

Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura



Sistemas Geosintéticos Aplicados en Taludes

Estudio para Zonas de Riesgo por Taludes
en la Delegación Cuajimalpa de Morelos, D. F.

José Leonardo Castellanos Gaspar



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Universidad Nacional Autónoma de México



Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura

Campo de Conocimiento Tecnología

Sistemas Geosintéticos Aplicados en Taludes

Estudio para Zonas de Riesgo por Taludes en la Delegación Cuajimalpa de Morelos, D. F.

T E S I S

Para obtener el grado de

Maestro en Arquitectura

Que Presenta

José Leonardo Castellanos Gaspar



Ciudad Universitaria, D. F., a 10 de noviembre de 2008

Agradecimientos

A **DIOS**, por ser Él, quien me guía, quien me dirige, quien me inspira... El que encamina mis pasos para cumplir el plan de vida que ha trazado para mí.

A mis **PADRES**, Juan Manuel y Violeta, por haberme apoyado para alcanzar cada una de las metas a las que me he propuesto llegar.

A nuestra máxima casa de estudios, la **UNAM**, por haberme otorgado los recursos intelectuales y económicos para poder concluir este proyecto de Maestría.

A todos mis **MAESTROS** del Posgrado de Arquitectura, quienes con sus conocimientos y experiencia fueron edificando poco a poco esta Tesis; de manera muy especial al **DR. EN ARQ. AGUSTÍN HERNÁNDEZ**, quien nuevamente me recibió como pupilo y brindó su apoyo, conocimientos, amistad y confianza; a la **DRA. EN ARQ. GEMMA VERDUZCO**, quien no sólo me compartió conocimientos académicos, sino de la vida misma; al **M. EN ARQ. FRANCISCO REYNA**, cuya paciencia y esmero por el desarrollo de los alumnos fue notorio desde propedéutico; al **M. EN ARQ. CARLOS BIGURRA**, el cual, con su cátedra, ha ido cumpliendo uno de los objetivos del Posgrado... la formación de nuevos y mejores docentes cada día.

De manera sumamente especial quiero agradecer al cuerpo docente de la **FACULTAD DE INGENIERÍA**, quienes aún con la abismal diferencia de pensamientos y profesiones no escatimaron en aceptarme como alumno y brindarme el valioso conocimiento que alberga tan generosa Facultad. Especialmente al Departamento de Geotecnia de la carrera de Ingeniería Civil, y a los maestros: **ING. NELSON PIÑÓN MARTÍNEZ (Geología)**, **M. EN ING. ENRIQUE IBARRA RAZO (Comportamiento de Suelos)**, **DR. EN ING. GABRIEL MORENO PECERO (Mecánica de Suelos)**, **DR. EN ING. GABRIEL AUVINET GUICHARD (Confiabilidad de Riesgos en Geotecnia)**, Y AL **DR. EN ING. JORGE ABRAHAM DÍAZ RODRÍGUEZ (Dinámica de Suelos)**... ¡Muchas Gracias Ingenieros!

A la **SUBDIRECCIÓN DE PROTECCIÓN CIVIL DE LA DELEGACIÓN CUAJIMALPA DE MORELOS**, especialmente al **ING. FRANCISCO JAVIER OLVERA GONZÁLEZ**, quien apoyó en todo momento este proyecto de investigación, brindando todas las facilidades para su adecuado desarrollo.

A la **M. EN ARQ. ROCÍO LÓPEZ DE JUAMBELZ**, quien como experta en el tema aportó generosa información de inconmensurable valor para la conclusión de este trabajo.

A todas esas personas que en el transcurso del Posgrado creyeron en mí, y me dieron su apoyo, ánimo y lo más valioso... su amistad incondicional; mención especial merecen mis amigos de la Facultad de Ingeniería: **OSCAR ROMERO, JUAN CARLOS SANTIAGO, TONATIUH LABASTIDA, LUIS MARTÍN VÁZQUEZ y ADRIANA RODRÍGUEZ**... ¡Arriba la comunidad del tabique!

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

1. TALUDES

1.1. Definición de Zona de Riesgo.....	1
1.2. Definición de Talud.....	1
1.3. Características Generales.....	2
1.4. Antecedentes en el Estudio de Taludes.....	4
1.5. Estabilidad de Taludes.....	4
1.5.1. Superficies de Falla.....	5
1.5.2. Estabilidad de Taludes en Suelos Friccionantes.....	7
1.5.3. Estabilidad de Taludes en Suelos Cohesivos.....	8
1.5.4. Estabilidad de Taludes en Suelos Cohesivo / Friccionantes.....	9
1.6. Métodos de Instrumentación.....	9
1.7. La Problemática de la Inestabilidad de Taludes.....	11
1.7.1. Principales Condicionantes y Causas Presentes en la Inestabilidad de un Talud.....	12
1.7.2. Fallas más Frecuentes.....	14
1.7.3. Consecuencias.....	18
1.7.4. Tratamiento Preventivo.....	18
1.8. Problemática de Taludes en México.....	20
1.8.1. A nivel nacional.....	20
1.8.2. En la Ciudad de México.....	21
1.8.3. En la Delegación Cuajimalpa de Morelos.....	23
1.8.4. Plano de Ubicación General de Riesgos por Taludes en Cuajimalpa de Morelos.....	25

2. CASO DE ESTUDIO - LA DELEGACIÓN CUAJIMALPA DE MORELOS

2.1. Los Riesgos en la Delegación Cuajimalpa de Morelos.....	26
2.2. Las Zonas de Riesgo por Taludes en la Delegación Cuajimalpa de Morelos....	28
2.3. Descripción de los Casos de Estudio.....	29
2.3.1. Caso N° 01.- Camino a Huizachito, Colonia el Huizachito.....	33
2.3.2. Caso N° 02.- Calle Bosque de Tejocotes, Colonia Bosque de las Lomas.....	34
2.3.3. Caso N° 03.- Calle Privada Tamarindos, Colonia Bosque de las Lomas.....	35

2.3.4. Caso N° 04.- Avenida Vasco de Quiroga, Colonia Centro Urbano Santa Fe.....	36
2.3.5. Caso N° 04.1.- Avenida Vasco de Quiroga, Colonia Centro Urbano Santa Fe.....	36
2.3.6. Caso N° 05.- Calle Carlos Echánove, Colonia La Rosita.....	37
2.3.7. Caso N° 05.1.- Calle Carlos Echánove, Colonia La Rosita.....	38
2.3.8. Caso N° 06.- Calle Juan Salvador Agraz y Avenida Vasco de Quiroga, Centro Urbano Santa Fe.....	39
2.3.9. Caso N° 07.- Avenida Tamaulipas y Autopista México – Toluca, Colonia La Rosita.....	39
2.3.10. Caso N° 07.1.- Avenida Tamaulipas y Autopista México – Toluca, Colonia La Rosita.....	40
2.3.11. Caso N° 08.- Calle Bosque de Lilas, Colonia Bosque de las Lomas.....	40
2.3.12. Plano Ub - 01 de Ubicación de Casos de Estudio.....	42
2.3.13. Fichas de Análisis de Riesgos.....	43
• Caso N° 01.....	43
• Caso N° 02.....	45
• Caso N° 03.....	47
• Caso N° 04.....	49
• Caso N° 04.1.....	51
• Caso N° 05.....	53
• Caso N° 05.1.....	55
• Caso N° 06.....	57
• Caso N° 07.....	59
• Caso N° 07.1.....	61
• Caso N° 08.....	63
2.4. Comportamiento de los Casos de Estudio al 22 de abril de 2008 (Depuración de Casos Factibles de Intervención).....	65
2.4.1. Caso N° 01.- Camino a Huizachito, Colonia el Huizachito.....	65
2.4.2. Caso N° 02.- Calle Bosque de Tejocotes, Colonia Bosque de las Lomas.....	66
2.4.3. Caso N° 03.- Calle Privada Tamarindos, Colonia Bosque de las Lomas.....	66
2.4.4. Caso N° 04.- Avenida Vasco de Quiroga, Colonia Centro Urbano Santa Fe.....	67
2.4.5. Caso N° 04.1.- Avenida Vasco de Quiroga, Colonia Centro Urbano Santa Fe.....	68
2.4.6. Caso N° 05.- Calle Carlos Echánove, Colonia La Rosita.....	69

2.4.7. Caso N° 05.1.- Calle Carlos Echánove, Colonia La Rosita.....	69
2.4.8. Caso N° 06.- Calle Juan Salvador Agraz y Avenida Vasco de Quiroga, Centro Urbano Santa Fe.....	70
2.4.9. Caso N° 07.- Avenida Tamaulipas y Autopista México – Toluca, Colonia La Rosita.....	71
2.4.10. Caso N° 07.1.- Avenida Tamaulipas y Autopista México – Toluca, Colonia La Rosita.....	71
2.4.11. Caso N° 08.- Calle Bosque de Lilas, Colonia Bosque de las Lomas.....	72
2.4.12. Caso N° 09 (Detectado en nueva visita).- Centro Urbano Santa Fe.....	73
2.4.13. Fichas de Análisis de Riesgos de Casos Depurados.....	74
• Caso N° 03.....	74
• Caso N° 05.1.....	76
• Caso N° 09.....	78

3. SISTEMAS TRADICIONALES - TIERRA ARMADA Y CONCRETO LANZADO

3.1. Sistema de Tierra Armada.....	80
3.2. Origen del Sistema de Tierra Armada.....	81
3.2.1. Ventajas.....	81
3.2.2. Aplicaciones.....	82
3.2.3. Muros a base del Sistema de Tierra Armada.....	83
3.2.4. Muros a de Tierra Armada - Suelo Reforzado.....	84
3.2.5. Ventajas y Desventajas de la Construcción de Muros Mecánicamente Estabilizados (Tierra Armada – Suelo Reforzado).....	86
3.2.6. Clasificación de las Obras de Tierra Armada.....	89
3.2.7. Criterios Generales para el Dimensionamiento de Muros de Tierra Armada.....	89
3.2.8. Cálculo de Estabilidad para Muros de Tierra Armada.....	90
3.3. Sistema de Concreto Lanzado (<i>shotcrete</i>) con Refuerzo de Malla Electrosoldada.....	93
3.3.1. Definición del Sistema.....	93
3.3.2. Procedimiento Constructivo.....	94
3.3.3. Aplicaciones del Concreto Lanzado.....	95
3.3.4. Ventajas del Concreto Lanzado.....	96
3.3.5. Cálculo de Estabilidad para Concreto Lanzado.....	96

4. GEOSINTÉTICOS

4.1. Definición.....	97
4.2. Antecedentes.....	97
4.3. Composición.....	99
4.4. Clasificación.....	101
4.4.1. Geotextiles.....	101
4.4.1.1. Geotextiles Tejidos.....	102
4.4.1.2. Geotextiles No Tejidos.....	102
4.4.1.3. Termosellados.....	103
4.4.1.4. Entrelazados Mecánicamente.....	103
4.4.2. Georedes.....	103
4.4.2.1. Orientadas.....	104
4.4.2.2. Biorientadas.....	104
4.4.2.3. Georedes No Orientadas.....	104
4.4.3. Geomembranas.....	104
4.4.4. Geodrenes.....	106
4.4.5. Geoceldas o Geomatrices.....	106
4.4.6. Geomallas.....	106
4.4.7. Geocompuestos.....	106
4.5. Funciones.....	107
4.5.1. Separación.....	108
4.5.2. Refuerzo.....	108
4.5.3. Filtración.....	108
4.5.4. Drenaje.....	108
4.5.5. Control de la Permeabilidad.....	108
4.5.6. De Confinamiento.....	108
4.5.7. De Contención.....	108
4.5.8. De Armado.....	108
4.5.9. De Anti-Socavación.....	109
4.5.10. De Efecto Fibroso.....	109
4.6. Organismos en el ramo de los Geosintéticos.....	109
4.6.1. GMA - Asociación de Materiales Geosintéticos.....	109

4.6.1.1. Acciones de GMA.....	110
4.6.1.2. Organización de GMA.....	110
4.7. Casos Análogos de Trabajo con Geosintéticos en Taludes.....	111
4.7.1. Internacional - San Salvador, República del Salvador.....	111
4.7.2. Nacional - Huixquilucan, Estado de México.....	115
5. METODOLOGÍA DE TRABAJO PARA CASOS DE TALUDES	
5.1. Criterios de Aplicación.....	119
5.2. Observaciones Necesarias.....	122
5.3. Matriz comparativa entre los sistemas alternativos y los Materiales Geosintéticos para la elaboración de Muros Mecánicamente Estabilizados y Protección contra Intemperismo y Erosión.....	122
CONCLUSIONES	
• CONCLUSIONES.....	125
BIBLIOGRAFÍA	
• Libros.....	127
• Artículos.....	128
• Fuentes de Internet.....	129
• Cursos.....	130
• Otros.....	130
GLOSARIO	
• GLOSARIO.....	131
ANEXOS	
• ANEXO A - ESTUDIO DE LOS SUELOS.....	137

INTRODUCCIÓN

- **Justificación**

El por qué de la realización de este proyecto surge a raíz de una colaboración, aunque breve, en un proyecto de contención de suelos para la Ciudad de Tijuana, B.C.N., donde una falla en el suelo trajo como consecuencia la fractura de un muro de contención de concreto armado, el cual, tras dicho percance, tuvo que ser demolido y renovado con un sistema a base de materiales geosintéticos para la contención y estabilización del suelo afectado. Justamente este hecho motivó el deseo de indagar más a fondo dentro de estos novedosos sistemas que, aún cuando ya tienen tiempo en utilizarse en países primermundistas, considero que falta aprovecharlos al máximo en nuestro país sabiendo las grandes ventajas que ofrecen por sobre los sistemas tradicionales de contención, protección y estabilización de suelos, y la cantidad de casos de estudio en los cuales pudieran resultar de gran beneficio.

Así mismo, los constantes riesgos y accidentes ocasionados debido a la falta de estabilidad - generalmente producida por las presiones hidrostáticas internas del suelo - que trae como consecuencia derrumbes, deslaves y deslizamientos de taludes ubicados, por ejemplo, en la Zona Poniente de la Ciudad de México, ha despertado mi interés por estudiar el por qué, habiendo sistemas que pueden resultar más efectivos en resolver este tipo de incidentes, no se han utilizado de manera adecuada en el país.

Es así como, partiendo de conocimientos generales sobre los tipos de suelo y rocas existentes en México y sus respectivos comportamientos ante diversas condiciones de trabajo y esfuerzos, resulta conveniente analizar la problemática y los riesgos que cada uno presenta ante el efecto de fuerzas (cualesquiera que éstas sean) en direcciones diversas (horizontales, verticales, diagonales) las cuales provocan deformaciones del mismo suelo hacia donde se encuentran sus zonas más débiles y desfavorables, una de ellas, los taludes o caras de muro; es ahí donde radica la necesidad de desarrollar elementos y sistemas estructurales que con su presencia mantengan fuera de riesgo las zonas aledañas a dicho punto.

Desde antaño, estos elementos han sido elaborados principalmente con los materiales que muestren mayor accesibilidad en la zona de trabajo o aquellos que presenten mayores beneficios estructurales, los cuales con el paso del tiempo han sido sustituidos por tecnologías que, habiendo sido probadas en otros sitios dando respuestas positivas y favorables se han adaptado a cada lugar; sin embargo, muchas de las nuevas tecnologías que surgen a cada momento no han sido aplicadas en sitios que presentan ciertas características para tomarlos seriamente en cuenta, ello debido a la poca difusión y a la carencia de información que existe entre los mismos profesionistas del ramo de la construcción. Ejemplo de buena difusión y práctica de estos nuevos procedimientos constructivos los hallamos en países europeos y latinoamericanos, como España y Chile, que hace ya varias décadas han puesto en práctica estos nuevos sistemas obteniendo grandes resultados en situaciones similares.

Una de esas novedades tecnológicas que en la actualidad se encuentra en auge: los materiales geosintéticos y los prefabricados, aún cuando han sido utilizados de manera eficiente pero esporádica en nuestro país, no han contado con la difusión apropiada para ser manejados y contemplados como una buena opción para el ejercicio profesional. Estos materiales, al ser desarrollados en base a experimentos y tecnología de punta, son elementos factibles para su ubicación y aplicación en suelos considerados como débiles y endeble, y localizados en zonas de alto riesgo por deslizamientos y derrumbes como las ubicadas en diversos puntos de la Ciudad de México y su Zona Metropolitana, así como en varios sitios localizados en vías de comunicación terrestre en México, poniendo con ello en peligro la vida de numerosas personas que, por necesidad, han de transitar por dichos puntos o que han tenido que asentar sus viviendas en las zonas aledañas a los sitios en cuestión, generalmente de manera clandestina, ubicándose en la corona (u hombro) y pie del talud.

Es por ello que con este proyecto de investigación se pretende trabajar en el estudio, la difusión y aplicación a un caso específico de esas nuevas tecnologías innovadoras, enfocadas a la contención, protección y estabilización de taludes, buscando nuevas aplicaciones en la Arquitectura y la optimización de éstos materiales para ser utilizados en beneficio de aquellos que se hallan en zonas de riesgo por taludes en la Zona Poniente de la Ciudad de México.

- **Problemática Actual**

En el territorio comprendido de la Zona Poniente de la Ciudad de México, de manera específica la Delegación Cuajimalpa de Morelos, se encuentran ubicadas diversas zonas de riesgo debido a problemas de estabilidad en taludes originados por obras civiles o asentamientos humanos irregulares. Estos taludes, presentan una debilidad de consistencia debida principalmente a problemas relacionados con la filtración de agua y presiones hidrostáticas, y han puesto en riesgo la vida de numerosas personas que, por diferentes circunstancias, desarrollan sus actividades de manera temporal o permanente en las inmediaciones de los mismos, lo cual representa un foco rojo de alerta ante probables accidentes derivados de una falla de la estabilidad del talud, tales como derrumbes, deslizamientos o deslaves como los ocurridos desde hace mucho tiempo en nuestro país.

Dentro de las zonas más afectadas y propensas a sufrir este tipo de incidentes se hallan las numerosas construcciones localizadas en barrancas de la Ciudad de México, en las cuales miles de familias viven por las más diversas causas y día con día se encuentran en el riesgo de perecer ante una falla o movimiento en el suelo donde se asientan.

El mismo caso, aunque no de asentamientos, se encuentra ubicado en algunas de las vías de comunicación terrestre del territorio nacional, caso particular la autopista del Sol que dirige hacia Acapulco, Guerrero, o la autopista a la Ciudad de Toluca, Estado de México que, aún cuando su recorrido es uno de los más cortos del país, el costo de peaje de esta autopista es muy elevado, más este pago no se ve reflejado en

el mantenimiento que a ésta se le ha dado, particularmente en los taludes que en su trayecto se encuentran, caso que pudo ser observado hace dos años (septiembre de 2006) cuando un talud sufrió un derrumbe, ocasionando con esto el cierre total de las actividades en ambos sentidos de esta pista durante más de quince días.

Por lo que, considerando:

- a) el grave riesgo en el que se encuentran numerosos taludes en la Delegación Cuajimalpa de Morelos, debido a la falta de estabilidad por filtración y presiones hidrostáticas internas,
- b) el costo tan elevado (en dinero, tiempo y mano de obra) que la elaboración de un muro de contención de manera tradicional, es decir, concreto o piedra, acarrearía, dado el tiempo de ejecución de un muro de tales condiciones, el personal requerido para este trabajo, la maquinaria especializada que sería necesaria;
- c) todos los factores que en su proceso conllevaría (maquinaria, equipo, estudios especializados) el ejecutar una obra de esta magnitud;
- d) la vida útil de los materiales anteriormente mencionados ante los efectos de agentes externos cotidianos (agua, tierra, corrosión);

...se ha planteado la posibilidad de utilizar sistemas geosintéticos para la contención, protección y estabilización del suelo en cuestión y, de este modo, poder mejorar notablemente la resistencia del suelo y la durabilidad de los trabajos realizados con ellos.

Debido a que no en todos los casos el uso de los materiales geosintéticos se presenta como factible dadas las condiciones del talud se pretende con esta investigación el identificar nuevas aplicaciones en Arquitectura para éstos, así como plantear una metodología para el estudio de taludes en Zonas de Riesgo que permita su identificación, posible solución, y, en su caso, el sistema geosintético adecuado para cada caso, que compromete a varios géneros de construcción.

- **Objetivos**

Como objetivos de este trabajo de investigación se tienen:

- a) Estudiar la evolución de los sistemas geosintéticos generales a lo largo de su historia, su comportamiento estructural, sus propiedades geométricas, de resistencia en diferentes tipos de suelo y roca, así como sus condiciones de trabajo.
- b) Tras el estudio general, analizar de manera particular los sistemas geosintéticos para determinar cuál de ellos resulta el más adecuado para

proponer su aplicación en el caso de los taludes en las zonas de riesgo ubicadas, de acuerdo al tipo de suelo y a la geometría presente en cada uno de ellos.

- c) Ubicar dentro de la demarcación de la Delegación Cuajimalpa de Morelos aquellas zonas de riesgo debidas a la inestabilidad de taludes.
- d) Estudiar los sistemas tradicionales para la protección contra erosión de taludes con riesgo de inestabilidad, y los tratamientos empleados como protección en dichos casos; así mismo, los sistemas para la elaboración del sistema de muro reforzado con tierra armada.
- e) Investigar el por qué, en los puntos de riesgo ubicados en la Delegación Cuajimalpa de Morelos, no se han aplicado sistemas de protección adecuados a las necesidades del lugar, trayendo como consecuencia los accidentes y percances que a la fecha se surgen presentado día con día a causa de la inestabilidad de los taludes.
- f) Demostrar los beneficios: económicos, de tiempo y ambientales que presentan los sistemas geosintéticos aplicados en la contención de taludes comparados con los sistemas tradicionales para con ello lograr su mejor difusión y la incursión de los mismos en nuevos proyectos de Ingeniería y Arquitectura.

- **Hipótesis**

La hipótesis que rige esta investigación es:

El correcto aprovechamiento y aplicación de los sistemas geosintéticos en la contención, protección estabilización de taludes detectados como riesgosos en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, reduce considerablemente el tiempo de ejecución de la obra, su costo general, mano de obra, así como los daños ocasionados por efectos de derrumbes, deslizamientos y deslaves por falta de estabilidad en los mismos, en comparación con los sistemas tradicionales para la contención de taludes, y son capaces de brindar una imagen urbano – arquitectónica más agradable en su correcta aplicación.

Y el procedimiento de investigación a seguir consistió en:

- Consultar con las dependencias pertinentes las que zonas de trabajo, como la Delegación Cuajimalpa de Morelos, con riesgos por inestabilidad de taludes y, en base a ellas, ubicar los puntos señalados, a modo de tener una buena localización de la poligonal estudiada.
- En base a estudios previos acerca de los tipos de suelo y rocas existentes en la zona de trabajo, poder tener un criterio mucho más certero acerca de las

posibles fallas y formas de reacción del talud ante fuerzas actuantes en él, en cualquier dirección que éstas se presenten.

- Sabiendo con los puntos anteriores, cuál puede ser la forma de trabajo para atender los taludes que sufren de inestabilidad, realizar una propuesta de atención con materiales geosintéticos que cubran las necesidades requeridas, no sólo en cuanto a estabilidad, contención y protección, sino también en el aspecto de imagen urbano - arquitectónica.

Como conclusión es posible destacar que el uso y adecuado aprovechamiento de las nuevas alternativas tecnológicas que surgen día con día mejoran notablemente el desempeño de todos aquellos relacionados con el ramo de la construcción y coadyuvan a crecer no sólo como profesionistas, sino como seres humanos.

1. TALUDES

En este capítulo se muestran los términos generales a considerar dentro del tema de taludes, sus definiciones y componentes, los antecedentes en su estudio, sus características mecánicas, de estabilidad, la problemática de inestabilidad y sus consecuencias, para culminar con el análisis de la situación de los taludes en México, de manera más específica en el Distrito Federal, dentro de la Delegación Cuajimalpa de Morelos.

1.1. Definición de Zona de Riesgo

De acuerdo al Programa Delegacional de Desarrollo Urbano (P. D. D. U.) de Cuajimalpa de Morelos vigente, se define como Zona de Riesgo *aquella que representa un peligro para la comunidad, así como para los organismos vivos que integran el ecosistema. La zona que haya sido afectada por fenómenos naturales, por explotaciones o por aprovechamiento de cualquier género, que presenten peligros permanentes o accidentales*¹, lo cual es posible entender y aplicar en muchos sitios que transitamos en la Ciudad de México, urbanizados o en proceso de crecimiento.

1.2. Definición de Talud

Según la definición del diccionario², un talud es un *declive del paramento de un muro o del suelo*, con lo que sin necesidad de mayor análisis es posible identificar cuantos taludes podemos ver a nuestro alrededor; haciendo referencia a un trabajo previo acerca de los taludes, sus aspectos formales y su tratamiento técnico³, y retomando la definición de talud que expone, el Diccionario de la Real Academia Española, se dice que un talud es *la inclinación que ocurre sobre la superficie de un terreno o en el paramento de un muro*, la cual no dista mucho de la primer definición, con lo cual podemos sintetizar ambas definiciones diciendo que un talud es la cara o paramento inclinado de un muro o del suelo mismo.

Estos elementos no siempre son creados por obra de la naturaleza, por factores como el intemperismo y la erosión (Ver Imagen 1.1), sino también muchos de ellos han sido producidos por la mano del hombre, buscando con ello el mejorar y facilitar las actividades que día con día lleva a cabo. Actualmente, las actividades que más han influido en la realización de cortes y por ende, la conformación de taludes, han sido la de habitar y la de comunicar; de este modo, muchos ejemplos existen en nuestro alrededor de cortes que en su corona, su base o en ambas contienen viviendas o vías de comunicación que el hombre mismo ha producido.

¹ Gobierno del Distrito Federal. Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda. (SEDUVI). **Planes Delegacionales de Desarrollo Urbano (P. D. D. U.) Álvaro Obregón – Cuajimalpa 2003**. México, D.F., 2003.

² García Pelayo y Gross, Ramón. **Pequeño Larousse Ilustrado**. Ediciones Larousse. México, 1998.

³ López de Juambelz, Rocío. **Taludes: Aspectos Formales y Técnicos**. Facultad de Arquitectura, UNAM. México, 2004.

1.2.1. Partes de un Talud

A *grosso modo*, las partes que componen a un Talud son: 1) la base, 2) el Talud o cara exterior, 3) el hombro y 4) la corona (Ver Imagen 1.2), de los cuales el que mas variaciones sufre de acuerdo al uso y tipo de material que lo conforme es precisamente la cara exterior, ya que su inclinación puede variar según las condiciones en que se encuentre el material que lo conforma, su resistencia y el uso que exista o se pretenda otorgarle tanto en la corona como en su base.



Imagen 1.1.- Ejemplo de factores naturales de influencia en los taludes: agua y viento.

Fuente: <http://anaheim-landslide.com/types.htm>.

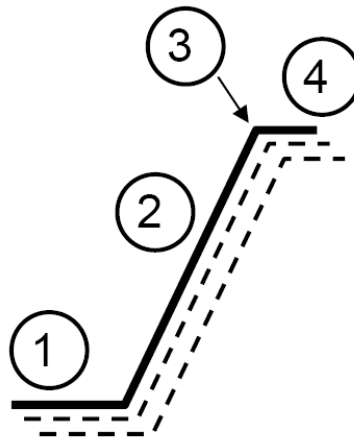


Imagen 1.2.- Esquema de los elementos que conforman un Talud.

Fuente: © D. R. Arq. José Leonardo Castellanos Gaspar, 2007.

1.3. Características Generales

Cuando se decide, cualquiera que sea el motivo, el realizar en la corteza terrestre un corte para facilitar el desarrollo de alguna actividad que requiera el ser humano, es necesario considerar que el terreno que sea intervenido cuente de antemano con una estructura, composición y conformación de origen, que al momento de ser modificada o

alterada de su estado original, sufre cambios internos y externos de carácter físico y químico que pocas veces es considerado.

Sabemos pues, que cada terreno cuenta con propiedades físicas y geológicas distintas que hacen que el corte realizado, originando un talud, necesite un tratamiento adecuado para evitar posibles daños y riesgos en las zonas aledañas a él, principalmente en su base y hombro (o corona).

La construcción de este tipo de estructuras, cuando son llevadas a cabo de manera artificial, es quizá tan antigua como la humanidad misma, y desde siempre ha sido tema de estudio, discusión y análisis dado la problemática que en su planteamiento, diseño y ejecución representa.

Hasta hace algunos años, el proceso para desarrollar obras de tal magnitud estaba basado meramente en conocimientos empíricos de aquellos quienes a lo largo de su desarrollo profesional habían sido comisionados para ejecutar tales trabajos, sin que en momento alguno fueran registrados los datos para revisar las experiencias adquiridas en cada trabajo específico.

A raíz del desarrollo de trabajos relacionados con la expansión del sistema ferroviario, los canales y las vías de comunicación, y el incremento de necesidades específicas que cada uno de los casos anteriores presentaban, surgieron los primeros intentos por estudiar de manera precisa el campo de los taludes. Con el paso del tiempo, y los avances en el conocimiento de la Mecánica de Suelos (Kart Von Terzaghi, 1925), se amplió considerablemente el horizonte y campo de estudio para el análisis adecuado de estas obras del hombre para la satisfacción de sus necesidades.

Con la incursión de los estudios relacionados con la Mecánica de Suelos fue posible aplicar al diseño de cortes y terraplenes normas y criterios que consideran en su haber las propiedades más elementales de los suelos, tanto de carácter mecánico como hidráulico, consiguiendo de este modo elaborar teorías más precisas acerca del comportamiento de un talud en condiciones específicas de acuerdo al suelo que lo constituía.

Con cierta frecuencia se suscitan dos tipos de situaciones en las que se ven involucrados los taludes en el trabajo cotidiano de los especialistas, y éstas son:

- Cuando se presenta la necesidad de estudiar la estabilidad de un talud o ladera con el fin de conocer su factor de seguridad⁴, y consecuentemente, si éste (el factor de seguridad) es bajo, aumentarlo, o bien, si el talud muestra indicios de inestabilidad, hacerlo estable

⁴ Es el cociente obtenido de la relación entre los factores que se ven involucrados en la estabilidad de un talud, es decir, lo que propicia la estabilidad entre lo que facilita la inestabilidad del mismo; de manera más general es **LO QUE RESISTE ENTRE LO QUE ACTÚA.**

mediante soluciones que permitan alcanzar ese grado de estabilidad de fuerzas y seguridad.

- Cuando se requiere diseñar un talud debido a una obra o proyecto propuesto, donde la inclinación del mismo es el tema fundamental del trabajo, de manera que con ello se garantice la estabilidad del talud mediante una magnitud adecuada del factor de seguridad antes descrito.

1.4. Antecedentes en el Estudio de Taludes⁵

En la rama de la Geotecnia del estudio de los Taludes, existen personajes que con sus numerosas aportaciones al conocimiento de estas obras de la ingeniería han abierto un nuevo horizonte de estudio de estos elementos (los taludes) que nos rodean cotidianamente, y a los que nos enfrentamos en numerosas ocasiones a lo largo de la vida profesional.

Alexander Collin, en 1845, fue el primero en suponer un tipo de superficie de falla curva en los taludes, e imaginó el comportamiento de los mismos ante efectos de fuerzas naturales, criterios que en la actualidad son muy cercanos a los estudios vigentes.

Tiempo después, Charles Coulomb, aún postulando ideas divergentes a las de Collin, pero mucho menos fructíferas, logró imponer sus hipótesis dado su mayor prestigio y autoridad en el campo de los estudios del suelo.

En 1926, Peterson, un ingeniero científico y especialista sueco, retomó las ideas propuestas por Collin tras haber comprobado muchos apartados de la hipótesis del primero en un caso presente en el puerto de Gottemburgo (Suecia), donde era evidente el movimiento de la masa de suelo a través de una superficie curva. Estas ideas fueron apoyadas por Colmar Fellenius en 1927.

El científico Rendulio⁶, en 1935, propuso la espiral logarítmica como trazo de una superficie de deslizamiento más real, pero Taylor en 1937 puso de manifiesto que esta curva complica bastante los cálculos, proporcionando resultados tan similares a la circunferencia, que su uso probablemente no se justifica.

1.5. Estabilidad de Taludes

En el tratamiento de taludes existen dos factores que resultan de gran importancia, y que requieren mayor atención al momento de trabajar en un sitio donde un talud puede representar un gran reto a vencer. Estos factores van directamente ligados con el

⁵ Juárez Badillo, Eulalio y Rico Rodríguez, Alfonso. **Mecánica de Suelos. Tomo II – Teoría y Aplicaciones de la Mecánica de Suelos.** Capítulo V – Estabilidad De Taludes. Editorial Limusa – Noriega Editores. México, 2006.

⁶ http://conferencia.grupossc.com/ponencias/2002/bordo_fimee/bordo_fimee.pdf & Ídem.

comportamiento geológico y dinámico de los materiales que constituyen al talud (rocas y suelo), y son: la estabilidad mecánica del suelo (y el riesgo de inestabilización debido al corte), y la exposición a los agentes ambientales naturales, como el agua y el viento, que como proceso natural producen la erosión del suelo expuesto si no ha recibido tratamiento alguno (Ver Imagen 1.3).

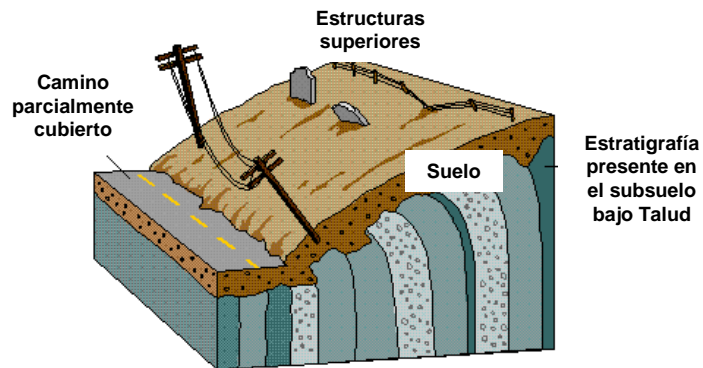


Imagen 1.3.- Ejemplo de los riesgos que se corren al no dar adecuado tratamiento a los taludes en un área común de muchas ciudades.

