ejercidas en el suelo y los materiales rocosos, genera procesos tales como la socavación, erosión de taludes y la disolución de rocas solubles, entre otros.

Objetivo de la fase 4:

La propuesta de soluciones.

Proponer soluciones acordes al tipo de falla

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Medios:

Utilización de los pasos en las fases 1, 2 y 3

4.2.5. Fase 5. Elección de la solución y su implementación.

En esta etapa se plantea el cese de las acciones causantes o el normal funcionamiento de los procesos naturales para corregir, en un pequeño espacio de tiempo, los efectos de las referidas perturbaciones.

En esta fase los impactos pueden ser clasificados como no significativos para el medio ambiente, no necesitando la implantación de medidas correctoras concretas para minimizar o reducir sus consecuencias, también podrían ser identificados impactos considerados como significativos, estos impactos con efectos probables más complejos e importantes son los que ameritan ser analizados con mayor detalle y la implementación de medidas correctoras para minimizar o reducir sus consecuencias.

Las soluciones a considerar de acuerdo a la magnitud de la falla serán las siguientes:

Cambio de geometría

Drenaje

Drenajes verticales

Drenajes sub horizontales

Drenajes transversales o interceptores

Soluciones estructurales

Muro de gravedad

Muro de gavión

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Muros estructurales
Evitar la zona de falla
Reducir las fuerzas motoras
Aumentar las fuerzas resistentes
Descargar la cresta
Empleo de bermas laterales o frontales
Geosintéticos

Objetivos de la fase 5:

Reducir gastos de operación
Optimización de recursos

Medios:

Utilización de todos los recursos disponibles
Información correspondiente de carácter teórico y técnico sobre la estabilización de taludes

4.3. Síntesis de la metodología propuesta

La síntesis de la metodología propuesta plantea los principios de las causas y efectos que producen la inestabilidad de taludes, para tratar de solucionar o corregir exactamente los impactos ambientales producidos por la construcción de carreteras y que comprenden los siguientes tópicos:

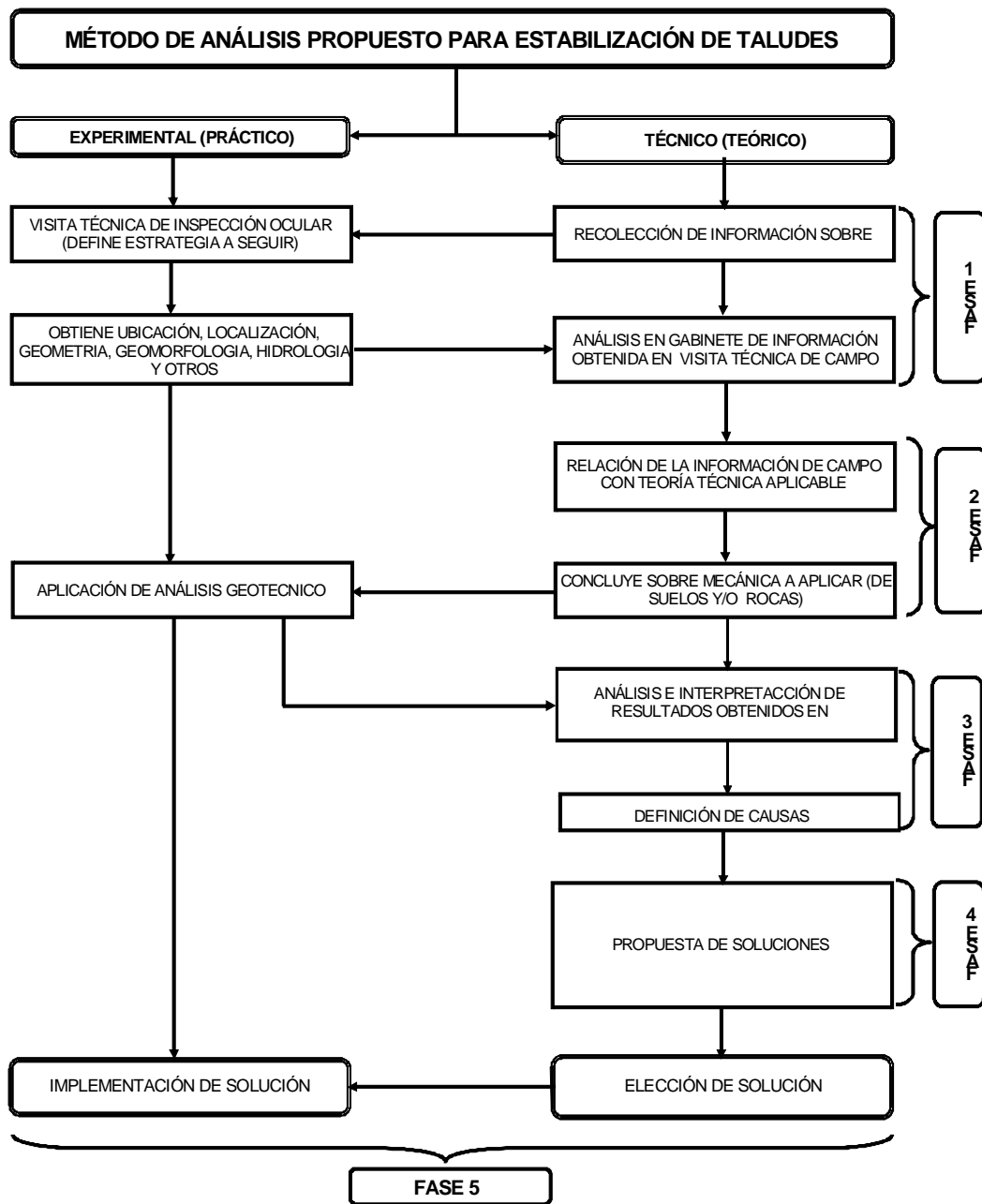
- Recopilación de información del lugar objeto de estudio
- Visita técnica de inspección ocular,
- Ubicación y localización del lugar, geomorfología, hidrología y otros

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

- Concluir en el criterio a aplicar, definir el alcance del estudio geotécnico necesario para el análisis del problema
- Análisis e interpretación de resultados obtenidos
- Evaluación a través de un formato establecido
- Identificación de fallas, sus causas y efectos
- Búsqueda de soluciones y su propuesta
- Recomendar solución apropiada
- Implementación de solución recomendada

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Tabla XXIV. Diagrama del método propuesto



Fuente:: Diagrama del Método Propuesto, Ing. Msc. Erick Ricardo Pérez Mérida

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Tabla XXV. Boleta de visita de campo

BOLETA DE VISITA DE CAMPO

Nb.	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
1	TIPO DE CONSTRUCCIÓN	En forma resumida describir el tipo de construcción
1.1	NUEVA (si o no)	
1.2	AMPLIACION (si o no)	
1.3	EN SERVICIO (si o no)	
2	PROBLEMA A ANALIZAR:	Describir brevemente el problema (tipo de falla, posible causa, área de influencia, etc)
2.1	MODERADO (si o no)	Describir sus vulnerabilidades
2.2	CON INDICIOS DE FALLA (si o no)	Describir cuáles son
2.3	FALLADO TOTALMENTE (si o no)	Describir el tipo de falla y sus efectos
3	GEOMORFOLOGÍA	
3.1	SUELOS (si o no)	A grandes rasgos si se puede identificar visualmente
3.2	ROCA (si o no)	Si es roca sana, fallada, intemperizada, etc
3.3	SUELO Y ROCA (si o no)	Si son estratos, rocas incrustadas, etc
4	INFORMACIÓN EXISTENTE	En donde se recopiló o donde se encuentra
4.1	FLANIMETRIA (si o no)	Que tipo de planos (diseño o construcción final)
4.2	GEOTECNIA (si o no)	Que ensayos se han realizado y sus resultados
4.3	CAUSA DE FALLA IDENTIFICADA (si o no)	Si ya existe un estudio que haya identificado las causas
5	ACCESIBILIDAD	
5.1	VEHICULO (si o no)	De doble tracción, sencillo, carriones, equipo y maquinaria
5.2	CAMINATA (si o no)	Distancia y tiempo
6	UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN	
6.1	PROYECTO O TRAMO	Si es posible identificarlo dentro del inventario de proyectos del sector público
6.2	ESTACIONAMIENTO	De ser posible con exactitud, o aproximado, a ser determinado en análisis geotécnico
6.3	LADO	Izquierdo o Derecho, de acuerdo al inicio de referencia
7	INTERVENIDO ACTUALMENTE	Si es mantenimiento, reparación, o sin intervención
7.1	IDENTIFICACIÓN DE QUIEN INTERMENE	
8	FECHA DE VISITA	
9	ANEXO FOTOGRAFÍAS Y OTROS	Describir cuantas fotografías y otra información relevante

Fuente: Boleta de Visita de Campo, Ing. Msc. Erick Ricardo Pérez Mérida

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Tabla XXVI. Boleta de orden de trabajo especial

BOLETA DE ORDEN DE TRABAJO ESPECIAL

PROYECTO:		
ESTACIONAMIENTOS:		
FECHA:		
No.	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
1	PLANIMETRIA ORDENADA	
1.1	TOPOGRAFÍA ESPECIAL	Describir el alcance de la topografía
1.2	ESTACIONAMIENTOS	Describir los estacionamientos con exactitud
1.3	INGENIERIA DE DETALLE (DIBUJOS)	Describir los dibujos que se realizarán
1.4	PERSONAS O FAMILIAS AFECTADAS	Censo del área afectada
2	GEOTECNIA ORDENADA	
2.1	CLASIFICACIÓN DE SUELOS	Describir el tipo de ensayo y sus estacionamientos
2.2	ESTRATIGRAFÍA	Definir los estacionamientos
2.3	AGUA SUPERFICIAL	Describir los métodos y su área de aplicación
2.4	AGUA SUBTERRANEA	Describir los métodos y su área de aplicación
2.5	ENSAYOS DE LABORATORIO	Enumerar y enunciar los ensayos ordenados
2.6	GEOLOGÍA	Describir los alcances del estudio geológico
3	ÁREA DE INFLUENCIA DEL ANALISIS	Describir y graficar el área de influencia

Fuente: Boleta de Orden de Trabajo Especial.

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Tabla XXVII. Boleta de resultados y análisis

BOLETA DE RESULTADOS Y ANALISIS

PROYECTO:			
ESTACIONAMIENTOS:			
FECHA:			
No.	DESCRIPCIÓN	VALORES	OBSERVACIONES
1	MECÁNICA DE SUELOS		Enumerar y anotar los valores cuantitativos y cualitativos de los resultados obtenidos, su interpretación y su conclusión técnica, deseable agregar su recomendación técnica
2	MECÁNICA DE ROCAS		Enumerar y anotar los valores cuantitativos y cualitativos de los resultados obtenidos, su interpretación y su conclusión técnica, deseable agregar su recomendación técnica
3	AGUAS SUPERFICIALES		Enumerar y anotar los valores cuantitativos y cualitativos de los resultados obtenidos, su interpretación y su conclusión técnica, deseable agregar su recomendación técnica
4	AGUAS SUBTERRÁNEAS		Enumerar y anotar los valores cuantitativos y cualitativos de los resultados obtenidos, su interpretación y su conclusión técnica, deseable agregar su recomendación técnica
5	GEOLOGÍA		Enumerar y anotar los valores cuantitativos y cualitativos de los resultados obtenidos, su interpretación y su conclusión técnica, deseable agregar su recomendación técnica
6	TIPOS DE FALLAS		Describir el tipo de fallas, morfología, geometría, efectos, y toda la información que sea de utilidad en la solución que se recomiende
7	CAUSAS DE LAS FALLAS		Enumerar las causas determinadas que provocaron, o provocará la falla o fallas en el lugar
8	SOLUCIONES PROPUESTAS		Describir las posibles soluciones, sus ventajas y desventajas, costos y presupuestos, recomendar la que satisfaga todos los criterios que intervienen (técnicos, políticos, sociales, económicos y financieros)

Fuente: Boleta de Resultados y Análisis

4. DEFINICIÓN Y SINTESIS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

CONCLUSIONES

1. EL origen de las fallas en los taludes es la variación de condición que sufren las laderas anualmente o derivado de los procesos constructivos.

Otros factores que contribuyeron a la falla de taludes son el riesgo de cultivos en la cresta de taludes, tuberías rotas, la ubicación de pozos de absorción los cuales producen infiltración creando presiones intersticiales.

Se puede decir que en el año 2008, particularmente en el tramo: Tecpán – Los Encuentros, el comportamiento de lluvia fue casi parejo, con la particularidad que los cortes en los taludes se acaban de llevar a cabo, lo que trajo consigo que los materiales que habían quedado sueltos derivados de los cortes y con las lluvias de ese año, se produjeran deslizamientos y derrumbes.

Si se evalúa la estabilidad de taludes para cualquier proyecto ya sea este de cualquier magnitud, una manera de trabajar es mediante la sectorización de la vía en zonas homogéneas, pero es un trabajo dispendioso que requiere contar con la participación de al menos un geólogo y un geotecnista experimentados.

2. En el país no se cuenta con métodos estandarizados para evaluar la inestabilidad de los taludes, ni se tiene la práctica de analizar taludes en la fase de diseños de carreteras.