Fuente: <http://anaheim-landslide.com/types.htm>.

Cabe destacar que existen casos de taludes que por las propiedades y estructura de los elementos que los componen se muestran estables aún cuando constantemente son atacados por los agentes anteriormente mencionados; sin embargo, no siempre resulta ser así, de modo que se debe plantear siempre una solución adecuada que resuelva el problema de inestabilidad, protegiendo con ello la vida de numerosos seres humanos.

Hoy en día, por desgracia, elementos tan importantes, no sólo por el riesgo que pudieran representar, sino como imagen del lugar en que se encuentran, como lo son los taludes, no han sido atendidos de manera correcta considerando sus características geotécnicas y las propiedades que la naturaleza les ha brindado, de modo que en muchos lugares vemos soluciones "espantamientos" que sólo cumplen con la función de aparentar tener resuelto un problema que, tras esa "solución" puede estar creciendo con el paso del tiempo.

1.5.1. Superficies de falla

Los dos tipos de superficie de falla que se pueden encontrar en los casos de taludes son:

- **Superficie de Falla Plana:** presente principalmente en suelos de comportamiento friccionante (como las gravas o las arenas), en los cuales el movimiento que se presenta en dicha masa de suelo es de translación, es decir, su desplazamiento se realiza sobre una pendiente plana regular (Ver Imagen 1.4).

En este caso el sistema de fuerzas que actúa sobre la masa de suelo que se mueve, al no estar en equilibrio, se reduce a una fuerza denominada resultante.

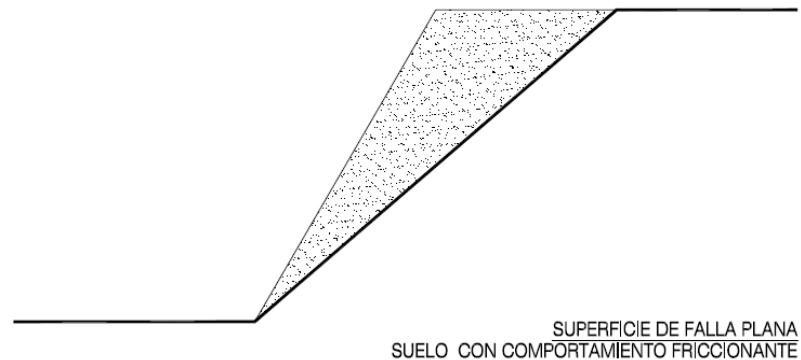


Imagen 1.4.- Esquema Superficie de Falla Plana en un Talud.
Fuente: D. R. © Arq. José Leonardo Castellanos Gaspar, 2008.

Si se busca lograr la estabilización de una masa de suelo con estas condiciones se necesita aplicar una fuerza colineal de magnitud igual o mayor a la correspondiente resultante.

- **Superficie de Falla Circular:** presente principalmente en suelos de comportamiento cohesivo (como las arcillas o los limos), en los cuales el movimiento que se presenta en dicha masa de suelo es de rotación (comúnmente conocido como cuña), es decir, su desplazamiento se realiza sobre una superficie curva circular (Ver Imagen 1.5).

Ante esta situación, el sistema de fuerzas actuante en la masa de suelo se reduce a una par de fuerzas que generan un momento en la masa en movimiento.

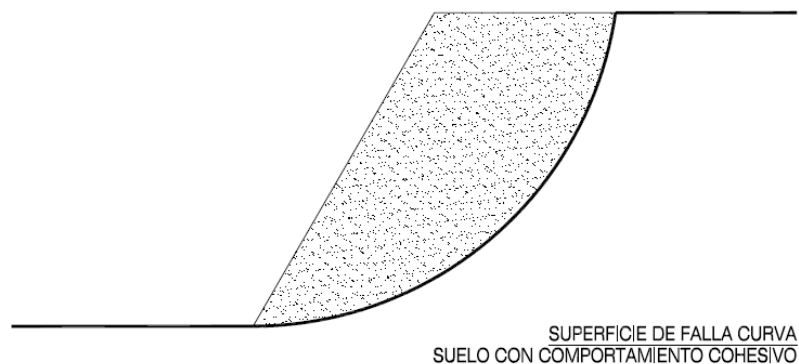


Imagen 1.5.- Esquema Superficie de Falla Curva en un Talud.
Fuente: D. R. © Arq. José Leonardo Castellanos Gaspar, 2008.

Para obtener la estabilización de un talud con este comportamiento se requiere aplicar un par de fuerzas que generen un momento que sea igual o mayor a aquel al que se ha reducido el sistema de fuerzas.

El método para determinar la ubicación de la superficie de falla de un talud con potencial de movimiento es considerar varias superficies de falla y calcular para cada una de ellas su Factor de Seguridad y elegir como la que se acerca más a la realidad aquella que determine el Factor de Seguridad con valor mínimo.

1.5.2. Estabilidad de Taludes en Suelos con Comportamiento Friccionante (Superficie de Falla Plana)

Uno de los factores que más influye en la problemática de estabilidad de los taludes es el agua al interior de la masa de suelo, la cual genera presiones hidrostáticas (de poro), que consecuentemente disminuyen las presiones efectivas (o de los sólidos), y con ello conllevan a un desequilibrio de fuerzas cohesivas, que derivan en inestabilidad y fractura del talud.

Entre las soluciones existentes para evitar los desprendimientos originados por las presiones hidrostáticas son las conocidas como soluciones de subdrenaje, las cuales implican evitar que el agua que contiene el suelo aumente su presión; estas obras de subdrenaje deben lograr que el agua no se infiltre en un cierto tiempo salga de él en un mismo tiempo, es decir, que no se acumule, conservando de este modo la presión efectiva, y manteniendo la resistencia al esfuerzo cortante del suelo.

Dentro de los métodos de subdrenaje más conocidos se encuentran:

- Drenes transversales de penetración, también conocidos como lloraderos.
- Drenes longitudinales.
- Galerías filtrantes.

Así mismo, otra de las soluciones factibles en este tipo de situaciones es la elaboración de un muro de contención que genere la fuerza opuesta a la que la masa de suelo está ejerciendo para conseguir el movimiento. Esta acción nos permitirá de la misma manera abatir o “descopetar” (Ver Imagen 1.6) la corona del talud, previa construcción del muro que contenga el empuje de la masa de suelo.



Imagen 1.6.- Esquema de “descopetado” de un Talud.
Fuente: D. R. © Arq. José Leonardo Castellanos Gaspar, 2008.

1.5.3. Estabilidad de Taludes en Suelos con Comportamiento Cohesivo (Superficie de Falla Curva Circular)

En estos casos la superficie de falla presente es curva circular, siguiendo la hipótesis de que el movimiento de la masa de suelo se lleva a cabo como cuerpo rígido. El movimiento del suelo es de rotación, lo que indica que el sistema de fuerzas que actúa sobre la potencial masa de suelo que se mueve se desequilibra y se genera un par de fuerzas que producen un momento.

En este caso la solución de ubicar un muro de contención a pie de talud no resulta factible, dado que el radio de influencia de la superficie de falla es generalmente muy amplio y proporcional a la altura del talud. Ante esta situación es necesario aumentar la cohesión del suelo, y esto es posible implementando soluciones de subdrenaje como los anteriormente mencionados en los casos de suelos Friccionantes.

Para esta situación se añade otra solución de subdrenaje conocida como “trinchera estabilizadora”, que consiste en excavar por debajo de la superficie de falla, y substituyendo lo excavado por enrocamiento en la superficie excavada.

De la misma manera es posible llevar a cabo un “descopetado” del talud, colocando el material producto de este trabajo al pie del mismo, desarrollando una especie de bermas⁷, incrementando con ello el momento resistente del suelo ante la fuerza de empuje de la superficie de falla.

⁷ Se denominan bermas a masas generalmente del mismo material que el propio talud, que se colocan adecuadamente en el lado exterior del mismo con el fin de aumentar su estabilidad. **Fuente:** Juárez Badillo, Eulalio y Rico Rodríguez, Alfonso. **Mecánica de Suelos. Tomo II – Teoría y Aplicaciones de la Mecánica de Suelos.** Capítulo V – Estabilidad De Taludes. Editorial Limusa – Noriega Editores. México, 2006.

1.5.4. Estabilidad de Taludes en Suelos con Comportamiento Cohesivo / Friccionante (Superficie de Falla Curva Circular)

Para el estudio de los taludes con estas condiciones de comportamiento de suelo se emplea el método denominado de Fellenius, o de dovelas, conocido también como Método Sueco (Ver Imagen 1.7), el cual plantea la siguiente hipótesis:

- Supone una superficie de falla circular.
- Divide la masa de suelo que potencialmente se desestabiliza en dovelas, y acepta que no existe interacción entre una dovela y las dos vecinas, es decir, que no se generan esfuerzos entre dovelas adyacentes.

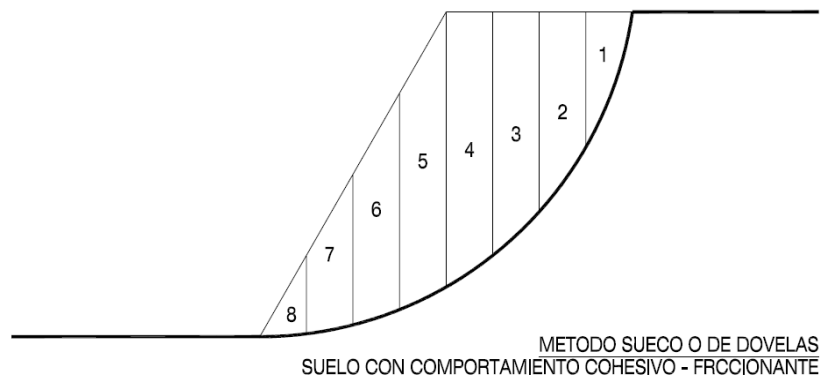


Imagen 1.7.- Esquema del Método Sueco de análisis de falla.

Fuente: D. R. © Arq. José Leonardo Castellanos Gaspar, 2008.

El planteamiento de la segunda hipótesis no se considera necesario, debido a que en la primera hipótesis se está aceptando que el movimiento del suelo se desarrolla como cuerpo rígido, ya que se considera una superficie de falla circular (no existe movimiento relativo entre dovela y dovela).

Este método se muestra versátil al poder ser utilizado cuando se suponen superficies de falla combinadas, es decir, entre superficies de falla planas y curvas. Hoy en día reciben de manera general el nombre de Método Sueco a los procedimientos de cálculo de estabilidad de taludes en que se utiliza la hipótesis de falla circular curva.

1.6. Métodos de Instrumentación

Una tecnología actualmente empleada para determinar la estabilidad de un talud, o en su caso, los actuales o posibles movimientos que pueda presentar en un momento determinado es la implementación de sistemas de instrumentación⁸, entre los cuales el

⁸ Consiste en colocar una serie de dispositivos para la medición de esfuerzos y deformaciones que sufre el suelo, las magnitudes de dichos esfuerzos, así como su cambio con el tiempo; en términos generales, sirven para conocer el comportamiento del suelo a través del paso del tiempo, un monitoreo constante.

más usual para el caso de los taludes son los llamados inclinómetros (Ver Imagen 1.8), que son instrumentos electrónicos de alta sensibilidad, salida analógica y bajo consumo de poder⁹, los cuales sirven para poder determinar la seguridad estática y el comportamiento de taludes naturales o artificiales, así como para edificios y superficies excavadas, y conocer los desplazamientos verticales y / o horizontales que éstos pudieran presentar¹⁰.

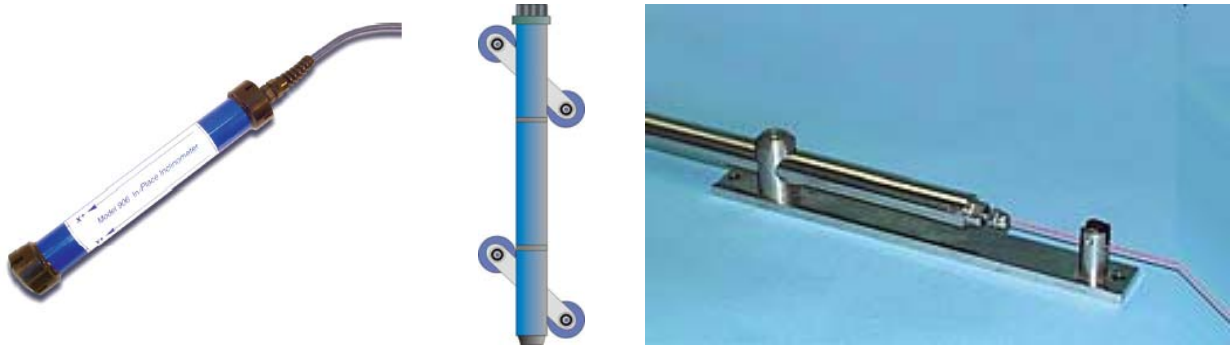


Imagen 1.8.- Ejemplos de inclinómetros comerciales para el monitoreo de masas de suelo.

Fuente: http://www.mesurex.com/geotecnia/medicion-obra-ingenieria-civil-geotecnia/ficha_Inclinometros01.html
<http://www.atinfo.net/productos/deformaciones.htm>
<http://www.empirica.es/>

Los inclinómetros poseen una plataforma horizontal provista de tres sensores: dos de inclinación y un sensor de temperatura¹¹ (Ver Imagen 1.9).

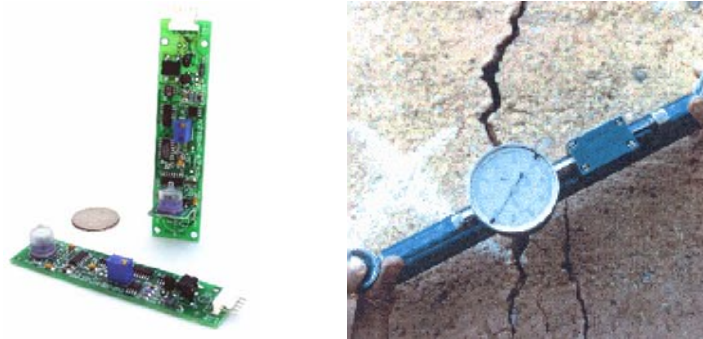


Imagen 1.9.- Ejemplos de inclinómetros comerciales para el monitoreo de masas de suelo.

Fuente: <http://www.ampere.com.mx/detalleproducto.php?IdProducto=263>
http://www.asefa.es/repositorio/paginas/patologias_ficha50_es.jsp

Los inclinómetros se aplican principalmente para monitorear el comportamiento de terraplenes, corrección de declives, desplazamientos de terreno, excavaciones de gran profundidad y también excavaciones subterráneas.

⁹ http://www.sociedadcolombianadefisica.org.co/revista/vol33_2/articulos/pdf/332380.pdf

¹⁰ GEOTEC – Noviembre 10 de 2007.

¹¹ http://www.sociedadcolombianadefisica.org.co/revista/vol33_2/articulos/pdf/332380.pdf

Se puede combinar el uso del inclinómetro con el de un extensómetro¹², para monitorear tanto los desplazamientos verticales y horizontales, y de esta forma aumentar la información obtenida de un caso particular.

Un extensómetro se usa para medir deformaciones axiales (compresión y tracción) a lo largo de una perforación (Ver Imagen 1.10).

Consta de un cabezal de medición, un punto o barra de anclaje, varillas de medición y una cabeza ajustable de tope para la medición. El conjunto completo va dentro de un tubo protector que lo resguarda de cualquier daño durante la instalación y mediciones subsecuentes.



Imagen 1.10.- Ejemplos de extensómetro.

Fuente: http://www.m45.com/clients/honeywell/perfectsense/ps_0907/spanish/

De los instrumentos mencionados, el más utilizado es el inclinómetro STUMP, el cual se conforma por un tubo de PVC firme y simple de ensamblar (sin extensiones o coples adicionales) con una alta resistencia a la torsión.

Sin duda alguna, un paso de gran importancia en los estudios previos al tratamiento de un talud, resulta el conocimiento de la ubicación certera de la superficie de falla del mismo, ya que es a partir de ella donde se genera una gran cantidad de desplazamientos que pueden derivar en potenciales zonas de riesgo en sus alrededores.

1.7. La Problemática de la Inestabilidad de Taludes¹³

Numerosos daños ha sufrido el ser humano debido al desconocimiento del lugar en que éste decide ubicar no sólo su morada, sino sus actividades cotidianas, donde muchas de ellas se encuentran inmersas en zonas de riesgo potencial sin que éstas den la mínima señal de serlo.

¹² http://www.geodataandina.cl/instrumentos/marco_central_desplazamiento_Extensometro.htm

¹³ Ruiz Vázquez, Mariano y González Huesca, Silvia. **Geología Aplicada a la Ingeniería Civil**. Limusa – Noriega Editores. México, 2000.

Tal es el caso de las zonas en las cuales los taludes, producto de excavaciones para la extracción de material térreo¹⁴, de cortes para nuevas vialidades que mejoren la comunicación entre poblaciones o para la realización de novedosas obras de ingeniería en beneficio de determinadas comunidades, hacen acto de presencia, no siempre respondiendo al hombre como éste último quisiera.

Por desgracia, la mala planeación y la falta de estudios adecuados, como los de Mecánica de Suelos y de Rocas, que permitan el conocimiento certero del comportamiento del suelo en que se asienta el hombre, han derivado en severas e incuantificables consecuencias materiales y numerosas pérdidas de vidas humanas.

El objeto de invertir en los estudios pertinentes antes de la compra o realización de un proyecto en un nuevo sitio, principalmente y objeto de este tema de investigación en aquellos que tengan dentro de su perímetro uno o varios taludes, es el de prevenir y atender de manera pronta y adecuada aquellos puntos que podrían ser focos de riesgo de no manejarse coherentemente¹⁵.

1.7.1. Principales condicionantes y causas presentes en la inestabilidad de un talud¹⁶

Tras numerosos estudios realizados alrededor del mundo en zonas con alto riesgo a causa de taludes, se han determinado las condicionantes más recurrentes en un problema de inestabilidad de taludes, las cuales son:

- **Condiciones litológicas:** es decir, el estudio de las rocas que componen al talud.
- **Condicionantes estratigráficas:** las referentes a las capas de suelo que componen ese talud.
- **Condiciones estructurales:** que indican la composición y propiedades resistentes del suelo y las capas que componen al talud.
- **Condiciones topográficas:** que muestran los niveles, elevaciones y depresiones que podrían afectar o verse afectados con un deslizamiento producto de la inestabilidad del talud.
- **Condiciones orgánicas:** que al presentarse en la composición del suelo que conforma el talud suelen indicar la posibilidad de inestabilidad y poca resistencia ante diversos esfuerzos.

¹⁴ Ruiz Vázquez, Mariano y González Huesca, Silvia. **Geología Aplicada a la Ingeniería Civil**. Limusa – Noriega Editores. México, 2000.

¹⁵ Ídem.

¹⁶ Ídem.

Así mismo, existen causas que favorecen la inestabilidad, y en consecuencia, el movimiento del suelo del cual está compuesto el talud, y éstas pueden ser¹⁷:

- El eliminar parte del soporte al pie del talud, que ocasionaría un desequilibrio de fuerzas y empujes, derivando en un deslizamiento de tierra, ya sea por agentes naturales de intemperismo (viento, agua, oleaje, etc.), reblandecimiento de tierra por incursión de agua en exceso; o por agentes humanos (Ver Imagen 1.11).

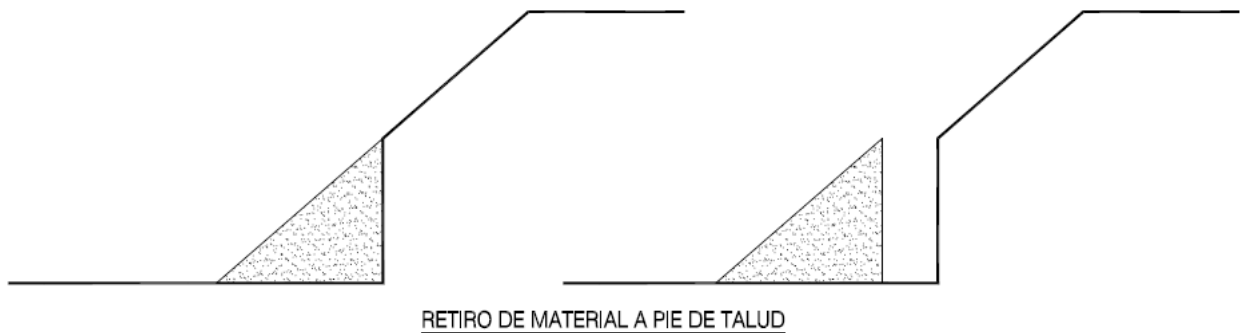


Imagen 1.11.- Esquema del Método Sueco de análisis de falla.

Fuente: D. R. © Arq. José Leonardo Castellanos Gaspar, 2008.

- Una sobrecarga en la corona o el hombro del talud, excediendo su capacidad de resistencia ante esfuerzos verticales en la parte superior, por agentes naturales o humanos.
- Una reducción de la fricción o cohesión entre los materiales que componen dicha estructura.
- Por vibraciones del terreno, como por ejemplo, en un fuerte sismo.
- Pérdida de estabilidad debido a un ángulo de fricción exageradamente inclinado y que el material de compasión no lo soporte.
- Por infiltración de agua¹⁸, efectuada con mayor facilidad a través de fracturas abiertas como en las juntas de rocas aflorantes en la superficie y grietas profundas en zonas de tensión.
- Deformaciones de la corteza terrestre por causas naturales.

¹⁷ Ruiz Vázquez, Mariano y González Huesca, Silvia. **Geología Aplicada a la Ingeniería Civil**. Limusa – Noriega Editores. México, 2000.

¹⁸ Blyth, F. G. H. **Geología para Ingenieros**. Compañía Editorial Continental CECSA. México, 1992.

Todos los puntos anteriores comúnmente contribuyen de alguna u otra manera a propiciar la inestabilidad del suelo en un talud, y conllevan a un potencial riesgo por deslizamientos o movimiento de masas de tierra.

1.7.2. Fallas más Frecuentes¹⁹

Uno de los problemas que aquejan y dañan severamente la estabilidad de un talud es sin lugar a dudas, la presión hidrostática (presión del agua) interna del suelo, la cual, si al momento de realizar un corte, no se prevé su adecuada conducción hacia zonas que no perjudiquen el talud, lo más probable es que derive en un deslizamiento de material hacia la zona de la base, ya que este tipo de fallas no sólo son producidas por el incremento de carga en un talud, sino también a filtraciones mal conducidas que originan el reblandecimiento del suelo, y como consecuencia se tiene el desprendimiento del material que conforma el talud.

Los tipos de fallas que pueden ocurrir en los taludes, no sólo corresponden a las producidas por el deslizamiento del material, sino también a otros producidos por causas como las siguientes²⁰:

- Por deslizamiento a lo largo de los planos de estratificación, como resultado del efecto lubricante del agua que escurre por dichos planos (Ver Imagen 1.12).

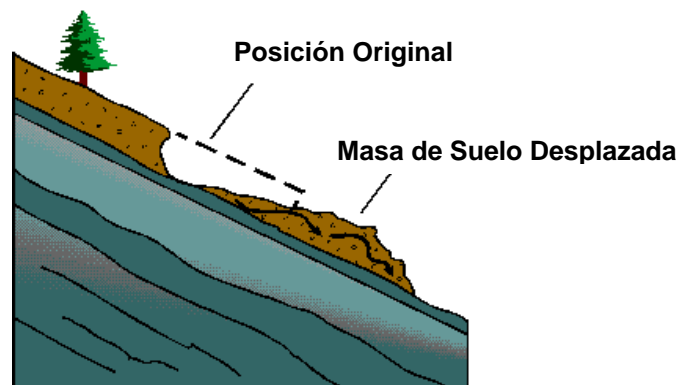


Imagen 1.12.- Falla por deslizamiento de suelo sobre plano de estratificación más consolidado.

Fuente: <http://anaheim-landslide.com/types.htm>.

Este desequilibrio de la masa de suelo puede producirse por un aumento en las cargas actuantes en la corona del talud, por una disminución en la resistencia del suelo al esfuerzo cortante o, en taludes

¹⁹ Juárez Badillo, Eulalio y Rico Rodríguez, Alfonso. **Mecánica de Suelos. Tomo II – Teoría y Aplicaciones de la Mecánica de Suelos.** Capítulo V – Estabilidad De Taludes. Editorial Limusa – Noriega Editores. México, 2006.

²⁰ Crespo Villalaz, Carlos. Ing. **Mecánica de Suelos y Cimentaciones.** Editorial Limusa – Grupo Noriega Editores. 2ª Reimpresión. México, 1993.

naturales, por razones relacionadas con las características geológicas del lugar.

Este tipo de situaciones resulta muy frecuente, sobre todo en taludes naturales, lo cual representa un gran peligro para las comunidades que se ubican en las inmediaciones de los mismos. Su extensión llega a abarcar generosas extensiones, lo que hace sumamente costoso su tratamiento de contención ante un posible deslizamiento.

- Por disgregación ocasionada por el agrietamiento que se produce al secarse las arcillas suaves, especialmente las arcillas bentónicas (Ver Imagen 1.13).

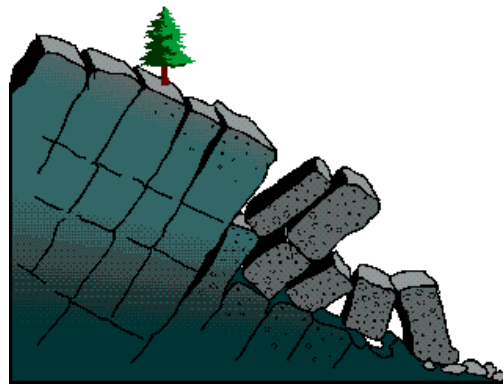


Imagen 1.13.- Falla por agrietamiento del suelo y su consecuente quiebre y caída.

Fuente: <http://anaheim-landslide.com/types.htm>.

- Por disgregación o erosión²¹ debida a la intemperización, especialmente en calizas y lutitas margosas²², donde el fenómeno de falla es más evidente conforme la pendiente del talud es mayor.
- Por la acción del empuje que se produce al sufrir expansión los estratos margosos y arcillas que se saturan de agua.
- Por desplazamiento de los suelos que se encuentran debajo del pie de los taludes.
- Por la presencia de corrientes ascendentes de agua, que originan la condición conocida como suelo movedizo.

²¹ Juárez Badillo, Eulalio y Rico Rodríguez, Alfonso. **Mecánica de Suelos. Tomo II – Teoría y Aplicaciones de la Mecánica de Suelos.** Capítulo V – Estabilidad De Taludes. Editorial Limusa – Noriega Editores. México, 2006.

²² **Marga:** Se denomina marga a un tipo de roca sedimentaria compuesta principalmente de caliza y arcilla, con predominio, por lo general, de la caliza, lo que le confiere un color blanquecino con tonos que pueden variar bastante de acuerdo con las distintas proporciones y composiciones de los minerales principales. **Fuente:** <http://es.wikipedia.org/wiki/Marga>

- Por derrumbe de masas fragmentadas, ya sea a través del efecto solamente de la gravedad, o bien estimulado por la fuerza expansiva de las arcillas y margas, o por presiones por erosión y por flujo plástico o lodoso (Ver Imagen 1.14).

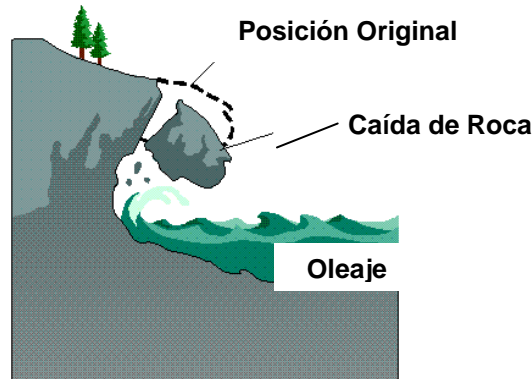


Imagen 1.14.- Caída de bloque de roca por efectos de gravedad y desgaste por erosión del apoyo.

Fuente: <http://anaheim-landslide.com/types.htm>.

Así mismo, es posible clasificar las fallas ocurridas en los taludes de roca, de acuerdo a la forma en que se producen, y éstas son²³:

- **Caída de bloques:** desprendimiento de bloques sobre el talud, desde fragmentos pequeños, hasta bloques de 4.00m o 5.00m (Ver imagen 1.15), los cuales se deslizan generalmente sobre estratos mayormente consolidados y de superficie plana.

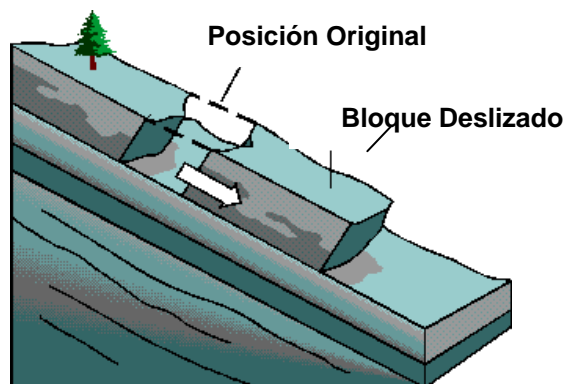


Imagen 1.15.- Ejemplo de caída de bloques de roca o suelo.

Fuente: <http://anaheim-landslide.com/types.htm>.

²³ López de Juambelz, Rocío. **Taludes: Aspectos Formales y Técnicos.** Facultad de Arquitectura, UNAM. México, 2004.

- **Volteo:** ocurre en rocas volcánicas (prismas basálticos) o en rocas sedimentarias cuando éstas, dadas sus características geométricas y de posición pierden el equilibrio que las mantenía estables.
- **Plana:** se presenta en rocas estratificadas o en discontinuidades. La fuerza actuante rebasa a la fuerza resistente a través de un plano.
- **Cuña:** que se manifiesta como una masa de roca delimitada por dos fracturas. La falla ocurre siguiendo los planos y línea de intersección de las discontinuidades. Suele presentarse en cualquier tipo de roca en donde ocurra una línea de intersección de dos discontinuidades (Ver Imagen 1.16).

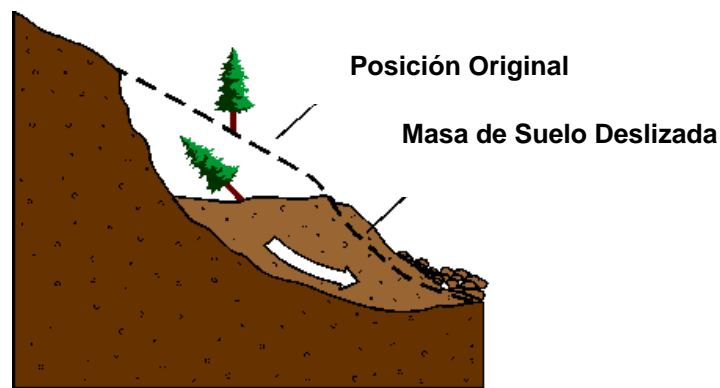


Imagen 1.16.- Ejemplo de deslizamiento de suelo en "cuña".

Fuente: <http://anaheim-landslide.com/types.htm>.

- **Circular:** La falla sigue discontinuidades. Se produce en roca muy alterada o fracturada. Se produce como flujo de mezcla de sólido y líquido, ante lluvias o deshielos.
- **Extensión lateral:** donde existe cambio de material. Falla el material con menor resistencia al esfuerzo cortante.
- **Mixta:** Se mezclan dos tipos de falla, sean éstas combinaciones de las anteriormente mencionadas.

1.7.3. Consecuencias²⁴

- **Desprendimientos o “falls”.**

Caídas libres de bloques rocosos, situados en acantilados, cornisas, etc., por pérdida de soporte o adherencia en el macizo donde están encajados. El recorrido se realiza fundamentalmente a través del aire pudiendo producirse rebotes si impactan contra el paramento del talud.

- **Vuelcos o “topples”.**

Se manifiestan por la rotación, generalmente traducida en rotura a flexión, de unidades columnares o de bloques, bajo la acción de la gravedad, de los empujes de los elementos superiores o del agua.

- **Deslizamientos o “slides”.**

Un deslizamiento es un movimiento de una masa de terreno a lo largo de una superficie de rotura, en la que se supera la resistencia a corte, manteniéndose en todo momento el contacto con el terreno subyacente.

- **Flujos y Coladas o “flows”.**

Son movimientos que se pueden producir tanto en suelos como en rocas si por alguna circunstancia pasan a comportarse como fluidos viscosos.

Esta situación puede producirse por un incremento de la humedad en el terreno.

- **Extensiones Laterales o “spreads”.**

Se forman cuando se reduce notablemente la resistencia al corte en la base subhorizontal de una masa de cierta potencia, la cual se disgrega en múltiples bloques, con movimientos relativos de giro y de desplazamiento.

- **Movimientos Complejos.**

1.7.4. Tratamiento Preventivo

Existen diversos métodos para mejorar la estabilidad de un talud y, con ello, prevenir futuros riesgos para las zonas aledañas. De todos ellos, los primeros a considerar son²⁵:

²⁴ Izquierdo Silvestre, Francisco Ángel. **Cuestiones de Geotecnia y Cimientos**. Departamento de Ingeniería de Terreno. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Valencia. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España, 2001.