CONCLUSIONES

Debido a la poca experiencia que se tiene en el país sobre fallas en taludes, rellenos, laderas, etc., y al cambio significativo del clima, se notó un aumento en los problemas de inestabilidad de taludes, en el proyecto en mención, en virtud de tal situación, se implementó empíricamente un procedimiento para identificar las posibles causas de fallas de los taludes y así realizar trabajos tanto preventivos como correctivos adecuados a cada talud.

3. La falta de programas que prevean el deterioro del impacto ambiental en la construcción de carreteras o ampliación de las mismas redundará al final en mayores costos y pérdidas humanas
4. Durante la fase constructiva, las Especificaciones con la que se trabaja en nuestro país son las de especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes y las ambientales (SIECA), pero las mismas son generales y en opinión debe estudiarse caso por caso, ya que las características de los taludes pueden cambiar de acuerdo a su clima, topografía y región en que se encuentre trabajando.

RECOMENDACIONES

1. Provocar un debate sobre cuáles serían las mejores prácticas de mitigación ambiental en la construcción de carreteras dependiendo de los factores que la provocan.
2. En este documento de investigación se propone un formato específico para efectuar el análisis de los taludes, el mismo se puede utilizar como guía general para el análisis de taludes, el cual podría ser modificado y complementado con un estudio completo de suelos, que incluye el ensayo de corte directo.

Previo a cada construcción de carreteras deben realizarse estudios completos de suelos para obtener el área a afectar, ya que con esto se podría obtener un aproximado del área a utilizar para la construcción de carreteras; en esta área tendría que estar contemplada la mitigación y estabilización de los taludes.

3. Dentro de la planificación de carreteras se debe contemplar un estudio de taludes que identifique y localice los puntos críticos, los cuales serán ocasionados por la construcción de carreteras y que dentro de los trabajos de construcción de carreteras se incluya los renglones que se deban realizar a fin de mitigar los factores que producen la inestabilidad de los taludes y que dichos renglones de trabajo deben realizarse con grado de importancia que eviten que los mismos no sean ejecutados o cambiados a otros renglones de trabajo.

RECOMENDACIONES

En virtud de la experiencia obtenida en el proyecto mejoramiento y ampliación a 4 carriles Ruta CA – 01 W tramo: Tecpán – Los Encuentros, en proyectos futuros de carreteras, deben de hacerse los esfuerzos necesarios para obtener las áreas que se requieran a fin de mitigar los daños que se pueden provocar por motivo de corte y relleno de taludes, ya que de no hacerlo posteriormente se vuelve una causa principal de falla de taludes.

No existe en Guatemala una Institución gubernamental que lleve un registro, ubicación, localización o estadística de la ocurrencia del por qué la falla de taludes y cuáles podrían ser proclives a fallar, por lo que se debe de crear la misma. Este debe contener un equipo especializado, personal técnico altamente calificado y suficientes recursos con la finalidad que se le de seguimiento a la ocurrencia de falla de taludes que cada año se vuelve mas constante. La institución que fuere creada para el registro, análisis, ubicación, localización y estadística, que deberá contemplar la creación de un documento que norme los cortes y rellenos de las secciones por ampliar, de acuerdo a una serie de estudios de suelos que deben realizarse en el territorio nacional, y características que incluyen topografía, clima y región.

4. Crear una unidad gubernamental encargada de localizar monitorear y mapear puntos críticos en el territorio de Guatemala, con la finalidad de crear un registro y llevar una estadística que ayude a mejorar y optimizar los pocos recursos con que cuenta el Estado.

Que se contemple la adquisición de derecho de vía como parte de los estudios de pre inversión, con la finalidad de darle un grado de inclinación a los taludes lo más cercano al coeficiente de fricción interna.

BIBLIOGRAFÍA

1. Crespo Villalaz, Carlos – Mecánica de Suelos y Cimentaciones, Editorial: Limusa, 4ª edición, 1996.
2. Dr. Jorge E. y otros, Análisis de Estabilidad de Taludes Febrero 1994
3. Duncan y otros, Deslizamientos: Análisis Geotécnica, Fuerzas en un análisis de arco circular, 2005.
4. Jaime Suarez, Facultad de Ingenierías Físico Mecánica, Escuela de Ingeniería Civil, DESLIZAMIENTOS: Técnicas de Remediación, Obras de Drenaje y Sub drenaje – Jaime Suarez, Editorial: Universidad Industrial de Santander, UIS Febrero de 2009.
5. Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras alcantarillas y Puentes SIECA, Guatemala, julio 1974.
6. Manual Centroamericano de Normas Ambientales para el Diseño, Construcción y Mantenimiento de carreteras, SIECA, Noviembre 2002.
7. Método de Diseño AASHTO – Pavimentos de concreto CEMEX, 1993
8. Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda. Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes Septiembre 2001, Dirección General de Caminos.
9. Rico Rodríguez Alfonso, La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres, Vol. 1, Editorial Limusa.

BIBLIOGRAFÍA

10. Suarez Díaz Jaime, Metodología de Análisis Capítulo 1 Caracterización de los movimientos en masa, Editorial: Ingeniería de Suelos LTDA., Julio 1998.
11. Sabelli Alejandro y otros LAS ARCILLAS: Diagnóstico y remediación, Junio 2002.

Apéndice

Anexo 1

PROYECTO:		Tecpan Guatemala Los Encuentros										
PROCEDENCIA DEL MATERIAL:		CORTE DE TALUD										
ESTACION DEL BANCO:		107+075 L/I										
NUMERO DE LABORATORIO:		9										
FHECHA DE LA PRUEBA:		Jueves, 26 de Marzo de 2009										
P.B.	TARA	P.N.	P.U.H.	TARRO	TARA	P.B.H.	P.B.S.	DIF	P.N.S.	%H	PROM	P.U.S.
5678	4184	1494	1579								21.8	1297
5734	4184	1550	1638								24.9	1312
5797	4184	1613	1705								27.8	1334
5820	4184	1636	1729								30.8	1322
5825	4184	1641	1735								33.7	1297

SPEEDY

--

PROCTOR T-180		RESULTADOS	
PESO AGREGADO FINO:	Kgs/mts ³	P.U.S. MAXIMO:	1,335 Kgs/mts ³
PESO AGREGADO GRUESO:	Kgs/mts ³		83.3 Lbs/Pie ³
AGUA INICIAL:	cc.	% DE HUM. OPTIMA:	28.3 %
SEGUIDA CON:	132 cc.		

OBSERVACIONES: PROCTOR DE MATERIAL DE CORTE DE TALUD DE LA ESTACION 107+075 L/I. SEGUNDA CAPA
 LA HUMEDAD NATURAL DE ESTE MATERIAL ES DE 21.8%
 MATERIAL ARENOSO

nexo 1

EQUIVALENTE DE ARENA													
PROYECTO:	TECPAN GUATEMALA / LOS ENCUENTROS												
FECHA:	Jueves, 26 de Marzo de 2009	No. LAB:	9										
DESCRIPCION:													
MUEST. TOMADA:	CORTE DE TALUD												
ESTACION:	107+075												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Hr. Entrada</td></tr> <tr><td>19.31.45</td></tr> <tr><td>10 min</td></tr> <tr><td>19.41.45</td></tr> <tr><td>Hr. Salida</td></tr> </table>	Hr. Entrada	19.31.45	10 min	19.41.45	Hr. Salida	1	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Hr. Entrada</td></tr> <tr><td>19.44.02</td></tr> <tr><td>20 min</td></tr> <tr><td>20.04.02</td></tr> <tr><td>Hr. Salida</td></tr> </table>	Hr. Entrada	19.44.02	20 min	20.04.02	Hr. Salida	
Hr. Entrada													
19.31.45													
10 min													
19.41.45													
Hr. Salida													
Hr. Entrada													
19.44.02													
20 min													
20.04.02													
Hr. Salida													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Hr. Entrada</td></tr> <tr><td>19.34.50</td></tr> <tr><td>10 min</td></tr> <tr><td>19.44.50</td></tr> <tr><td>Hr. Salida</td></tr> </table>	Hr. Entrada	19.34.50	10 min	19.44.50	Hr. Salida	2	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Hr. Entrada</td></tr> <tr><td>19.47.17</td></tr> <tr><td>20 min</td></tr> <tr><td>20.07.17</td></tr> <tr><td>Hr. Salida</td></tr> </table>	Hr. Entrada	19.47.17	20 min	20.07.17	Hr. Salida	
Hr. Entrada													
19.34.50													
10 min													
19.44.50													
Hr. Salida													
Hr. Entrada													
19.47.17													
20 min													
20.07.17													
Hr. Salida													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Lectura Arena</td></tr> <tr><td>1.7</td></tr> </table>	Lectura Arena	1.7	45	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Lectura Arcilla</td></tr> <tr><td>3.8</td></tr> </table>	Lectura Arcilla	3.8							
Lectura Arena													
1.7													
Lectura Arcilla													
3.8													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Lectura Arena</td></tr> <tr><td>1.7</td></tr> </table>	Lectura Arena	1.7	45	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Lectura Arcilla</td></tr> <tr><td>3.8</td></tr> </table>	Lectura Arcilla	3.8							
Lectura Arena													
1.7													
Lectura Arcilla													
3.8													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">E.A.</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">45</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">% PROMEDIO</td></tr> </table>				E.A.	45	% PROMEDIO							
E.A.													
45													
% PROMEDIO													
<p>OBSERVACIONES: EQUIVALENTE DE ARENA DE MATERIAL DE CORTE DE TALUD DE LA ESTACION 107+075 L/I.</p> <p>LA HUMEDAD NATURAL DE ESTE MATERIAL ES DE 21.8%.</p>													

Anexo 1

PROYECTO: _____	TECPAN GUATEMALA / LOS ENCUENTROS	No. De Lab. _____	ESTACION: _____
		9	107+075 L/I.
		FECHA: _____	
		Martes, 16 de Junio de 2009	

TAMIZ	P.B.R.	P.I.R.	% RET.	% PASA	PASA 200
3"					
2 1/2"					
2"					
1 1/2"					
1"					
3/4"					
3/8"					
No. 4					
No. 10	640	320	32	68	
No. 40	861.2	542	55	45	
No. 100					
No. 200	1138.3	819	83	17	


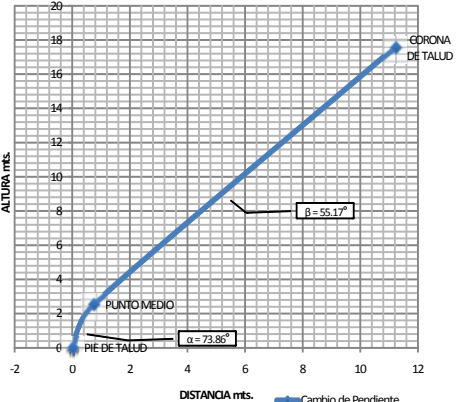
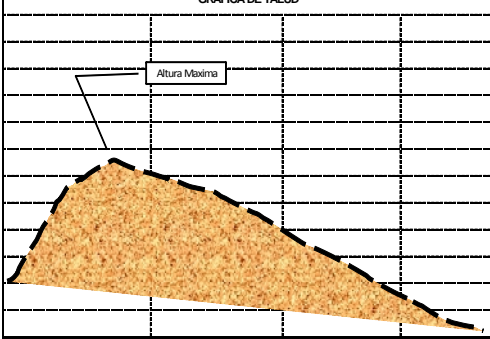
GRANULOMETRIA SIN LAVAR	GRANULOMETRIA LAVA
P. BRUTO _____	P. BRUTO _____
TARA _____	TARA _____
P. NETO _____	P. NETO _____

LIMITE LIQUIDO

LIMITE LIQUIDO		LIMITE PLÁSTICO		ÍNDICE PLÁSTICO	
TARRO		TARRO		L.L.	0
P.B.H.		P.B.H.		I.P.	0
P.B.S	NO LIQUIDO	P.B.S	NO PLASTICO	CLASIFICACION:	A-3
TARA		TARA		ÍNDICE DE GRUPO:	0
DIF.		DIF.		OBSERVACIONES:	
P.N.S.		P.N.S.			
% HUM.		% HUM.			
No. Golp.		% PROMI			