- Disminuir el peso de la cuña de deslizamiento, ya sea que se le tienda hasta alcanzar un talud más estable o que se construya una banqueta o berma a medio talud.
- Disminuir las presiones hidrostáticas, ya sea evitando la entrada del agua al interior del suelo, interceptándola o cambiando la dirección del escurrimiento.
- Proporcionar una resistencia pasiva al pie de talud por medio de un muro de contención, por la acumulación de material granular o con un revestimiento pesado de roca (gaviones) (Ver Imagen 1.17).

Con el mismo fin se cuenta con el sistema de construcción de bermas, el cual produce un incremento de la estabilidad del talud debido a su propio peso, y con ello disminuye el momento que genera el desplazamiento de la masa de suelo, y por otra parte, aumenta el momento resistente del talud, producto del incremento en la longitud del arco de falla en el mismo.

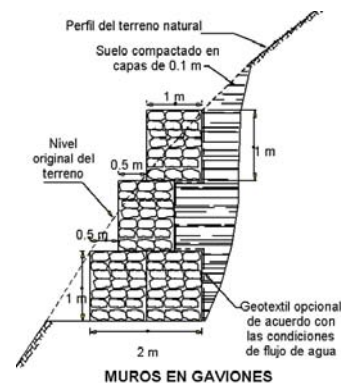


Imagen 1.17.- Ejemplo del sistema de gaviones como tratamiento preventivo en taludes.

Fuente: <http://personales.ya.com/sanchezvarea/pagina2sanchezvarea.htm>
http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/GuiasAmbientales2002/htm/Cap7a/7_7_16.htm

No obstante, se cuenta con opciones previas al desarrollo de una obra que implique la construcción de un talud artificial, como lo son:

- **Tendido de taludes:** cuando el suelo que conforma el talud en cuestión muestra características de comportamiento friccionante esta opción es buena solución, dado que en este tipo de suelos la estabilidad del talud depende en gran medida de la inclinación que presente. En el caso de taludes compuestos por suelos con comportamiento cohesivo la

²⁵ Crespo Villalaz, Carlos. Ing. **Mecánica de Suelos y Cimentaciones**. Editorial Limusa – Grupo Noriega Editores. 2ª Reimpresión. México, 1993.

estabilidad del talud está en función de la altura del mismo, por lo que esta no sería una opción a considerar.

Lo que en numerosas ocasiones impide la realización de la estabilización de un talud con el método de tendido, sea para corregir o prevenir deslizamientos, son las diversas normatividades que rigen la región en la cual se opera, tales como la invasión a zonas urbanas, los asentamientos existentes en la zona, las condiciones económicas del sitio o la accesibilidad para el movimiento del volumen de tierra que la obra requiere.

- **Empleo de materiales estabilizantes:** cuya finalidad es brindar al suelo mayor resistencia al esfuerzo cortante y, por ende, estabilidad a través del agregado de sustancias que generen una cementación en las partículas del suelo. Actualmente las sustancias de mayor empleo son cementos, asfaltos y algunas sales químicas.

1.8. La Problemática de Taludes en México

1.8.1. A nivel nacional

La República Mexicana, en su porción oceánica Pacífica, se encuentra ubicada en una zona de confluencia de placas tectónicas, las cuales dan origen a cadenas montañosas y estructuras geológicas, tales como las Sierras Madre Oriental, Occidental y del Sur, así como al cinturón o eje volcánico que la atraviesa en su parte central de occidente a oriente.

El ser humano, en el afán de mejorar su capacidad de comunicación con poblados distantes a donde éste habita, ha generado obras de ingeniería de gran magnitud, como carreteras y mega/autopistas que continuamente son construidas en nuestro país, y en todos los casos la intervención en las estructuras geológicas naturales es prácticamente inminente.

En numerosas ocasiones, la falta de adecuada y concienzuda planeación de los trabajos necesarios a realizar, los motivos políticos o la mala relación entre gobiernos han originado que los trabajos se lleven a cabo de manera errónea, con poco presupuesto y sin la intervención de especialistas comprometidos profesionalmente con los objetivos planteados, entre ellos, la seguridad de los usuarios.

Actualmente en el país se han suscitado muchos casos de daños incuantificables derivados de una falla en los taludes de carreteras y vías de comunicación, sean grandes o pequeñas, tal es el caso de la Autopista del Sol (Ver Imagen 1.18), la obra magna del sexenio 1988 – 1994 a cargo del Presidente Salinas de Gortari, la cual desde su construcción ha presentado graves problemas en los numerosos cortes que para “ahorrar” tiempo y dinero en el recorrido hacia uno de los destinos turísticos más concurridos del país (el puerto de Acapulco, Guerrero), se generaron sin la adecuada

asesoría profesional en ese tipo de obras, y que a la fecha sigue mostrando estragos, el último y más sonado de ellos, las fallas estructurales en el llamado Puente Solidaridad, que no sólo generaron reducción de carriles por obras, sino que ponían en riesgo la estabilidad de dicho puente debido al mal anclaje en los taludes que lo soportan.



Imagen 1.18.- Imágenes del estado actual de la Autopista México - Acapulco (Del Sol).
© D.R. José Leonardo Castellanos Gaspar, 2006.

Otro caso igual de importante ha sido el deslave que en septiembre/octubre de 2006 se generó en la Autopista Ciudad de México - Toluca, una de las más caras de México, donde un talud con problemas de estabilidad, aunado con las intensas lluvias que se presentaron en ese momento, se deslavó, trayendo consigo no sólo un caos vial y el consecuente cierre de un sentido de dicha vialidad de primer orden, sino la realización de obras emergentes de alto costo que de haber sido prevenidas hubieran sido evitadas.

Por desgracia, la mayoría de estos eventos son más evidentes cuando la pérdida de vidas humanas cuenta como un elemento más en las estadísticas de daños y perjuicios, sobre todo que por lo general quienes menos recursos poseen resultan ser los más afectados. Caso concreto el derrumbe de un talud en un camino rural de la Sierra de Puebla, donde los números rojos se vieron reflejados al sepultar un camión entero de pasajeros que sólo vieron venir el alud de tierra y lodo que los privaría de la vida.

Como éstos es posible mencionar un sin número de casos semejantes donde la mala atención y prevención de riesgos originados por taludes ha sido la causa de daños y pérdida de vidas humanas en nuestro país, por lo cual es necesario atender este tipo de temas, y como arquitectos, poder proponer no sólo una solución que mejore las condiciones de estos sitios olvidados en la nada, sino también trabajar una respuesta estética que armonice con el contexto del emplazamiento desde la planeación.

1.8.2. En la Ciudad de México

La Ciudad de México cuenta dentro de su demarcación con diferentes zonas geotécnicas, clasificadas entre ellas por la resistencia que el suelo ofrece en cada una.

A saber, de acuerdo al Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal vigente, se tienen tres (3) zonas claramente diferenciadas, que son:

- **Zona I - De Lomerío:** dentro de la cual se encuentran ubicadas las zonas de elevaciones montañosas y cordilleras que rodean al Valle de México, principalmente en la zona Sur/Poniente (Ver Imagen 1.19) y algunas elevaciones internas como el Cerro de la Estrella o la Sierra de Guadalupe de esta capital.

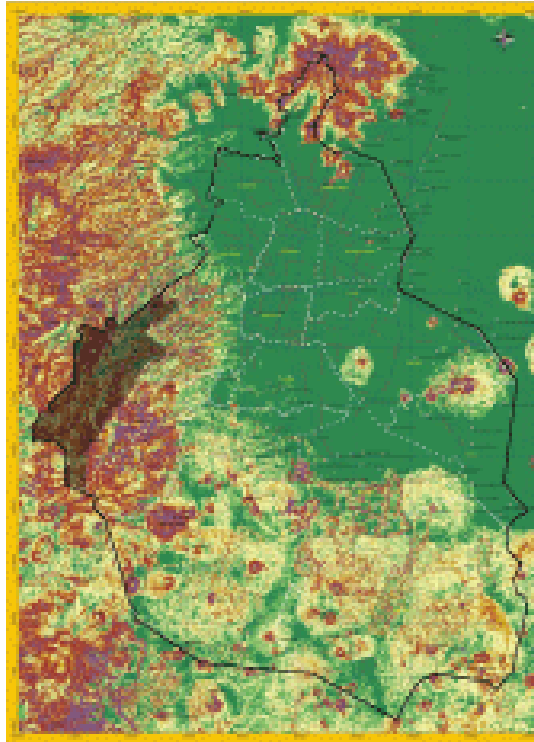


Imagen 1.19.- Mapa orográfico de la Ciudad de México, indicando la ubicación de la Delegación Cuajimalpa de Morelos.

© D.R. CENAPRED, 2006. Imagen utilizada con fines didácticos.

- **Zona II - De Transición:** donde el suelo presenta características variadas entre las zonas de Lomerío (alta resistencia del suelo) y la de Lago, haciéndola una zona donde los parámetros a considerar en cuanto a construcción deben ser ampliamente estudiados.
- **Zona III – Lacustre:** la cual abarca la gran mayoría del territorio de la Ciudad de México, dado que como dicta la historia, ésta (la Ciudad) se asentó sobre el antiguo Lago de Texcoco, estableciéndose sobre éste y constituyendo una gran urbe, que a la fecha continúa en crecimiento desmedido.

En la zona de lomerío, contrario a lo que se podría pensar, los problemas debidos a fallas geológicas se presentan con mayor constancia que en el suelo del centro de la ciudad, dado que en éste último las características estratigráficas son más homogéneas que en el primero, y en la zona de elevaciones es más probable encontrar problemas tales como cavernas, minas y grietas que podrían causar severos daños en las obras que sobre ellos se realicen.

Caso particular en la zona Poniente del Distrito Federal es la problemática generada por los taludes ubicados en ella, principalmente en las delegaciones La Magdalena Contreras, Álvaro Obregón y Cuajimalpa de Morelos, donde de éstas la última – la delegación Cuajimalpa (Ver Imagen 1.20) - es la que presenta un mayor número de casos de zonas de riesgo debidas a esta problemática.

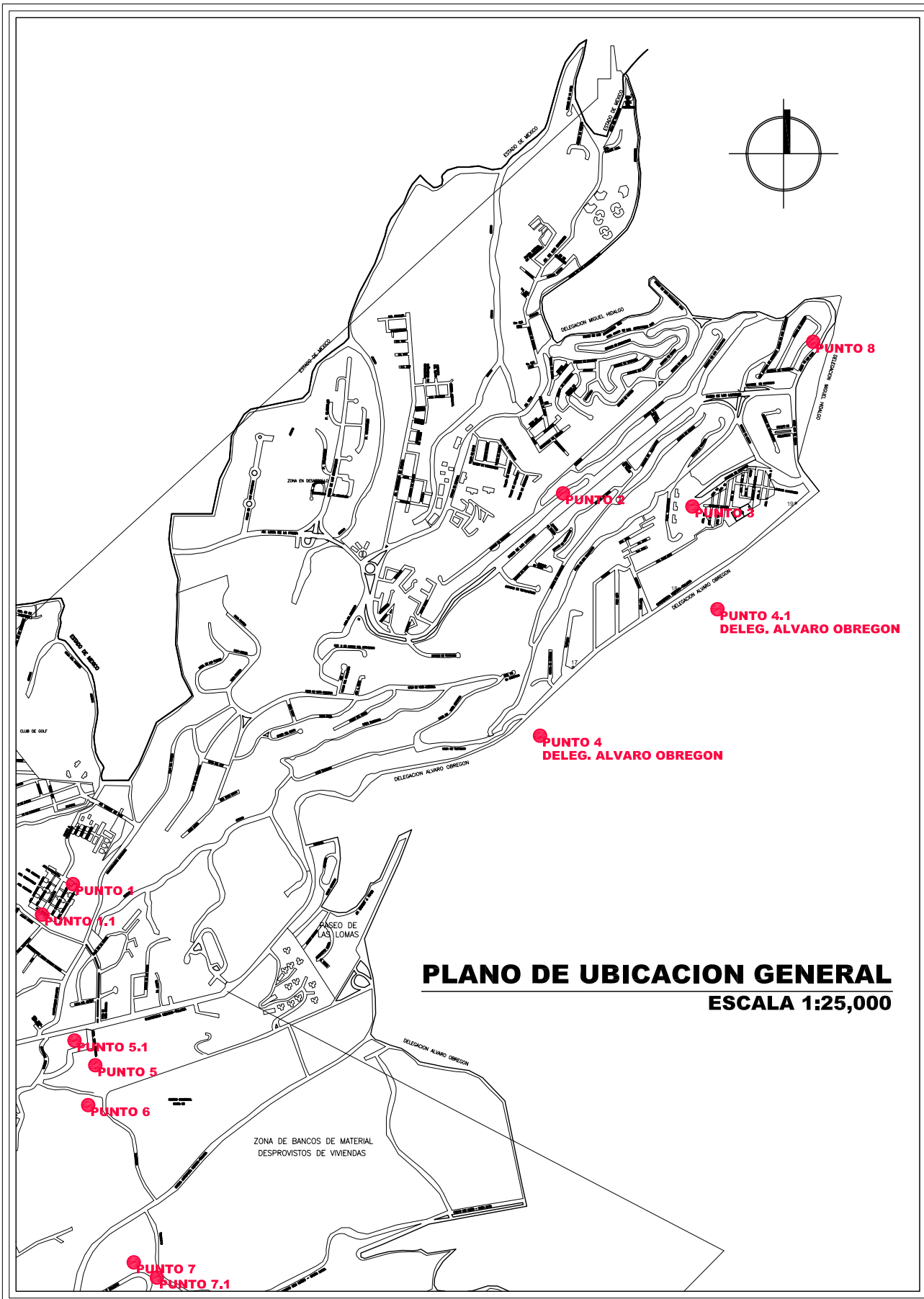
1.8.3. En la Delegación Cuajimalpa de Morelos (Ver Plano Anexo en la página 25)

La delegación Cuajimalpa de Morelos se ubica en una de las zonas con mayor problemática debida a taludes dentro de sus límites, algunos de ellos artificiales debidos a la intervención de la mano del hombre en su manufactura, como aquellos desarrollados dentro de los planes de urbanización, comunicación y nuevas vialidades, como las autopistas y vías rápidas; otros vinculados a la explotación de bancos de material para la industria de la construcción; otros tantos, generados por la naturaleza misma, sea pro estructuras geológicas y elevaciones de la corteza terrestre o producto de fenómenos naturales como el intemperismo y la erosión.



Imagen 1.20.- Mapa de ubicación de la Delegación Cuajimalpa de Morelos en la Ciudad de México.
© D.R. José Leonardo Castellanos Gaspar, 2006.

Los casos de zonas de riesgo por taludes en esta delegación se presentan en contextos muy variados, desde aquellos ubicados en antiguos bancos de material para la construcción bajo los cuales se han desarrollado comunidades de viviendas de nivel medio bajo a bajo, vialidades de primer y segundo orden en zonas de vivienda residencial o en complejos centros urbanos de alto nivel, donde la seguridad es máxima, pero el riesgo es muy alto.



PLANO DE UBICACION GENERAL
ESCALA 1:25,000

2. CASO DE ESTUDIO - LA DELEGACIÓN CUAJIMALPA DE MORELOS

En este capítulo se analizan las características del caso de estudio objeto de esta tesis: la Delegación Cuajimalpa de Morelos, en el Distrito Federal, describiendo los tipos de riesgo existentes en ella, y enfocado a las zonas de riesgo por taludes, identificando cada una a partir de la descripción de cada punto localizado, complementado con una ficha de análisis de riesgo particular como síntesis y codificación de datos que sirvan de apoyo al estudio de cada punto específico.

2.1. Los Riesgos en la Delegación Cuajimalpa de Morelos

En esta Delegación, tras la elaboración de un diagnóstico continuo emitido por la misma dependencia en colaboración con la Dirección de Protección Civil de la demarcación, se han detectado numerosas Zonas de Riesgo de la más diversa índole, las cuales han sido clasificadas de acuerdo a su naturaleza y el daño que éstas pudieran ocasionar a la población y sus alrededores.

Dichas zonas han sido catalogadas en:

- **Riesgo Geológico:** las debidas a derrumbes y deslaves de suelo, fallas naturales geológicas, zonas vulnerables por sismos, líneas de alta tensión y escurrimientos térreos.
- **Riesgo Hidrometeorológico:** ubicando las zonas inundables.
- **Riesgo Físico - Químico - Sanitario:** el que puede ser ocasionado por fallas o deterioros en los sistemas de ductos de PEMEX, industrias químicas o gasolineras.
- **Riesgo Socio - Organizativo:** aquel debido a la alta densidad de población y la concentración de la misma.

A continuación, parafraseando lo escrito en el P. D. D. U. vigente en la delegación, se enuncian las colonias que se encuentran ubicadas en Zonas de Riesgo potencial por cada categoría:

- Existen un total de 4 gasolineras, distribuidas sobre el Bulevar Reforma Poniente (Carretera Federal México-Toluca) en las Colonias: Palo Alto, Cuajimalpa y Rancho Locaxco.
- En lo que respecta a los riesgos producto de deslaves y derrumbes, estos se presentan en: Lomas de Vista Hermosa, Barranca El Olivo, Vista Hermosa, Mina y Predio Palo Alto, Predio 14+500 de la Carretera México-Toluca, Lomas del Chamizal, Manantiales, Prolongación Constitución, Río Atitla zona 1 y Río Atitla zona frente al Cetis, El Carmen Zona 2,

Prolongación Constancia, Andador Puerto Escondido, Camino Agua Bendita, Portal del Sol, Primero de Mayo, Vista Hermosa Zona 11, Las Lajas, Pachuquilla, La Monera, y Punta Ahuatenco.

- En cuanto a las inundaciones, existen 6 colonias con riesgo: Las Maromas, Contadero, Navidad, San José de los Cedros, Las Tinajas y el Cacalote. El régimen de lluvias de la delegación constituye un factor de riesgo meteorológico; las avenidas de agua en las barrancas, combinadas con áreas en pendiente, rellenos clandestinos, tiraderos de basura, construcciones sobre rellenos sin estabilizar y avenidas de agua, constituyen áreas de riesgo de deslaves, como es el caso de la Barranca del Diablo, en los límites de San Mateo Tlaltenango.
- En la delegación predomina la Zona I de Lomas, en esta zona es frecuente la presencia de oquedades en rocas y de cavernas y túneles excavados en suelo para explotar minas de arena, lo que implica una adecuada investigación del subsuelo previa a la construcción.
- Existe la falla geológica Las Cruces, que corre del sur poniente al nororiente, atravesando las colonias: La Pila, Las Lajas, Las Maromas, Cruz Blanca, Tianguillo, Mina Vieja, Contadero, y San Mateo Tlaltenango, en éstas se debe poner énfasis en las especificaciones de construcción, a fin de garantizar la seguridad para los usuarios, tanto de las edificaciones ya consolidadas como de las que se vayan a realizar.
- En el territorio Delegacional existe un gasoducto y líneas de alta tensión que atraviesan de norte a sur y de oriente a poniente por las colonias: Las Maromas, San Lorenzo Acopilco, Moneruco, Teopazulco, Chancocóyotl, San Pablo Chimalpa, Loma del Padre, Contadero, Valle de las Monjas, Miapa, Los Manantiales y San Mateo Tlaltenango, por lo que en estas colonias se debe tener cuidado de no promover construcciones que impliquen perforaciones en las calles por donde pasa, y disponer de los dispositivos de emergencias para atender en caso de explosión. Existe una distancia aproximada de 25 metros de afectación en caso de explosión a ambos lados del gasoducto, por lo que es necesario tomar en cuenta las medidas de seguridad, tanto para la prevención de cualquier siniestro, como para la atención de emergencias, como hidrantes para incendios, ambulancias, clínicas, etc.
- La densidad de población promedio de la delegación en el área urbana es de 84.4 hab/ha aproximadamente, aunque existen colonias con densidades mayores, como: Bosques de las Lomas, Cooperativa Palo Alto, Cuajimalpa, Huizachito, Rosa Torres y Tepetongo, donde las densidades alcanzan los 400 hab/ha, por lo tanto, con un grado mayor de vulnerabilidad ante la posibilidad de pérdidas civiles dado algún siniestro.

La alta densidad en muchos casos es consecuencia de la construcción de viviendas plurifamiliares y conjuntos habitacionales.

De acuerdo a un análisis elaborado para la detección del porcentaje de riesgo por zonas en la delegación se arrojó que los grados de riesgo que más se repitieron fueron el riesgo medio y alto existiendo 6 con riesgo medio y el resto con riesgo alto que representan el 30% y el 70% del total, respectivamente, la mayor parte de ellos son combinaciones de dos o más de los riesgos anteriormente mencionados del P. D. D. U. Delegacional vigente en Cuajimalpa de Morelos, D. F.

2.2. Las Zonas de Riesgo por Taludes en la Delegación Cuajimalpa de Morelos (Ver Plano Anexo Ub – 01 en la Página 42)

Como parte del proceso de investigación se realizó un recorrido con el apoyo de la Subdirección de Protección Civil de la Delegacional, con la finalidad de reconocer en la zona de estudio los casos potenciales de zonas de riesgo debidas a la presencia de taludes, para determinar aquellas factibles de intervención, sea con un tratamiento preventivo (la mejor opción) o correctivo (en el peor de los casos). Esta vista fue realizada el día 09 de enero de 2007.

El recorrido abarcó un total de ocho (8) puntos considerados como de estudio, entre los cuales existen niveles de riesgo y contextos distintos, y por tanto, tratamiento particular para cada uno.

Los puntos detectados fueron:

- La colonia El Huizachito, donde se ubicó un (1) punto de atención a causa de talud (Casos 01).
- En la colonia Bosque de las Lomas se ubicaron puntos de riesgo en:
 - Calle Bosque de Tejocotes (1) (Caso 02).
 - Privada Tamarindos (1) (Caso 03).
 - Calle Paseo de las Lilas (1) (Caso 08).
- En el Centro Urbano Santa Fe:
 - En Avenida Vasco de Quiroga (3) (Casos 04, 04.1 y 06).
- En la colonia La Rosita:
 - En la Calle Carlos Echánove (2) (Caso 05 y 05.1).

- En la Avenida Tamaulipas y la Autopista México - Toluca (2) (Casos 07 y 07.1).

Todo este desglose de puntos ha sido presentado en el plano correspondiente (Ver Plano Anexo Ub - 01) donde se muestra su ubicación de acuerdo al catastro de colonias de INEGI.

De cada uno de los puntos relacionados se ha realizado una ficha de estudio *ex profeso*¹, en donde se estudia y analiza cada punto observado de acuerdo a sus características y primeras impresiones captadas, por lo cual será necesario consultarlas independientemente de la descripción general que de cada caso de estudio se realiza a continuación.

Así mismo fue necesario investigar acerca de los planes, programas y lineamientos que rigen a la zona de Santa Fe y Bosque de las Lomas, que es la zona de la Delegación Cuajimalpa donde más puntos se presentan con posibilidad de ser intervenidos con los Sistemas Geosintéticos².

2.3. Descripción de los Casos de Estudio

Es conveniente como apoyo a la descripción de los casos de estudio presentados el utilizar como referencia la Imagen 2.1 aquí presentada para evitar confusiones de términos durante la descripción.

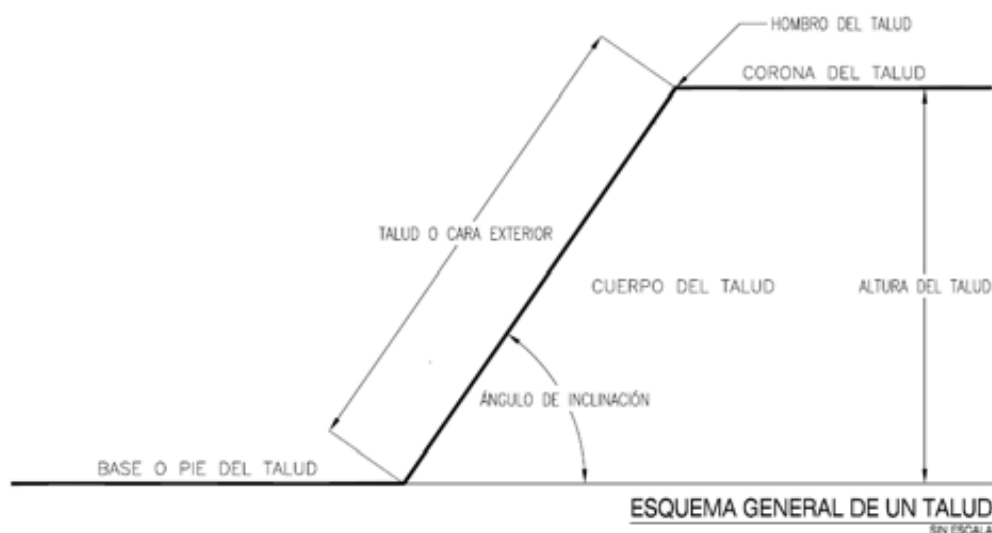


Imagen 2.1.- Esquema de referencia de los elementos que conforman un Talud.

Fuente: © D. R. Arq. José Leonardo Castellanos Gaspar, 2008.

¹ La ficha de estudio de casos fue elaborada dadas las necesidades que este trabajo de investigación presenta como un primer acercamiento a la zona de trabajo y cómo lo apreciaría alguien sin los conocimientos pertinentes al tema.

² Gaceta Oficial del Distrito Federal del 31 de julio de 1997. Págs. 340, 357 - 358.

Para el estudio de cada uno de los casos se diseñó una herramienta denominada Ficha de Análisis de Riesgo, la cual permite analizar en una primera visita al sitio las condiciones actuales en las que se encuentre el talud que se presente en nuestra zona de trabajo.

Estas fichas fueron diseñadas para contener la información básica de primera mano con la que se cuenta del estado del sitio, información que puede ser obtenida sea por el dueño del terreno en el que se pretende desarrollar una obra, de las autoridades competentes de la zona donde se ubique el predio, inclusive de la misma gente vecina al lugar, que en muchas ocasiones esta última es quien proporciona información mas verídica y fehaciente que las mismas autoridades. Para fines de esta investigación se recurrió a la Subdirección de Protección Civil de la Delegación Cuajimalpa³.

La información de las Fichas de Análisis de Riesgo por Taludes ha sido organizada en los siguientes rubros:

- a) **Datos Generales:** que incluyen la persona o autoridad quien facilitó el recorrido o visita al sitio, el día y la hora del mismo, esto con el fin de conocer el nivel de información que puede ser obtenida, así como las condiciones ambientales en las que se acudió al sitio en cuestión, para poder prever o prevenir daños a tiempo.
- b) **Ubicación General:** con el respectivo croquis de ubicación a nivel Delegacional y local, con el fin de conocer, al momento de profundizar en el estudio necesario del sitio, si se encuentra inmerso en una zona de riesgos potenciales de diversa índole, que no correspondan al simple hecho de un riesgo por taludes.

Así mismo, sirve para identificar y cotejar con las autoridades correspondientes si es que el terreno se halla en zona segura o se han presentado anteriormente daños relativos a las fallas de taludes o de otro tipo de riesgo.

- c) **Características Generales:** las correspondientes al talud, en donde se incluyen:
 - **Estado Actual** del talud, algo que es posible detectar a simple vista, para identificar en él fallas, grietas, deslaves, etc., en fin, la condición actual en que se presenta el talud. Reiterando la posterior realización de los estudios pertinentes de Mecánica de Suelo por un especialista.

³ Visitas a cargo del Ing. Francisco Javier Olvera González.

Con lo anteriormente mencionado es posible generar un parámetro de primera impresión donde se considerará como:

- **Sin peligro aparente:** aquel talud que en su composición no de muestras de fallas, grietas o material caído producto de la erosión o inestabilidad del mismo, y que el entorno en que se halla no se vea potencialmente afectado de existir una falla en él.
- **Peligroso:** cuando las condiciones del entorno pongan en severo riesgo la vida de personas que desarrollen a su alrededor sus actividades, aunado a haber muestras de desgaste del material de composición, o del tratamiento preventivo existente (de haberlo), inclusive de algún elemento caído del mismo talud.
- **Muy Peligroso:** cuando haya severas muestras o antecedentes de inestabilidad del talud y exista un alto potencial de riesgo para el entorno en general.

Será a partir del estado actual en que se encuentre el talud el nivel de riesgo que habrá de considerarse para el estudio adecuado del mismo.

- **Nivel de Riesgo:** donde se evaluará, de acuerdo al contexto en que se ubique el talud, el grado de riesgo en que se encuentra tanto el talud como quienes desarrollan sus actividades alrededor de él, y la clasificación será:
 - **Ninguno:** cuando el talud muestre consistencia en su composición, sea ésta natural o producto de la adecuada aplicación de un tratamiento preventivo existente, lo cual implicaría que no existe riesgo ni en él ni en su entorno.
 - **Bajo:** cuando el talud no tenga muestras de fracturas, grietas o fallas de consideración, así como cuando el entorno que lo alberga esté protegido adecuadamente o la presencia humana sea prácticamente nula.
 - **Medio:** cuando el talud presente una altura de gran consideración, es decir, mayor a los 10m, aún con un tratamiento preventivo, o cuando su entorno se encuentre inmediato a él, o incluso, en zonas específicas como el pie, la cara exterior o el hombro del talud.

- **Alto:** cuando el talud, contando con un tratamiento preventivo, muestre daños en el mismo, producto de agentes ambientales, y cuando las construcciones aledañas a él se encuentren ubicadas no sólo en zonas específicas como pie, cara exterior u hombro, sino en condiciones extremas, como el caso de construcciones en cantiliver o a contra - talud.
- **Muy alto:** cuando el simple hecho de desarrollar actividades alrededor del talud implique severos daños materiales y humanos, así como cuando se cuente con antecedentes inmediatos de deslizamientos, fallas o muestras de inestabilidad en el talud.
- **Antigüedad:** que representa un dato relevante, dado que influye en cuanto al grado de compactación que muestre el suelo, pues ante un cambio en la presión natural de un depósito existe la posibilidad de generar descompensaciones de presión interna y la consecuente falla, y la posible exposición a agentes naturales que pudieran provocar cambios o daños en el talud.
- **Inclinación o Pendiente del Talud,** la cual con los estudios de Mecánica de Suelos indicará si corresponde con el material de composición del talud, o ha sido producto del intemperismo y la erosión del material, y cuán consistente puede ser éste último ante la inclinación presente.
- **Usos - Actual y Anterior:** tanto en corona como en la base del talud, con el fin de determinar cuán riesgoso puede ser el hecho de que se manifieste una falla por inestabilidad del talud. Así mismo es útil para conocer el nivel de sobrecarga en la corona del talud y si esto puede ser un factor relevante para generar una falla en el talud.
- **Problemática Original y Actual:** con el objeto de determinar las condicionantes que se han hecho presentes a lo largo de la vida del talud, y cómo han sido atacadas a partir de su presencia.
- **Tratamiento Existente:** ya que de existir hay que determinar su estado actual y cuán factible ha resultado, si las expectativas al aplicarlo se han cumplido, o no ha sido satisfactorio su comportamiento ante la problemática real del talud.
- **Registro Fotográfico:** indispensable como testimonio de las condiciones en que se encuentra el talud, y para determinar tras

haber transcurrido un lapso, el potencial de falla que muestre este talud.

2.3.1. Caso Nº 01.- Camino a Huizachito, Colonia el Huizachito

Este caso muestra un talud producto de la explotación de un antiguo banco de arena, principalmente enfocado a abastecer las numerosas obras que se desarrollaban, hace aproximadamente 30 años, en la Ciudad de México.

Al día de la visita se consideró que no existía riesgo manifiesto en su conformación, pese a existir antecedentes de caída de materiales naturales, sin embargo, éstos materiales se depositaron en una franja de seguridad existente entre el pie del talud y la zona habitacional desplantada en su base.

Debido a que la visita realizada fue únicamente de reconocimiento y obtención de información, los únicos parámetros que se consideraron para evaluar los posibles riesgos que pusieran existir en el talud y sus alrededores fueron:

- La información otorgada por las autoridades de la Subdirección de Protección Civil de la Delegación Cuajimalpa de Morelos durante la visita.
- Los testimonios recabados de los habitantes de la zona.
- La primera impresión y apreciación del talud a simple vista.

Como parte del estudio propuesto para la evaluación de riesgos en esta zona de la Ciudad de México se consideró analizar el uso anterior y actual que ese talud ha tenido, tanto en su hombro como en su base; en este primer caso el uso actual en hombro es una vialidad de segundo orden, la Avenida Carlos Echánove, y en su base existe un asentamiento de viviendas de nivel medio a medio bajo.

Así mismo, es importante considerar la inclinación del talud, dado que ella nos puede dar grandes muestras de cuán estable puede ser el material que conforma dicha estructura; en este caso es casi de 75°.

Acto seguido se describe de manera breve pero concisa la problemática original que sirvió para catalogar este talud como de riesgo, la cual indica que debido a su inclinación, a su falta de protección contra el intemperismo y los agentes ambientales, a los antecedentes de derrumbes y caídos en su haber, la posible introducción de agua pluvial en el material del talud, así como al uso en hombro y base que muestra podría representar un riesgo para los alrededores de ese lugar.

Como punto de importancia se registra el hecho de existir un tratamiento preventivo o correctivo en el talud, lo cual servirá para verificar su eficiencia ante la problemática existente o su ausencia ante un grave peligro.

Como parte final de este informe se registra la problemática actual existente, apoyado con un reporte fotográfico del estado actual del talud, su comportamiento y el riesgo que manifiesta al momento de la visita.

(Ver Ficha de Análisis de Riesgo en la Página 43).

2.3.2. Caso Nº 02.- Calle Bosque de Tejocotes, Colonia Bosque de las Lomas

Este caso se encuentra emplazado dentro de un fraccionamiento de nivel alto a residencial, el cual tiene una antigüedad aproximada de 30 años, afectado principalmente por el crecimiento de la mancha urbana con la mala planeación y lotificación de los predios a distribuir.

Evidencia palpable de un mal tratamiento de taludes, incluso de prevención de daños, este caso de estudio muestra un talud trabajado con un muro de contención de piedra braza en algunos puntos, y en otros la estabilidad del mismo se ha buscado a través de la colocación de concreto lanzado con anclas bastante sencillas, que en muchas ocasiones, ya muestran daños que ponen en riesgo las actividades que se desarrollan a su alrededor.

El uso anterior de esta zona es desconocido, seguramente una zona baldía destinada a su fraccionamiento para uso habitacional.

La inclinación que muestra el talud varía entre los 70° y 75° respecto a la horizontal.

El uso actual en el hombro del talud es de viviendas de nivel alto a residencial con voladizos de aproximadamente 3.00m de longitud a partir del hombro del talud hacia fuera. En la base de éste, como uso actual se desarrolla una vialidad de tercer orden, la calle Bosque de Tejocotes.

La problemática que originó su catalogación de talud riesgoso fue el mal estado de algunos puntos localizados a lo largo de su longitud total, sobre todo aquellos en los que el sistema de protección fue el de concreto lanzado, el cual muestra algunos daños, sobre todo de exposición y corrosión de las anclas propuestas para este trabajo.

El tratamiento existente consiste en una protección a base de malla electrosoldada y concreto lanzado fijo con anclas de varilla de 3/8", así mismo se cuenta con zonas donde se desarrollaron muros de contención de piedra braza de aproximadamente 15.00m de longitud.

La problemática presente en la actualidad detecta que el sistema de zampeado con concreto lanzado ha sugerido algún deterioro, dando evidencias de malla expuesta y óxido en las puntas de varilla de las anclas que conforman este sistema de protección

contra intemperismo y erosión; del mismo modo, factor de relevancia para dicho dictamen es el uso que en el hombro tiene este talud, el cual se destina a patios de viviendas de nivel residencial sostenidos en cantiliver, o sujetos por postes cuadrados de concreto armado con una relación de esbeltez considerable.

(Ver Ficha de Análisis de Riesgo en la Página 45).

2.3.3. Caso N° 03.- Calle Privada Tamarindos, Colonia Bosque de las Lomas

El origen de este caso de estudio se remonta a los planes de urbanización y crecimiento de la Ciudad de México, con el fin de aprovechar espacios que hasta hace algunos años (de 1985 a la primera mitad de los años 90's) fuera utilizado como basurero local... la zona de Santa Fe.

El planteamiento que ha regido el crecimiento de esta zona, para convertirla en lo que hoy conocemos como Centro Urbano Santa Fe, ha sido básicamente el de desarrollar un centro de comercio y negocios de alto nivel, considerando para ello centros comerciales, complejos empresariales, centros de convenciones, hoteles y viviendas de nivel residencial en varios modelos.

Dada esta situación, se ha buscado explotar al máximo cada uno de los centímetros cuadrados que poseen los desarrolladores, con el fin de que su inversión rinda frutos de manera efectiva, lo cual en muchas ocasiones genera trabajos de alto riesgo en una zona de por sí conflictiva en cuanto a su topografía y composición térrea como lo es la Delegación Cuajimalpa de Morelos.

Uno de los trabajos más recurrentes en la zona, y que sin lugar a dudas ha generado zonas de riesgo entre la comunidad, han sido los cortes en el o los terrenos a urbanizar con el fin de obtener una superficie plana de desplante, lo cual inminentemente concibe un talud, el cual muchas veces no es bien protegido y, por lo tanto, implica un factor de riesgo tanto para el propietario del terreno como para los terrenos colindantes.

El caso que es objeto de este estudio se presenta en una zona de desarrollos ejecutivos de oficinas, comercio y viviendas, estas últimas de gran contraste, ya que en la zona que corresponde al pie del talud se encuentran claramente definidas como de nivel residencial, oponiéndose con ello a las viviendas de interés medio bajo a bajo que se hallan en la corona del talud.

El estado actual que se observó en la visita de reconocimiento del sitio mostró un nivel muy peligroso, dados los antecedentes que lo generaron, ya que meses atrás se presentó el deslizamiento del material de conformación del talud, arrojando bloques de suelo consolidado hacia la zona de esparcimiento de un club deportivo aledaño a él (el talud), y derrumbando con el movimiento una torre de alta tensión que se asentaba sobre su corona.

El uso actual que tiene el talud en su corona, debido a su condición de inactividad por parte del propietario, es nula, y la torre de alta tensión anterior fue removida hacia una zona más segura; en la base de este caso actualmente existe un edificio de apartamentos multifamiliar y de oficinas de nivel residencial, así como el club deportivo que fue objeto de daños materiales producto del derrumbe del talud antes mencionado.

El tratamiento existente en el sitio es prácticamente nulo, salvo en el terreno anexo a él donde ha sido utilizado un sistema de concreto lanzado con anclas de acero y malla electrosoldada; sin embargo, el terreno que compete este caso se ha mantenido en su estado natural de reposo tras los hechos que originaron su riesgo.

La problemática actual presente es la existencia de un alto riesgo originado por una falla debida a la filtración de agua pluvial por la zona de la corona del talud, pudiendo provocar con ello el desplome de gran cantidad de material de composición del talud.

(Ver Ficha de Análisis de Riesgo en la Página 47).

2.3.4. Caso N° 04.- Avenida Vasco de Quiroga, Colonia Centro Urbano Santa Fe.

Ubicado en la principal avenida de tránsito en la zona comercial de Santa Fe, este caso de estudio se muestra en el presente trabajo con el fin de demostrar que, con el estudio y conocimiento adecuado de sistemas de protección y desarrollo de taludes, aunado a un debido desarrollo del mismo, es posible obtener resultados como el presente, elaborado con el sistema de suelo - cemento, el cual lleva más de 20 años en funcionamiento sin falla alguna, con el beneficio adicional de una imagen urbano – arquitectónica mucho más agradable.

El estado actual que se muestra en el talud hace evidente que no existe peligro alguno en su composición, por lo mismo no existen riesgos, considerando que tiene a sus pies una de las principales vías de comunicación de la zona, así como numerosos corporativos aledaños de él.

(Ver Ficha de Análisis de Riesgo en la Página 49).

2.3.5. Caso N° 04.1.- Avenida Vasco de Quiroga, Centro Urbano Santa Fe

Sin lugar a dudas, el crecimiento desmedido de la mancha urbana en la capital del país ha originado asentamientos humanos en zonas de alto riesgo, sin observar las consecuencias, buscando tan sólo cubrir esa necesidad primaria de todo ser humano... un lugar dónde alojarse.

Esta situación ha generado que zonas tan riesgosas como los taludes sean poseídos como sitios de asentamiento, aún cuando el peligro se tenga que respirar día

a día, con el miedo de sufrir algún percance debido a una falla en la estructura del suelo que compone el talud.

En este caso de estudio, el cual se encuentra ubicado en una de las principales vías de comunicación de la zona del Centro Urbano Santa Fe, la Avenida Vasco de Quiroga, es evidente la necesidad de vivienda en una ciudad que crece a pasos agigantados, y ante esta situación se decide invadir zonas, en este caso la corona de un talud, que aún con un sistema de protección como el concreto lanzado con anclas de acero, es posible que falle ante agentes naturales como la introducción de agua pluvial por la corona y la generación de presión hidrostática en su interior que pudiera derribar tal protección.

El estado actual que muestra este talud, sobre todo, los asentamientos que sobre él se ubican, es peligroso, ya que existen a la fecha viviendas desplantadas sobre el hombro mismo del talud, por lo cual el daño que se pudiera originar tras un percance en el talud sería muy grande.

Como se ha mencionado, el uso actual en el hombro corresponde a viviendas de nivel medio bajo a bajo, de carácter irregular; en la base del talud se encuentra la Avenida Vasco de Quiroga, clasificada ésta como de primer orden dentro del plan urbano del Centro Santa Fe.

El tratamiento existente en este caso de estudio se basa en el sistema de protección a base de concreto lanzado (zampeado) con anclas de acero de diámetro aproximado de 5/8" en estado regular de conservación y con drenes externos para evitar la acumulación de agua pluvial en la corona del mismo.

La problemática que es de atenderse en este caso es el alto riesgo que corren las viviendas asentadas en la corona del talud, dado que el hecho de contar con el sistema zampeado de protección no garantiza la estabilidad y carencia de daños en el talud, como se ha observado en casos semejantes en zonas aledañas.

(Ver Ficha de Análisis de Riesgo en la Página 51).

2.3.6. Caso N° 05.- Calle Carlos Echánove, Colonia La Rosita

Uno de los casos más impactantes, donde se hace notoria la división de clases en la zona de Santa Fe, es el que aparece en el presente análisis, dado que en la parte baja del talud se encuentra ubicado un conjunto residencial de viviendas unifamiliares, y en la parte alta del mismo, accediendo por la calle Calos Echánove, asentamientos de viviendas, e incluso industrias, de nivel medio a medio bajo, donde generalmente quienes presentan mayores daños son quienes cuentan con menos recursos.

Este caso es quizá solo una parte del conjunto de problemas que existen en esa misma zona, los cuales serán analizados más adelante, pero que en conjunto

conforman una zona de urgente atención dados los daños posteriores que se pueden presentar.

Este caso es muestra de un buen sistema de contención a base de concreto armado, diferente al zampeado que anteriormente se venía manejando, considerando el nivel de construcción que había de desarrollarse, así como la sociedad que ahí habría de habitar.

Sin embargo, en la parte superior hubo algunos desperfectos, como el hecho de no prevenir, a partir de señalización adecuada y elementos contenedores visibles y propios, posibles caídas de los autos que bajan en la pendiente de la calle Carlos Echánove, como el presentado hasta hace pocos meses en el sitio, donde un camioneta cayó intempestivamente sobre las residencias de la parte baja, habiendo pasado por un muro de poca altura en una curva de fuerte pendiente.

(Ver Ficha de Análisis de Riesgo en la Página 53).

2.3.7. Caso N° 05.1.- Calle Carlos Echánove, Colonia La Rosita

Considerado como uno de los casos de mayor relevancia dentro de la problemática de tratamiento de taludes en la delegación Cuajimalpa de Morelos, se presenta este talud, muestra fehaciente de que los agentes naturales no respetan ni clase ni razón social, mucho menos sistema constructivo de “protección”, de manera especial el agua misma nos demuestra su fuerza y alcances cuando no es adecuadamente trabajada ni dirigida.

Contando en su corona con viviendas de nivel medio a medio bajo, así como oficinas de industrias, y en su parte baja con una vialidad de tercer orden, la calle Carlos Echánove, y un conjunto residencial de vivienda unifamiliar, este caso se presenta como un reto que requiere especial atención y estudio en su tratamiento, dado que debido a una falla producto de agua pluvial en la corona se generó la falla del sistema de “protección” que lo cubría, nuevamente un sistema de zampeado, que no contempló el agua pluvial ni rupturas en los sistemas de drenaje de la parte superior, así mismo, el sistema de concreto lanzado no ubicó adecuadamente el sistema de drenaje necesario para eliminar la presión hidrostática al interior del talud.

Actualmente, este caso de estudio es uno de los más críticos dentro de la delegación, ya que su situación muestra daños severos de exposición de la cimentación de las construcciones en la parte superior, así como el intemperismo, y por ende, la erosión del material que ha quedado a expensas de los agentes naturales externos, lo cual puede derivar en futuros daños, principalmente en las construcciones superiores, dado que es muy probable que queden trabajando como un cantiliver sobre el suelo socavado día a día.

El tratamiento que durante un tiempo mantuvo “protegido” - pero no estable - el talud se constituía por un sistema zampeado de concreto con refuerzos de acero, el cual en uno de los flancos del talud sigue en pie, sin embargo, en una gran área del

mismo fue vencido por la presión hidrostática generada dentro del talud, producto del agua pluvial y de la fractura de uno de los tubos de drenaje de las construcciones superiores.

El peligro en este caso especial es, que debido a las características del material de composición del talud, en este caso arcilloso, su consistencia ante saturación de agua es demasiado viscosa, como lodo, y es ahí donde el tratamiento del mismo debe contemplar ese factor, que con el paso del tiempo podría generar nuevos deslizamientos inesperados con daños semejantes o mayores.

(Ver Ficha de Análisis de Riesgo en la Página 55).

2.3.8. Caso N° 06.- Calle Juan Salvador Agraz y Avenida Vasco de Quiroga, Centro Urbano Santa Fe

En este caso, temporalmente no existen mayores muestras de daños en un talud cuyo origen seguramente fue un banco de explotación de material para la construcción, deducción surgida a partir de los terrenos colindantes donde esta actividad (la extracción de arena) es muy común, y a la fecha se continúa llevando a cabo con suma regularidad.

El riesgo entonces se presenta como bajo en cuanto a la estabilidad del talud, aún cuando a sus pies se desplanta un edificio corporativo de oficinas de alto nivel socio - económico, el cual ante una falla tanto del talud como del mismo sistema de protección podría ocasionar severos daños.

El uso actual en el hombro se desconoce, así como el sistema de protección utilizado, lo cual es objeto de estudio para poder analizar el posible comportamiento y modo de trabajo del mismo ante una falla al interior del talud.

(Ver Ficha de Análisis de Riesgo en la Página 57).

2.3.9. Caso N° 07.- Avenida Tamaulipas y Autopista México - Toluca, Colonia La Rosita

Ubicado en zona de gran afluencia dada su localización dentro del Centro Urbano Santa Fe, y rodeado de corporativos empresariales, centros comerciales y deportivos, así como viviendas de todo nivel, este talud se manifiesta como uno de los más grandes en la zona de Cuajimalpa, debido a su gran altura y su verticalidad, ésta última producto del material de composición del talud y del tratamiento que a la fecha posee.

El estado actual que muestra el talud no da evidencias de peligro, reiterando, debido al tratamiento preventivo con que fue manejado, a partir de un zampeado de concreto lanzado, anclas de varilla de acero de gran longitud de penetración, y numerosos drenes en su área para la disminución de la presión hidrostática.

Sin embargo, el riesgo permanece como potencial, debido principalmente a sus dimensiones y a su entorno, ya que a sus pies se desplanta un centro comercial de gran afluencia, así como una estación de servicio y locales comerciales donde diariamente transita un gran número de personas, donde el riesgo radica en que, de presentarse un evento de caída de material, cualquiera que sea su dimensión, se corre el riesgo que por la altura de desprendimiento ocasione una catástrofe en los inmuebles antes mencionados.

Como en muchos de los casos ubicados en la zona, el uso anterior que mostraba el lugar donde se ubica este talud se originó por una explotación de bancos de material, en este caso arena, para la industria de la construcción principalmente.

(Ver Ficha de Análisis de Riesgo en la Página 59).

2.3.10. Caso N° 07.1.- Avenida Tamaulipas y Autopista México - Toluca, Colonia La Rosita

A un costado del caso anterior, y como parte de este mismo elemento térreo, se ubica este caso de estudio, que dentro de sus particularidades está el hecho de tener su hombro con pendiente a contra - talud⁴, es decir, producto del intemperismo y la erosión por agentes naturales se ha generado una erosión que ha puesto una parte del material de composición superior en cantiliver (ménsula), lo cual implica el hecho que de no existir los estudios adecuados para su adecuada y oportuna intervención, existe la posibilidad de graves daños tras la falla de esta porción del talud.

Dadas las condiciones anteriormente mencionadas es que este talud ha sido clasificado como peligroso, con un alto nivel de riesgo, pues se está expuesto a no sólo sufrir daños por la caída del material, sino lo que éste puede ocasionar cayendo sobre la estación de servicio que se haya en su base.

Aún cuando cuenta con un tratamiento de zampeado como el caso anterior, se considera que ante los agentes naturales puede existir el riesgo de derrumbe ante eventos de gran intensidad, sobre todo dada la precipitación pluvial en los meses de mayo a octubre de cada año, en los cuales habrá que poner mayor atención para la prevención de posibles daños.

(Ver Ficha de Análisis de Riesgo en la Página 61).

2.3.11. Caso N° 08.- Calle Bosque de Lilas, Colonia Bosque de las Lomas

Así como hay grandes ejemplos de intervención adecuada y trabajos de alta calidad en el tratamiento de taludes, también existen algunos que, sea por falta de estudios de

⁴ Se habla de un elemento a contra - talud cuando éste se encuentra en dirección opuesta al ángulo de inclinación que ha tomado el talud de manera natural.

campo o de mala información en cuanto al sistema de protección, no han dado los resultados esperados.

Caso particular el mostrado en este caso de estudio, donde el sistema elegido para mejorar y proteger contra la erosión el talud. Dada la mala información sobre su adecuada aplicación, no produjo los objetivos planteados, que consistían en revegetar la cara del desnivel a partir de pasto incrustado entre las fibras del Geosintético.

En este ejemplo se da fe de que aún cuando el material parezca el óptimo para el trabajo requerido, de no conocer el suelo que se trabaja, cualquier método sufrirá fallas y no se obtendrán los resultados esperados.

(Ver Ficha de Análisis de Riesgo en la Página 63).

Reporte de Reconocimiento de Zonas de Riesgo por Taludes.
Delegación Cuajimalpa de Morelos, D.F.
Responsable: Ing. Francisco Olvera.

Caso N° 01

Datos Generales			
Fuente:	Ing. Francisco Olvera.		Día: 09/01/2007
Dependencia:	Subdirección de Protección Civil Delegacional.		Hora: 1100h.
Ubicación General		Croquis de Ubicación	
Calle:	Camino a Huizachito.		
Colonia:	El Huizachito.		
Delegación:	Cuajimalpa de Morelos.		
Región:	Zona Centro.		
Características Generales			
Estado Actual:	Sin peligro aparente.		Riesgo: Bajo.
Uso Anterior:	Se supone antiguo banco de explotación de material arenoso a cielo abierto.		Antigüedad: Aprox. 30 años.
			Inclinación: Aprox. 90°.
Uso Actual:	Hombro:	Vialidad de Segundo Orden (Av. Carlos Echánove).	
	Base:	Asentamiento de viviendas de nivel medio a medio bajo.	
Problemática Original:	Debido al grado de inclinación del corte realizado para la explotación de material arenoso a cielo abierto, y debido al desgaste del mismo producido por los agentes ambientales cotidianos como agua y aire causales de erosión, existen grietas y planos de falla que han derivado en caída de bloques de material de composición del talud e introducción de agua pluvial, originando con ello mayores grietas en la cara del talud sin mayores consecuencias.		
Tratamiento Existente:	En gran parte de la superficie de la cara del talud, por la composición misma del material, éste se ha mantenido consistente sin necesitar tratamiento preventivo alguno.		
Problemática Actual:	Debido al desgaste ocasionado por erosión de agentes ambientales, en la cara del talud se han detectado grietas y planos de falla sin mostrar mayor grado de riesgo ni consecuencias mayores.		

Reporte de Reconocimiento de Zonas de Riesgo por Taludes.
Delegación Cuajimalpa de Morelos, D.F.
Responsable: Ing. Francisco Olvera.

Caso N° 01

Registro Fotográfico



Reporte de Reconocimiento de Zonas de Riesgo por Taludes.
Delegación Cuajimalpa de Morelos, D.F.
Responsable: Ing. Francisco Olvera.

Caso N° 02

Datos Generales			
Fuente:	Ing. Francisco Olvera.		Día: 09/01/2007
Dependencia:	Subdirección de Protección Civil Delegacional.		Hora: 1100h.
Ubicación General		Croquis de Ubicación	
Calle:	Bosque de Tejocotes.		
Colonia:	Bosque de las Lomas.		
Delegación:	Cuajimalpa de Morelos.		
Región:	Zona Noreste.		
Características Generales			
Estado Actual:	Peligroso.	Riesgo:	Alto.
Uso Anterior:	Desconocido.	Antigüedad:	Aprox. 30 años.
		Inclinación:	Aprox. 70° - 75°.
Uso Actual:	Hombro:	Asentamiento de viviendas de nivel residencial.	
	Base:	Vialidad de tercer orden (Calle Bosque de Tejocotes).	
Problemática Original:	Dados los planes de urbanización del fraccionamiento Bosque de las Lomas, se hace necesaria la contención de los cortes realizados para el paso de vías de comunicación, buscando prevenir con ello futuros derrumbes hacia dicha vialidad, así como soportar secciones de las viviendas residenciales ubicadas en la corona del talud.		
Tratamiento Existente:	Solucionado en algunas zonas con contrafuertes de piedra braza y argamasa, y en otras (la mayor parte de la cara del talud) a base de sistema zampeado de concreto lanzado con malla electrosoldada afianzada al talud por medio de anclas de varilla de acero.		
Problemática Actual:	Existe un riesgo muy alto tanto para las viviendas en la parte superior como para la vialidad y, eventualmente, las viviendas en la base del talud, debido a que parte del sistema de zampeado ya muestra signos de deterioro y erosión por agentes ambientales.		

Reporte de Reconocimiento de Zonas de Riesgo por Taludes.
Delegación Cuajimalpa de Morelos, D.F.
Responsable: Ing. Francisco Olvera.

Caso N° 02

Registro Fotográfico



Reporte de Reconocimiento de Zonas de Riesgo por Taludes.
Delegación Cuajimalpa de Morelos, D.F.
Responsable: Ing. Francisco Olvera.

Caso N° 03

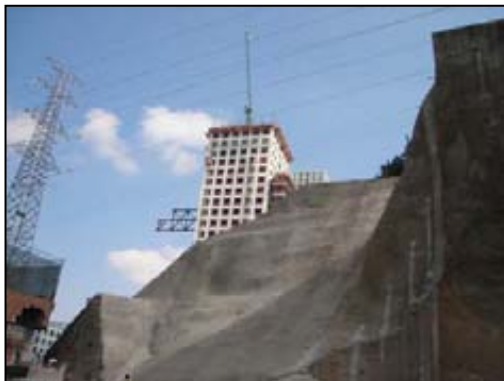
Datos Generales			
Fuente:	Ing. Francisco Olvera.		Día: 09/01/2007
Dependencia:	Subdirección de Protección Civil Delegacional.		Hora: 1100h.
Ubicación General		Croquis de Ubicación	
Calle:	Privada Tamarindos.		
Colonia:	Bosque de las Lomas.		
Delegación:	Cuajimalpa de Morelos.		
Región:	Zona Noreste.		
Características Generales			
Estado Actual:	Muy Peligroso.	Riesgo:	Muy Alto.
Uso Anterior:	Terreno federal que sirvió como base a torre de alta tensión.	Antigüedad:	Aprox. 20 años.
		Inclinación:	Aprox. 75°.
Uso Actual:	Hombro:	Ninguno.	
	Base:	Asentamiento de vivienda plurifamiliar y de oficinas de nivel residencial.	
Problemática Original:	Dados los planes de urbanización del fraccionamiento Bosque de las Lomas - Centro Urbano Santa Fe, se hace necesaria la contención de los cortes realizados para el paso de vías de comunicación, buscando prevenir con ello futuros derrumbes hacia dicha vialidad, así como soportar secciones de las viviendas residenciales ubicadas en la corona del talud.		
Tratamiento Existente:	Solucionado a base de sistema zampeado de concreto lanzado con malla electrosoldada afianzada al talud por medio de anclas de varilla de acero en diferentes diámetros.		
Problemática Actual:	Alto riesgo latente originado por una falla debida a la filtración de agua pluvial por la zona de la corona del talud, provocando con ello el desplome de gran cantidad de material de composición del talud, trayendo consigo la caída de una torre de alta tensión y el desprendimiento de gran cantidad de material en club deportivo aledaño al caso de		

estudio.

Reporte de Reconocimiento de Zonas de Riesgo por Taludes.
Delegación Cuajimalpa de Morelos, D.F.
Responsable: Ing. Francisco Olvera.

Caso N° 03

Registro Fotográfico



Reporte de Reconocimiento de Zonas de Riesgo por Taludes.
 Delegación Cuajimalpa de Morelos, D.F.
 Responsable: Ing. Francisco Olvera.

Caso N° 04

Datos Generales			
Fuente:	Ing. Francisco Olvera.		Día: 09/01/2007
Dependencia:	Subdirección de Protección Civil Delegacional.		Hora: 1100h.
Ubicación General		Croquis de Ubicación	
Calle:	Avenida Vasco de Quiroga.		
Colonia:	Centro Urbano Santa Fe.		
Delegación:	Cuajimalpa de Morelos.		
Región:	Zona Noreste.		
Características Generales			
Estado Actual:	Sin peligro alguno.	Riesgo:	Ninguno.
Uso Anterior:	Relleno sanitario.	Antigüedad:	Aprox. 25 años.
		Inclinación:	Variable.
Uso Actual:	Hombro:	Ninguno.	
	Base:	Vialidad de primer orden (Avenida Vasco de Quiroga).	
Problemática Original:	Dados los planes de urbanización del Centro Urbano Santa Fe, se hace necesaria la contención de los cortes realizados para el paso de vías de comunicación, buscando prevenir con ello futuros derrumbes hacia dicha vialidad.		
Tratamiento Existente:	Solucionado a base de contrafuertes de material altamente consolidado con malla electrosoldada de protección y contención.		
Problemática Actual:	Sin peligro alguno; fiel muestra de un buen sistema de contención, basado en la geometría correspondiente a un muro de contención de forma trapezoidal.		

Reporte de Reconocimiento de Zonas de Riesgo por Taludes.
Delegación Cuajimalpa de Morelos, D.F.
Responsable: Ing. Francisco Olvera.

Caso N° 04

Registro Fotográfico



Reporte de Reconocimiento de Zonas de Riesgo por Taludes.
Delegación Cuajimalpa de Morelos, D.F.
Responsable: Ing. Francisco Olvera.

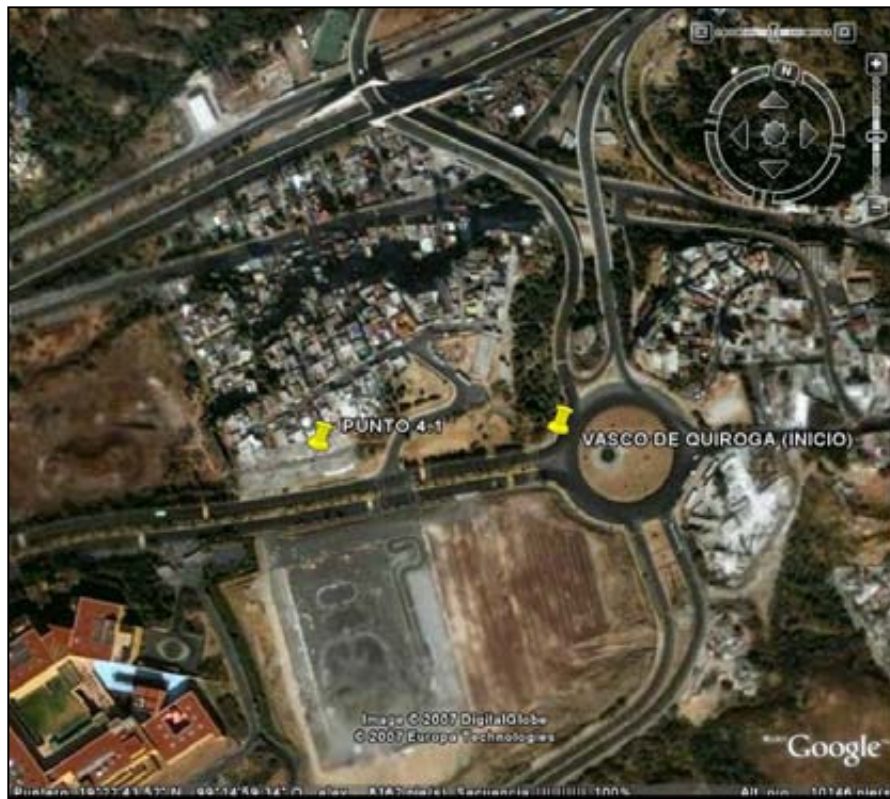
Caso N° 04.1

Datos Generales			
Fuente:	Ing. Francisco Olvera.	Día:	09/01/2007
Dependencia:	Subdirección de Protección Civil Delegacional.	Hora:	1100h.
Ubicación General		Croquis de Ubicación	
Calle:	Avenida Vasco de Quiroga.		
Colonia:	Centro Urbano Santa Fe.		
Delegación:	Cuajimalpa de Morelos.		
Región:	Zona Noreste.		
Características Generales			
Estado Actual:	Peligroso.	Riesgo:	Medio.
Uso Anterior:	Relleno sanitario.	Antigüedad:	Aprox. 25 años.
		Inclinación:	Aprox. 60° - 65°.
Uso Actual:	Hombro:	Asentamiento irregular de viviendas de nivel medio bajo a bajo.	
	Base:	Vialidad de primer orden (Avenida Vasco de Quiroga).	
Problemática Original:	Dados los planes de urbanización del Centro Urbano Santa Fe, se hace necesaria la contención de los cortes realizados para el paso de vías de comunicación, buscando prevenir con ello futuros derrumbes hacia dicha vialidad.		
Tratamiento Existente:	Solucionado a base de sistema zampeado con concreto lanzado y malla electrosoldada fijada a la cara del talud por medio de anclas de varillas de acero.		
Problemática Actual:	Alto riesgo de derrumbe de viviendas irregulares sobre vialidad de primer orden debido a inestabilidad en el talud por filtración de agua pluvial.		

Reporte de Reconocimiento de Zonas de Riesgo por Taludes.
Delegación Cuajimalpa de Morelos, D.F.
Responsable: Ing. Francisco Olvera.

Caso N° 04.1

Registro Fotográfico



Reporte de Reconocimiento de Zonas de Riesgo por Taludes.
Delegación Cuajimalpa de Morelos, D.F.
Responsable: Ing. Francisco Olvera.

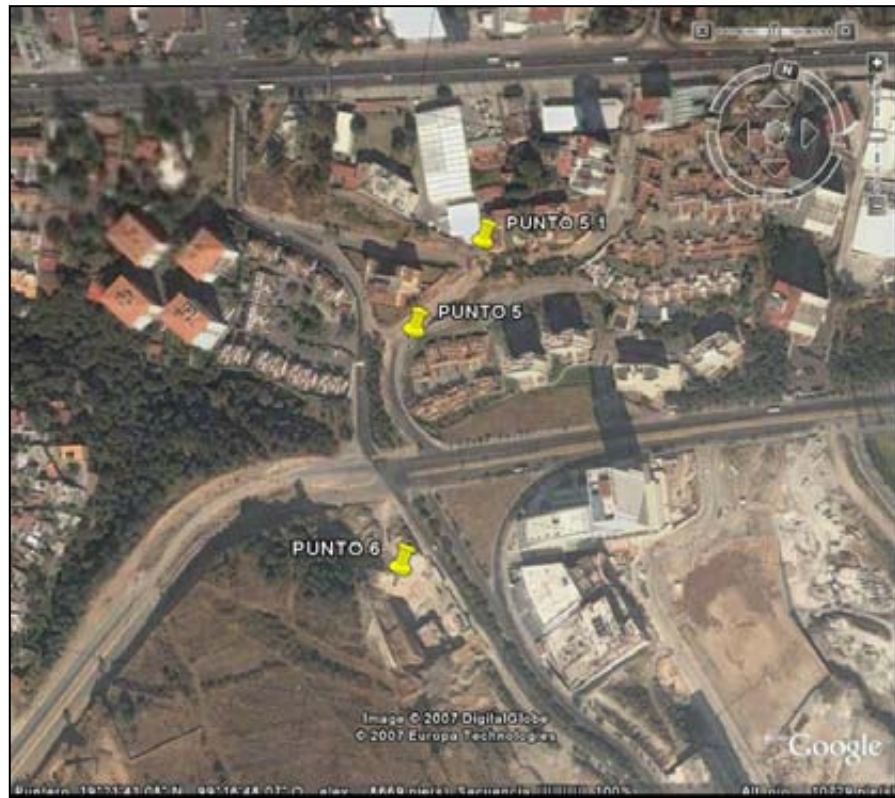
Caso N° 05

Datos Generales			
Fuente:	Ing. Francisco Olvera.	Día:	09/01/2007
Dependencia:	Subdirección de Protección Civil Delegacional.	Hora:	1100h.
Ubicación General		Croquis de Ubicación	
Calle:	Carlos Echánove.		
Colonia:	La Rosita.		
Delegación:	Cuajimalpa de Morelos.		
Región:	Zona Centro.		
Características Generales			
Estado Actual:	Peligroso.	Riesgo:	Alto.
Uso Anterior:	Asentamiento de viviendas de nivel medio bajo a bajo.	Antigüedad:	Aprox. 25 años.
		Inclinación:	Aprox. 80° - 85°.
Uso Actual:	Hombro:	Asentamiento irregular de viviendas de nivel medio bajo a bajo.	
	Base:	Vialidad de tercer orden (Calle Carlos Echánove) y conjunto de viviendas de nivel residencial en base de talud.	
Problemática Original:	Dados los planes de urbanización del Centro Urbano Santa Fe, se hace necesaria la contención de los cortes realizados para el paso de vías de comunicación, buscando prevenir con ello futuros derrumbes hacia dicha vialidad.		
Tratamiento Existente:	Solucionado a base de sistema zampeado con concreto lanzado y malla electrosoldada fijada a la cara del talud por medio de anclas de varillas de acero.		
Problemática Actual:	Debido a fallas en el sistema de protección del talud, varias viviendas ubicadas en la corona del talud se hallan en grave peligro por exposición de su cimentación y gran parte de la superficie construida, lo que de igual manera perjudica a las viviendas en la base del talud.		

Reporte de Reconocimiento de Zonas de Riesgo por Taludes.
Delegación Cuajimalpa de Morelos, D.F.
Responsable: Ing. Francisco Olvera.

Caso N° 05

Registro Fotográfico



Reporte de Reconocimiento de Zonas de Riesgo por Taludes.
Delegación Cuajimalpa de Morelos, D.F.
Responsable: Ing. Francisco Olvera.