OBSERVACIONES: LIMITE DE MATERIAL DE CORTE DE TALUD DE LA ESTACION 107+075 L/I. HUMEDAD NATURAL 21.8%.
--

Anexo 1

Título: ANALISIS DE TALUDES TRAMO TEPCAN LOS ENCUENTROS Versión No. 1 Fecha de emisión: 08/02/2009		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA AMPLIACIÓN A 4 CARRILES DE LA RUTA CA-1 OCCIDENTE TRAMO TEPCAN (km 89) - LOS ENCUENTROS (km 124) Página: 77																																																																																			
EST. INICIAL: 107+060	EST. FINAL: 107+250	LADO: IZQUIERDO																																																																																			
OBRA: TEPCAN - LOS ENCUENTROS																																																																																					
ANALISIS FOTOGRAFICO 	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th colspan="3">GEOLOGIA DE TALUD</th> </tr> <tr> <th></th> <th>SI</th> <th>NO</th> <th>DESCRIPCION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>ARCILLA</td><td style="text-align: center;">X</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>LIMO</td><td></td><td style="text-align: center;">X</td><td></td></tr> <tr><td>LIMO ARENOSO</td><td style="text-align: center;">X</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>GRAVA</td><td></td><td style="text-align: center;">X</td><td></td></tr> <tr><td>ARENOSO</td><td></td><td style="text-align: center;">X</td><td></td></tr> <tr><td>COLOR</td><td colspan="2" style="text-align: center;">CAFÉ Y BEIGE</td><td></td></tr> <tr><td>MATERIAL SUELTO</td><td style="text-align: center;">X</td><td></td><td>EN CARA DE TALUD, SIN RIESGO</td></tr> </tbody> </table>		GEOLOGIA DE TALUD				SI	NO	DESCRIPCION	ARCILLA	X			LIMO		X		LIMO ARENOSO	X			GRAVA		X		ARENOSO		X		COLOR	CAFÉ Y BEIGE			MATERIAL SUELTO	X		EN CARA DE TALUD, SIN RIESGO																																																
GEOLOGIA DE TALUD																																																																																					
	SI	NO	DESCRIPCION																																																																																		
ARCILLA	X																																																																																				
LIMO		X																																																																																			
LIMO ARENOSO	X																																																																																				
GRAVA		X																																																																																			
ARENOSO		X																																																																																			
COLOR	CAFÉ Y BEIGE																																																																																				
MATERIAL SUELTO	X		EN CARA DE TALUD, SIN RIESGO																																																																																		
	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th colspan="4">ESTADISTICA DE TALUD</th> </tr> <tr> <th colspan="4">DESCRIPCION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>CAPA 1</td><td colspan="3" style="text-align: center;">VEGETAL</td></tr> <tr><td>CAPA 2</td><td colspan="3" style="text-align: center;">ARCILLA</td></tr> <tr><td>CAPA 3</td><td colspan="3" style="text-align: center;">LIMO ARENOSO</td></tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th colspan="4">GEOMETRIA DE TALUD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>ALTURA</td><td style="text-align: center;">17.57</td><td colspan="2">METROS</td></tr> <tr><td>GRADO INCLINACION (pie):</td><td style="text-align: center;">73.86</td><td>GRADO INCLINACION (corona):</td><td style="text-align: center;">55.17</td></tr> <tr><td>LONGITUD</td><td style="text-align: center;">190</td><td colspan="2">METROS</td></tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th colspan="3">PRESENCIA DE AGUA</th> </tr> <tr> <th></th> <th>SI</th> <th>NO</th> <th>DESCRIPCION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>NACIMIENTOS</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>SUPERFICIAL</td><td></td><td style="text-align: center;">X</td><td></td></tr> <tr><td>SUB-TERRANEA</td><td></td><td style="text-align: center;">X</td><td></td></tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th colspan="4">FALLAS ESTRUCTURALES O VISIBLES EN EL TALUD</th> </tr> <tr> <th>TIPO DE FALLA ENCONTRADO</th> <th>SI</th> <th>NO</th> <th>DESCRIPCION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>GRIETAS CORONA TALUD</td><td></td><td style="text-align: center;">X</td><td></td></tr> <tr><td>GRIETAS CARA TALUD</td><td style="text-align: center;">X</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>BERMAS</td><td></td><td style="text-align: center;">X</td><td></td></tr> <tr><td>EROSION TALUD</td><td style="text-align: center;">X</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>LOMOS DE PRESION</td><td style="text-align: center;">X</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>		ESTADISTICA DE TALUD				DESCRIPCION				CAPA 1	VEGETAL			CAPA 2	ARCILLA			CAPA 3	LIMO ARENOSO			GEOMETRIA DE TALUD				ALTURA	17.57	METROS		GRADO INCLINACION (pie):	73.86	GRADO INCLINACION (corona):	55.17	LONGITUD	190	METROS		PRESENCIA DE AGUA				SI	NO	DESCRIPCION	NACIMIENTOS				SUPERFICIAL		X		SUB-TERRANEA		X		FALLAS ESTRUCTURALES O VISIBLES EN EL TALUD				TIPO DE FALLA ENCONTRADO	SI	NO	DESCRIPCION	GRIETAS CORONA TALUD		X		GRIETAS CARA TALUD	X			BERMAS		X		EROSION TALUD	X			LOMOS DE PRESION	X		
ESTADISTICA DE TALUD																																																																																					
DESCRIPCION																																																																																					
CAPA 1	VEGETAL																																																																																				
CAPA 2	ARCILLA																																																																																				
CAPA 3	LIMO ARENOSO																																																																																				
GEOMETRIA DE TALUD																																																																																					
ALTURA	17.57	METROS																																																																																			
GRADO INCLINACION (pie):	73.86	GRADO INCLINACION (corona):	55.17																																																																																		
LONGITUD	190	METROS																																																																																			
PRESENCIA DE AGUA																																																																																					
	SI	NO	DESCRIPCION																																																																																		
NACIMIENTOS																																																																																					
SUPERFICIAL		X																																																																																			
SUB-TERRANEA		X																																																																																			
FALLAS ESTRUCTURALES O VISIBLES EN EL TALUD																																																																																					
TIPO DE FALLA ENCONTRADO	SI	NO	DESCRIPCION																																																																																		
GRIETAS CORONA TALUD		X																																																																																			
GRIETAS CARA TALUD	X																																																																																				
BERMAS		X																																																																																			
EROSION TALUD	X																																																																																				
LOMOS DE PRESION	X																																																																																				
GRAFICA DE TALUD 	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th colspan="2">PERFILES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>CONCAVOS</td><td style="text-align: center;">EXISTEN</td></tr> <tr><td>CONVEXOS</td><td style="text-align: center;">EXISTEN</td></tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th colspan="2">VEGETACION ENCONTRADA SOBRE TALUD</th> </tr> <tr> <th colspan="2">DESCRIPCION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>TIPO DE SIEMBRA</td><td></td></tr> <tr><td>ARBOLES</td><td style="text-align: center;">80%</td></tr> <tr><td>OTROS</td><td style="text-align: center;">EXISTE EN CORONA</td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">MLPA Y MALEZA</td></tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th colspan="2">ESTABILIZACION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>REVEGETACION</td><td style="text-align: center;">SE RECOMIENDA LA SIEMBRA DE MAS ARBOLES</td></tr> <tr><td>CONTRACUNETAS</td><td style="text-align: center;">NECESARIAS</td></tr> <tr><td>REVESTIMIENTO DE TALUD</td><td></td></tr> <tr><td>COLOCACION DE MURO</td><td></td></tr> <tr><td>COLOCACION DE GAVIONES</td><td></td></tr> </tbody> </table>		PERFILES		CONCAVOS	EXISTEN	CONVEXOS	EXISTEN	VEGETACION ENCONTRADA SOBRE TALUD		DESCRIPCION		TIPO DE SIEMBRA		ARBOLES	80%	OTROS	EXISTE EN CORONA		MLPA Y MALEZA	ESTABILIZACION		REVEGETACION	SE RECOMIENDA LA SIEMBRA DE MAS ARBOLES	CONTRACUNETAS	NECESARIAS	REVESTIMIENTO DE TALUD		COLOCACION DE MURO		COLOCACION DE GAVIONES																																																						
PERFILES																																																																																					
CONCAVOS	EXISTEN																																																																																				
CONVEXOS	EXISTEN																																																																																				
VEGETACION ENCONTRADA SOBRE TALUD																																																																																					
DESCRIPCION																																																																																					
TIPO DE SIEMBRA																																																																																					
ARBOLES	80%																																																																																				
OTROS	EXISTE EN CORONA																																																																																				
	MLPA Y MALEZA																																																																																				
ESTABILIZACION																																																																																					
REVEGETACION	SE RECOMIENDA LA SIEMBRA DE MAS ARBOLES																																																																																				
CONTRACUNETAS	NECESARIAS																																																																																				
REVESTIMIENTO DE TALUD																																																																																					
COLOCACION DE MURO																																																																																					
COLOCACION DE GAVIONES																																																																																					
PROHIBIDA LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO, SIN LA AUTORIZACION DEL AUXILIAR DE DELEGADO RESIDENTE ABRACA LAS MUESTRAS DE REFERENCIA																																																																																					

Apéndice

Anexo 2

PROYECTO:				Tecpan Guatemala Los Encuentros								
PROCEDENCIA DEL MATERIAL:				CORTE DE TALUD								
ESTACION DEL BANCO:				106+940 L/I								
NUMERO DE LABORATORIO:				10								
FHECHA DE LA PRUEBA:				Sábado, 28 de Marzo de 2009								
P.B.	TARA	P.N.	P.U.H.	TARRO	TARA	P.B.H.	P.B.S.	DIF	P.N.S.	%H	PROM	P.U.S.
5710	4184	1526	1613								15.7	1394
5817	4184	1633	1726								19.1	1449
5978	4184	1794	1896								23.9	1531
5978	4184	1794	1896								28.0	1482
5921	4184	1737	1836								32.1	1390

SPEEDY

PROCTOR T-180		RESULTADOS	
PESO AGREGADO FINO:	Kgs/mts ³	P.U.S. MAXIMO:	1,533 Kgs/mts ³
PESO AGREGADO GRUESO:	Kgs/mts ³		95.7 Lbs/Pie ³
AGUA INICIAL:	200 cc.	% DE HUM. OPTIMA:	24.3 %
SEGUIDA CON:	154 cc.		

OBSERVACIONES: PROCTOR DE MATERIAL DE CORTE DE TALUD DE LA ESTACION 106+940 L/I. CORONA CAPA 1.
 LA HUMEDAD NATURAL DE ESTE MATERIAL ES DE
 MATERIAL ARENOSO

Anexo 2

EQUIVALENTE DE ARENA

PROYECTO: TECPAN GUATEMALA / LOS ENCuentROS

FECHA: Sábado, 28 de Marzo de 2009 No. LAB: 10

DESCRIPCION: _____

MUEST. TOMADA: CORTE DE TALUD

ESTACION: 106+940 L/I

Hr. Entrada
19.15.10
10 min
19.25.10
Hr. Salida

1

Hr. Entrada
19.27.00
20 min
19.47.00
Hr. Salida

Hr. Entrada
19.19.05
10 min
19.29.05
Hr. Salida

2

Hr. Entrada
19.31.05
20 min
19.51.05
Hr. Salida

Lectura Arena	Lectura Arcilla	Lectura Arena	Lectura Arcilla
1.2	8.9	1.3	9.8
13		13	

E.A.

13

% PROMEDIO


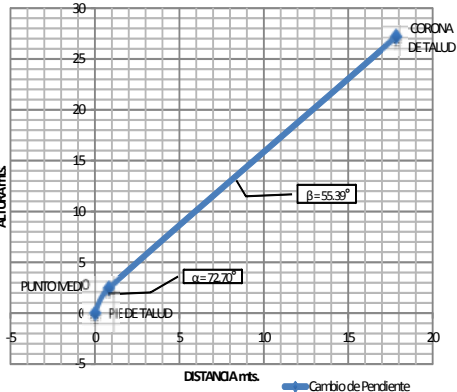
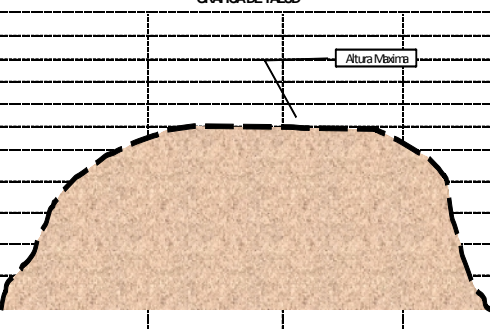
OBSERVACIONES: EQUIVALENTE DE ARENA DE MATERIAL DE CORTE DE TALUD DE LA ESTACION 106+940 L/I.

LA HUMEDAD NATURAL DE ESTE MATERIAL ES DE 21.8%.