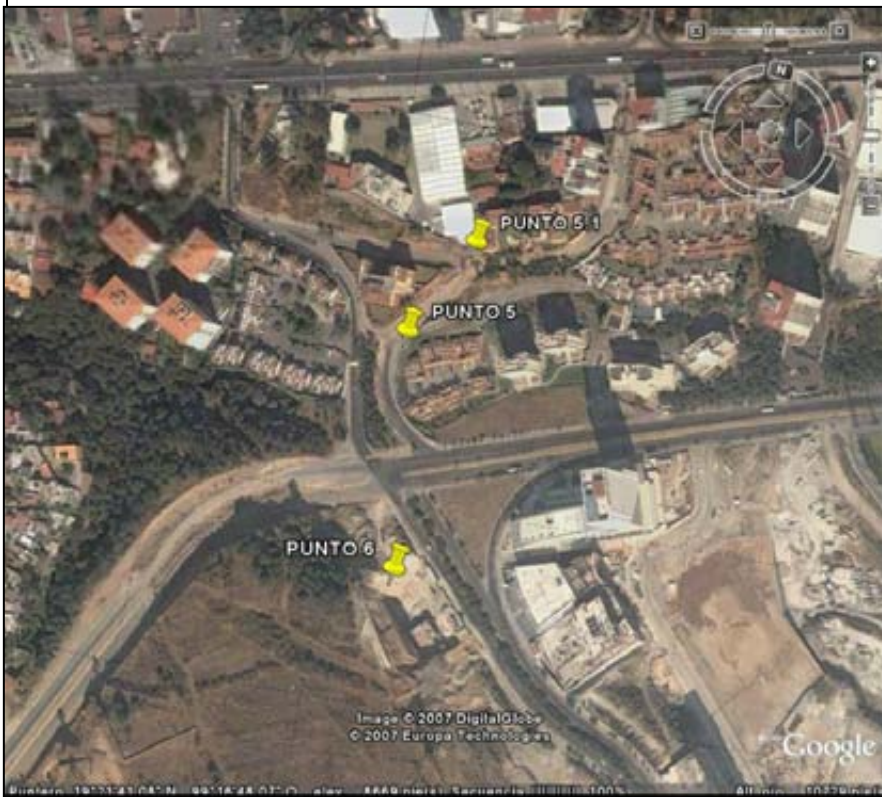
Caso N° 05.1

Datos Generales			
Fuente:	Ing. Francisco Olvera.	Día:	09/01/2007
Dependencia:	Subdirección de Protección Civil Delegacional.	Hora:	1100h.
Ubicación General		Croquis de Ubicación	
Calle:	Carlos Echánove.		
Colonia:	La Rosita.		
Delegación:	Cuajimalpa de Morelos.		
Región:	Zona Centro.		
Características Generales			
Estado Actual:	Peligroso.	Riesgo:	Alto.
Uso Anterior:	Asentamiento de viviendas de nivel medio bajo a bajo.	Antigüedad:	Aprox. 25 años.
		Inclinación:	Aprox. 70° - 75°.
Uso Actual:	Hombro:	Asentamiento irregular de viviendas de nivel medio bajo a bajo.	
	Base:	Vialidad de tercer orden (Calle Carlos Echánove) y conjunto de viviendas de nivel residencial en base de talud.	
Problemática Original:	Dados los planes de urbanización del Centro Urbano Santa Fe, se hace necesaria la contención de los cortes realizados para el paso de vías de comunicación, buscando prevenir con ello futuros derrumbes hacia dicha vialidad.		
Tratamiento Existente:	Solucionado a base de sistema zampeado con concreto lanzado y malla electrosoldada fijada a la cara del talud por medio de anclas de varillas de acero.		
Problemática Actual:	Debido a fallas en el sistema de protección del talud, varias viviendas ubicadas en la corona del talud se hallan en grave peligro por exposición de su cimentación y gran parte de la superficie construida, lo que de igual manera perjudica a las viviendas en la base del talud.		

Reporte de Reconocimiento de Zonas de Riesgo por Taludes.
Delegación Cuajimalpa de Morelos, D.F.
Responsable: Ing. Francisco Olvera.

Caso N° 05.1

Registro Fotográfico



Reporte de Reconocimiento de Zonas de Riesgo por Taludes.
Delegación Cuajimalpa de Morelos, D.F.
Responsable: Ing. Francisco Olvera.

Caso N° 06

Datos Generales

Fuente:	Ing. Francisco Olvera.	Día:	09/01/2007
Dependencia:	Subdirección de Protección Civil Delegacional.	Hora:	1100h.

Ubicación General		Croquis de Ubicación	
Calle:	Salvador Agraz y Avenida Vasco de Quiroga.		
Colonia:	Centro Urbano Santa Fe.		
Delegación:	Cuajimalpa de Morelos.		
Región:	Zona Sureste.		

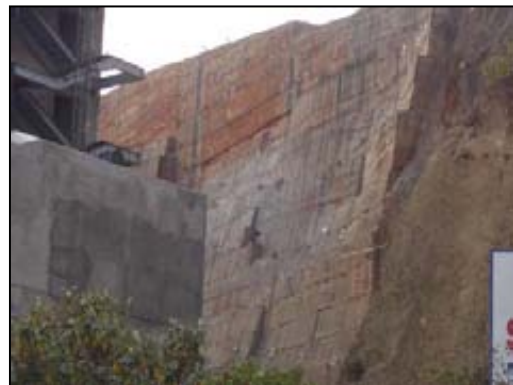
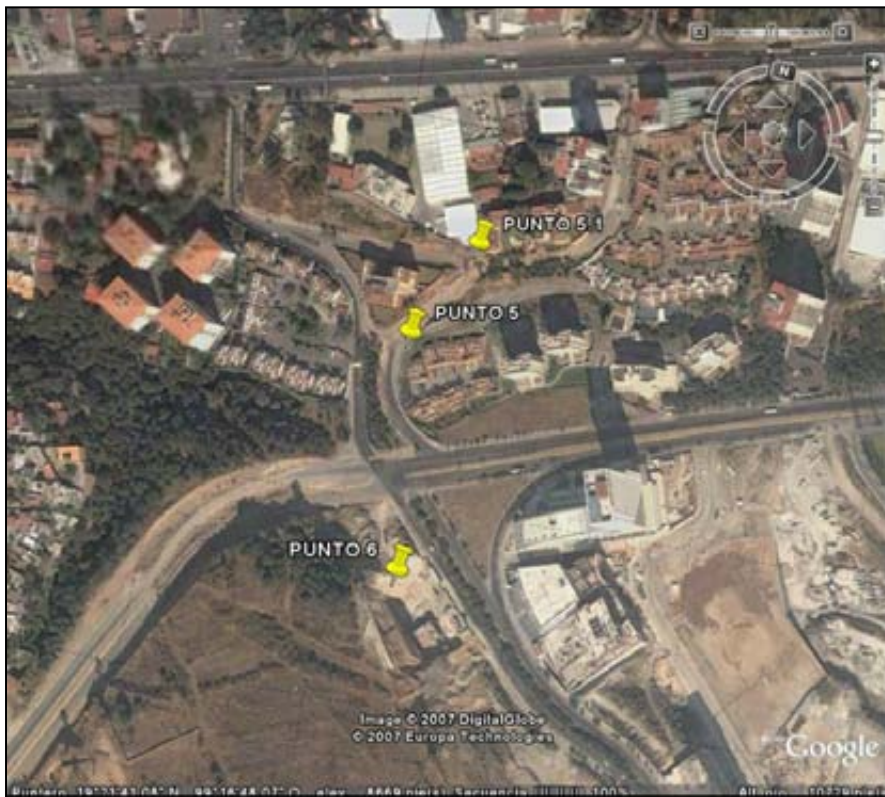
Características Generales

Estado Actual:	Sin muestras de peligro.	Riesgo:	Bajo.
Uso Anterior:	Banco de material.	Antigüedad:	Aprox. 25 años.
		Inclinación:	Aprox. 80° - 85°.
Uso Actual:	Hombro:	Desconocido.	
	Base:	Edificio corporativo de oficinas.	
Problemática Original:	Dados los planes de urbanización del Centro Urbano Santa Fe, se hace necesaria la contención de los cortes realizados para el paso de vías de comunicación, buscando prevenir con ello futuros derrumbes hacia dicha vialidad.		
Tratamiento Existente:	Desconocido.		
Problemática Actual:	Posible riesgo de derrumbes sobre edificio corporativo.		

Reporte de Reconocimiento de Zonas de Riesgo por Taludes.
Delegación Cuajimalpa de Morelos, D.F.
Responsable: Ing. Francisco Olvera.

Caso N° 06

Registro Fotográfico



Reporte de Reconocimiento de Zonas de Riesgo por Taludes.
Delegación Cuajimalpa de Morelos, D.F.
Responsable: Ing. Francisco Olvera.

Caso N° 07

Datos Generales			
Fuente:	Ing. Francisco Olvera.	Día:	09/01/2007
Dependencia:	Subdirección de Protección Civil Delegacional.	Hora:	1100h.
Ubicación General		Croquis de Ubicación	
Calle:	Avenida Tamaulipas y Autopista México - Toluca.		
Colonia:	La Rosita.		
Delegación:	Cuajimalpa de Morelos.		
Región:	Zona Sureste.		
Características Generales			
Estado Actual:	Sin muestras de peligro.	Riesgo:	Medio.
Uso Anterior:	Banco de material.	Antigüedad:	Aprox. 25 años.
		Inclinación:	Aprox. 85° - 90°.
Uso Actual:	Hombro:	Desconocido.	
	Base:	Centro comercial de alta afluencia.	
Problemática Original:	Dados los planes de urbanización del Centro Urbano Santa Fe, se hace necesaria la contención de los cortes realizados para el paso de vías de comunicación, buscando prevenir con ello futuros derrumbes hacia dicha vialidad.		
Tratamiento Existente:	Sistema zampeado de protección a base de concreto lanzado con malla electrosoldada fijada a cara del talud por medio de varillas de acero de diámetro variable.		
Problemática Actual:	Posible riesgo de derrumbes sobre edificio comercial.		

Reporte de Reconocimiento de Zonas de Riesgo por Taludes.
Delegación Cuajimalpa de Morelos, D.F.
Responsable: Ing. Francisco Olvera.

Caso N° 07

Registro Fotográfico



Reporte de Reconocimiento de Zonas de Riesgo por Taludes.
Delegación Cuajimalpa de Morelos, D.F.
Responsable: Ing. Francisco Olvera.

Caso N° 07.1

Datos Generales			
Fuente:	Ing. Francisco Olvera.		Día: 09/01/2007
Dependencia:	Subdirección de Protección Civil Delegacional.		Hora: 1100h.
Ubicación General		Croquis de Ubicación	
Calle:	Avenida Tamaulipas y Autopista México - Toluca.		
Colonia:	La Rosita.		
Delegación:	Cuajimalpa de Morelos.		
Región:	Zona Sureste.		
Características Generales			
Estado Actual:	Peligroso.	Riesgo:	Alto.
Uso Anterior:	Banco de material.	Antigüedad:	Aprox. 25 años.
		Inclinación:	Aprox. 85° - 90°.
Uso Actual:	Hombro:	Desconocido.	
	Base:	Centro comercial de alta afluencia y estación de servicio.	
Problemática Original:	Dados los planes de urbanización del Centro Urbano Santa Fe, se hace necesaria la contención de los cortes realizados para el paso de vías de comunicación, buscando prevenir con ello futuros derrumbes hacia dicha vialidad.		
Tratamiento Existente:	Sistema zampeado de protección a base de concreto lanzado con malla electrosoldada fijada a cara del talud por medio de varillas de acero de diámetro variable.		
Problemática Actual:	Posible riesgo de derrumbes sobre edificio comercial y, ante todo, sobre estación de servicio, la cual se encuentra ubicada bajo el hombro con pendiente a contra/talud cuyo riesgo de derrumbe se considera como muy alto.		

Reporte de Reconocimiento de Zonas de Riesgo por Taludes.
Delegación Cuajimalpa de Morelos, D.F.
Responsable: Ing. Francisco Olvera.

Caso N° 07.1

Registro Fotográfico



Reporte de Reconocimiento de Zonas de Riesgo por Taludes.
Delegación Cuajimalpa de Morelos, D.F.
Responsable: Ing. Francisco Olvera.

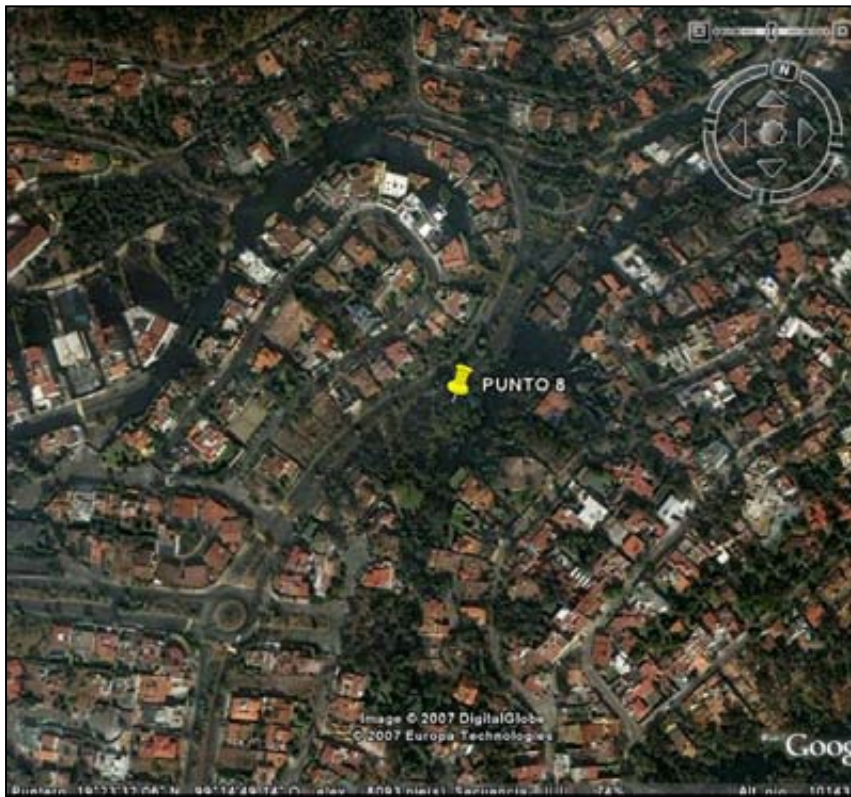
Caso N° 08

Datos Generales			
Fuente:	Ing. Francisco Olvera.	Día:	09/01/2007
Dependencia:	Subdirección de Protección Civil Delegacional.	Hora:	1100h.
Ubicación General		Croquis de Ubicación	
Calle:	Bosque de Lilas.		
Colonia:	Bosque de las Lomas.		
Delegación:	Cuajimalpa de Morelos.		
Región:	Zona Noreste.		
Características Generales			
Estado Actual:	Sin peligro aparente.	Riesgo:	Bajo.
Uso Anterior:	Desconocido.	Antigüedad:	Aprox. 25 años.
		Inclinación:	Aprox. 80° - 85°.
Uso Actual:	Hombro:	Vialidad de primer orden (Bosque de Lilas).	
	Base:	Vialidad de primer orden (Bosque de Lilas).	
Problemática Original:	Dados los planes de urbanización del Centro Urbano Santa Fe, se hace necesaria la contención de los cortes realizados para el paso de vías de comunicación, buscando prevenir con ello futuros derrumbes hacia dicha vialidad.		
Tratamiento Existente:	Protección de talud por medio de geomalla.		
Problemática Actual:	Sin problema aparente de riesgo alguno, sólo evidencias de falta de mantenimiento en la cara del talud protegida con geomalla.		

Reporte de Reconocimiento de Zonas de Riesgo por Taludes.
Delegación Cuajimalpa de Morelos, D.F.
Responsable: Ing. Francisco Olvera.

Caso N° 08

Registro Fotográfico



2.4. Comportamiento de los Casos de Estudio al 22 de abril de 2008 (Depuración de Casos Factibles de Intervención)

2.4.1. Caso N° 01.- Camino a Huizachito, Colonia el Huizachito

De manera general mostró un comportamiento estable, pese a que en su corona se ha cambiado el uso de suelo, de ser campo deportivo a convertirse en conjunto habitacional de nivel socio - económico medio alto a alto, lo cual en algún momento podría generar cambios de presión en el suelo del talud debidos a sobrecarga. Sin embargo, sería necesario estudiar el comportamiento del suelo transcurridos algunos meses y cotejarlo con los estudios de Mecánica de Suelos correspondientes para determinara tanto las características del suelo como su verdadera capacidad de carga para generar un criterio adecuado.

La única manifestación de cambio en su comportamiento fue la aparición de algunas grietas, producto de la erosión del material, pero sin presencia de inestabilidad o material caído que resulte de relevancia; estas grietas pueden haber sido producto de infiltraciones de agua a nivel de la corona y, a su salida, haber generado el desgaste del material.

Como diagnóstico no se presentan signos de inestabilidad relevante, sin embargo, habría que realizar los estudios de Mecánica de Suelos correspondientes para determinar las características y el estado actual de la composición del suelo.

Comparativo fotográfico Caso N° 01



Enero de 2007



Abril de 2008

Diagnóstico: en observación.

2.4.2. Caso N° 02.- Calle Bosque de Tejocotes, Colonia Bosque de las Lomas

Estable con pequeños desbordamientos de material debidos al pobre sistema de protección del talud, es decir, dado que el sistema únicamente “protege” superficialmente, existen evidencias de infiltración de agua que ha originado el desprendimiento del sistema de zampeado, lo cual expone el material contenido en pequeños tramos. Por otro lado, hay evidencias de crecimiento de vegetación en el talud dada la humedad del mismo y algunos orificios de material térreo que permite la revegetación.

Comparativo fotográfico Caso N° 02



Enero de 2007



Abril de 2008

Diagnóstico: problema activo.

2.4.3. Caso N° 03.- Calle Privada Tamarindos, Colonia Bosque de las Lomas

Estable sin presencia de mayores daños que en la visita de reconocimiento (enero de 2007), el talud se muestra sin mayor novedad.

La torre caída durante el evento de inestabilidad permanece en un sitio aledaño de acuerdo a la red de electrificación, sin mayor problema.

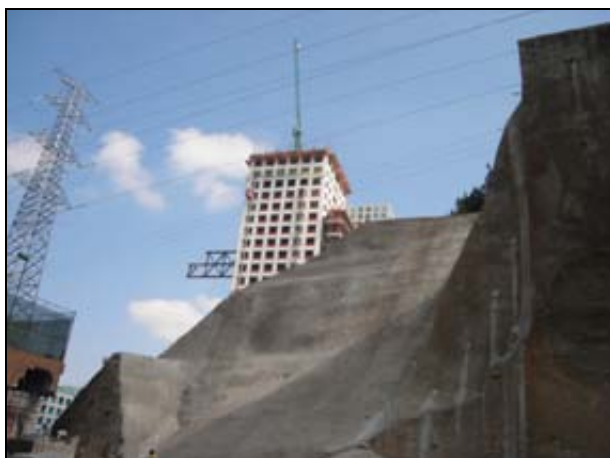
Dado que el material deslizado permanece en el sitio, conservando éste su material son la superficie de falla original, muestra un potencial de intervención con Geosintéticos bastante alta a partir del desarrollo de un muro de tierra estabilizada con estos materiales.

Para el desarrollo de la alternativa con materiales geosintéticos es necesario tanto un buen estudio de Mecánica de Suelos, para detectar si el material de origen es

adecuado para su uso en este sistema, como un análisis y cálculo correspondiente por parte de un especialista que nos permita tomar la solución más adecuada.

(Ver Ficha de Análisis de Riesgo Anexa en la Página 74).

Comparativo fotográfico Caso N° 03



Enero de 2007



Abril de 2008

Diagnóstico: con potencial de intervención.

2.4.4. Caso N° 04.- Avenida Vasco de Quiroga, Colonia Centro Urbano Santa Fe.

Estable y en excelentes condiciones de servicio, debido a que el sistema utilizado en este caso, el sistema de suelo - cemento⁵ ha demostrado ser una buena alternativa, sencilla y de bajo costo, para la realización de este tipo de trabajos.

El suelo cemento no es otra cosa que tierra apisonada a la que se le ha agregado una pequeña cantidad de cemento, alrededor del 10%. El cemento le aporta a la tierra un aumento de su resistencia y una reducción de la contracción. Las características ideales para la mezcla de suelo - cemento son: tierra tamizada (abertura de 0.5cm aproximadamente), arena común y cemento Portland, de modo que la relación volumétrica entre los primeros dos sea 2:1.

⁵ Fuente: <http://tabloide.eurofull.com/shop/detallenot.asp?notid=230>
http://es.wikipedia.org/wiki/Suelo_cemento

Comparativo fotográfico Caso N° 04



Enero de 2007



Abril de 2008

Diagnóstico: sin mayor problema.

2.4.5. Caso N° 04.1.- Avenida Vasco de Quiroga, Centro Urbano Santa Fe

Estable sin mayor problema aparente, salvo el caso de que en su corona aloja viviendas de tipo irregular muy cercanas al hombro del talud, que en una falla probable pueden caer sufriendo severos daños, y ocasionándolos en su entorno, es decir, en la Avenida Vasco de Quiroga.

Comparativo fotográfico Caso N° 04.1



Enero de 2007



Abril de 2008

Diagnóstico: sin mayor problema.

2.4.6. Caso N° 05.- Calle Carlos Echánove, Colonia La Rosita

Sin cambios aparentes en el comportamiento del talud, esto debido al sistema de protección con que fue intervenido.

Comparativo fotográfico Caso N° 05



Enero de 2007



Abril de 2008

Diagnóstico: sin mayor problema.

2.4.7. Caso N° 05.1.- Calle Carlos Echánove, Colonia La Rosita

Daños severos por fuga de agua en inmueble en la corona del talud empeoraron la situación de este caso, la cual hasta la visita de enero de 2007 se mostraba sin mayor problemática; sin embargo, con la época de lluvias este tipo de problemas se ve acrecentado por la severa cantidad de agua que se infiltra a través de las grietas y espacios en el talud, principalmente en la zona de la corona, trayendo como consecuencia el aumento de la presión hidrostática en el suelo y la búsqueda de liberar dicha presión conduce al terreno a una falla.

Los daños ocasionados por esta situación fueron en la bodega y patio trasero de la empresa ubicada en la corona del talud, inmuebles que hoy en día siguen en operación en las zonas frontales del terreno que no han sido dañadas como consecuencia del deslizamiento del talud.

Dada la condición del sitio y sus características se muestra con potencial de intervención a partir de un muro mecánicamente estabilizado con Geosintéticos.

(Ver Ficha de Análisis de Riesgo Anexa en la Página 76).

Comparativo fotográfico Caso N° 05.1



Enero de 2007



Abril de 2008

Diagnóstico: con potencial de intervención.

2.4.8. Caso N° 06.- Calle Juan Salvador Agraz y Avenida Vasco de Quiroga, Centro Urbano Santa Fe

Sin mayores cambios, aún cuando en un terreno aledaño se continúa con la explotación de material térreo.

Comparativo fotográfico Caso N° 06



Enero de 2007



Abril de 2008

Diagnóstico: en observación.

2.4.9. Caso N° 07.- Avenida Tamaulipas y Autopista México - Toluca, Colonia La Rosita

Estable en su composición, dado el sistema de protección y drenaje, pero con riesgo latente debido al entorno en que se halla inmerso. Al momento de la visita de reconocimiento, y habiendo ya transcurrido más de un año, la composición del talud, así como el sistema de protección que posee no habían mostrado mayores cambios ni modificaciones que pudieran resultar de consideración o relevantes en la estabilidad del talud.

Comparativo fotográfico Caso N° 07



Enero de 2007



Abril de 2008

Diagnóstico: en observación.

2.4.10. Caso N° 07.1.- Avenida Tamaulipas y Autopista México - Toluca, Colonia La Rosita

Estable en su composición, gracias al sistema de protección y drenaje que posee, pero con riesgo latente debido a los inmuebles que se ubican a su alrededor. Recordemos que en el pie del talud se ubica una estación de servicio y centros comerciales en actual operación, así como una gran cantidad de personas realizan en sus alrededores numerosas actividades, principalmente laborales, las cuales se encuentran en riesgo sea por la caída del material del talud o por las consecuencias de ello, como una posible explosión en la estación de servicio a pie de talud.

Comparativo fotográfico Caso N° 07.1



Enero de 2007



Abril de 2008

Diagnóstico: en observación.

2.4.11. Caso N° 08.- Calle Paseo de los Laureles, Colonia Bosque de las Lomas

A la fecha, este caso de estudio ha dado muestras de revegetación, sin embargo, no ha cumplido con los objetivos originales, pues la vegetación naciente es muy distinta a la planteada de origen (pasto).

Aunado a ello, sólo han surgido brotes de vegetación a pie del talud, cuando en la corona del mismo, el material utilizado ha dado muestras de desgaste, disminuyendo la posibilidad de buen trabajo.

Comparativo fotográfico Caso N° 08



Enero de 2007



Abril de 2008

Diagnóstico: sin mayor problema.

2.4.12. Caso N° 09 (Detectado en nueva visita).- Centro Urbano Santa Fe

Este nuevo caso de estudio se presentó dentro del lapso de un año que se determinó para realizar un nuevo recorrido por las zonas inicialmente visitadas, en donde se da muestras nuevamente de que una mala atención al problema de filtración de agua pluvial desde la corona de un talud puede originar daños severos en terrenos aledaños a él, trayendo consigo pérdidas, en este caso sólo materiales, a quienes son propietarios o inversionistas de sitios cuyas limitantes contienen en sí un talud.

(Ver Ficha de Análisis de Riesgo Anexa en la Página 78).

Comparativo fotográfico Caso N° 09



Abril de 2008



Abril de 2008

Con potencial de intervención.

Reporte de Reconocimiento de Zonas de Riesgo por Taludes.
Delegación Cuajimalpa de Morelos, D.F.
Responsable: Ing. Francisco Olvera.

Caso N° 03

Datos Generales			
Fuente:	Ing. Francisco Olvera.		Día: 22/04/2008
Dependencia:	Subdirección de Protección Civil Delegacional.		Hora: 1300h.
Ubicación General		Croquis de Ubicación	
Calle:	Privada Tamarindos.		
Colonia:	Bosque de las Lomas.		
Delegación:	Cuajimalpa de Morelos.		
Región:	Zona Noreste.		
Características Generales			
Estado Actual:	Peligro Moderado.		Riesgo: Muy Alto.
Uso Anterior:	Terreno federal que sirvió como base a torre de alta tensión.		Antigüedad: Aprox. 20 años.
			Inclinación: Aprox. 75°.
Uso Actual:	Hombro:	Ninguno.	
	Base:	Asentamiento de vivienda plurifamiliar, oficinas de nivel residencial y club deportivo.	
Problemática Original:	Debido al fallido tratamiento contra el deslizamiento del talud, sufrió hace algunos años la pérdida de resistencia al esfuerzo cortante debido a la incursión de agua pluvial por corona que trajo consigo la caída de una torre de alta tensión ubicada en la parte alta del mismo.		
Tratamiento Existente:	Con el material ya caído, y sin uso actual, el talud se encuentra con el material depositado a pie de talud sin mayor tratamiento. El único tratamiento existente se encuentra en el predio aledaño a él, donde existe un sistema zampeado con anclas de acero.		
Problemática Actual:	Lo que se puede informar de este talud es que de acuerdo a sus características muestra un gran potencial de intervención con Materiales Geosintéticos a partir del desarrollo de un muro mecánicamente estabilizado con Geomallas.		

Reporte de Reconocimiento de Zonas de Riesgo por Taludes.
Delegación Cuajimalpa de Morelos, D.F.
Responsable: Ing. Francisco Olvera.

Caso N° 03

Registro Fotográfico



Reporte de Reconocimiento de Zonas de Riesgo por Taludes.
Delegación Cuajimalpa de Morelos, D.F.
Responsable: Ing. Francisco Olvera.

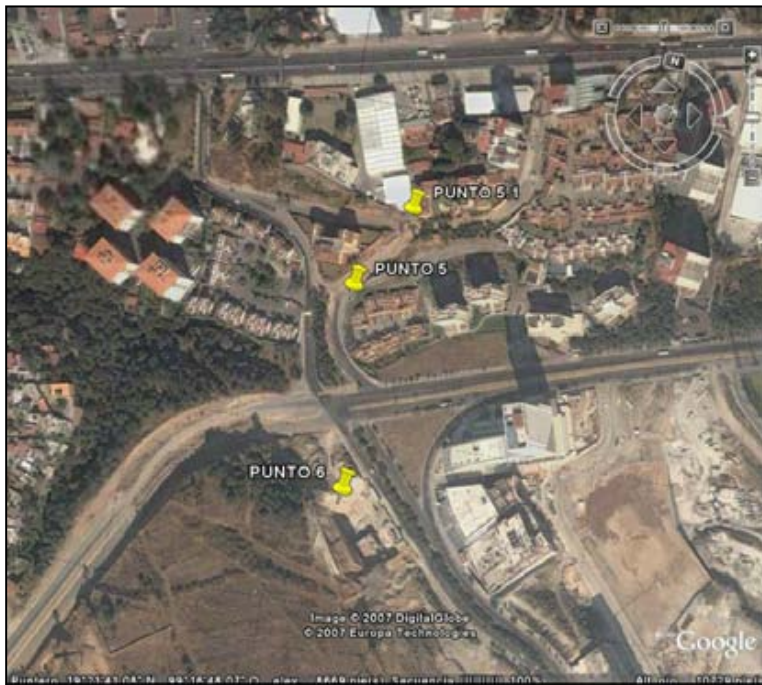
Caso N° 05.1

Datos Generales			
Fuente:	Ing. Francisco Olvera.		Día: 22/04/2008
Dependencia:	Subdirección de Protección Civil Delegacional.		Hora: 1300h.
Ubicación General		Croquis de Ubicación	
Calle:	Carlos Echánove.		
Colonia:	La Rosita.		
Delegación:	Cuajimalpa de Morelos.		
Región:	Zona Centro.		
Características Generales			
Estado Actual:	Muy Peligroso.	Riesgo:	Sumamente Alto.
Uso Anterior:	Asentamiento de viviendas de nivel medio bajo a bajo e industrial.	Antigüedad:	Aprox. 25 años.
		Inclinación:	Aprox. 70° - 75°.
Uso Actual:	Hombro:	Asentamiento irregular de viviendas de nivel medio bajo a bajo e industria.	
	Base:	Vialidad de tercer orden (Calle Carlos Echánove) y conjunto de viviendas de nivel residencial en base de talud.	
Problemática Original:	La atención en este talud se centra dado que en gran parte de él existe desde hace algún tiempo un deslizamiento continuo del material de composición, el cual ha tenido como consecuencia la fractura del sistema de protección (zampeado) a lo largo de varios metros en la longitud total del talud debido a incursión de agua pluvial por corona y la fractura del sistema de drenaje en la parte superior de uno de los inmuebles.		
Tratamiento Existente:	Habiendo transcurrido un año no se ha llevado a cabo mayor tratamiento en el talud, que muestra un estado peor que el detectado en la primera visita de reconocimiento.		
Problemática Actual:	El talud que compete esta ficha muestra severos daños en su composición y un mayor grado de riesgo debido a la falta de protección en la zona descubierta, lo cual representa un serio peligro en su entorno inmediato, con lo que se propone como potencial de intervención con Materiales Geosintéticos.		

Reporte de Reconocimiento de Zonas de Riesgo por Taludes.
Delegación Cuajimalpa de Morelos, D.F.
Responsable: Ing. Francisco Olvera.

Caso N° 05.1

Registro Fotográfico



Reporte de Reconocimiento de Zonas de Riesgo por Taludes.
Delegación Cuajimalpa de Morelos, D.F.
Responsable: Ing. Francisco Olvera.

Caso N° 09

Datos Generales			
Fuente:	Ing. Francisco Olvera.		Día: 22/04/2008
Dependencia:	Subdirección de Protección Civil Delegacional.		Hora: 1300h.
Ubicación General		Croquis de Ubicación	
Calle:	¿?		
Colonia:	¿?		
Delegación:	Cuajimalpa de Morelos.		
Región:	Zona Noreste.		
Características Generales			
Estado Actual:	Seriamente dañado.	Riesgo:	Alto.
Uso Anterior:	Desconocido.	Antigüedad:	Aprox. 25 años.
		Inclinación:	Aprox. 80° - 85°.
Uso Actual:	Hombro:	Viviendas de alto nivel socio económico.	
	Base:	Edificio habitacional del alto nivel socio económico.	
Problemática Original:	Debido a una mala planeación y estudio del terreno, se presentó por temporada de lluvias un deslizamiento de un talud protegido con un sistema zampeado de concreto lanzado el cual arrojó material de composición del talud al pie de un edificio habitacional en preventa.		
Tratamiento Existente:	Existencia de sistema zampeado de concreto lanzado con malla electrosoldada y anclas de acero.		
Problemática Actual:	Fuera del material deslizado no hay evidencias de mayor problema, salvo el hecho de poner en grave riesgo el edificio a pie de talud en preventa.		

Reporte de Reconocimiento de Zonas de Riesgo por Taludes.
Delegación Cuajimalpa de Morelos, D.F.
Responsable: Ing. Francisco Olvera.

Caso N° 09

Registro Fotográfico



3. SISTEMAS TRADICIONALES - TIERRA ARMADA Y CONCRETO LANZADO

En este capítulo se describirán de manera general: el sistema tradicionalmente utilizado para el desarrollo de muros mecánicamente estabilizados a partir de tierra armada, así como para la protección contra intemperismo y erosión en los taludes, y potenciales deslizamientos en ellos con el sistema de concreto lanzado o *shotcrete*, con el fin de generar una comparativa de ventajas y desventajas contra nuevas tecnologías de materiales.