Anexo 2

PROYECTO: TECAPAN GUATEMALA / LOS ENCUENTROS No. De Lab. 10 ESTACION: 106+940 L/I																																																																																		
<h3>LIMITE LIQUIDO</h3>																																																																																		
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>TAMIZ</th> <th>P.B.R.</th> <th>P.M.R.</th> <th>% RET.</th> <th>% PASA PASA 200</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3"</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2 1/2"</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2"</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1 1/2"</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1"</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3/4"</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3/8"</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>No. 4</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>No. 10</td><td>640</td><td>320</td><td>32</td><td>68</td></tr> <tr><td>No. 40</td><td>861.2</td><td>520</td><td>43</td><td>57</td></tr> <tr><td>No. 100</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>No. 200</td><td>1138.3</td><td>797</td><td>67</td><td>33</td></tr> </tbody> </table>	TAMIZ	P.B.R.	P.M.R.	% RET.	% PASA PASA 200	3"					2 1/2"					2"					1 1/2"					1"					3/4"					3/8"					No. 4					No. 10	640	320	32	68	No. 40	861.2	520	43	57	No. 100					No. 200	1138.3	797	67	33	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">GRANULOMETRIA SIN LAVAR</th> <th colspan="2">GRANULOMETRIA LAVA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>P. BRUTO</td><td>1536.5</td><td>P. BRUTO</td><td></td></tr> <tr><td>TARA</td><td>341.4</td><td>TARA</td><td></td></tr> <tr><td>P. NETO</td><td>1195.1</td><td>P. NETO</td><td></td></tr> </tbody> </table>	GRANULOMETRIA SIN LAVAR		GRANULOMETRIA LAVA		P. BRUTO	1536.5	P. BRUTO		TARA	341.4	TARA		P. NETO	1195.1	P. NETO	
TAMIZ	P.B.R.	P.M.R.	% RET.	% PASA PASA 200																																																																														
3"																																																																																		
2 1/2"																																																																																		
2"																																																																																		
1 1/2"																																																																																		
1"																																																																																		
3/4"																																																																																		
3/8"																																																																																		
No. 4																																																																																		
No. 10	640	320	32	68																																																																														
No. 40	861.2	520	43	57																																																																														
No. 100																																																																																		
No. 200	1138.3	797	67	33																																																																														
GRANULOMETRIA SIN LAVAR		GRANULOMETRIA LAVA																																																																																
P. BRUTO	1536.5	P. BRUTO																																																																																
TARA	341.4	TARA																																																																																
P. NETO	1195.1	P. NETO																																																																																
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">LIMITE LIQUIDO</th> <th colspan="2">LIMITE PLASTICO</th> <th colspan="2">INDICE PLASTICO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>TARRO</td><td></td><td>TARRO</td><td></td><td>L.L.</td><td>0</td></tr> <tr><td>P.B.H.</td><td></td><td>P.B.H.</td><td></td><td>L.P.</td><td>0</td></tr> <tr><td>P.B.S</td><td>NO LIQUIDO</td><td>P.B.S</td><td>NO PLASTICO</td><td>I.P.</td><td>0</td></tr> <tr><td>TARA</td><td></td><td>TARA</td><td></td><td>CLASIFICACION:</td><td>A-2-4</td></tr> <tr><td>DIF.</td><td></td><td>DIF.</td><td></td><td>INDICE DE GRUPO:</td><td>0</td></tr> <tr><td>P.N.S.</td><td></td><td>P.N.S.</td><td></td><td>OBSERVACIONES:</td><td></td></tr> <tr><td>% HUM.</td><td></td><td>% HUM.</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>No. Golp.</td><td></td><td>% PROM.</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>		LIMITE LIQUIDO		LIMITE PLASTICO		INDICE PLASTICO		TARRO		TARRO		L.L.	0	P.B.H.		P.B.H.		L.P.	0	P.B.S	NO LIQUIDO	P.B.S	NO PLASTICO	I.P.	0	TARA		TARA		CLASIFICACION:	A-2-4	DIF.		DIF.		INDICE DE GRUPO:	0	P.N.S.		P.N.S.		OBSERVACIONES:		% HUM.		% HUM.				No. Golp.		% PROM.																														
LIMITE LIQUIDO		LIMITE PLASTICO		INDICE PLASTICO																																																																														
TARRO		TARRO		L.L.	0																																																																													
P.B.H.		P.B.H.		L.P.	0																																																																													
P.B.S	NO LIQUIDO	P.B.S	NO PLASTICO	I.P.	0																																																																													
TARA		TARA		CLASIFICACION:	A-2-4																																																																													
DIF.		DIF.		INDICE DE GRUPO:	0																																																																													
P.N.S.		P.N.S.		OBSERVACIONES:																																																																														
% HUM.		% HUM.																																																																																
No. Golp.		% PROM.																																																																																
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="2">OBSERVACIONES:</td></tr> <tr><td colspan="2">LIMITE DE MATERIAL DE CORTE DE TALUD DE LA</td></tr> <tr><td colspan="2">ESTACION 106+940 L/I.</td></tr> <tr><td colspan="2">HUMEDAD NATURAL.</td></tr> </table>		OBSERVACIONES:		LIMITE DE MATERIAL DE CORTE DE TALUD DE LA		ESTACION 106+940 L/I.		HUMEDAD NATURAL.																																																																										
OBSERVACIONES:																																																																																		
LIMITE DE MATERIAL DE CORTE DE TALUD DE LA																																																																																		
ESTACION 106+940 L/I.																																																																																		
HUMEDAD NATURAL.																																																																																		

Anexo 2

TÍTULO: ANÁLISIS DE TALUDES TRAMO TECPÁN-LOS ENCUENTROS		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA AMPLIACIÓN A 4 CARRILES DE LA RUTA CA-1 OCCIDENTE TRAMO "TECPÁN (km89) - LOS ENCUENTROS (km 124)"																																	
VERSION NO. 1		Fecha de Emisión: 09/02/2009																																	
EST. INICIAL: 106+890		EST. FINAL: 107+050																																	
CERA: <u>TECPÁN-LOS ENCUENTROS</u>		LADO: <u>IZQUIERDO</u>																																	
ANÁLISIS FOTOGRÁFICO		GEOLOGÍA DE TALUD																																	
		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>SI</th> <th>NO</th> <th>DESCRIPCIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ARCILLA</td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> <td>CON LIMO</td> </tr> <tr> <td>LIMO</td> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>LIMO ARENOSO</td> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>GRAVA</td> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ARENOSO</td> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>COLOR</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">BEIGE</td> <td></td> </tr> <tr> <td>MATERIAL SUELTO</td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> <td>ENCARA DE TALUD, SIN RIESGO</td> </tr> </tbody> </table>			SI	NO	DESCRIPCIÓN	ARCILLA	X		CON LIMO	LIMO		X		LIMO ARENOSO		X		GRAVA		X		ARENOSO		X		COLOR	BEIGE			MATERIAL SUELTO	X		ENCARA DE TALUD, SIN RIESGO
	SI	NO	DESCRIPCIÓN																																
ARCILLA	X		CON LIMO																																
LIMO		X																																	
LIMO ARENOSO		X																																	
GRAVA		X																																	
ARENOSO		X																																	
COLOR	BEIGE																																		
MATERIAL SUELTO	X		ENCARA DE TALUD, SIN RIESGO																																
		ESTRATIGRAFÍA DE TALUD																																	
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">DESCRIPCIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CAPA 1</td> <td>VEGETAL</td> </tr> <tr> <td>CAPA 2</td> <td>ARCILLA</td> </tr> <tr> <td>CAPA 3</td> <td>ARCILLA CON LIMO</td> </tr> </tbody> </table>		DESCRIPCIÓN		CAPA 1	VEGETAL	CAPA 2	ARCILLA	CAPA 3	ARCILLA CON LIMO	GEOMETRÍA DE TALUD																									
DESCRIPCIÓN																																			
CAPA 1	VEGETAL																																		
CAPA 2	ARCILLA																																		
CAPA 3	ARCILLA CON LIMO																																		
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td>ALTURA</td> <td>27.11</td> <td>METROS</td> </tr> <tr> <td>GRADO INCLINACIÓN (pie):</td> <td>72.70</td> <td>GRADO INCLINACIÓN (corona): 55.39</td> </tr> <tr> <td>LONGITUD</td> <td>160</td> <td>METROS</td> </tr> </tbody> </table>		ALTURA	27.11	METROS	GRADO INCLINACIÓN (pie):	72.70	GRADO INCLINACIÓN (corona): 55.39	LONGITUD	160	METROS	PRESENCIA DE AGUA																								
ALTURA	27.11	METROS																																	
GRADO INCLINACIÓN (pie):	72.70	GRADO INCLINACIÓN (corona): 55.39																																	
LONGITUD	160	METROS																																	
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>SI</th> <th>NO</th> <th>DESCRIPCIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NACIMIENTOS</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>SUPERFICIAL</td> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>SUB-TERRÁNEA</td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> <td>4 NACIMIENTOS</td> </tr> </tbody> </table>			SI	NO	DESCRIPCIÓN	NACIMIENTOS				SUPERFICIAL		X		SUB-TERRÁNEA	X		4 NACIMIENTOS	FALLAS ESTRUCTURALES O VISIBLES EN EL TALUD																	
	SI	NO	DESCRIPCIÓN																																
NACIMIENTOS																																			
SUPERFICIAL		X																																	
SUB-TERRÁNEA	X		4 NACIMIENTOS																																
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>TIPO DE FALLA ENCONTRADO</th> <th>SI</th> <th>NO</th> <th>DESCRIPCIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>GRIETAS CORONA TALUD</td> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>GRIETAS CARA TALUD</td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> <td>LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL</td> </tr> <tr> <td>BERRAS</td> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>EROSIÓN TALUD</td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>LÓMOS DE PRESIÓN</td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		TIPO DE FALLA ENCONTRADO	SI	NO	DESCRIPCIÓN	GRIETAS CORONA TALUD		X		GRIETAS CARA TALUD	X		LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL	BERRAS		X		EROSIÓN TALUD	X			LÓMOS DE PRESIÓN	X			PERFILES									
TIPO DE FALLA ENCONTRADO	SI	NO	DESCRIPCIÓN																																
GRIETAS CORONA TALUD		X																																	
GRIETAS CARA TALUD	X		LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL																																
BERRAS		X																																	
EROSIÓN TALUD	X																																		
LÓMOS DE PRESIÓN	X																																		
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td>CONCAVOS</td> <td>NO EXISTEN</td> </tr> <tr> <td>CONVEXOS</td> <td>EXISTEN (CRÍTICO)</td> </tr> </tbody> </table>		CONCAVOS	NO EXISTEN	CONVEXOS	EXISTEN (CRÍTICO)	VEGETACIÓN ENCONTRADA SOBRE TALUD																													
CONCAVOS	NO EXISTEN																																		
CONVEXOS	EXISTEN (CRÍTICO)																																		
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">DESCRIPCIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>TIPO DE SIEMBRA</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ARBOLES</td> <td>2%</td> </tr> <tr> <td>OTROS</td> <td>EXISTE EN CORONA MILPA Y MALEZA</td> </tr> </tbody> </table>		DESCRIPCIÓN		TIPO DE SIEMBRA		ARBOLES	2%	OTROS	EXISTE EN CORONA MILPA Y MALEZA	ESTABILIZACIÓN																									
DESCRIPCIÓN																																			
TIPO DE SIEMBRA																																			
ARBOLES	2%																																		
OTROS	EXISTE EN CORONA MILPA Y MALEZA																																		
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td>REVEGETACIÓN</td> <td>SE RECOMIENDA LA SIEMBRA DE MÁS ARBOLES</td> </tr> <tr> <td>CONTRACUNETAS</td> <td>NECESARIAS</td> </tr> <tr> <td>REVESTIMIENTO DE TALUD</td> <td></td> </tr> <tr> <td>COLOCACIÓN DE MURO</td> <td></td> </tr> <tr> <td>COLOCACIÓN DE GAVIONES</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		REVEGETACIÓN	SE RECOMIENDA LA SIEMBRA DE MÁS ARBOLES	CONTRACUNETAS	NECESARIAS	REVESTIMIENTO DE TALUD		COLOCACIÓN DE MURO		COLOCACIÓN DE GAVIONES		GRAFÍA DE TALUD																							
REVEGETACIÓN	SE RECOMIENDA LA SIEMBRA DE MÁS ARBOLES																																		
CONTRACUNETAS	NECESARIAS																																		
REVESTIMIENTO DE TALUD																																			
COLOCACIÓN DE MURO																																			
COLOCACIÓN DE GAVIONES																																			
		OBSERVACIONES																																	
DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL EN LA CARA DEL TALUD DEBIDO AL TIPO DE MATERIAL Y NACIMIENTOS (CRÍTICO)																																			
RECOMENDACIONES																																			
<small>PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO, SIN LA AUTORIZACIÓN DEL ALUMNAR DE DELEGADO RESIDENTE ABRIR LAS MUESTRAS DE REFERENCIA</small>																																			

Apéndice

Anexo 3

PROYECTO:		Tecpan Guatemala Los Encuentros										
PROCEDENCIA DEL MATERIAL:		CORTE DE TALUD										
ESTACION DEL BANCO:		106+600 L/I.										
NUMERO DE LABORATORIO:		11										
FHECHA DE LA PRUEBA:		Miércoles, 17 de Junio de 2009										
P.B.	TARA	P.N.	P.U.H.	TARRO	TARA	P.B.H.	P.B.S.	DIF	P.N.S.	%H	PROM	P.U.S.
5755	4184	1571	1661								20.0	1384
5868	4184	1684	1780								25.5	1418
5955	4184	1771	1872								28.1	1461
5880	4184	1696	1793								31.9	1359

SPEEDY

PROCTOR T-180		RESULTADOS	
PESO AGREGADO FINO:	Kgs/mts ²	P.U.S. MAXIMO:	1463 Kgs/mts ²
PESO AGREGADO GRUESO:	Kgs/mts ²		91.3 Lbs/Pie ²
AGUA INICIAL:	100 cc.	% DE HUM. OPTIMA:	28.7 %
SEGUIDA CON:	128 cc.		

OBSERVACIONES: PROCTOR DE MATERIAL DE CORTE DE TALUD DE LA ESTACION 106+600 L/I.

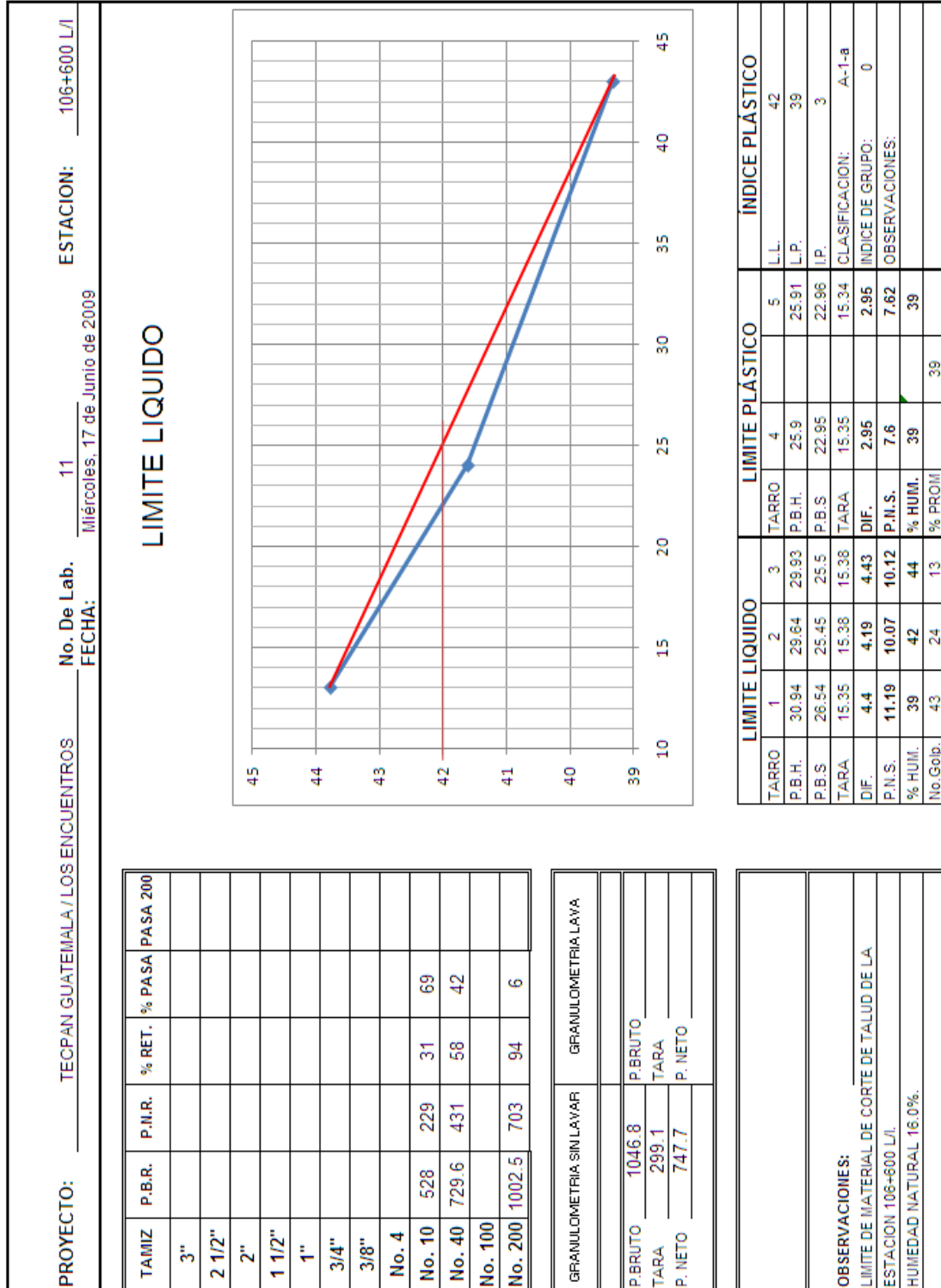
LA HUMEDAD NATURAL DE ESTE MATERIAL ES DE 16 %

MATERIAL ARENOSO


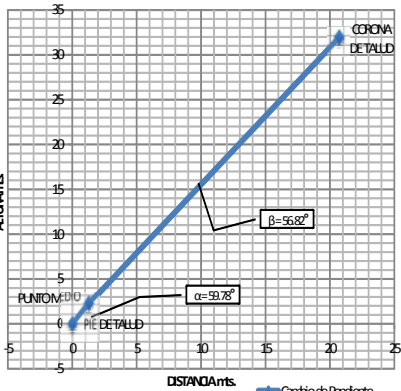
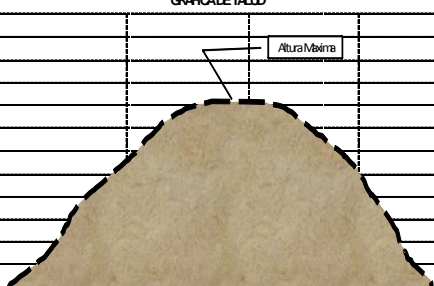
Anexo 3

EQUIVALENTE DE ARENA													
PROYECTO:	TECPAN GUATEMALA / LOS ENCUENTROS												
FECHA:	Martes, 16 de Junio de 2009	No. LAB:	11										
DESCRIPCION:													
MUEST. TOMADA:	CORTE DE TALUD												
ESTACION:	106+600 L/I												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Hr. Entrada</td></tr> <tr><td>19.07.10</td></tr> <tr><td>10 min</td></tr> <tr><td>19.17.10</td></tr> <tr><td>Hr. Salida</td></tr> </table>	Hr. Entrada	19.07.10	10 min	19.17.10	Hr. Salida	1	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Hr. Entrada</td></tr> <tr><td>19.18.25</td></tr> <tr><td>20 min</td></tr> <tr><td>19.38.25</td></tr> <tr><td>Hr. Salida</td></tr> </table>	Hr. Entrada	19.18.25	20 min	19.38.25	Hr. Salida	
Hr. Entrada													
19.07.10													
10 min													
19.17.10													
Hr. Salida													
Hr. Entrada													
19.18.25													
20 min													
19.38.25													
Hr. Salida													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Hr. Entrada</td></tr> <tr><td>19.10.20</td></tr> <tr><td>10 min</td></tr> <tr><td>19.20.20</td></tr> <tr><td>Hr. Salida</td></tr> </table>	Hr. Entrada	19.10.20	10 min	19.20.20	Hr. Salida	2	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Hr. Entrada</td></tr> <tr><td>19.21.15</td></tr> <tr><td>20 min</td></tr> <tr><td>19.41.15</td></tr> <tr><td>Hr. Salida</td></tr> </table>	Hr. Entrada	19.21.15	20 min	19.41.15	Hr. Salida	
Hr. Entrada													
19.10.20													
10 min													
19.20.20													
Hr. Salida													
Hr. Entrada													
19.21.15													
20 min													
19.41.15													
Hr. Salida													
Lectura Arena		Lectura Arcilla											
2		8.4											
	24												
Lectura Arena		Lectura Arcilla											
2.1		8.8											
	24												
E.A.													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">24</td></tr> </table>				24									
24													
% PROMEDIO													
OBSERVACIONES: EQUIVALENTE DE ARENA DE MATERIAL DE CORTE DE TALUD DE LA ESTACION 106+600L/I.													
LA HUMEDAD NATURAL DE ESTE MATERIAL ES DE 16.0%.													

Anexo 3



Anexo 3

Título: ANÁLISIS DE TALUDESTRAMO TECPÁN LOS ENCUENTROS Versión No. 1 Fecha de emisión: 08/02/2009		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA AMPLIACIÓN A 4 CARRILES DE LA RUTA CA-1 COORDENIE TRAMO TECPÁN (km 89) - LOS ENCUENTROS (km 124) Página 73																																	
EST. INICIAL: 106+600	EST. FINAL: 106+600	LADO: IZQUIERDO																																	
CERA: <u>TECPÁN-LOS ENCUENTROS</u>																																			
ANÁLISIS FOTOGRÁFICO 		GEOLOGÍA DETALLAD <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>SI</th> <th>NO</th> <th>DESCRIPCIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ARCILLA</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>LIMO</td> <td>X</td> <td></td> <td>CON GRAY Y ARCILLA</td> </tr> <tr> <td>LIMO ARENOSO</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>GRAVA</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ARENOSO</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>COLOR</td> <td></td> <td></td> <td>CAFECLEARO</td> </tr> <tr> <td>MATERIAL SUELTO</td> <td>X</td> <td></td> <td>ENCAPA DE TALUD SIN RIESGO</td> </tr> </tbody> </table>			SI	NO	DESCRIPCIÓN	ARCILLA		X		LIMO	X		CON GRAY Y ARCILLA	LIMO ARENOSO		X		GRAVA		X		ARENOSO		X		COLOR			CAFECLEARO	MATERIAL SUELTO	X		ENCAPA DE TALUD SIN RIESGO
	SI	NO	DESCRIPCIÓN																																
ARCILLA		X																																	
LIMO	X		CON GRAY Y ARCILLA																																
LIMO ARENOSO		X																																	
GRAVA		X																																	
ARENOSO		X																																	
COLOR			CAFECLEARO																																
MATERIAL SUELTO	X		ENCAPA DE TALUD SIN RIESGO																																
		ESTRATIGRAFÍA DETALLAD <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>DESCRIPCIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CAPA 1</td> <td>VEGETAL</td> </tr> <tr> <td>CAPA 2</td> <td>ARCILLA</td> </tr> <tr> <td>CAPA 3</td> <td>LIMO CON ARCILLA Y GRAVA</td> </tr> </tbody> </table>			DESCRIPCIÓN	CAPA 1	VEGETAL	CAPA 2	ARCILLA	CAPA 3	LIMO CON ARCILLA Y GRAVA																								
	DESCRIPCIÓN																																		
CAPA 1	VEGETAL																																		
CAPA 2	ARCILLA																																		
CAPA 3	LIMO CON ARCILLA Y GRAVA																																		
		GEOMETRÍA DETALLAD ALTURA: 31.82 METROS GRADU INCLINACIÓN (pie): 59.78 GRADU INCLINACIÓN (corona): 56.82 GRADOS LONGITUD: 80 METROS																																	
		PRESENCIA DE AGUA <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>SI</th> <th>NO</th> <th>DESCRIPCIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>INOCIENTOS</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>SUPERFICIAL</td> <td>X</td> <td></td> <td>1 INOCIMIENTO</td> </tr> <tr> <td>SUB-TERRÁNEA</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			SI	NO	DESCRIPCIÓN	INOCIENTOS				SUPERFICIAL	X		1 INOCIMIENTO	SUB-TERRÁNEA		X																	
	SI	NO	DESCRIPCIÓN																																
INOCIENTOS																																			
SUPERFICIAL	X		1 INOCIMIENTO																																
SUB-TERRÁNEA		X																																	
		FALLAS ESTRUCTURALES O VISIBLES EN EL TALUD <table border="1"> <thead> <tr> <th>TIPO DE FALLA ENCONTRADO</th> <th>SI</th> <th>NO</th> <th>DESCRIPCIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>GRIETAS CORONA TALUD</td> <td>X</td> <td></td> <td>EN EXTREMO IZQUIERDO</td> </tr> <tr> <td>GRIETAS CARA TALUD</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>BERMAS</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>EROSION TALUD</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>LIMOS DE PRESION</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		TIPO DE FALLA ENCONTRADO	SI	NO	DESCRIPCIÓN	GRIETAS CORONA TALUD	X		EN EXTREMO IZQUIERDO	GRIETAS CARA TALUD		X		BERMAS		X		EROSION TALUD	X			LIMOS DE PRESION	X										
TIPO DE FALLA ENCONTRADO	SI	NO	DESCRIPCIÓN																																
GRIETAS CORONA TALUD	X		EN EXTREMO IZQUIERDO																																
GRIETAS CARA TALUD		X																																	
BERMAS		X																																	
EROSION TALUD	X																																		
LIMOS DE PRESION	X																																		
GRÁFICA DETALLAD 		PERFILES CONCAVOS: EXISTEN CONVEXOS: EXISTEN																																	
		VEGETACIÓN ENCONTRADA SOBRE TALUD <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>DESCRIPCIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>TIPO DE SIEMBRA</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ARBOLES</td> <td>50% EXISTE EN CORONA</td> </tr> <tr> <td>OTROS</td> <td>MLEZA</td> </tr> </tbody> </table>			DESCRIPCIÓN	TIPO DE SIEMBRA		ARBOLES	50% EXISTE EN CORONA	OTROS	MLEZA																								
	DESCRIPCIÓN																																		
TIPO DE SIEMBRA																																			
ARBOLES	50% EXISTE EN CORONA																																		
OTROS	MLEZA																																		
		ESTABILIZACIÓN REVEGETACIÓN: SE RECOMIENDA LA SIEMBRA DE M/S ARBOLES CONTRA CUNETAS: EXISTEN REVESTIMIENTO DE TALUD: COLOCACIÓN DE MURO: COLOCACIÓN DE GAVIONES:																																	
OBSERVACIONES: <u>DESPRENIMIENTO DE MATERIAL EN CARA DEL TALUD</u>																																			
RECOMENDACIONES:																																			
PROYECTO DE LA RECONSTRUCCIÓN TOTAL Ó PARCIAL DE ESTE DISEÑO, DEBE SER AUTORIZADO POR EL ASESORADO DELEGADO RESIDENTE EN ABRIL CALS. MUESTRAS DE REFERENCIA																																			

Apéndice

Anexo 4

PROYECTO:				Tecpan Guatemala Los Encuentros								
PROCEDENCIA DEL MATERIAL:				CORTE DE TALUD								
ESTACION DEL BANCO:				103+285 L/I								
NUMERO DE LABORATORIO:				12								
FECHA DE LA PRUEBA:				Martes, 31 de Marzo de 2009								
P.B.	TARA	P.M.	P.U.H.	TARRO	TARA	P.B.H.	P.B.S.	DIF	P.N.S.	%H	PROM	P.U.S.
5905	4184	1721	1819								9.3	1664
6097	4184	1913	2022								12.4	1799
6159	4184	1975	2088								15.4	1809
6064	4184	1880	1987								18.5	1677

SPEEDY

The graph plots 'PESO UNITARIO SECO (P.U.S.)' on the y-axis (ranging from 1640 to 1840) against '% HUMEDAD' on the x-axis (ranging from 8.0 to 20.0). A parabolic curve is drawn through four data points. A red arrow points to the peak of the curve at approximately 14.2% moisture content and 1821 Kgs/mts³ dry unit weight.