3.1. Sistema de Tierra Armada¹

El sistema se basa en el armado del macizo de relleno con unas bandas metálicas que movilizan el rozamiento del terreno haciendo, de esta manera, que el macizo sea su propio muro de contención, con lo que no necesita cimentación alguna al ampliar su base de apoyo a toda la superficie del terraplén, siendo óptima su utilización en suelos compresibles y de baja capacidad portante (Ver Imagen 3.1).

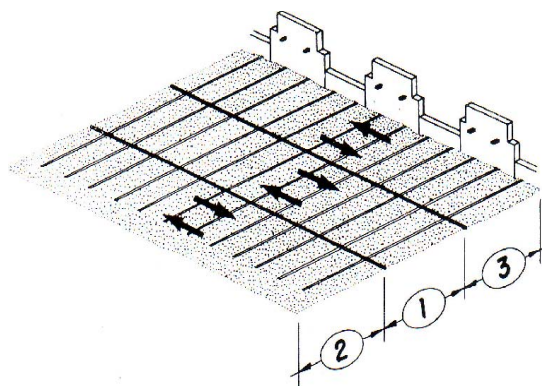
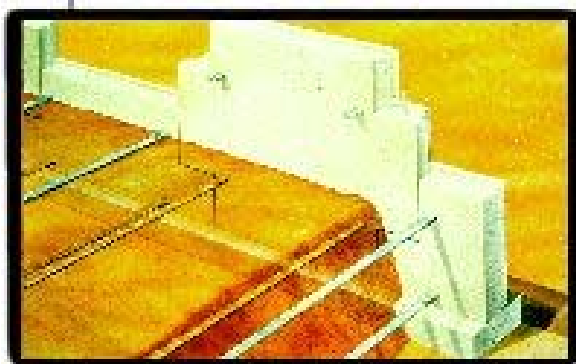


Imagen 3.1.- Esquemas de armado del sistema Tierra Armada.

Fuente: <http://www.tierra-armada.com/ie/tarmada.htm>
<http://www.murotalud.com/actividades.htm#mtierraarmada>

Las armaduras especiales se componen de bandas metálicas galvanizadas de 45 y 50 milímetros de ancho, denominadas de alta adherencia por sus resaltes diseñados para mejorar e incrementar las tensiones tangenciales producidas entre terreno y armadura.

El paramento habitual lo componen las escamas de hormigón que dotan al sistema de su aspecto característico. Su función principal es la de dar un acabado al muro, y no aporta una labor estructural.

No teniendo el macizo armado ningún límite respecto a su flexibilidad, es el tipo de paramento el que limita sus movimientos. Es por tanto necesario que cada solución

¹ <http://www.tierra-armada.com/ie/home.htm>
<http://www.tierra-armada.com/ie/atarmada.htm>

adoptada tenga en cuenta la capacidad concreta de adaptación a los asientos esperables.

La fuente de esta resistencia a la tensión es la fricción interna del suelo, debido a que las fuerzas que se producen en la masa se transfieren del suelo a las tiras de refuerzo por fricción².

3.2. Origen del Sistema de Tierra Armada³

El sistema se origina como parte de la búsqueda de soluciones en el campo de la construcción cuando el terreno donde se edificará alguna obra presenta áreas reducidas, el suelo para la cimentación resulta muy compresible, o en el terreno existe la necesidad de ejecutar obras de contención de gran pendiente y altura, que pudieran implicar un alto costo para el proyecto.

En la década de los años 60's del siglo pasado el Ingeniero francés M. Henri Vidal investigó la confección de terraplenes reforzados con bandas de acero. Este novedoso sistema compuesto se comportaba como un material con fricción y cohesión, lo que permitía no sólo que se pudieran soportar en la superficie del talud grandes cargas sino que aceptara cortes verticales de gran altura sin obras de contención. Fue en 1963 cuando el ingeniero Vidal patentó el sistema con el nombre de *Terre Armée*.

3.2.1. Ventajas

La contención de terrenos con muros tierra armada es un sistema económico comparándolo a los otros sistemas de contención. Es apropiado en zonas donde la superficie de trabajo es limitada y/o se requiere de una rápida ejecución, debido a su carácter prefabricado (caso de la tierra armada). Es una técnica flexible tanto a nivel de adaptabilidad topográfica, ya que asume cualquier forma, como a nivel de absorción de asiento en cimentación. Estéticamente en algunos casos permite la revegetación de la superficie exterior, integrándose con el medio natural. Su ejecución debe cuidarse metódicamente, teniendo especial relevancia la elección del material de relleno, que debe cumplir unas prescripciones técnicas específicas, así como la compactación, que debe hacerse de forma correcta. En los muros de tierra armada, también hay que hacer hincapié en la protección de las armaduras frente a la corrosión que puede poner en peligro todo el sistema.

Entre otras ventajas que ofrece el sistema de tierra armada están:

- Adaptabilidad a topografías difíciles, espacios restringidos, laderas etc.
- Rapidez de ejecución.
- Economía.
- Durabilidad.

² <http://www.arquitectuba.com.ar/monografias-de-arquitectura/muros-de-tierra-armada/>

³ <http://www.asefa.es>

- Flexibilidad.
- Comportamiento ante acciones dinámicas y sismo.

3.2.2. Aplicaciones⁴

- Autopistas Urbanas y Puentes (Ver Imagen 3.2).
- Ferrocarriles (Ver Imagen 3.3).
- Muros en Laderas (Ver Imagen 3.4).
- Estribos en Puentes (Ver Imagen 3.2).
- Muros de Gran Altura (Ver Imagen 3.5).



Imagen 3.2.- Aplicación en autopistas.



Imagen 3.3.- Aplicación en ferrocarriles.



Imagen 3.4.- Muros en Laderas.



Imagen 3.5.- Aplicación en Pérgolas y Muros de Gran Altura.

- Autopistas Urbanas.
- Urbanizaciones.
- Muros Inundables (Ver Imagen 3.6).

⁴ <http://www.tierra-armada.com/ie/atarmada.htm>



Imagen 3.6.- Muros Inundables.

- Obras Industriales y de Protección.

3.2.3. Muros a base del Sistema de Tierra Armada⁵

Los muros de tierra armada son sistemas en los cuales se utiliza materiales térreos como elementos de construcción.

La tierra armada es una asociación de tierra y elementos lineales capaces de soportar fuerzas de tensión importantes; estos últimos elementos suelen ser tiras metálicas o de plástico. El refuerzo de tales tiras da al conjunto una resistencia a tensión de la que el suelo carece en sí mismo, así como brindarle mayor cohesión al terreno, con la ventaja adicional de que la masa puede reforzarse única o principalmente en las direcciones más convenientes. La fuente de esta resistencia a la tensión es la fricción interna del suelo, debido a que las fuerzas que se producen en la masa se transfieren del suelo a las tiras de refuerzo por fricción.

La estabilidad de un muro de retención que se construya con tierra armada debe comprender principalmente dos clases de análisis. En primer lugar tomar el elemento como un conjunto que no será diferente de un muro convencional del tipo de gravedad. En segundo lugar se harán análisis de estabilidad interna básicamente para definir la longitud de las tiras de refuerzo y separación horizontal y vertical, esto para que no se produzca deslizamiento del material térreo respecto a las tiras. Además de lo anterior es importante analizar el riesgo de corrosión en el caso de tiras metálicas o colocar algún elemento frontal que impida la salida de la tierra entre las tiras de refuerzo. El drenaje se deberá planear con las mismas ideas que en los muros convencionales.

Se han hecho tres tipos de estudios con relación a la tierra armada:

⁵ <http://apuntes.rincondelvago.com/muros-de-tierra-armada.html>

- Estudios con vistas a elaborar métodos de diseño. Por lo general se ha procurado aplicar al caso la metodología disponible, con aplicación de las teorías tradicionales del empuje de tierras.
- Estudios de modelos bidimensionales en el laboratorio, en los que la tierra se ha representado por medio de barras metálicas de longitud relativamente grande en comparación con su diámetro. Las tiras de armado se han hecho con el mismo material usado en los prototipos. Se trata principalmente de modelos cualitativos y en ellos se estudiaron, sobre todo, los tipos de falla susceptibles de presentarse.
- Mediciones en prototipos construidos para resolver específicos de vías terrestres.

De los análisis y estudios anteriores parece concluirse que existe riesgo de que se presente una falla de cualquiera de los tres tipos siguientes:

- Una falla en la cual la tierra armada colapsa como un conjunto, sin deformación importante dentro de sí misma. Esta falla puede ocurrir por deslizamiento o volcadura y es análoga a la de un muro de retención convencional que falle por las mismas causas.
- Falla por deslizamiento de la tierra en relación a las tiras de armado, acompañada de una desorganización dentro del cuerpo de tierra armada.
- Falla por rotura de las tiras de refuerzo, que parece estar asociada a mecanismos de falla progresiva.

El material a usarse para estas estructuras debe ser los de naturaleza friccionante y se estima que falta investigación en el uso de materiales puramente cohesivos. Sin embargo se han construido estructuras con contenido de finos que pasaron la malla N° 200 del orden de 10 y 20%, usando materiales naturales, sin procesos especiales de fabricación.

Se recomienda para la masa de tierra armada una sección próxima a la rectangular, en la que el ancho sea del orden de la altura del muro.

3.2.4. Muros de Tierra Armada - Suelo Reforzado⁶

La fase constructiva es muy importante, ya que se tiene que ir compactando por capas de pequeño espesor, para darle una mayor resistencia al suelo (Ver Imagen 3.7).

⁶ http://es.wikipedia.org/wiki/Muro_de_contenci%C3%B3n

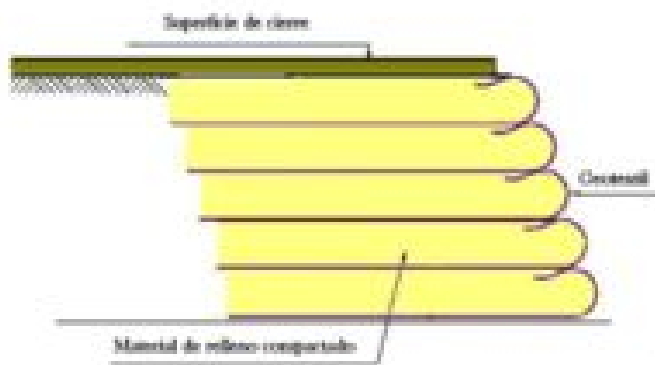


Imagen 3.7.- Esquema de funcionamiento de un muro de Tierra Armada a base de Geotextiles.

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Muro_de_contenci%C3%B3n

Se le suelen colocar escamas en la cara del talud (planchas de piedra u hormigón), sin fin estructural alguno, sino para evitar que se produzcan desprendimientos.

Los muros de tierra armada pueden rematarse también con bloques de hormigón huecos, rellenos de tierra, y sembrados, creando muros jardinera.

Un “muro de suelo reforzado” es un muro de tierra armada en que se sustituyen las armaduras metálicas, por Geotextil (Ver Imagen 3.8). Es una solución más barata, a pesar de que será menos resistente.



Imagen 3.8.- Sistema de Tierra Reforzada de Cara Envuelta con Materiales Geosintéticos.

Fuente: [http://www.etcg.upc.es/asg/cimentacions/Tema%20IX%20\(Tierra%20armada\).pdf](http://www.etcg.upc.es/asg/cimentacions/Tema%20IX%20(Tierra%20armada).pdf)

Análogamente a los muros de tierra armada, se pueden recubrir con escamas, o rematarlos con muros jardinera. Aunque existe otra alternativa, que consiste en colocar un geotextil sobre la ladera del muro, y cubrirlo de tierra y semillas. Surge así un “muro vegetado” (Ver Imagen 3.9).

3.2.5. Ventajas y Desventajas de la Construcción de Muros Mecánicamente Estabilizados (Tierra Armada - Suelo Reforzado)⁷

- Ventajas

Los Muros de Tierra Mecánicamente Estabilizados muestran muchas ventajas comparados con los sistemas tradicionales de muros de concreto reforzado y concreto por gravedad, entre las que se encuentran:

- Procedimientos rápidos y sencillos que no requieren grandes equipos para su construcción, es decir, la maquinaria pesada no es de suma importancia en el procedimiento constructivo, salvo algunas como aplanadoras o compactadoras motorizadas para proporcionar los criterios de calidad y especificaciones del proveedor.
- No requiere ni mano de obra ni herramientas especializadas para su desarrollo, lo cual implica que con cuadrillas con cierta experiencia, y con especificaciones correctas y concretas en el procedimiento, es posible desarrollar muros con estas características.
- Requiere poca preparación del terreno comparada con otros sistemas, no necesita trabajos previos en el terreno, tan solo ciertas nivelaciones y el preciso seguimiento de las indicaciones del calculista, sobre todo sumo cuidado en el ángulo de inclinación final del muro, el material de relleno y la adecuada colocación de las capas que conforman el sistema.
- Las capas de material compactado necesarias para la óptima ejecución de este sistema oscilan entre los 25cm y 30cm por cada capa, compactación que es posible lograr con herramientas tales como el pisón de mano o la compactadora motorizada (bailarina), que no implican gran complejidad de operación, todo de acuerdo a las dimensiones y especificaciones de la obra a desarrollar.
- Poco espacio al frente de la estructura para operaciones de construcción, dado que, en el caso de la cimbra, este sistema la integra como parte de su composición.
- Cierta reducción de costo, sobre todo en cuanto a material y mano de obra, por los motivos antes presentados.

⁷ U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. **Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes. Design & Construction Guidelines.** Publication No. FHWA-NHI-00-043. NHI Course No. 132042. NHI – National Highway Institute. Office of Bridge Technology. USA, Marzo 2001.

- Posibilidad de implementación de sistemas vegetados en la cara del talud, lo que brinda una imagen urbana mucho más agradable que la proporcionada por un muro de concreto armado o de piedra natural (Ver Imagen 3.9).



Imagen 3.9.- Ejemplo de Aplicación del Sistema de Tierra Reforzada de Cara Envuelta con Materiales Geosintéticos en Revegetación.

Fuente: [http://www.etcg.upc.es/asg/cimentacions/Tema%20IX%20\(Tierra%20armada\).pdf](http://www.etcg.upc.es/asg/cimentacions/Tema%20IX%20(Tierra%20armada).pdf)

El relativamente bajo requerimiento de materiales, su rápida construcción entre otras ventajas, han influido en una reducción de costos comparado con los sistemas tradicionales de contención de suelos. Este tipo de muros mecánicamente estabilizados han demostrado ser más económicos cuando la altura del muro a desarrollar es mayor a los 3.00m, o donde una cimentación especial sería requerida en un muro construido con el sistema tradicional.

Una de las grandes ventajas de los muros mecánicamente estabilizados es su capacidad y flexibilidad para absorber las deformaciones debidas a las condiciones del subsuelo del terreno. Así mismo, basados en observaciones en diferentes zonas de actividad sísmica has demostrado contar con una alta resistencia al las cargas sísmicas, mayor a la presente en los muros de concreto reforzado.

- Desventajas
 - Requieren relativamente un espacio generoso hacia el frente del muro para obtener un espesor suficiente que genere una estabilidad interna y externa en el muro.
 - Requieren un material granular específico selecto para su óptimo funcionamiento.

- Costos Relativos

El costo específico del desarrollo de muros de tierra mecánicamente estabilizados se encuentra en función de varios factores, tales como los requerimientos específicos del trabajo, el tipo y tamaño del muro a desarrollar, el tipo de suelo del sitio, la factibilidad y disponibilidad de las herramientas necesarias, el acabado final de la cara del muro, entre otras. Se ha encontrado que los muros de tierra mecánicamente estabilizados, con un tratamiento previo a base de concreto lanzado son usualmente menos costosos que aquellos a base de muros de contención de concreto armado para alturas mayores a 3.00m.

De manera general, el uso de muros de tierra mecánicamente estabilizados genera un ahorro del orden del 25 al 50%, y posiblemente más en comparación con un sistema convencional de contención a base de concreto reforzado, especialmente cuando el último está soportado sobre un sistema de cimentación profunda. Un ahorro substancial se obtiene tras la eliminación de cimentaciones profundas, lo cual es usualmente posible debido a que las estructuras de concreto reforzado pueden reacomodarse en diferentes asentamientos. Otro ahorro de costos radica en la practicidad y rapidez de la construcción. Una comparación de material y costos de ejecución de un muro de varios sistemas de contención con concreto reforzado y otros sistemas de contención, basados en estudios de varias agencias constructoras de los Estados Unidos, se muestra en la figura siguiente (Ver Imagen 3.10), donde se hace evidente que el rango de construcción de un muro de tierra mecánicamente estabilizado varía entre los \$200 y los \$400 dólares por metro cuadrado, lo cual está en función de la altura, tamaño del proyecto y costo de los elementos.

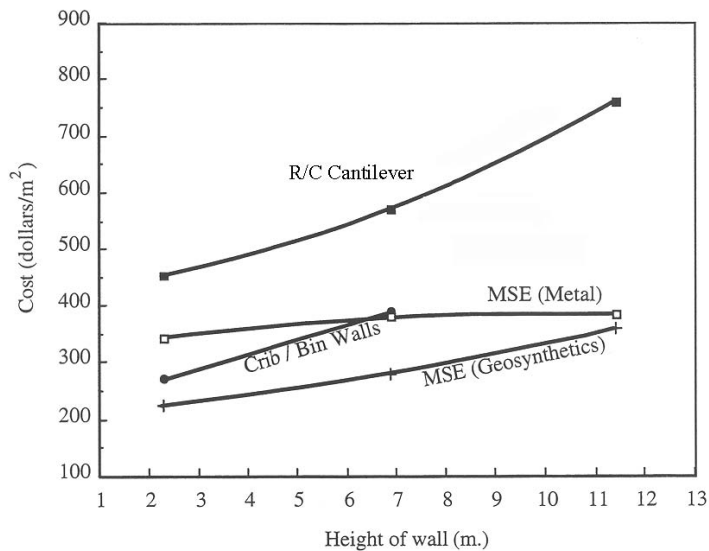


Imagen 3.10.- Comparativo de costos entre diversos sistemas para contención de suelo.

Fuente: U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. **Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes. Design & Construction Guidelines.** Publication No. FHWA-

NHI-00-043. NHI Course No. 132042. NHI – National Highway Institute. Office of Bridge Technology. USA, Marzo 2001.

3.2.6. Clasificación de las Obras de Tierra Armada

- Por tiempo de vida de servicio:
 - Provisoria \leq 5 años
 - Temporaria \leq 30 años
 - Permanente:
 - Ordinaria 70 años
 - Estribo de puente y obras de alta seguridad (terraplén de vía férrea) 100años
- Por agresividad del sitio:
 - Obras secas (arriba del nivel freático)
 - Obras sumergidas en agua dulce (potencialmente potables, Cl -- $<$ 250 mg/l, SO4 -- $<$ 250 mg/l)
 - Obras en sitios marítimos
 - Obras peculiares (sometidas a condiciones de agresividad especial o corrientes sueltos)

En caso de obras de alta seguridad, se suelen poner testigos de corrosión.

3.2.7. Criterios Generales para el Dimensionamiento de Muros de Tierra Armada⁸

- Objetivos:
 - Obtención de la longitud, espesor y espaciamiento del armado del muro.
 - Verificar la calidad del relleno a utilizar en el sistema.

El conjunto se dimensiona como una estructura de gravedad, cumpliendo por este hecho las siguientes condiciones:

- Que muestre estabilidad ante el deslizamiento.
 - Que muestre estabilidad al vuelco.
 - Que presente estabilidad en la cimentación.
 - Que garantice una estabilidad global.
- Propiedades del Relleno:

⁸ [http://www.etcg.upc.es/asg/cimentacions/Tema%20IX%20\(Tierra%20armada\).pdf](http://www.etcg.upc.es/asg/cimentacions/Tema%20IX%20(Tierra%20armada).pdf)

Los criterios de selección del material de relleno se refieren a asegurar:

- Un rozamiento suficiente con la armadura.
- La no corrosión de la armadura.
- Una puesta en obra factible.
- Criterio de rozamiento:
 - Proporción de finos (< 80mm) (< 15%).
 - Ángulo de rozamiento suelo armadura (> 22° si lisa, > 25° si de alta adherencia, medido en caja de corte directo).
 - Ángulo de fricción interna (> 35°).
- Criterio de no corrosión de la armadura:
 - Resistividad ($\geq 1000 \Omega \cdot \text{cm}$ si relleno seco, $\geq 2000 \text{ W} \cdot \text{cm}$ en agua dulce).
 - pH (5-10).
 - Sales solubles (Cl⁻ $\leq 200 \text{ mg/kg}$ si relleno seco, $\leq 100 \text{ mg/kg}$ en agua dulce; SO₄⁻² $\leq 1000 \text{ mg/kg}$ si terreno seco, $\leq 500 \text{ mg/kg}$ en agua dulce).
 - Contenido en sulfatos ($\leq 300 \text{ mg/kg}$ si terreno seco, $\leq 100 \text{ mg/kg}$ en agua dulce).

3.2.8. Cálculo de Estabilidad para Muros de Tierra Armada

Para el desarrollo de la masa de tierra armada se pretende que posea una sección próxima a la rectangular, en la que el ancho sea del orden de la altura del muro. La estabilidad interna de la masa de tierra armada puede analizarse por los métodos de: Coulomb y Rankine, de los cuales se mencionan a continuación los conceptos más generales:

- Método de Coulomb

Coulomb (1776) realizó los primeros intentos teóricos para el cálculo del empuje de tierras. Propuso un mecanismo de cálculo de las características de la fuerza de empuje utilizando los conocimientos de la época (que siguen vigentes en cuanto a sus conceptos pero que se han enriquecido con la utilización de nuevos recursos tecnológicos) y así consideró el caso de un muro de contención donde aceptó que la resistencia al esfuerzo cortante del suelo está dada por:

$$s = \sigma \tan \varphi \text{ (T/m}^2\text{)}$$

...donde:

σ = esfuerzo generado por el peso de la cuña de empuje

φ = ángulo de reposo del material de composición

...lo que implica un comportamiento friccionante del suelo y una superficie de falla plana.

Coulomb analiza el equilibrio de la “cuña de empuje” (masa de suelo que se mueve en el caso hipotético de que el muro falle).

Las fuerzas que intervienen en el equilibrio de la cuña de empuje son (Ver Imagen 3.11):

- E (empuje del muro sobre el suelo).
- W (peso de la cuña de empuje).
- La fuerza R debida a la resistencia al esfuerzo cortante del suelo.

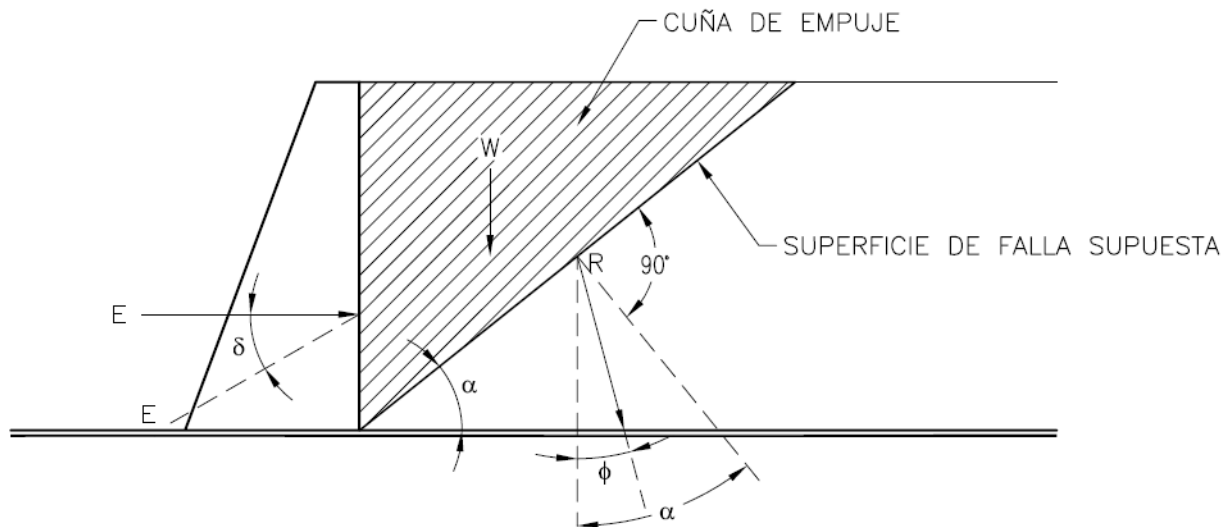


Imagen 3.11.- Esquema del Método de Coulomb.
Fuente: © D. R. Arq. José Leonardo Castellanos Gaspar, 2008.

...son las fuerzas principales, pero no se desconoce que puedan existir otras como:

- Las debidas al sismo.
- Al viento.
- Otras.

Seleccionada la superficie de falla y conocido el suelo en cuanto a sus características puede afirmarse que, de las fuerzas antes mencionadas, se pueden tener como dato:

Fuerza	Magnitud	Dirección	Posición
E	X	Conocida	Conocida
W	Conocida	Conocida	Conocida
R	Conocida	Conocida	X

En el caso anterior se ha aceptado la hipótesis de que el contacto suelo - muro no tiene fricción.

Si se considera fricción entre muro y suelo, la fuerza E se inclina respecto a la perpendicular al paramento interior del muro, en donde esa inclinación es determinada por el ángulo δ dado:

$$\tan \delta = \text{coeficiente de fricción entre muro y suelo}$$

...y el esquema de fuerzas se vería modificado.

- Método de Rankine

Rankine hace la hipótesis de que en una masa de suelo con superficie exterior horizontal el esfuerzo normal vertical puede expresarse con:

$$\sigma_v = \sigma_1 = \gamma_m * z$$

...donde:

$$\sigma_v = \sigma_1 = \text{esfuerzo normal vertical}$$

$$\gamma_m = \text{peso volumétrico o específico del suelo}$$

$$z = \text{profundidad del punto en que se valúa } \sigma_v = \sigma_1$$

Añade que el esfuerzo normal horizontal:

$$\sigma_h = \sigma_3 = k\sigma_v = k\sigma_1$$

...es decir que el esfuerzo horizontal es proporcional directamente al vertical.

Se acepta también como hipótesis el que se tiene un estado de esfuerzos cilíndrico.

Es conveniente hacer notar que si la superficie superior exterior se inclina las hipótesis no se cumplen.

“k” es un coeficiente de proporcionalidad que Rankine denominó coeficiente de empuje, y como ejemplo se tiene:

$$k \text{ (Ej. agua quieta)} = 1$$

$$k \text{ (Ej. agua en movimiento)} < 1$$

...y la teoría se encauza a determinar “k”.

Para valuar “k” Rankine considera que existen 3 tipos de empuje:

1. Empuje en donde el suelo es el elemento activo, o sea, el que empuja, y por ello Rankine lo denominó empuje activo, y a él corresponde el coeficiente $k_a < 1$ (sale el agua al abrir un orificio en un contenedor).

$$k_a = \frac{1 - \operatorname{sen}\varphi}{1 + \operatorname{sen}\varphi} = \tan^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)$$

2. Empuje en donde el suelo es el elemento pasivo, o sea, que el suelo es empujado, por ello Rankine lo denominó empuje pasivo, y a él corresponde el coeficiente $k_p > 1$ (se abre de golpe el orificio del contenedor).

$$k_p = \frac{1 + \operatorname{sen}\varphi}{1 - \operatorname{sen}\varphi} = \tan^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right)$$

3. Empuje en donde el suelo está en reposo, y en consecuencia le coeficiente de empuje se denomina coeficiente de empuje en reposo, y se indica con k_0 .

En los casos 1 y 2 se concluye que el suelo debe experimentar deformación.

3.3. Sistema de Concreto Lanzado (*shotcrete*) con Refuerzo de Malla Electrosoldada

3.3.1. Definición del Sistema (Ver Imagen 3.12)

Es un concreto transportado a través de tubería o manguera, proyectado neumáticamente a gran velocidad sobre una superficie, adhiriéndose perfectamente a ella con una excelente compactación, diseñado para recubrimientos, estabilización de taludes, reparación de estructuras o para fines arquitectónicos.

Como en el caso del concreto convencional, las propiedades de este sistema varían de acuerdo a la relación entre el agua y el cementante, los agregados el tipo de

cemento y el procedimiento constructivo, todo ello dependiendo de las necesidades particulares de aplicación⁹.



Imagen 3.12.- Ejemplo de Aplicación del Sistema de Concreto Lanzado
Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Gunitado>

3.3.2. Procedimiento Constructivo

En aquellos tramos en dónde se requiera recubrir un talud mediante concreto lanzado con un espesor del orden de 6 a 10cm, previa colocación de malla electrosoldada, dicha malla deberá colocarse de arriba hacia abajo conforme el avance del corte.

La malla deberá anclarse al talud mediante anclas cortas, formando una cuadrícula o tresbolillo con separación de 2.00 a 3.00m; donde la superficie sea muy irregular se podrá cerrar la cuadrícula para garantizar que la malla queda pegada a la superficie del talud. La malla deberá cubrir una superficie de aproximadamente 2.00m hacia adentro a partir de la línea de ceros del corte. Los traslapes de la malla deberán ser de 0.30m y deberán amarrarse con alambres en la anclas de varilla en gancho.

Para evitar infiltraciones y cambios volumétricos en el interior del corte, se deberá recubrir mediante zampeado previa colocación de malla metálica.

Este trabajo se puede realizar aprovechando el avance en el vaciado del corte, iniciando con el afine y amacize del talud del corte lo cual permitirá la colocación de malla del tipo electrosoldada de 3.43mm de diámetro y abertura de 100 x 100mm (6-6X 10-10) que se anclará en la pared del corte a partir de la línea de ceros siguiendo el contorno de la cresta y tendiéndola posteriormente sobre el talud de aguas abajo.

⁹ US Army Corps of Engineers. Department of the Army. Engineering and Design. **Standard Practice for Shotcrete**. Manual EM 1110-2-2005. 31 de enero de 1993.

La malla deberá sujetarse a la pared del corte mediante varillas con gancho en la pared superior y de 50cm de longitud, 13mm de diámetro formando una cuadrícula de 2.00m, la terminación de esta malla se hará hasta el nivel superior de cuneta, con lo cual quedará lo suficientemente sujeta y posteriormente anclada en su parte inferior. Los traslapes de la malla serán de 030m y deberán amarrarse con alambre recocido y anclarse debidamente para posteriormente poder aplicar el concreto lanzado.

Se debe tener cuidado de no dejar huecos atrás de los alambres de la malla, para lo cual se podrá variar el ángulo de la boquilla, pero en general deberá permanecer perpendicular a la superficie del talud.

La resistencia del concreto a los 28 días deberá ser de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$.

En cualquier caso los materiales utilizados en la elaboración de los morteros y concretos presentados en estos procedimientos, deberán cumplir con las especificaciones correspondientes.

La superficie donde se lanzará el concreto deberá estar debidamente afinada, perfilada y la malla amacizada perfectamente, en toda su superficie.

Una vez efectuado el amacize y debidamente sujeta la malla al talud, se lanzará el concreto, manteniendo una distancia entre la boquilla y la superficie de aproximadamente 1.00m, el lanzado deberá realizarse moviendo la boquilla en una serie continua de arcos traslapados circulares o elípticos, teniendo cuidado de no dejar huecos atrás de los alambres de la malla, para lograr esto se podrá variar el ángulo de la boquilla, pero en general deberá permanecer perpendicular a la superficie del talud.

La resistencia del concreto a los 28 días deberá de ser $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$.

En cualquier caso los materiales utilizados en la elaboración de los morteros y concretos presentados en estos procedimientos, deberán cumplir con las Normas para Construcción e Instalaciones, de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

3.3.3. Aplicaciones del Concreto Lanzado

Para el caso de taludes, el concreto lanzado es usado como protección temporal de superficies rocosas expuestas que pueden resultar deterioradas ante la exposición a agentes ambientales. Así mismo se utiliza para cubrir de manera permanente taludes o cortes propensos a sufrir de erosión¹⁰.

Así mismo, cuenta con ventajas tales como:

¹⁰ US Army Corps of Engineers. Department of the Army. Engineering and Design. **Standard Practice for Shotcrete**. Manual EM 1110-2-2005. 31 de enero de 1993.

- Excelente adherencia con varios materiales.
- Capacidad de colocación en lugares inaccesibles o de forma irregular.
- Estabilización de taludes, en carreteras, minas y centrales hidroeléctricas.
- En estructuras nuevas, donde se tienen secciones plegadas, delgadas o curvas.
- Recubrimiento de mampostería, tabique o piedra.
- Reparación de estructuras de concretos dañadas.
- Revestimiento de túneles.
- Techos industriales de cascarón conoidal.
- Construcción de albercas.

3.3.4. Ventajas del Concreto Lanzado

- Menor costo de obra, debido a la reducción de trabajo de cimbra.
- Ideal para la reparación de trabes, pisos y muros, ya que puede remplazar por completo la capacidad estructural de áreas defectuosas o dañadas.
- Posee una gran durabilidad y excelente adherencia con el concreto, mampostería y otros materiales como acero y madera.
- Puede colocarse en lugares inaccesibles o en lugares donde no se logra llegar con equipo de bombeo.

3.3.5. Cálculo de Estabilidad para Concreto Lanzado

De manera general, para calcular la estabilidad del sistema de Concreto Lanzado hay que considerar factores como: el tipo de suelo, su posible comportamiento (sea éste como suelo cohesivo, friccionante o cohesivo – friccionante), el ángulo de reposo óptimo para el talud y las cargas que serán soportadas debidas al propio material como a las ubicadas en la corona del talud.

Esto nos servirá para determinar no sólo el tipo de concreto a utilizar y el refuerzo del mismo, sino también el tipo de drenes a ubicar para liberar la presión hidrostática del suelo y las anclas que sostendrán al sistema sobre la superficie del talud.

4. GEOSINTÉTICOS

En este capítulo se definen los términos más generales de los Materiales Geosintéticos, su composición, clasificación, usos y aplicaciones, los organismos internacionales que rigen las normas de diseño con estos materiales. Así mismo, se presenta un caso análogo de aplicación y óptimo funcionamiento a nivel internacional, como uno desarrollado en la zona metropolitana de la Ciudad de México.