PROCTOR T-180		RESULTADOS	
PESO AGREGADO FINO:	Kgs/mts³	P.U.S. MAXIMO:	1,821 Kgs/mts³
PESO AGREGADO GRUESO:	Kgs/mts³		113.7 Lbs/Pie³
AGUA INICIAL:	80 cc.	% DE HUM. OPTIMA:	14.2 %
SEGUIDA CON:	96 cc.		

OBSERVACIONES: PROCTOR DE MATERIAL DE CORTE DE TALUD DE LA ESTACION 103+285 L/I.
 LA HUMEDAD NATURAL DE ESTE MATERIAL ES DE 11.6 %
 MATERIAL ARENOSO

Anexo 4

EQUIVALENTE DE ARENA													
PROYECTO:	TECPAN GUATEMALA / LOS ENCUENTROS												
FECHA:	Martes, 31 de Marzo de 2009	No. LAB:	12										
DESCRIPCION:	ARENOSO												
MUEST. TOMADA:	CORTE DE TALUD												
ESTACION:	103+285 L/I												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Hr. Entrada</td></tr> <tr><td>19.25.15</td></tr> <tr><td>10 min</td></tr> <tr><td>19.35.15</td></tr> <tr><td>Hr. Salida</td></tr> </table>	Hr. Entrada	19.25.15	10 min	19.35.15	Hr. Salida	1	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Hr. Entrada</td></tr> <tr><td>19.37.45</td></tr> <tr><td>20 min</td></tr> <tr><td>19.57.45</td></tr> <tr><td>Hr. Salida</td></tr> </table>	Hr. Entrada	19.37.45	20 min	19.57.45	Hr. Salida	
Hr. Entrada													
19.25.15													
10 min													
19.35.15													
Hr. Salida													
Hr. Entrada													
19.37.45													
20 min													
19.57.45													
Hr. Salida													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Hr. Entrada</td></tr> <tr><td>19.28.28</td></tr> <tr><td>10 min</td></tr> <tr><td>19.38.28</td></tr> <tr><td>Hr. Salida</td></tr> </table>	Hr. Entrada	19.28.28	10 min	19.38.28	Hr. Salida	2	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Hr. Entrada</td></tr> <tr><td>19.40.50</td></tr> <tr><td>20 min</td></tr> <tr><td>20.00.50</td></tr> <tr><td>Hr. Salida</td></tr> </table>	Hr. Entrada	19.40.50	20 min	20.00.50	Hr. Salida	
Hr. Entrada													
19.28.28													
10 min													
19.38.28													
Hr. Salida													
Hr. Entrada													
19.40.50													
20 min													
20.00.50													
Hr. Salida													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Lectura Arena</td></tr> <tr><td>1.9</td></tr> </table>	Lectura Arena	1.9		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Lectura Arcilla</td></tr> <tr><td>7.7</td></tr> </table>	Lectura Arcilla	7.7							
Lectura Arena													
1.9													
Lectura Arcilla													
7.7													
	25												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Lectura Arena</td></tr> <tr><td>1.9</td></tr> </table>	Lectura Arena	1.9		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Lectura Arcilla</td></tr> <tr><td>7.5</td></tr> </table>	Lectura Arcilla	7.5							
Lectura Arena													
1.9													
Lectura Arcilla													
7.5													
	25												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">E.A.</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">25</td></tr> </table>				E.A.	25								
E.A.													
25													
% PROMEDIO													
<p>OBSERVACIONES: EQUIVALENTE DE ARENA DE MATERIAL DE CORTE DE TALUD DE LA ESTACION 103+285 L/I.</p> <p>LA HUMEDAD NATURAL DE ESTE MATERIAL ES DE 11.6%.</p>													

Anexo 4

PROYECTO: _____		TECAPAN GUATEMALA / LOS ENCUENTROS		No. De Lab. _____	12	ESTACION: _____	103+285 L/I.
				FECHA: _____	Lunes, 22 de Junio de 2009		

TAMIZ	P.B.R.	P.I.M.R.	% RET.	% PASA PASA 200
3"				
2 1/2"				
2"				
1 1/2"				
1"				
3/4"				
3/8"				
No. 4				
No. 10	1177	824	51	49
No. 40	1546.4	1194	75	25
No. 100				
No. 200	1783.2	1430	89	11


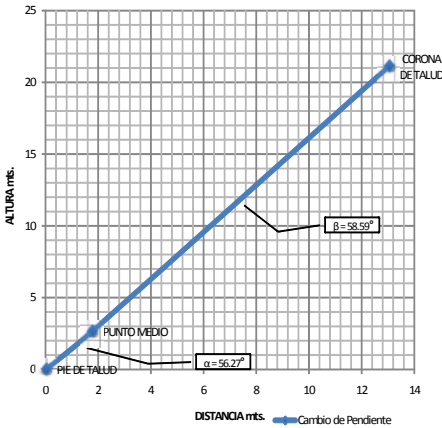
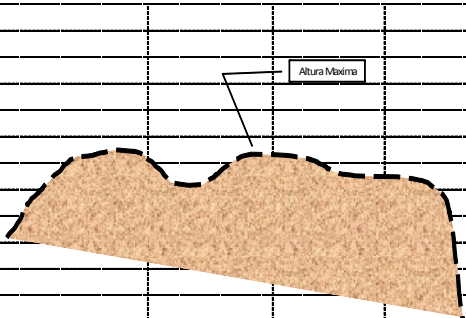
GRANULOMETRIA SIN LAVAR	GRANULOMETRIA LAVA		
P. BRUTO	1954.7	P. BRUTO	
TARA	352.9	TARA	
P. NETO	1601.8	P. NETO	

LIMITE LIQUIDO

LIMITE LIQUIDO		LIMITE PLÁSTICO		INDICE PLÁSTICO								
TARRO	11	12	13	TARRO	14	15	L.L.	L.P.	I.P.	CLASIFICACION:	INDICE DE GRUPO:	OBSERVACIONES:
P.B.H.	33.63	32.45	32.21	P.B.H.	23.22	23.48	L.P.	25		A-1-a	0	
P.B.S	29.78	28.73	28.37	P.B.S	21.66	21.89	I.P.	3				
TARA	15.18	15.5	15.33	TARA	15.4	15.41						
DIF.	3.85	3.72	3.84	DIF.	1.56	1.59						
P.N.S.	14.6	13.23	13.04	P.I.S.	6.26	6.48						
% HUM.	26	28	29	% HUM.	25	25						
No. Golp.	40	23	13	% PROM								

OBSERVACIONES:	
LIMITE DE MATERIAL DE CORTE DE TALUD DE LA	
ESTACION 103-285 L/I.	
HUMEDAD NATURAL 11.6%.	

Anexo 4

Título: ANALISIS DE TALUDES TRAMO TECPAN LOS ENCUENTROS Version No. 1 Fecha de emisión : 08/02/2009		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA AMPLIACIÓN A 4 CARRILES DE LA RUTA CA-1 OCCIDENTE TRAMO TECPAN (km 89) - LOS ENCUENTROS (km 124) Página: 61	
EST. INICIAL	103+100	EST. FINAL	103+350
OBRA:		TECPAN- LOS ENCUENTROS	
LADO:		IZQUIERDO	
ANALISIS FOTOGRAFICO			
			
			
GRAFICA DE TALUD			
			
OBSERVACIONES:			
RECOMENDACIONES:			
PROHIBIDA LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO, SIN LA AUTORIZACION DEL ASESOR DE DELEGADO RESIDENTE ABARCA LAS MUESTRAS DE REFERENCIA.			

GEOLOGIA DE TALUD			
	SI	NO	DESCRIPCION
ARCILLA		X	
LIMO		X	
LIMO ARENOSO	X		CON GRAVA Y POCa ARCILLA
GRAVA		X	
ARENOSO		X	
COLOR	GRIS		
MATERIAL SUELTO		X	
ESTATIGRAFIA DE TALUD			
DESCRIPCION			
CAPA 1	VEGETAL		
CAPA 2	ARCILLA		
CAPA3	GRAVA		
GEOMETRIA DE TALUD			
ALTURA	21.07 METROS		
GRADO INCLINACION (pie):	56.27	GRADO INCLINACION (corona):	58.59 GRADOS
LONGITUD	250 METROS		
PRESENCIA DE AGUA			
	SI	NO	DESCRIPCION
NACIMIENTOS		X	
SUPERFICIAL		X	
SUB-TERRANEA	X		1 NACIMIENTOS
FALLAS ESTRUCTURALES O VISIBLES EN EL TALUD			
TIPO DE FALLA ENCONTRADO	SI	NO	DESCRIPCION
GRIETAS CORONA TALUD		X	
GRIETAS CARA TALUD		X	
BERMAS		X	
EROSION TALUD		X	
LOMOS DE PRESION		X	
PERFILES			
CONCAVOS	NO EXISTEN		
CONVEXOS	NO EXISTEN		
VEGETACION ENCONTRADA SOBRE TALUD			
DESCRIPCION			
TIPO DE SIEMBRA			
ARBOLES	100% EXISTE EN CORONA		
OTROS	MALEZA		
ESTABILIZACION			
REVEGETACION	SE RECOMIENDA LA SIEMBRA DE MAS ARBOLES		
CONTRACUNETAS	NECESARIAS		
REVESTIMIENTO DE TALUD			
COLOCACION DE MURO			
COLOCACION DE GAVIONES			

Apéndice

Anexo 5

PROYECTO: <u>Tecpan Guatemala Los Encuentros</u>												
PROCEDENCIA DEL MATERIAL: <u>CORTE DE TALUD</u>												
ESTACION DEL BANCO: <u>105+620 L/I</u>												
NUMERO DE LABORATORIO: <u>13</u>												
FECHA DE LA PRUEBA: <u>Miércoles, 01 de Abril de 2009</u>												
P.B.	TARA	P.N.	P.U.H.	TARRO	TARA	P.B.H.	P.B.S.	DIF	P.N.S.	%H	PROM	P.U.S.
5579	4184	1395	1475								33.3	1106
5706	4184	1522	1609								37.2	1173
5810	4184	1626	1719								42.1	1210
5799	4184	1615	1707								47.0	1161
5772	4184	1588	1679								51.9	1105

SPEEDY

The graph plots 'PESO UNITARIO SECO (P. U. S.)' on the y-axis (ranging from 1060 to 1230) against '% HUMEDAD' on the x-axis (ranging from 32.0 to 52.0). A smooth curve is drawn through five data points. A red arrow points to the peak of the curve at approximately 41.7% moisture and 1210 kg/m³ dry unit weight.

% HUMEDAD	PESO UNITARIO SECO (P. U. S.)
33.3	1106
37.2	1173
42.1	1210
47.0	1161
51.9	1105

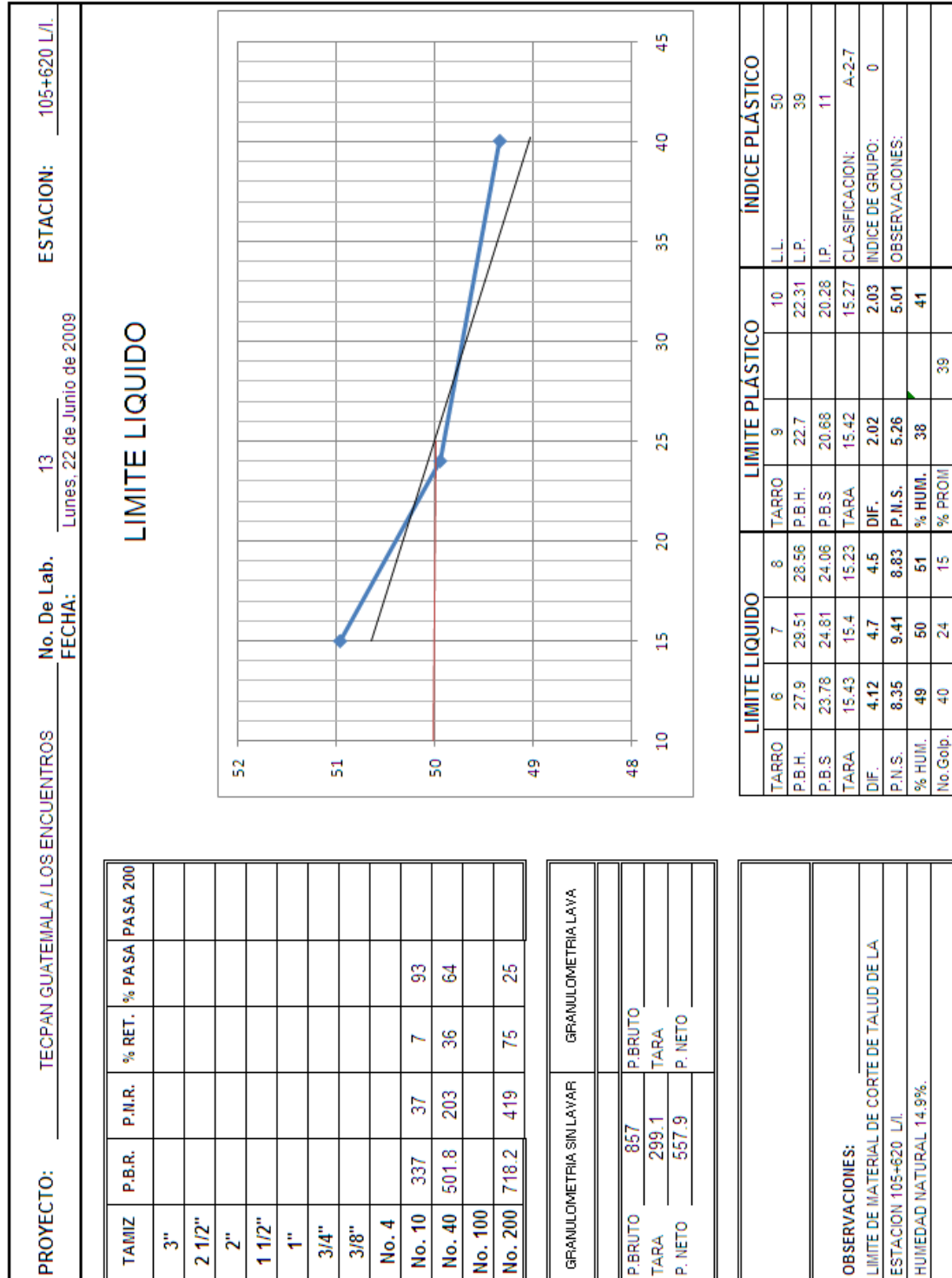
PROCTOR T-180		RESULTADOS	
PESO AGREGADO FINO:	Kgs/mts ³	P.U.S. MAXIMO:	1210 Kgs/mts ³
PESO AGREGADO GRUESO:	Kgs/mts ³		75.5 Lbs/Pie ³
AGUA INICIAL:	320 cc.	% DE HUM. OPTIMA:	41.7 %
SEGUIDA CON:	166 cc.		