4.1. Definición¹

En el término **Geosintéticos** se engloba a un conjunto de materiales artificiales que la industria tecnológica ha desarrollado a partir del último tercio del siglo XX en Europa y Norteamérica, principalmente en los Estados Unidos, al servicio de la construcción, mayormente en obras de Ingeniería Civil, como una nueva opción y complemento a las técnicas y materiales tradicionalmente utilizados, y en la actualidad como herramienta de gran apoyo en disciplinas como el paisajismo, el diseño de exteriores y el urbanismo.

Los Geosintéticos se refieren a cualquier material sintético usado en Ingeniería Geotécnica o en contacto con el suelo².

4.2. Antecedentes

Desde el principio de los tiempos, la búsqueda del ser humano por adaptarse al medio en el que vive y se desarrolla, buscando siempre satisfacer de la mejor manera sus necesidades más básicas e importantes, como habitar, comer, vestir y sobrevivir, lo ha llevado día con día a transformar su entorno para beneficio propio.

Ésta situación, lo ha orillado a ubicar los mejores sitios para desenvolverse donde encuentre, sin mayor problemática, los recursos necesarios para su bien vivir. De otro modo, el hombre tiende a realizar modificaciones al medio que lo rodea pretendiendo satisfacer su hábitat, tal es el caso de la tala de árboles de donde obtiene madera para construir y, habiéndose descubierto la formación del fuego, leña para calentarse, así como hojas para cubrirse y construir sus primeras viviendas; otro caso importante es el desarrollo de diques o contenedores de agua para poder abastecerse a modo de no carecer de tan vital recurso.

Con el paso del tiempo, en su búsqueda de adaptación al medio natural, descubre que no siempre el terreno en el cual se asienta, sobre todo en ciertos lugares cercanos a mantos acuíferos, como riberas, pantanos o lagos, presenta las mismas características que cuando llega a montañas o valles, lo cual, con el transcurso de los años y el desarrollo de nuevas tecnologías, como en su tiempo lo fue la agricultura, lo

¹ Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. **Simposio sobre Geosintéticos - Memorias del Simposio**. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México, julio de 1990.

² Campbell, Danny M. **Avances en Geotextiles**. Simposio sobre Geosintéticos - Memorias del Simposio. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México, julio de 1990.

lleva a buscar medios para poder mantener estable y consistente el suelo sobre el que camina.

Los primeros trabajos relativos a brindar mayor consistencia y estabilidad al suelo se realizaron a partir del uso de hojas de palmas, pieles y fibras vegetales, sobre todo en los suelos más blandos con la finalidad de reforzarlos y evitar la incrustación de materiales que pudieran perjudicar la obra (por pequeña que esta fuera) que se llevara a cabo³. En el sur de Inglaterra se han llevado a cabo estudios que indican que a mediados del siglo II a. C., habitantes de la región utilizaban varas y ramas para hacer caminos en zonas de pantano; en Roma se entretejían ramas para posteriormente poder colocar las piedras del camino (Ver Imagen 4.1); en Asia no es de extrañarse que se utilizaran camas de bambú para el refuerzo del suelo⁴.

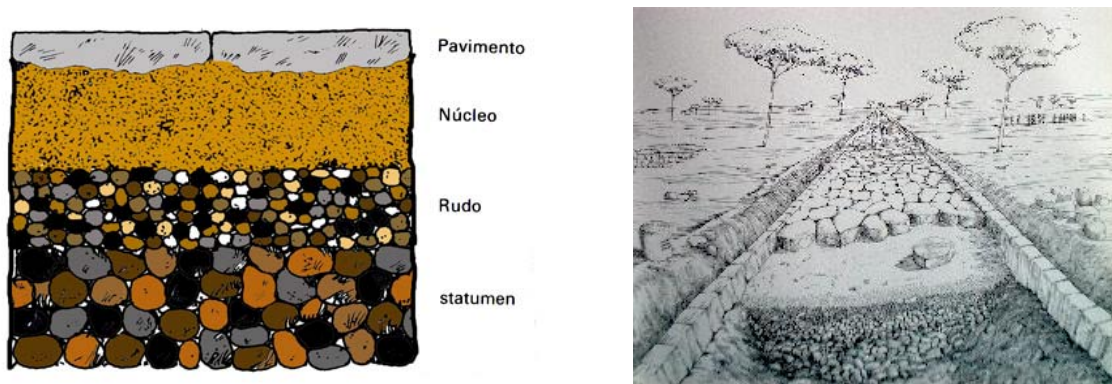


Imagen 4.1.- Ejemplo de refuerzo de suelo en las Calzadas de Roma Antigua.

Fuente: <http://www.catedu.es/aragonromano/calzadas.htm>
<http://www.artifexbalear.org/romanos1.htm>

El paso del tiempo y el constante avance tecnológico han reformado aquellas ideas de refuerzo de suelo con materiales naturales accesibles al hombre, sustituyéndolos con telas y fibras tejidas, aún no tan específicas para obras civiles, a partir de la década de los 60's del siglo XX⁵. Las primeras ocasiones en que se utilizaron fibras textiles de manera específica para obras de ingeniería surgieron en la década de los 70's del siglo XX, a partir de las cuales se adopta el término **Geotextil** y **Geomembrana** para denominar los materiales elaborados a base de polímeros dirigidos a ser empleados en el campo de la Geotecnia.

³ Auvinet G., Gabriel, et. al. **Tendencias actuales en el desarrollo y uso de Geosintéticos**. Simposio sobre Geosintéticos - Memorias del Simposio. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México, julio de 1990.

⁴ Porraz, Mauricio G. **Investigación, desarrollo, aplicaciones y proyección futura**. Simposio sobre Geosintéticos - Memorias del Simposio. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México, julio de 1990.

⁵ Auvinet G., Gabriel, et. al. **Tendencias actuales en el desarrollo y uso de Geosintéticos**. Simposio sobre Geosintéticos - Memorias del Simposio. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México, julio de 1990.

Durante la década de los 80's, el uso y experimentación en el campo de los Geosintéticos, trajo consigo nuevos materiales dirigidos al ramo de la Geotecnia, entre los cuales las **Georredes**, las **Geomallas** y los **Geodrenes** fueron los que cobraron mayor auge dentro de la denominada **Segunda Generación de Geosintéticos**.

Desde su creación, es decir, desde mediados de los años 60 del siglo XX hasta nuestros días, el ramo de los Geosintéticos ha ganado terreno dentro de la construcción de obras de carácter civil, todo esto a base de numerosos estudios teóricos y experimentales, con la finalidad de adquirir la credibilidad y seguridad que toda nueva tecnología representa⁶; por desgracia, a la fecha, dichos materiales no han sido del todo aceptados debido a la falta de difusión y, por tanto, de aceptación del medio en que nos desarrollamos, dado que estamos acostumbrados a creer sólo en aquello que nos ha demostrado con los años que no ha de fallar o que no aparentaría poder hacerlo.

4.3. Composición (Ver Tabla 4.1)

Los Geosintéticos incluyen exclusivamente productos elaborados a base de polímeros (del griego *polys*, que significa muchos, y *meros*, que significa partes = "muchas partes"), debido a las propiedades de ligereza, ductilidad, maleabilidad, imputrescibilidad, alta resistencia química y mecánica⁷ que ellos presentan, y de los cuales se conforman los Geotextiles, Georredes, Geoceldas, Geomembranas, revestimientos Geosintéticos de arcilla, y Geocompuestos⁸.

Polímero	Geosintético
Polipropileno (PP)	Geotextil, Geomembrana, Geocelda, Geocompuestos.
Poliéster (PET)	Geotextil, Geocelda.
Polietileno en redes (PE)	Geotextil, Geomembrana, Geocelda, Geotubo, Geomalla, Geocompuestos.
Polivinil clorado (PVC)	Geomembrana, Geotubo, Geocompuestos.
Poliestireno (PS)	Geocompuestos, Geoespumas.
Nylon (PA)	Geotextil, Geomembrana, Geocelda, Geotubo, Geomalla, Geocompuestos.

Tabla 4.1.- Materiales utilizados en la fabricación de Geosintéticos⁹.

⁶ Auvinet G., Gabriel, et. al. **Tendencias actuales en el desarrollo y uso de Geosintéticos**. Simposio sobre Geosintéticos - Memorias del Simposio. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México, julio de 1990.

⁷ Ramírez M., Alejandro. **Los Geosintéticos y el Ingeniero de Diseño**. Simposio sobre Geosintéticos - Memorias del Simposio. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México, julio de 1990.

⁸ Ling, Hoe I. **Civil and Enviromental Applications of Geosynthetics**. Reinforced Soil Engineering – Advances in Research and Practice. Marcel Dekker, Inc. New York, 2003.

⁹ López de Juambelz, Rocío. **Taludes: Aspectos Formales y Técnicos**. Facultad de Arquitectura, UNAM. México, 2004.

Un material polimérico consiste en partes unidas que conforman un todo, las cuales reciben el nombre de monómeros, que es la unidad química utilizada para obtener el polímero¹⁰. Los polímeros más empleados en la fabricación de los materiales Geosintéticos son: polipropileno (PP), poliéster (PET), polietileno en redes (PE), polivinil clorado (PVC), poliestireno (PS) y poliamida o nylon (PA)¹¹ (Ver Tabla 4.2), y sus propiedades de resistencia pueden ser incrementadas con un tratamiento térmico y de pre-tensión¹².

Polímero	Ante la flama	Velocidad de ignición	Auto extinción	Cambio con el calor	Olor	Ceniza	Color de la flama
Polipropileno (PP)	Arruga, enchina, derrite	Rápida	No	Retiro de flama se quema muy despacio	Asfalto quemado	Dura, casi dorada	La base no es azul
Poliéster (PET)	No hay cambios	Lenta	-----	Derrite, escurre	Floral	-----	Amarilla con humo, brinca y chispea
Polietileno en redes (PE)	Arruga, enchina, derrite	Rápida	No	Aclara, derrite, escurre	Cera derretida	Suave, del color del material	Rápida
Polivinil clorado (PVC)	No hay cambios	Lenta	Si	Se suaviza	Desagradable ácido	Sólo humo blanco	Amarilla y verde
Poliestireno (PS)	-----	Rápido	Rápido	-----	-----	-----	Naranja, amarilla, brinca y chispea
Nylon (PA)	-----	Muy difícil	No	-----	Lana o pelo	-----	Ligeramente verde, azul y la punta amarilla

Tabla 4.2.- Características de ignición de los polímeros utilizados para la fabricación de Geosintéticos¹³.

¹⁰ López de Juambelz, Rocío. **Taludes: Aspectos Formales y Técnicos**. Facultad de Arquitectura, UNAM. México, 2004.

¹¹ Murillo F., Rodrigo. **Hidráulica de Geosintéticos**. Simposio sobre Geosintéticos - Memorias del Simposio. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México, julio de 1990.

¹² Ramírez M., Alejandro. *op. cit.*

¹³ López de Juambelz, Rocío. **Taludes: Aspectos Formales y Técnicos**. Facultad de Arquitectura, UNAM. México, 2004.

Los principales factores que influyen de manera directa en la manufactura de los Geosintéticos son: el tipo de polímero utilizado (mencionados en el párrafo anterior), el tipo de fibra y el tipo de tela que se maneje¹⁴.

Las fibras a utilizar pueden ser de tipo monofilamentosas, multifilamentosas o torcidas. Dichos filamentos pueden ser cortados en piezas cortas, las que posteriormente se tuercen o hilan para formar el hilo. Una vez obtenido el hilo se hace la tela, la cual puede ser tejida o no tejida; ésta última condición repercutirá en sus características físicas, mecánicas e hidráulicas¹⁵.

Otra característica que resulta de gran importancia en los polímeros y que, por ende, afecta el comportamiento de los geosintéticos es la cristalinidad que presente el mismo (Ver Imagen 4.2). El material puede ser termoplástico amorfo o termoplástico semicristalino; ésta característica se relaciona con un incremento en la dureza, resistencia al calor, resistencia a la tensión, resistencia química e inversamente, en un decremento a la permeabilidad, flexibilidad, elongación o falla de tensión¹⁶.

4.4. Clasificación^{17 18 19 20 21}

Además de poder ser clasificados de acuerdo al polímero del cual fueron fabricados, a los productos Geosintéticos es posible ubicarlos por categorías, que de manera general están divididas en tres grandes grupos que son los Geotextiles, las Georedes y las Geomembranas (Ver Tabla 4.3), las cuales se mencionan a continuación:

4.4.1. Geotextiles: Tienen la principal característica de ser telas permeables. Generalmente, los Geotextiles se clasifican por su método de producción o por el polímero de origen (como se mencionó anteriormente). Gran parte de ellos se ubican en los rubros de Tejidos y No Tejidos y son fabricados con fibras de Poliéster (PET) o de Polipropileno (PS).

¹⁴ López de Juambelz, Rocío. **Taludes: Aspectos Formales y Técnicos**. Facultad de Arquitectura, UNAM. México, 2004.

¹⁵ Ídem.

¹⁶ Ídem.

¹⁷ Porraz, Mauricio G. **Investigación, desarrollo, aplicaciones y proyección futura**. Simposio sobre Geosintéticos - Memorias del Simposio. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México, julio de 1990.

¹⁸ Campbell, Danny M. **Avances en Geotextiles**. Simposio sobre Geosintéticos - Memorias del Simposio. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México, julio de 1990.

¹⁹ Ramírez M., Alejandro. **Los Geosintéticos y el Ingeniero de Diseño**. Simposio sobre Geosintéticos - Memorias del Simposio. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México, julio de 1990.

²⁰ Auvinet G., Gabriel, et. al. **Tendencias actuales en el desarrollo y uso de Geosintéticos**. Simposio sobre Geosintéticos - Memorias del Simposio. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México, julio de 1990.

²¹ Murillo F., Rodrigo. **Hidráulica de Geosintéticos**. Simposio sobre Geosintéticos - Memorias del Simposio. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México, julio de 1990.

Los Geotextiles son materiales de construcciones flexibles y permeables a los fluidos, capaces de retener partículas de suelos mayores que el tamaño de sus poros, que han sido diseñados y fabricados para trabajos de Ingeniería Civil, y actualmente, en cubiertas tipo velarias, donde el material ha demostrado buen trabajo (Internacional Geosynthetic Society, 1990).

Geosintético	Característica	Función
Geotextil	Telas permeables de polímero de hilo continuo	Separar, revestir, filtrar, evitar erosión.
Tejidos	Fibras orientadas en dos direcciones	Alta resistencia a la tensión, refuerzo.
No Tejidos	Fibras con acomodo aleatorio, unidas por calor o punzonado	Transmisibilidad de flujo en un plano, drenaje.
Geomembrana	Lámina de baja permeabilidad, por extrusión, calandreo o impregnación del sustrato con polietileno, vinilo, butilo, neopreno.	Control de la migración de fluidos.
Geored	Estructura en forma de red.	De acuerdo a la conformación.
Orientada		
Mono	Tensadas longitudinalmente en forma uniaxial formando costillas en forma rectangular o de elipse.	Estabilización.
Bi	Tensadas longitudinalmente y transversalmente en forma biaxial formando parrillas casi cuadradas.	Refuerzo.
No Orientada	Por extrusión en arreglos geométricos regulares.	Alta permeabilidad en un plan, conducción de líquidos.
Geodren	Combinación de redes no orientadas con geotextiles no tejidos, lo que forma un dren de alto flujo.	Conduce y filtra líquidos, en sistemas de impermeabilización para eliminar fugas.
Geocompuesto	Combinación de características.	
Geotextil con Arcilla	Geotextil o geomembrana sellado en las orillas y con capa intermedia de bentonita.	Impermeabilizante flexible que permite continuidad de material.
Combinación de Geosintéticos	Dos o más geosintéticos cuyas principales funciones se mezclan para dar nuevas soluciones a problemas específicos.	Infinidad de funciones.
Geocelda	Tridimensional a partir de geotextiles o geomembranas.	Confinamiento de suelo, control de erosión o plantación.
Geomalla	Estructura tridimensional.	Retener suelo, detener escurrimiento, siembre o plantación.

Tabla 4.3.- Clasificación de los Geosintéticos²².

4.4.1.1. Geotextiles tejidos: Que cuentan con alta resistencia, elongación limitada y una resistencia útil a través del tiempo con carga continua (*creep*) razonable. Son producidos con fibras, o combinaciones de fibras, orientadas en dos direcciones principales (Ej. Telas para ropa) (Ver Imagen 4.2).

4.4.1.2. Geotextiles no Tejidos: En los cuales se tienen los bidimensionales (termosoldados), entrelazados mecánicamente (de espesor controlado) y los impregnados. Son producidos con fibras en acomodos aleatorios y unidos por medio de calor, punzonado, resinas

²² López de Juambelz, Rocío. **Taludes: Aspectos Formales y Técnicos.** Facultad de Arquitectura, UNAM. México, 2004.

químicas o combinaciones de varios de los métodos anteriores (Ver Imagen 4.2).

4.4.1.3. Termosellados: en los cuales no existe movimiento relativo entre las fibras. Son productos ligeros de espesor reducido. Presentan una amplia variedad de tamaños de abertura entre los filamentos (Ver Imagen 4.2).

4.4.1.4. Entrelazados Mecánicamente: Donde existe movimiento relativo entre las fibras. Son productos con apariencia de felpa, gruesos. Sus tamaños de abertura no son tan variados como en los termosellados. Su espesor y permeabilidad varían con la presión.

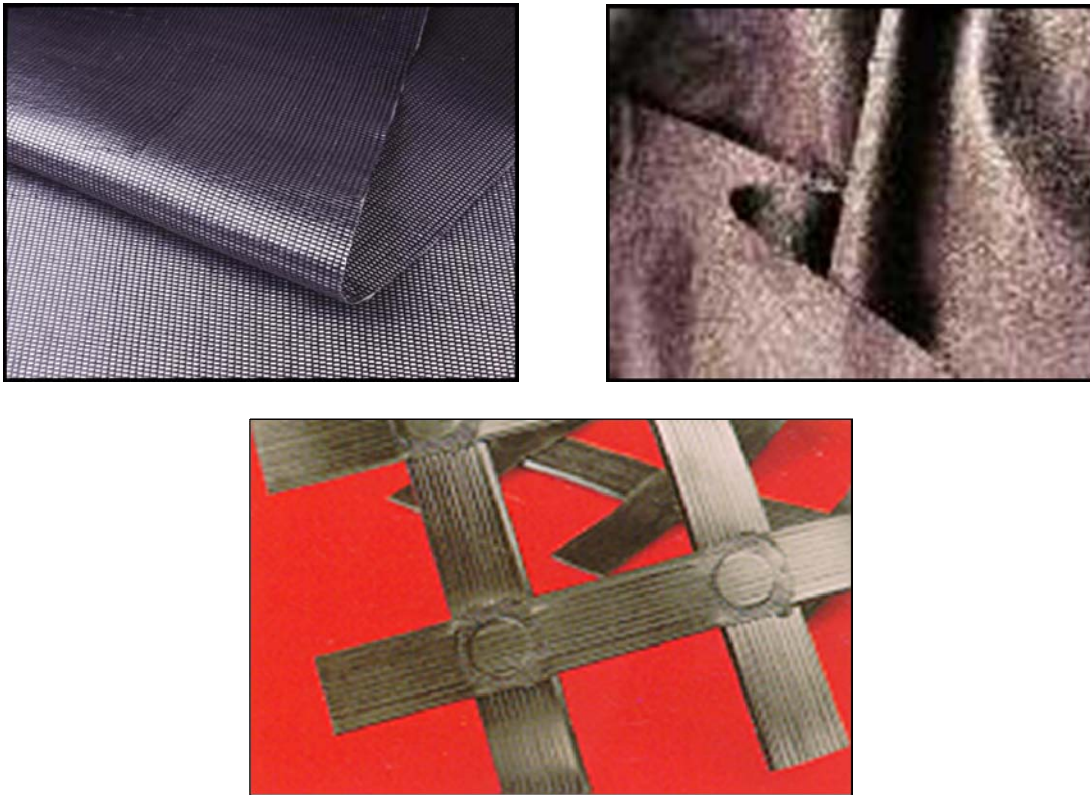


Imagen 4.2.- De Izquierda a Derecha: (Arriba) Geotextil Tejido, Geotextil No Tejido y (Abajo) Geotextil Soldado.

4.4.2. Georedes: De alta resistencia a la tracción, desde 20Kn/m hasta 150kn/m²³, alto módulo y bajo flujo plástico, son estructuras en forma de red, fabricadas a partir de láminas de Polietileno de Alta Densidad (PE) y Polipropileno (PP). El proceso se inicia mediante la perforación de hoyos en la lámina, para posteriormente someter el material a calentamiento y orientación mediante rodillos giratorios en serie que jalan al material,

²³ ML Ingeniería

obligándolo a elongarse en el sentido de la tracción. Los rodillos giran a velocidades mayores a medida que la lámina avanza de un rodillo al siguiente.

4.4.2.1. Orientadas: Resultan cuando el proceso de elaboración de la Geored se lleva a cabo únicamente en un sentido, dando como resultado las Georedes Uniaxialmente Orientadas, que tienen aberturas en forma de elipse. Para la elaboración de éstas se emplea el Polietileno de Alta Densidad (PE) (Ver Imagen 4.3).

4.4.2.2. Biorientadas: Cuando el proceso de orientación se lleva a cabo sobre láminas de Polipropileno (PP) y las mismas se orientan tanto en el sentido longitudinal como en el sentido transversal, se ha fabricado una Geored Biaxialmente Orientada, cuyas aberturas son casi cuadradas (Ver Imagen 4.3).

Aún cuando pudiera apreciarse cierta semejanza entre los usos de los Geotextiles y las Georedes, la gran diferencia radica en las características de flujo plástico entre ambos tipos de materiales, el cual en las Georedes Orientadas es bajo.

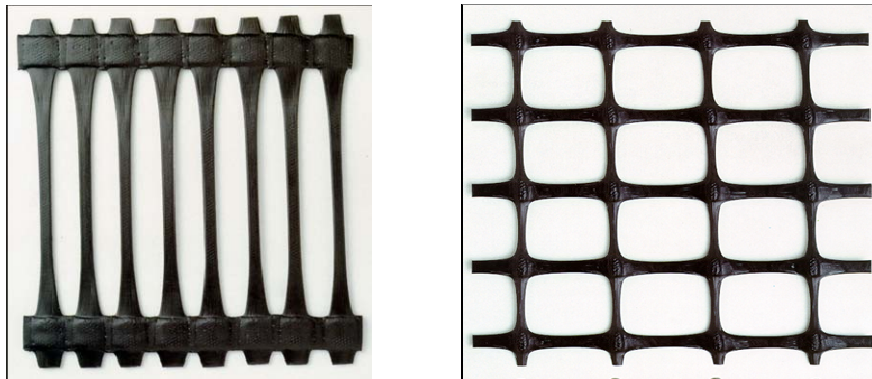


Imagen 4.3.- De Izquierda a Derecha: Geored Monoorientada y Geored Biorientada.

4.4.2.3. Georedes No Orientadas: Son fabricadas mediante procesos de extrusión, filamentos gruesos de plástico se disponen en arreglos geométricos regulares, formando redes cuyas aberturas típicas son del orden de 8mm X 8mm, aunque existen otros tamaños. Al no ser orientadas, no son aplicables para reforzar, pero poseen altos valores de transmisibilidad (permeabilidad en su plano), por lo que su uso se limita a la conducción de líquidos, funcionando como drenes.

4.4.3. Geomembranas: Son láminas sintéticas con permeabilidad muy baja y alta deformabilidad (Ver Imagen 4.4) que se emplean en combinación con otros materiales Geotécnicos para controlar o actuar como barrera a la

migración de un fluido. Se producen a través de la extrusión directa en película plana (láminas) o cilíndrica, en diferentes espesores y anchos; o a partir del proceso de calandreo o el de impregnación de un sustrato con el polímero en forma líquida. Pueden ser mixtas aplicando a Geotextiles una o varias capas poliméricas o bien, aplicando dispersión plástica (Ver Imagen 4.5).

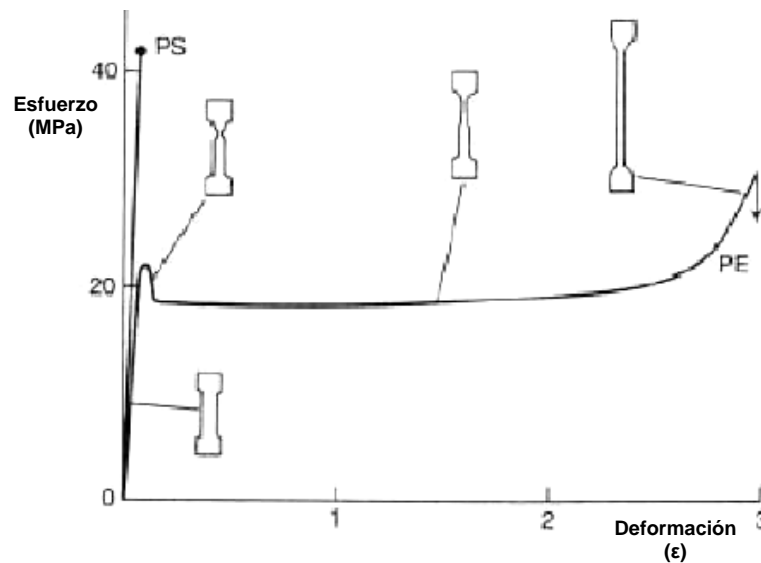


Imagen 4.4.- Curva Esfuerzo - Deformación de Geomembranas de Polietileno de Alta Densidad (HDPE).

Fuente: Bravo Celis, José Patricio. **Estudio del Fenómeno de Craqueo por Tensión Ambiental.**

Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería de los Materiales. Diciembre, 2003.

<http://cabierta.uchile.cl/revista/26/articulos/pdf/paper6.pdf>



Imagen 4.5.- Ejemplo de Geomembranas.

Las Geomembranas son recubrimientos sintéticos impermeables a fluidos y partículas, que se utilizan en Ingeniería Geotécnica (Internacional Geosynthetic Society, 1990).

4.4.4. Geodrenes: Son combinaciones de Georedes No Orientadas, laminadas con Geotextiles en uno o ambos lados de la red, formando un auténtico dren sintético. La red proporciona el medio de conducción de los fluidos, y los Geotextiles proporcionan el medio filtrante.

4.4.5. Geoceldas o Geomatrices.- Son estructuras tridimensionales fabricadas a partir de tiras de Geotextiles unidas entre sí mediante diversos procedimientos, existiendo también el caso donde la materia prima son tiras de Geomembrana. El empleo de las Geoceldas es en aplicaciones de control de erosión y también para confinamiento de suelos (Ver Imagen 4.6).

4.4.6. Geomallas.- Son estructuras tridimensionales de muy diversos tipos, empleadas en obras de revegetación y reforestación. Se colocan sobre taludes, cortes erosionados, en el área de descarga de alcantarillas de terraplenes, etc., protegiendo capas de relleno de suelo sembrado, teniendo la doble función de retener al suelo y la semilla de la erosión y detener los escurrimientos de agua.

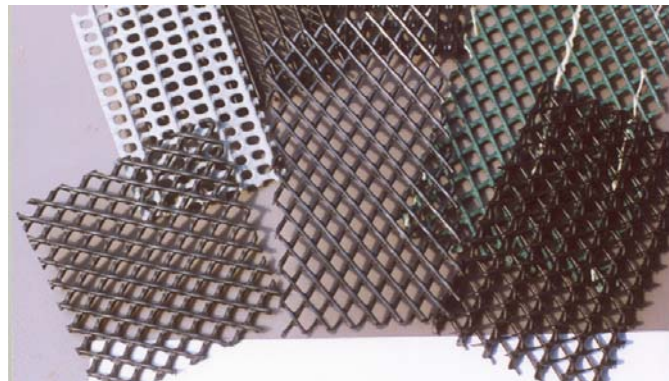


Imagen 4.6.- Ejemplo de Geoceldas.

4.4.7. Geocompuestos.- Todos aquellos productos Geosintéticos que no se adecuan con las definiciones y rubros anteriores.

4.4.7.1. Geocompuesto Geotextil/Bentonita: Mediante el procedimiento textil de entrelazado mecánico (o punzonamiento con agujas) se producen láminas flexibles de bentonita sódica encapsulada por sus dos lados con Geotextiles.

4.5. Funciones (Ver Imagen 4.7)

Los productos Geosintéticos llevan a cabo, como funciones principales: separación, refuerzo, filtración, drenaje, control de la permeabilidad, contención (como barrera hidráulica) e impermeabilización²⁴.

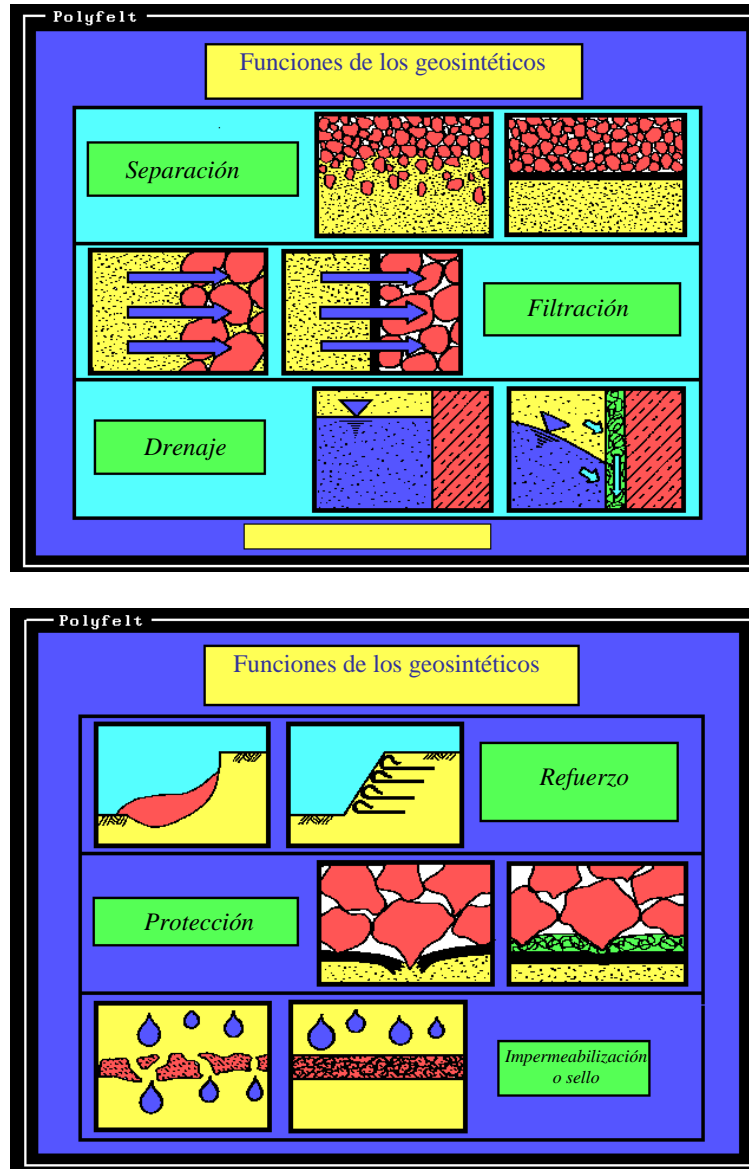


Imagen 4.7.- Funciones de los Geosintéticos.

Fuente: Reyes Ramírez, Rosenberg. Ph.D. **Introducción a Geosintéticos: Geotextiles.** Universidad de las Américas Puebla. Ponencia para Geoaméricas 2008. Cancún, México, marzo de 2008.

²⁴ Auvinet G., Gabriel, et. al. **Tendencias actuales en el desarrollo y uso de Geosintéticos.** Simposio sobre Geosintéticos - Memorias del Simposio. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México, julio de 1990.

Usos de los Geotextiles según Koerner (1990)²⁵:

- 4.5.1. Separación:** En el que el Geotextil establece una frontera permeable entre diferentes masas de suelo o roca, segregando de este modo dos o más tamaños de partículas, preservando con ello la resistencia y permeabilidad de agregados y otro tipo de materiales selectos, previniendo su contaminación o alteración con suelos cohesivos.
- 4.5.2. Refuerzo:** El Geotextil brinda y aumenta la resistencia a la tensión a un sistema tierra/Geosintético, incrementando la estabilidad estructural del elemento en que se trabaje.
- 4.5.3. Filtración:** Se define como el sistema en equilibrio Geotextil/suelo que permite el libre flujo de agua, sin pérdida de suelo, a través del plano del textil, durante un lapso indefinidamente largo.
- 4.5.4. Drenaje:** Es el sistema en equilibrio Geotextil/suelo, que permite el libre flujo del agua sin pérdida de suelo, en el plano del Geotextil, durante un lapso indefinidamente largo.
- 4.5.5. Control de la Permeabilidad.-** Se refiere a la aplicación de Geomembranas elaboradas en el lugar, que consiste de Geotextiles impregnados generalmente con productos asfálticos, para reducir su permeabilidad.

Así mismo, los Geosintéticos cuentan con otros usos como los que a continuación se mencionan²⁶:

- 4.5.6. De Confinamiento.-** Donde las pruebas realizadas de esta función, la cual se lleva a cabo *in situ*, han tenido éxito, aún en situaciones adversas como el trabajo en el fondo del agua.
- 4.5.7. De Contención.-** Envoltiendo el elemento trabajado, como pudiera ser un talud, restaurándolo con el mismo material.
- 4.5.8. De Armado.-** Minimizando fallas, riesgos y daños eventuales en elementos de baja resistencia de soporte de cargas verticales, como podría ser en un camino carretero.

²⁵ Ramírez M., Alejandro. **Los Geosintéticos y el Ingeniero de Diseño.** Simposio sobre Geosintéticos - Memorias del Simposio. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México, julio de 1990.