OBSERVACIONES: PROCTOR DE MATERIAL DE CORTE DE TALUD DE LA ESTACION 105+620 L/I.
 LA HUMEDAD NATURAL DE ESTE MATERIAL ES DE 14.9 %
 MATERIAL ARCILLOSO


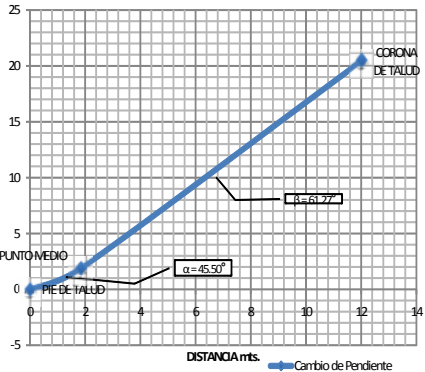
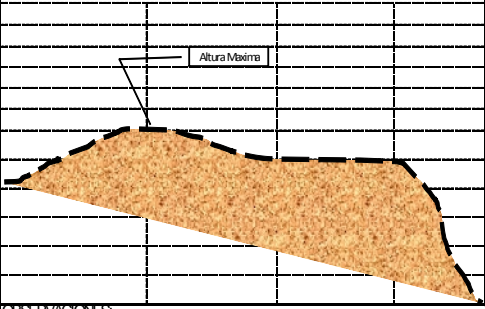
Anexo 5

EQUIVALENTE DE ARENA													
PROYECTO:	TECPAN GUATEMALA / LOS ENCUENTROS												
FECHA:	Miércoles, 01 de Abril de 2009	No. LAB:	13										
DESCRIPCION:	ARCILLOSO												
MUEST. TOMADA:	CORTE DE TALUD												
ESTACION:	105+620 L/I												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Hr. Entrada</td></tr> <tr><td>19.30.10</td></tr> <tr><td>10 min</td></tr> <tr><td>19.40.10</td></tr> <tr><td>Hr. Salida</td></tr> </table>	Hr. Entrada	19.30.10	10 min	19.40.10	Hr. Salida	1	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Hr. Entrada</td></tr> <tr><td>19.42.15</td></tr> <tr><td>20 min</td></tr> <tr><td>20.02.15</td></tr> <tr><td>Hr. Salida</td></tr> </table>	Hr. Entrada	19.42.15	20 min	20.02.15	Hr. Salida	
Hr. Entrada													
19.30.10													
10 min													
19.40.10													
Hr. Salida													
Hr. Entrada													
19.42.15													
20 min													
20.02.15													
Hr. Salida													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Hr. Entrada</td></tr> <tr><td>19.33.25</td></tr> <tr><td>10 min</td></tr> <tr><td>19.43.25</td></tr> <tr><td>Hr. Salida</td></tr> </table>	Hr. Entrada	19.33.25	10 min	19.43.25	Hr. Salida	2	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Hr. Entrada</td></tr> <tr><td>19.45.20</td></tr> <tr><td>20 min</td></tr> <tr><td>20.05.20</td></tr> <tr><td>Hr. Salida</td></tr> </table>	Hr. Entrada	19.45.20	20 min	20.05.20	Hr. Salida	
Hr. Entrada													
19.33.25													
10 min													
19.43.25													
Hr. Salida													
Hr. Entrada													
19.45.20													
20 min													
20.05.20													
Hr. Salida													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">Lectura Arena</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">1.5</td></tr> </table>	Lectura Arena	1.5		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">Lectura Arcilla</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">12</td></tr> </table>	Lectura Arcilla	12							
Lectura Arena													
1.5													
Lectura Arcilla													
12													
	13												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">Lectura Arena</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">1.5</td></tr> </table>	Lectura Arena	1.5		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">Lectura Arcilla</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">12.4</td></tr> </table>	Lectura Arcilla	12.4							
Lectura Arena													
1.5													
Lectura Arcilla													
12.4													
	12												
E.A.													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">12</td></tr> </table>				12									
12													
% PROMEDIO													
OBSERVACIONES: EQUIVALENTE DE ARENA DE MATERIAL DE CORTE DE													
TALUD DE LA ESTACION 105+620 L/I.													
LA HUMEDAD NATURAL DE ESTE MATERIAL ES DE 14.9%.													

Anexo 5



Anexo 5

TÍTULO: ANALISIS DE TALUDES TRAMO TECPAN LOS ENCUENTROS Version No. 1 Fecha de emisión: 08/02/2009		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA AMPLIACIÓN A 4 CARRILES DE LA RUTA CA-1 OCCIDENTE TRAMO "TECPÁN (km 89) - LOS ENCUENTROS (km 124)" Página: 6/7																																	
EST. INICIAL: 105+680	EST. FINAL: 105+660	LADO: IZQUIERDO																																	
OBRA: <u>TECPAN - LOS ENCUENTROS</u>																																			
ANÁLISIS FOTOGRÁFICO 		GEOLOGÍA DE TALUD																																	
		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>SI</th> <th>NO</th> <th>DESCRIPCIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ARCILLA</td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> <td>CON ARENA</td> </tr> <tr> <td>LIMO</td> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>LIMO ARENOSO</td> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>GRAVA</td> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ARENOSO</td> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>COLOR</td> <td colspan="2"></td> <td>CAFE CLARO</td> </tr> <tr> <td>MATERIAL SUELTO</td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> <td>EN CARA DE TALUD, SIN RIESGO</td> </tr> </tbody> </table>			SI	NO	DESCRIPCIÓN	ARCILLA	X		CON ARENA	LIMO		X		LIMO ARENOSO		X		GRAVA		X		ARENOSO		X		COLOR			CAFE CLARO	MATERIAL SUELTO	X		EN CARA DE TALUD, SIN RIESGO
			SI	NO	DESCRIPCIÓN																														
		ARCILLA	X		CON ARENA																														
		LIMO		X																															
LIMO ARENOSO		X																																	
GRAVA		X																																	
ARENOSO		X																																	
COLOR			CAFE CLARO																																
MATERIAL SUELTO	X		EN CARA DE TALUD, SIN RIESGO																																
ESTRATIGRAFÍA DE TALUD																																			
CAPA 1: VEGETAL		CAPA 2: ARCILLA																																	
CAPA 3: ARCILLA CON ARENA																																			
GEOMETRÍA DE TALUD		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>ALTURA</td> <td>20.44</td> <td colspan="2">METROS</td> </tr> <tr> <td>GRADO INCLINACIÓN (pie):</td> <td>45.50</td> <td>GRADO INCLINACIÓN (corona):</td> <td>61.27</td> </tr> <tr> <td>LONGITUD</td> <td>80</td> <td colspan="2">METROS</td> </tr> </table>		ALTURA	20.44	METROS		GRADO INCLINACIÓN (pie):	45.50	GRADO INCLINACIÓN (corona):	61.27	LONGITUD	80	METROS																					
ALTURA	20.44	METROS																																	
GRADO INCLINACIÓN (pie):	45.50	GRADO INCLINACIÓN (corona):	61.27																																
LONGITUD	80	METROS																																	
PRESENCIA DE AGUA		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>SI</th> <th>NO</th> <th>DESCRIPCIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NACIMIENTOS</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>SUPERFICIAL</td> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>SUB-TERRÁNEA</td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> <td>1 NACIMIENTO</td> </tr> </tbody> </table>			SI	NO	DESCRIPCIÓN	NACIMIENTOS				SUPERFICIAL		X		SUB-TERRÁNEA	X		1 NACIMIENTO																
	SI	NO	DESCRIPCIÓN																																
NACIMIENTOS																																			
SUPERFICIAL		X																																	
SUB-TERRÁNEA	X		1 NACIMIENTO																																
FALLAS ESTRUCTURALES O VISIBLES EN EL TALUD		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>TIPO DE FALLA ENCONTRADO</th> <th>SI</th> <th>NO</th> <th>DESCRIPCIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>GRIETAS CORONA TALUD</td> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>GRIETAS CARA TALUD</td> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>BERRAS</td> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>EROSIÓN TALUD</td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>LÓMOS DE PRESIÓN</td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		TIPO DE FALLA ENCONTRADO	SI	NO	DESCRIPCIÓN	GRIETAS CORONA TALUD		X		GRIETAS CARA TALUD		X		BERRAS		X		EROSIÓN TALUD	X			LÓMOS DE PRESIÓN	X										
TIPO DE FALLA ENCONTRADO	SI	NO	DESCRIPCIÓN																																
GRIETAS CORONA TALUD		X																																	
GRIETAS CARA TALUD		X																																	
BERRAS		X																																	
EROSIÓN TALUD	X																																		
LÓMOS DE PRESIÓN	X																																		
GRAFICA DE TALUD 		PERFILES																																	
CONCAVOS: NO EXISTEN		CONVEXOS: EXISTEN																																	
VEGETACIÓN ENCONTRADA SOBRE TALUD		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>TIPO DE SIEMBRA</th> <th></th> <th>DESCRIPCIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ARBOLES</td> <td>10%</td> <td>EXISTE EN CORONA</td> </tr> <tr> <td>OTROS</td> <td></td> <td>MALEZA</td> </tr> </tbody> </table>		TIPO DE SIEMBRA		DESCRIPCIÓN	ARBOLES	10%	EXISTE EN CORONA	OTROS		MALEZA																							
TIPO DE SIEMBRA		DESCRIPCIÓN																																	
ARBOLES	10%	EXISTE EN CORONA																																	
OTROS		MALEZA																																	
ESTABILIZACIÓN		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>REVEGETACIÓN</td> <td>SE RECOMIENDA LA SIEMBRA DE MAS ARBOLES</td> </tr> <tr> <td>CONTRACUNETAS</td> <td>NECESARIAS</td> </tr> <tr> <td>REVESTIMIENTO DE TALUD</td> <td></td> </tr> <tr> <td>COLOCACIÓN DE MURO</td> <td></td> </tr> <tr> <td>COLOCACIÓN DE GAVIONES</td> <td></td> </tr> </table>		REVEGETACIÓN	SE RECOMIENDA LA SIEMBRA DE MAS ARBOLES	CONTRACUNETAS	NECESARIAS	REVESTIMIENTO DE TALUD		COLOCACIÓN DE MURO		COLOCACIÓN DE GAVIONES																							
REVEGETACIÓN	SE RECOMIENDA LA SIEMBRA DE MAS ARBOLES																																		
CONTRACUNETAS	NECESARIAS																																		
REVESTIMIENTO DE TALUD																																			
COLOCACIÓN DE MURO																																			
COLOCACIÓN DE GAVIONES																																			
OBSERVACIONES: DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL DEBIDO AL NACIMIENTO LOCALIZADO Y EL TIPO DE MATERIAL. SE LOCALIZO 3 POSTES DE TENDIDO ELECTRICO DE ALTA TENSION EN LA CORONA																																			
RECOMENDACIONES:																																			
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO, SIN LA AUTORIZACIÓN DEL ASESOR DE DELEGADO RESIDENTE ABRACA LAS MUESTRAS DE REFERENCIA																																			

Apéndice

Anexo 6

PROYECTO:				Tecpan Guatemala Los Encuentros								
PROCEDENCIA DEL MATERIAL:				CORTE DE TALUD								
ESTACION DEL BANCO:				102+580 L/I								
NUMERO DE LABORATORIO:				17								
FECHA DE LA PRUEBA:				Martes, 16 de Junio de 2009								
P.B.	TARA	P.N.	P.U.H.	TARRO	TARA	P.B.H.	P.B.S.	DIF	P.N.S.	%H	PROM	P.U.S.
5667	4184	1483	1568								30.3	1203
5769	4184	1585	1675								35.0	1241
5890	4184	1706	1803								39.7	1291
5832	4184	1648	1742								44.4	1206

SPEEDY

The graph plots P.U.S. (Peso Unitario Seco) on the y-axis (ranging from 1180 to 1310) against % Humedad on the x-axis (ranging from 29.0 to 45.0). A smooth curve is drawn through four data points. The peak of the curve is at approximately 40% humidity and 1292 P.U.S. A red arrow points to this peak.

% Humedad	P.U.S. (Peso Unitario Seco)
30.3	1203
35.0	1241
39.7	1291
44.4	1206

PROCTOR T-180		RESULTADOS	
PESO AGREGADO FINO:	Kgslmts ²	P.U.S. MAXIMO:	1,292 Kgslmts ²
PESO AGREGADO GRUESO:	Kgslmts ²		80.6 Lbs/Pie ²
AGUA INICIAL:	400 cc.	% DE HUM. OPTIMA:	40.0 %
SEGUIDA CON:	115 cc.		

OBSERVACIONES: PROCTOR DE MATERIAL DE CORTE DE TALUD DE LA ESTACION 102+580 L/I.
 LA HUMEDAD NATURAL DE ESTE MATERIAL ES DE 20.1%
 MATERIAL ARCILLOSO

Anexo 6

EQUIVALENTE DE ARENA

PROYECTO: TECPAN GUATEMALA / LOS ENCUENTROS

FECHA: Lunes, 15 de Junio de 2009 No. LAB: 17

DESCRIPCION: ARCILLOSO

MUEST. TOMADA: CORTE DE TALUD

ESTACION: 102+580 L/I

Hr. Entrada
4.41.08
10 min
4.51.08
Hr. Salida

1

Hr. Entrada
4.53.38
20 min
4.13.38
Hr. Salida

Hr. Entrada
4.44.00
10 min
4.54.00
Hr. Salida

2

Hr. Entrada
4.56.32
20 min
5.16.32
Hr. Salida

Lectura Arena	Lectura Arcilla	Lectura Arena	Lectura Arcilla
1.3	12.3	1.5	12.2
11		12	

E.A.

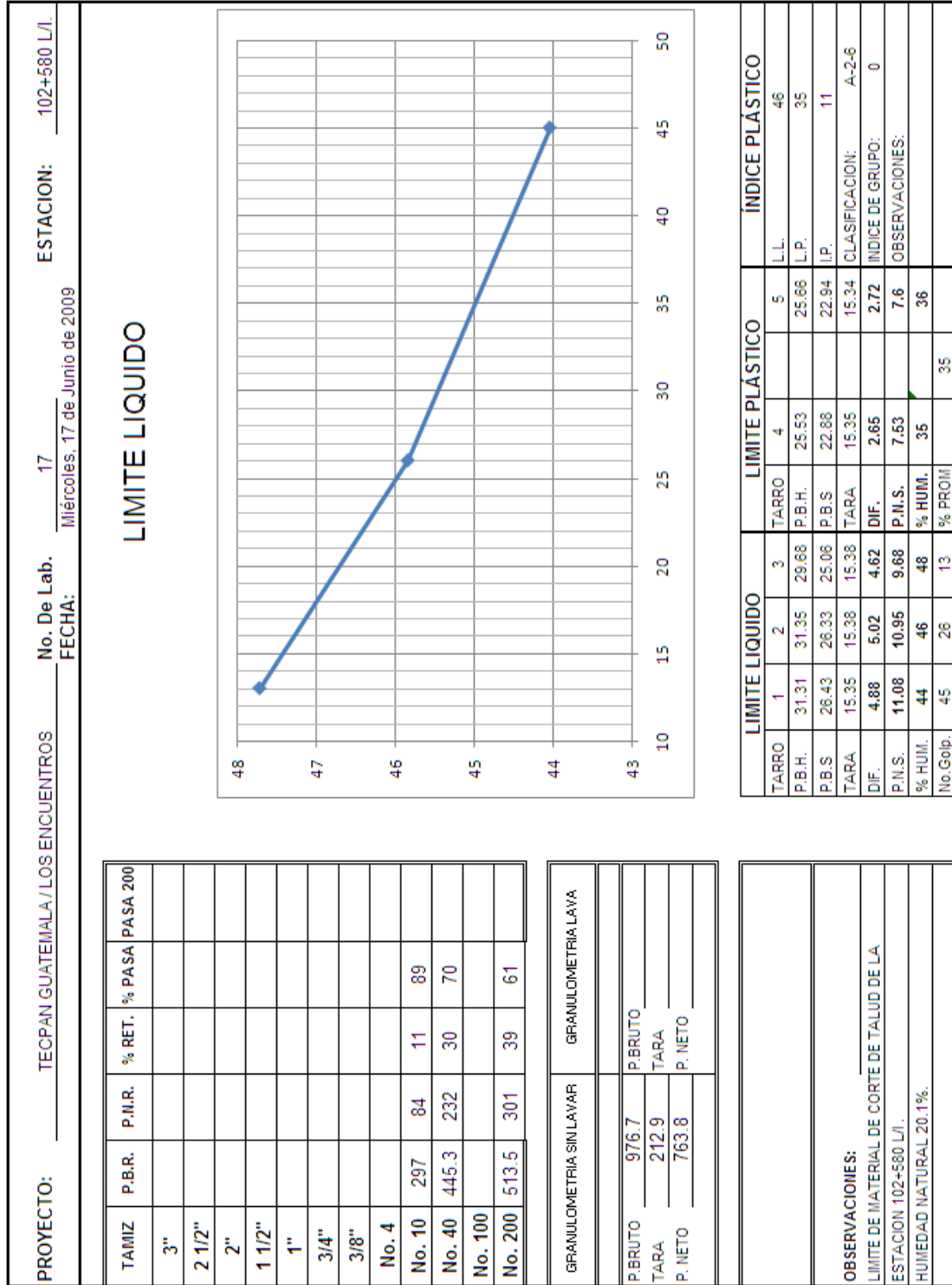
11

% PROMEDIO


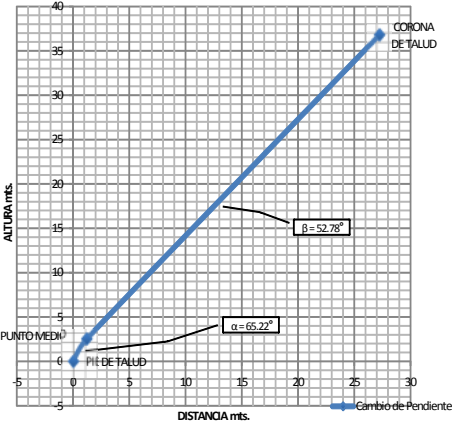
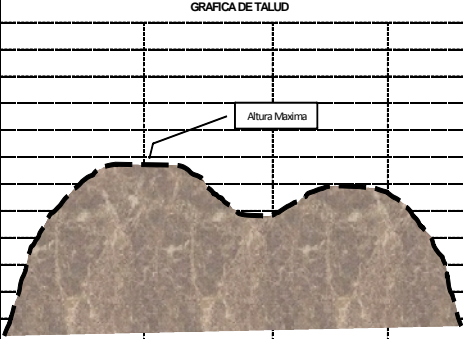
OBSERVACIONES: EQUIVALENTE DE ARENA DE MATERIAL DE CORTE DE TALUD DE LA ESTACION 102+580 L/I.

LA HUMEDAD NATURAL DE ESTE MATERIAL ES DE 20.1%.

Anexo 6



Anexo 6

TITULO: ANALISIS DE TALUDES TRAMO TECPAN LOS ENCUENTROS VERSION NO. 1 Fecha de Emisión: 08/07/2009		DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA AMPLIACIÓN A 4 CARRILES DE LA RUTA CA-1 OCCIDENTE TRAMO TECPÁN (km 89) - LOS ENCUENTROS (km 124) Página: 56																																	
EST. INICIAL: 102+400	EST. FINAL: 102+600	LADO: IZQUIERDO																																	
OBRA: <u>TECPAN - LOS ENCUENTROS</u>																																			
ANALISIS FOTOGRAFICO 		GEOLOGIA DE TALUD <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>SI</th> <th>NO</th> <th>DESCRIPCION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>ARCILLA</td><td></td><td>X</td><td></td></tr> <tr><td>LIMO</td><td></td><td>X</td><td></td></tr> <tr><td>LIMO ARENOSO</td><td>X</td><td></td><td>CON ARCILLA</td></tr> <tr><td>GRAVA</td><td></td><td>X</td><td></td></tr> <tr><td>ARENOSO</td><td></td><td>X</td><td></td></tr> <tr><td>COLOR</td><td colspan="3">BEIGE</td></tr> <tr><td>MATERIAL SUELTO</td><td>X</td><td></td><td>EN CARA DE TALUD, SIN RIESGO</td></tr> </tbody> </table>			SI	NO	DESCRIPCION	ARCILLA		X		LIMO		X		LIMO ARENOSO	X		CON ARCILLA	GRAVA		X		ARENOSO		X		COLOR	BEIGE			MATERIAL SUELTO	X		EN CARA DE TALUD, SIN RIESGO
	SI	NO	DESCRIPCION																																
ARCILLA		X																																	
LIMO		X																																	
LIMO ARENOSO	X		CON ARCILLA																																
GRAVA		X																																	
ARENOSO		X																																	
COLOR	BEIGE																																		
MATERIAL SUELTO	X		EN CARA DE TALUD, SIN RIESGO																																
		ESTATIGRAFIA DE TALUD <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>DESCRIPCION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>CAPA 1</td><td>VEGETAL</td></tr> <tr><td>CAPA 2</td><td>ARCILLA</td></tr> <tr><td>CAPA 3</td><td>LIMO ARENOSO CON POCa ARCILLA</td></tr> </tbody> </table>			DESCRIPCION	CAPA 1	VEGETAL	CAPA 2	ARCILLA	CAPA 3	LIMO ARENOSO CON POCa ARCILLA																								
	DESCRIPCION																																		
CAPA 1	VEGETAL																																		
CAPA 2	ARCILLA																																		
CAPA 3	LIMO ARENOSO CON POCa ARCILLA																																		
GEOMETRIA DE TALUD ALTURA: 36.80 METROS GRADO INCLINACION (pie): 65.22 GRADO INCLINACION (corona): 52.78 GRADOS LONGITUD: 200 METROS		PRESENCIA DE AGUA <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>SI</th> <th>NO</th> <th>DESCRIPCION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>NACIMIENTOS</td><td></td><td>X</td><td></td></tr> <tr><td>SUPERFICIAL</td><td></td><td>X</td><td></td></tr> <tr><td>SUB-TERRANEA</td><td>X</td><td></td><td>1 NACIMIENTO</td></tr> </tbody> </table>			SI	NO	DESCRIPCION	NACIMIENTOS		X		SUPERFICIAL		X		SUB-TERRANEA	X		1 NACIMIENTO																
	SI	NO	DESCRIPCION																																
NACIMIENTOS		X																																	
SUPERFICIAL		X																																	
SUB-TERRANEA	X		1 NACIMIENTO																																
GRAFICA DE TALUD 		FALLAS ESTRUCTURALES O VISIBLES EN EL TALUD <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>SI</th> <th>NO</th> <th>DESCRIPCION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>GRIETAS CORONA TALUD</td><td></td><td>X</td><td></td></tr> <tr><td>GRIETAS CARA TALUD</td><td>X</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>BERMAS</td><td></td><td>X</td><td></td></tr> <tr><td>EROSION TALUD</td><td></td><td>X</td><td></td></tr> <tr><td>LOMOS DE PRESION</td><td>X</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			SI	NO	DESCRIPCION	GRIETAS CORONA TALUD		X		GRIETAS CARA TALUD	X			BERMAS		X		EROSION TALUD		X		LOMOS DE PRESION	X										
	SI	NO	DESCRIPCION																																
GRIETAS CORONA TALUD		X																																	
GRIETAS CARA TALUD	X																																		
BERMAS		X																																	
EROSION TALUD		X																																	
LOMOS DE PRESION	X																																		
PERFILES CONCAVOS: NO EXISTEN CONVEXOS: EXISTEN		VEGETACION ENCONTRADA SOBRE TALUD <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>TIPO DE SIEMBRA</th> <th>DESCRIPCION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>ARBOLES</td><td>80%</td><td>EXISTE EN CORONA</td></tr> <tr><td>OTROS</td><td></td><td>MALEZA</td></tr> </tbody> </table>			TIPO DE SIEMBRA	DESCRIPCION	ARBOLES	80%	EXISTE EN CORONA	OTROS		MALEZA																							
	TIPO DE SIEMBRA	DESCRIPCION																																	
ARBOLES	80%	EXISTE EN CORONA																																	
OTROS		MALEZA																																	
ESTABILIZACION REVEGETACION: SE RECOMIENDA LA SIEMBRA DE MAS ARBOLES CONTRACUNETAS: EN EXTREMOS IZQUIERDO DE TALUD REVESTIMIENTO DE TALUD: COLOCACION DE MURO: COLOCACION DE GAVIONES:																																			
OBSERVACIONES: <u>HUMEDAD EN LA CARA DEL TALUD</u>																																			
RECOMENDACIONES:																																			
PROHIBIDA LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO, SIN LA AUTORIZACION DEL ALBANILAR DE DELEGADO RESIDENTE ABARCA LAS MUESTRAS DE REFERENCIA.																																			