²⁶ Porraz, Mauricio G. **Investigación, desarrollo, aplicaciones y proyección futura.** Simposio sobre Geosintéticos - Memorias del Simposio. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México, julio de 1990.

4.5.9. De Anti-Socavación.- Limitando la fuga de finos a través de enrocamientos, controlando la erosión al pie de estructuras expuestas a erosión costera.

4.5.10. De Efecto Fibroso.- Integrando microrredes en mezclas fraguables como un refuerzo secundario.

4.6. Organismos en el ramo de los Geosintéticos

4.6.1. GMA - Asociación de Materiales Geosintéticos²⁷

La Asociación de Materiales Geosintéticos (en inglés GMA) es un organismo perteneciente a IFAI (Industrial Fabrics Association International)²⁸ integrada por empresas fabricantes y proveedoras de materiales geosintéticos empleados fundamentalmente en el campo de la ingeniería civil, particularmente en sus áreas de geotecnia, vías terrestres, ambiental, hidráulica y sanitaria.

GMA tiene su sede en Roseville, Minnesota, E.U.A., y constituye una asociación técnica no lucrativa cuyo propósito primordial es el de servir como un centro de información, educación y asesoría para promover el conocimiento, aceptación, uso y correcta aplicación de los materiales geosintéticos, mediante acciones emprendidas por comités técnicos y educativos.

Reconociendo que nuestro país posee un gran potencial de desarrollo en el área de los geosintéticos, GMA decidió crear el grupo de trabajo “México”, abriendo una oficina de representación en esta ciudad, cuyas funciones iniciaron en enero del año 2000. El objetivo principal de GMA México consiste en difundir el empleo de estos materiales como una opción más de solución a diversos problemas dentro de las actividades ingenieriles relacionadas.

²⁷ <http://www.gmanow.com/index.php?option=displaypage&Itemid=91&op=page&SubMenu=>

²⁸ La Asociación Internacional de Telas Industriales (IFAI en inglés) es un organismo sin fines de lucro con alrededor de 2000 empresas afiliadas en 46 países, constituyendo la mayor asociación al servicio del mercado global de las telas.

Esta Asociación nació en 1912 y es la primera fuente de recursos e información técnica para las telas industriales, con los objetivos principales de facilitar el desarrollo mundial, la aplicación y la promoción de los productos manufacturados por esta industria.

Para el cumplimiento de sus objetivos IFAL ofrece y organiza programas educativos, conferencias, congresos y exposiciones. La Asociación está dividida en 11 divisiones (una de las cuales es precisamente GMA) de acuerdo a las diferentes aplicaciones de esta industria, y es responsable de 5 publicaciones periódicas entre las que aparece GFR (Geotechnical Fabrics Report).

4.6.1.1. Acciones de GMA²⁹

Las acciones realizadas por GMA desde los inicios de sus actividades en México se resumen en los siguientes puntos:

- Apertura de una oficina de representación en la ciudad de México.
- Afiliación a la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción.
- Impresión de material promocional y educativo en español (manuales, revistas, folletos, etc.).
- Contacto con diversos grupos técnicos y educativos tales como: Escuelas y Facultades de Ingeniería, compañías fabricantes de geosintéticos en México, empresas representantes y distribuidoras, compañías privadas de consultoría, Sociedades y Asociaciones Técnicas.
- Elaboración de material audiovisual con carácter educativo.
- Participación y organización de cursos, conferencias, seminarios, pláticas, sobre temas generales o tópicos de interés particular (refuerzo de pavimentos, control de erosión, estabilidad de taludes, rellenos sanitarios, drenaje y filtración, impermeabilización, etc.), y como ejemplos se puede mencionar el Simposio “Uso de Materiales Geosintéticos en la Ingeniería Geotécnica” en Junio de 2001 en colaboración con la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, en Abril de 2003 se impartió el seminario “Geosintéticos, una alternativa en la Ingeniería de Hoy” y colaborando con la Facultad de Arquitectura de la UNAM, se organizó el “Encuentro Interdisciplinario para el diseño de sistemas de retención y protección de taludes”, en Septiembre de 2003.
- Establecer contactos con entidades públicas relacionadas con cualquier área de aplicación de los Geosintéticos.
- Elaboración de manuales en español que incluyan criterios de diseño, control de calidad, aplicaciones específicas, etc.

4.6.1.2. Organización de GMA³⁰

GMA está compuesta por un Consejo Ejecutivo, abierto a cualquier empresa fabricante de materiales geosintéticos, y por una membresía general compuesta por cualquier

²⁹ <http://www.gmanow.com/index.php?option=displaypage&Itemid=91&op=page&SubMenu=>

³⁰ <http://www.gmanow.com/index.php?option=displaypage&Itemid=91&op=page&SubMenu=>

empresa o persona relacionada con esta industria (consultores, distribuidores, laboratorios, instaladores, etc.).

Adicionalmente GMA tiene Grupos o Comités de trabajo cuyas actividades se enfocan a mercados específicos, productos o necesidades especiales. Así, se tiene un Comité de Finanzas, y Grupos de trabajo sobre geotextiles, productos para pavimentos, ambiental, y el Grupo México, así como diversos subcomités que se encargan de establecer relaciones y convenios con diversas oficinas estatales y federales.

La Asociación de Materiales Geosintéticos tiene 33 empresas afiliadas en Estados Unidos, y a partir de diciembre de 2003, varias compañías mexicanas han decidido unirse de manera directa al esfuerzo que realiza GMA para la consecución de sus objetivos.

Para abril de 2004, las empresas mexicanas que son ya miembros de GMA son las siguientes:

- Promotora Mexicana de Industrias S.A. de C.V.
- Ingeniería Internacional con Asesoría y Representaciones en México, S.A. de C.V.
- Maccaferri de México, S.A. de C.V.
- Soluciones Ambientales Integrales S.A. de C.V.
- Tenax S.A. de C.V.
- Geo - Productos Mexicanos S.A. de C.V.

4.7. Casos Análogos de Trabajo con Geosintéticos en Taludes

4.7.1. Internacional - San Salvador, República del Salvador³¹

El 13 de enero de 2001 se registró un terremoto de 7.6° en la escala de Richter en la ciudad de San Salvador, República del Salvador, debido al cual se generó un derrumbe en una zona de la serranía de Santa Tecla estimado en los 600,000m³ de tierra. El recuento de los daños arrojó un total de 1,500 viviendas perdidas y el deceso de 830 personas entre los escombros del desastre.

Tras haber transcurrido un mes, en el cual se presentaron cerca de 3,000 réplicas de sismo, se registró otro terremoto de magnitud similar al primero donde el estado de emergencia fue declarado en todo el país debido a semejante catástrofe.

³¹ Tomado de la Revista GFR - Geotechnical Fabrics Report. Edición Especial 2002 en español. México, 2002.

Tras la situación vivida en este país centroamericano el daño fue estimado en un total de 1.3 millones de damnificados.

Según datos obtenidos del código de construcción de El Salvador, los taludes que se vieron afectados ante esta situación estaban dispuestos para soportar una aceleración menor a la que los terremotos registrados produjeron en ellos, es decir, los esfuerzos a los que se sometieron durante el evento sísmico fueron mayores que los que podrían resistir.

Con la finalidad de dar adecuada solución a la problemática de los taludes dañados en esta región se realizaron trabajos de consultoría para seleccionar la opción más viable que pudiera reducir los riesgos en la zona de desastre y garantizar la estabilidad de los mismos ante la posible presencia de otro evento similar en un tiempo determinado.

Uno de los casos de estudio que se intervinieron en ese momento es el de un talud tipo con una longitud de 100m, donde por motivos de seguridad se realizaron los estudios geotécnicos correspondientes a lo largo de 400m, donde las alturas de dicho talud oscilaban entre los 3 y los 14 metros.

Tras haber analizado a detalle los estudios de laboratorio realizados en la zona, se rediseñaron los perfiles topográficos de la zona afectada, en la cual se contempló un muro de contención de 14m de altura y 12m de base en la parte baja del talud; aunado a ello se requerían construir terrazas en la parte superior del talud, a modo de que con estos cambios se incrementaran las propiedades mecánicas del terreno y lograr aumentar los factores de seguridad del mismo para soportar eventos tan fuertes como el presentado con anterioridad.

Así mismo, al estudiar el comportamiento mecánico del suelo y detectar su baja capacidad de carga, su alta reacción ante aceleraciones sísmicas y el poco tiempo con el que se contaba para trabajar y regenerar el sitio, se decidió hacer uso de Geomallas como refuerzo del muro de contención propuesto y de los sistemas de control de la erosión con mantos sintéticos.

Tras someter las características y datos obtenidos del caso de estudio, a una metodología de cálculo de estabilidad interna del muro se contempló el refuerzo horizontal con una Geomalla de poliéster de alta tenacidad calculada en su totalidad (resistencia, resistencia de diseño, separación y longitud horizontal) para dicho trabajo.

Para la estabilidad externa del muro se analizaron la capacidad de carga, el volteo del muro, así como el deslizamiento de la masa de suelo reforzada. La base del muro fue definida para brindar estabilidad general a todo el sistema de contención y prevención de erosión.

Durante un sismo, el material retenido ejerce fuerzas dinámicas horizontales en la estructura, aunada a la carga estática de diseño. Así mismo, el muro estará sujeto a

una fuerza de inercia horizontal que incrementa las cargas que pudieran dañar el suelo reforzado. La estabilidad interna y externa del muro se analizan por métodos numéricos que detallen a fondo la magnitud y dirección de las fuerzas que actúen en él durante un evento sísmico.

El grado de tolerancia a la deformación de un muro de este tipo dependerá de la naturaleza del mismo (en cuanto a sus componentes) y las cargas que soporta, así como de su entorno³².

Para el diseño sísmico de un muro mecánicamente estabilizado, se consideran procedimientos normalizados, basados en estudios y datos registrados a lo largo del tiempo, donde se engloban casos semejantes para generar patrones de diseño, como lo indica la norma AASHTO División 1 - A Sección 3 - Diseño Sísmico³³, en la cual se indica que, para el caso de muros mecánicamente estabilizados, cuando la aceleración máxima registrada durante un sismo en el sitio de trabajo resulta menor o igual a 0.05 regirá el criterio de diseño estático, y las fuerzas dinámicas serán despreciadas. En cambio, cuando el registro sea mayor a 0.29 es posible que ocurran movimientos laterales significantes, por lo cual un especialista en diseño sísmico deberá revisar la estabilidad y potencial de deformación en la estructura planteada.

La fuerza de inercia generada durante un evento sísmico incrementa las fuerzas de tensión máximas en los refuerzos. En el caso del refuerzo con Geosintéticos, éstos serán diseñados para resistir las componentes estáticas y dinámicas de las cargas que intervengan.

Los métodos de diseño recomendados con respecto a carga sísmica han sido desarrollados para refuerzos incapaces de extenderse, pero pueden ser utilizados en refuerzos extensibles, como el caso de los Geosintéticos.

La extensibilidad de los refuerzos afecta la rigidez de la masa de suelo reforzado. Así como esta propiedad de los refuerzos reduce dicha rigidez, se espera que tenga influencia en el diagrama de diseño de las presiones laterales del suelo inducidas por carga sísmica. Tal como la rigidez decrece, el amortiguamiento se incrementa y la amplificación de onda debe igualmente decrecer. De este modo, la fuerza de inercia resultante no debe ser muy diferente a la desarrollada cuando el refuerzo es inextensible³⁴.

En la cara del talud se colocó un sistema de control de erosión con un manto de revegetación, cubriendo con él una superficie total de 6,000m², mostrando resultados satisfactorios, donde se produjeron brotes de pasto incrustados en menos de tres

³² **Fuente:** U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. **Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes. Design & Construction Guidelines.** Página 39. Publication No. FHWA-NHI-00-043. NHI Course No. 132042. NHI - National Highway Institute. Office of Bridge Technology. USA, Marzo 2001.

³³ *Ídem.* Página 39.

³⁴ *Ídem.* Página 114 - 116.

meses de su colocación, con lo cual no sólo se contribuyó al medio ambiente, sino a reducir el impacto visual que la contención del talud con otro sistema podría haberse generado (Ver Imagen 4.8).



Imagen 4.8.- Ejemplo de aplicación en San Salvador.

Fuente: Ortiz Gómez, Carlos. **Terremoto en El Salvador. Control de Deslizamientos.** Revista GFR - Geotechnical Fabrics Report. Edición Especial 2002 en español. Páginas 17 - 19. México, 2002.

Por razones obvias en el estudio de los taludes se contempló un sistema de drenaje para la reducción de presiones hidrostáticas a base de tuberías perforadas incluidas en el sistema de contención, y cunetas del mismo material en la parte profunda de las terrazas para el desvío de las aguas superficiales.

Para garantizar el desarrollo adecuado de la geometría prevista en el muro de contención se utilizó un sistema de tableros metálicos inclinados a 10° respecto a la vertical como guías para la obra. Las Geomallas se colocaron en el sentido horizontal a modo de capas espaciadas y compactadas según cálculo.

El manto de control de erosión se colocó en la parte externa de las capas con el fin de impedir la fuga de material fino a través de los espacios propios de las Geomallas (Ver Imagen 4.9).

Tras este trabajo, se concluyó que el sistema de Geomallas como refuerzo en muros de contención demostró ser más económico en costos directos e indirectos en comparación con los tradicionales muros de concreto reforzado.

En zonas de alta sismicidad - como puede ser también la Ciudad de México - los muros estabilizados y reforzados con Geomallas muestran la propiedad de ser flexibles, condición necesaria en este tipo de regiones.

Hay que resaltar que éstos muros, debido a su flexibilidad son suficientemente resistentes a las fuerzas dinámicas generadas por un evento sísmico como se ha podido comprobar en varios sismos recientes alrededor del mundo, uno de ellos, el caso que se presentó en este apartado.



Imagen 4.9.- Ejemplo de aplicación en San Salvador.

Fuente: Ortiz Gómez, Carlos. **Terremoto en El Salvador. Control de Deslizamientos.** Revista GFR - Geotechnical Fabrics Report. Edición Especial 2002 en español. Páginas 17 - 19. México, 2002.

Gracias al procedimiento constructivo con Geosintéticos fue posible estabilizar una zona de riesgo en un periodo de tiempo relativamente corto (90 días aproximadamente).

4.7.2. Nacional - Huixquilucan, Estado de México³⁵

A lo largo de los últimos 30 años, el constante y desmedido crecimiento poblacional ha traído consigo el esparcimiento descontrolado de los asentamientos humanos en la Ciudad de México y su Zona Metropolitana; así, municipios como Nezahualcóyotl, Ixtapaluca y Valle de Chalco al oriente del Distrito Federal, Ecatepec, Coacalco, Tultitlán y Tlalnepantla al norte, y Huixquilucan, Atizapán y Naucalpan al nor – poniente de la capital se han convertido poco a poco en parte de la ciudad misma, habiendo sido absorbidos casi en su totalidad por la mancha urbana.

Esta misma expansión de los asentamientos humanos ha generado la necesidad de cobertura de las necesidades básicas para la población, tales como urbanización de predios y colonias, agua, drenaje, luz, teléfono, entre otras, como estaciones de servicio, centros comerciales, centros de entretenimiento, etc., cada uno de ellos de acuerdo al tipo de población que se atiende por zona.

La zona poniente de la Ciudad de México se ha ido caracterizando por ser una zona de alto desarrollo económico, donde aquello que en algún momento fuera el basurero central, ha sido reutilizado con el fin de generar un nuevo centro de alto impacto económico para la ciudad capital, en donde no sólo se empieza a ver el traslado de las grandes oficinas de los más importantes corporativos del país, sino el desarrollo de numerosos conjuntos residenciales, que a su vez requieren servicios correspondientes con el nivel de vida que ahí se desenvuelve.

³⁵ Tomado de la Revista GFR - Geotechnical Fabrics Report. Edición Especial 2002 en español. México, 2002

En la zona de Santa Fe y Bosque de las Lomas en la Ciudad de México, y en el municipio de Huixquilucan perteneciente al Estado de México, se ha generado infraestructura de grandes dimensiones y variados géneros, todo ello con el fin de dar a este nuevo centro urbano el carácter e importancia de acuerdo a lo que en él se contiene.

Dentro de las obras que en la zona se han desarrollado, debido a lo accidentado de la orografía de la región, aparecen cortes y sistemas para contención de taludes, todos ellos de gran magnitud, dadas las condiciones urbanas de la zona, lo cual implica realizar complicadas obras de movimiento de tierras.

En marzo de 2001, en la zona denominada como Interlomas – un centro de alto nivel socio / económico – se desarrolló un centro comercial, el cual requería que, debido a lo accidentado de su entrono a pie de talud, se generara una solución adecuada y costeable con el fin de contener un talud que no produjera daños a largo plazo en sus instalaciones, todo ello realizado en el menor tiempo posible, dado que la temporada de lluvias llegaría y con ello retrasos en obra, que tan costosos resultan al final de cuentas.

Dentro de los trabajos que eran requeridos se incluía una serie de plataformas horizontales para el desarrollo de las vialidades y la edificación de nuevos inmuebles aledaños al centro comercial, lo cual implicaba el diseño de taludes de 80° de inclinación respecto a la horizontal para obtener el máximo aprovechamiento del terreno, para lo cual se estudiaron numerosas posibilidades, habiendo pasado desde los muros con mampostería de piedra braza, muros de concreto armado, el concreto lanzado, resultando todas ellas improductivas dado el alto costo que representaban.

Así mismo, el tiempo de ejecución de la obra no permitiría que el costo de los trabajos se excedieran de un estimado inicial, por la condicionante ambiental antes mencionada (la temporada de lluvias intensas), por lo cual se decidió buscar una alternativa que fuera rápida, efectiva y costeable en el transcurso de la obra, y que minimizara los costos adicionales al mismo movimiento de tierras – de por sí costoso - .

De este modo se optó por introducir un sistema de refuerzo de suelo por medio de Geomallas mono – orientadas, las cuales permitieron la conformación de las terrazas requeridas con la inclinación de taludes solicitada en un breve lapso.

El procedimiento constructivo resultó efectivo, manifestando rendimientos equivalentes a la operación neta de únicamente el movimiento de tierras.

Independientemente de las ventajas que posee el hecho de utilizar Materiales Geosintéticos en este tipo de obras, se buscó la optimización del sistema de Geomalla a través del uso de material granular cuyo ángulo de fricción fuera como mínimo de 32°, aunado a un sistema de drenaje longitudinal en la parte posterior del relleno para con ello controlar la presión de poro, evitando el incremento de presiones totales y el inminente desplome de la masa de suelo.

El proceso de instalación se realizó en base a numerosas capas de compactación de 30cm de espesor cada una, y dando a la cara exterior del talud un acabado variable, desde concreto lanzado hasta vegetación (pasto) que genera un impacto urbano visual menos agresivo (Ver Imagen 4.10).

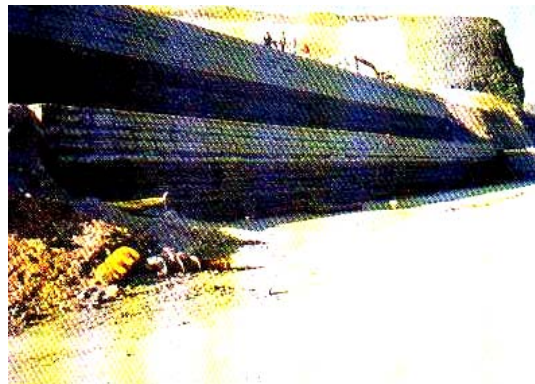
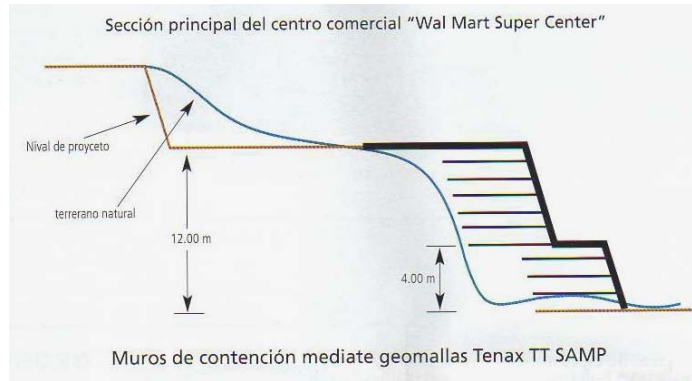


Imagen 4.10.- Ejemplo de aplicación en Huixquilucan.

Fuente: Álvarez del Río, Enrique. Sánchez Ibarra, Marco Antonio. **Geomallas Mono - Orientadas en Taludes Pronunciados.** Revista GFR - Geotechnical Fabrics Report. Edición Especial 2002 en español. Páginas 20 - 21. México, 2002.

La conformación de los taludes se llevó a cabo utilizando encofrados recuperables a base de placas de acero prefabricadas de acuerdo a la inclinación que se deseara dar al talud, permitiendo con ello trabajos seguros y precisos en la retención del material.

En total, el material removido para el desarrollo de las terrazas alcanzó la cifra de los 15,000m³ únicamente en la zona de suelo reforzado, dando como resultado un área de 1,900m² de superficie en la cara del talud.

El tiempo de desarrollo total de los trabajos encargados fue específicamente el planteado al inicio del proyecto, cumpliendo los objetivos completos en un tiempo de ocho (8) semanas, lo cual representó grandes ventajas al evitar enfrentarse a los agentes ambientales de temporada.

En el análisis de costos se reflejó una repercusión mínima de aquellos insumos adicionales al del material que se requirió para el relleno y conformación de los taludes, aún contemplando los 60m² de encofrado metálico.

Los rendimientos correspondientes a la maquinaria no fueron alterados debido a la rapidez de ejecución de los trabajos de instalación de la Geomalla.

El costo adicional a la operación del movimiento de tierras fue aproximadamente del 40%, con lo cual se demostró que el sistema utilizado resultó más económico que el muro de mampostería o de piedra natural, así como más eficiente y rápido en la ejecución de los trabajos.

5. METODOLOGÍA DE TRABAJO PARA CASOS DE TALUDES

En el ramo de la Arquitectura, aún cuando en numerosas ocasiones, debido a la práctica profesional, nos vemos inmersos en trabajos muy relacionados con la Geotecnia y la Ingeniería Civil, muy pocas veces tenemos el criterio adecuado para atacar problemas en temas específicos más encaminados hacia rumbos de ingeniería; sin embargo, en el diario ejercicio de nuestra profesión no estamos exentos, sobre todo al dedicarnos a la construcción, de enfrentarnos a retos donde es necesario utilizar nuestro criterio y sentido común de manera coherente, muy aparte de requerir, casi de manera inminente, los estudios y la asesoría especializada de un Arquitecto Paisajista y un Ingeniero Civil.

Todos aquellos profesionistas quienes de alguno u otro modo se encuentran en el ejercicio de la construcción, o con miras a desarrollarse en este ramo, es necesario que cuenten con los fundamentos básicos del conocimiento del terreno sobre el cual serán encargados de proyectar, dirigir o supervisar la ejecución de una obra, esto como complemento a todos aquellos conocimientos base, como los administrativos, legales, ambientales, los cuales continuamente requerirán a fin de llevar a buen término cualesquiera hayan sido las actividades que se hayan desarrollado.

En el caso que se ha estudiado hasta el momento, como Arquitectos proyectistas o constructores, no siempre nos encontramos con el “terreno ideal” que esperaríamos para iniciar de lleno los trabajos correspondientes al proyecto o la ejecución de una obra arquitectónica determinada, sino que dondequiera podemos encontrarnos con aspectos de contexto y retos tan fuertes como el hecho de construir en un sitio donde tenemos como “vecino” o “inquilino” un talud, sea éste natural o artificial; es por ello que se ha planteado una metodología de intervención en estas zonas, a modo de brindar una serie de parámetros considerados como necesarios para la hora de estudiar de primera impresión un terreno donde se ubique un talud, apoyándonos posteriormente con los estudios necesarios de Mecánica de Suelos, con el fin de adecuar el diseño al medio físico, y la impresión especializada de un Ingeniero, parte fundamental de nuestro equipo de trabajo.

5.1. Criterios de Aplicación

La primera herramienta de apoyo para la labor profesional del Arquitecto, en un caso donde ubique un talud, que se presenta en este documento son las Fichas de Análisis de Riesgo por Taludes, con las cuales se realizó el estudio de primera impresión en las Zonas detectadas como de Riesgo por Taludes en la Delegación Cuajimalpa de Morelos, objeto de este estudio, que fueron diseñadas para formularse un criterio inicial, y con las que es posible sintetizar de manera simple los aspectos fundamentales a considerar en la intervención arquitectónica en un contexto donde se encuentre presente un talud.

Como en todo proyecto, es importante que como profesionistas tengamos alerta todos nuestros sentidos, pues son el medio de primer contacto que tenemos en el sitio

en que se plantea realizar una obra, y en muchas ocasiones el entorno mismo nos da la pauta a seguir para la óptima ejecución de un proyecto en todas sus etapas, sea ésta la planeación, el diseño o la construcción.

Es por lo anterior que al momento de conocer y re - conocer el terreno de trabajo tengamos muy presente todos aquellos signos que la misma naturaleza nos proporcione para fijar un criterio y atacar adecuadamente un problema que, de no prevenirlo, podría causar severos daños en un futuro.

Elementos tales como: el color, la humedad, el aroma, las grietas y fisuras, los desprendimientos y la flora en un talud nos pueden dar señas de presentes y futuros daños que éste (el talud) podría sufrir de no intervenirlo debidamente, previniendo y no reparando, lo cual sería tanto más costoso que lo primero. A continuación se describe de manera general cada uno de estos conceptos y el criterio que en este trabajo se manejó para su interpretación.

- **Color**

El hecho de que un suelo muestre tonalidades distintas en su conformación puede indicar situaciones tales como: presencia de materia orgánica, contaminación con residuos tanto orgánicos como inorgánicos, aumento en su grado de saturación, es decir, incremento en la humedad del mismo. Esto último, dado el tipo de suelo que se esté trabajando, indica que puede existir una filtración de agua al terreno, sea de naturaleza pluvial o ajena a ella (drenaje, fugas de agua), lo cual puede traer como consecuencia un desprendimiento del material que conforma el talud o un probable deslizamiento de una gran masa de suelo, en el peor de los casos.

- **Humedad**

Como se mencionó en el punto anterior, el hecho de un incremento en la humedad del terreno puede tener numerosas causas y, aún peor, mayores consecuencias, en el caso dado de que el suelo que se esté trabajando no cuente con las características apropiadas para soportar presiones hidrostáticas que pudieran derivar en una falla en el terreno.

Al momento de re - conocer el sitio resulta muy importante el hecho de observar alrededor y detectar aquellas zonas en donde los taludes muestren señas de exceso de humedad en su haber, pues este tipo de signos nos darán evidencia de que habrá que enfocarse a estudiar dicha zona, sobre todo por posibles infiltraciones de agua a nivel de corona, y tomar las medidas pertinentes para prevenir mayores daños.

Recordemos que ante un exceso de presión hidrostática en el suelo, esta misma buscará la liberación de esa presión hacia el exterior, y por gravedad, el medio que tiene de salida sería en este caso la cara del talud, que al reblandecerse produciría un desprendimiento o deslizamiento de material. Este punto es el motivo por el cual

cualquier obra de protección de taludes o de contención necesariamente debe contar con un sistema de drenaje óptimo y eficaz.

- **Aroma**

Este quizá sea uno de signos que, aún cuando pareciera insignificante, nos da evidencia de posibles rastros de presencia de materia orgánica en el suelo, lo que podría disminuir su capacidad de carga y su fuerza de cohesión, y de un posible incremento en la humedad del suelo, que en algún momento dado, podría acarrear problemas relacionados con la presión hidrostática.

- **Grietas y Fisuras**

La más clara evidencia de que algo está fallando al interior del talud, o en el sistema de protección planteado, ya que fallas al interior de la masa de suelo son generadas por fuerzas de gran magnitud, las cuales suelen rebasar, y por mucho, las capacidades de resistencia de los sistemas de protección cuando no han sido desarrollados adecuadamente, o no se han previsto situaciones como posibles cambios de uso de suelo a nivel de corona del talud, o sobrecargas en la misma.

El problema planteado por una grieta o fisura en la conformación de un talud no surge al momento de detectarla, sino tiempo atrás, ya que este tipo de evidencias llevan un proceso, cuyo último paso es la aparición en la superficie de la cara del talud, por lo cual es conveniente prevenir desde un inicio situaciones como infiltraciones de agua a nivel de corona, y contemplar en el diseño del sistema a utilizar posibles cambios y sobrecargas en los alrededores del talud.

- **Desprendimientos**

Si se tienen evidencias de deslizamientos, transporte de material del terreno o fallas de alto riesgo, así como de desprendimientos, será necesario atender de inmediato casos presentes donde haya rastros de material a pie de talud, o aquellas zonas en las cuales los habitantes tengan registro de alteraciones en la composición del mismo, lo que nos ayudaría a prevenir situaciones como desplomes de material (principalmente rocoso) y tomar las medidas pertinentes en la intervención de ese talud.

- **Flora**

Otro punto importante que da muestras de movimientos en el terreno, sobre todo a gran escala, es la inclinación de la flora existente, lo que nos indica que ese terreno se encuentra en proceso de deslizamiento. En algunas ocasiones la composición del talud no permite el flujo del material, sin embargo, en otros sitios el material fluye como lodo debido a su composición y características de origen, y es cuando en un instante puede ocurrir una catástrofe que pudiera haberse prevenido.

5.2. Observaciones Necesarias

Es necesario que durante el tiempo de desarrollo y planeación de la obra se cuente con el conocimiento básico del posible comportamiento de un talud, sobre todo ante la presencia de agentes naturales como la lluvia (principalmente), el viento y los sismos, dado que ellos son los que en muchas ocasiones han repercutido en el mal comportamiento, y por ende, la falla del material que compone el talud, llevando consigo vidas humanas o patrimonio material dado por perdido.

5.3. Matriz Comparativa entre los sistemas tradicionales y los Materiales Geosintéticos para la protección contra Intemperismo y Erosión y la elaboración de Muros Mecánicamente Estabilizados

- Para protección contra Intemperismo y Erosión (X indica que cuenta con dicha propiedad o característica):

Sistema		Propiedades							
Tipo	Nombre	Protección contra Intemperismo	Prevención de Erosión	Control de Erosión	Filtración	Confinamiento o Retención del Suelo	Estabilización de Taludes	Revegetación o Plantación	Acabado Final del Talud
Convencional	Concreto Lanzado	X	X			X	X		Concreto Liso
Materiales Geosintéticos	Geotextil	X	X	X	X				Aparente
	Geocelda	X	X	X		X		X	Vegetación*
	Geomalla	X		X	X	X		X	Vegetación*

*Dependiendo de ciertas características y especies

Sistema		Proceso Constructivo					
Tipo	Nombre	Personal Especializado	Maquinaria Pesada	Velocidad de Ejecución	Uso de Cimbra Especial	Accesibilidad de Trabajo	Altura Promedio de Trabajo
Convencional	Concreto Lanzado	X	X	Alta		X	Variable
Materiales Geosintéticos	Geotextil			Media		X	Variable
	Geocelda			Media		X	Variable
	Geomalla			Media		X	Variable

5. Metodología de Trabajo para Casos de Taludes

Convencional	Concreto Lanzado	Lloraderos	Media		Intemperismo		
Materiales Geosintéticos	Geotextil		Alta	75 años	Sol		Según parámetros y proveedores
	Geocelda		Alta	75 años	Sol		Según parámetros y proveedores
	Geomalla		Alta	75 años	Sol		Según parámetros y proveedores

- Para la elaboración de Muros Mecánicamente Estabilizados con Geosintéticos (X indica que cuenta con dicha propiedad o característica):

Sistema		Propiedades						
Tipo	Nombre	Estabilización del Muro*	Refuerzo del Muro*	Retención del Suelo hacia el Talud	Resistencia ante Acciones Dinámicas	Tipo de Material Térreo	Resistencia de los Elementos a Tensión	Resistencia ante Deformaciones
Convencional	Tierra Armada	X				Especial	Media	
Materiales Geosintéticos	Geored Monorientada	X			X	Cohesivo	Alta	X
	Geored Biorientada		X	X	X	Cohesivo	Alta	X
	Geomalla			X	X	Cohesivo	Alta	X

*Muro Mecánicamente Estabilizado

Sistema		Proceso Constructivo					
Tipo	Nombre	Personal Especializado	Maquinaria Pesada	Velocidad de Ejecución	Uso de Cimbra Especial	Accesibilidad de Trabajo	Altura Promedio de Trabajo
Convencional	Tierra Armada	X	X	Media		X	Variable
Materiales Geosintéticos	Geored Monorientada		Aplanadora	Alta		X	Variable
	Geored Biorientada		Aplanadora	Alta		X	Variable
	Geomalla		Aplanadora	Alta		X	Variable

5. Metodología de Trabajo para Casos de Taludes

Sistema		Características						
Tipo	Nombre	Sistema de Drenaje	Durabilidad del Sistema	Tiempo Útil de Vida	Agentes Dañinos	Riesgo por Corrosión	Tiempo Promedio para Mantenimiento	Costo por Metro Cuadrado
Convencional	Tierra Armada	PVC	Media		Agua e Intemperie	X		***
Materiales Geosintéticos	Geotextil	Geodren	Alta	Mínimo 75 años	Sol		---	Mas Económico en Alturas Mayores a 3.00m
	Geocelda	Geodren	Alta	Mínimo 75 años	Sol		---	
	Geomalla	Geodren	Alta	Mínimo 75 años	Sol		---	

CONCLUSIONES

En la actualidad, la problemática en el tema de los taludes ha sobrepasado la línea de lo permisible. Por doquier se encuentran daños a estos espacios que, dada su mala planeación y tratamiento, resultan un foco rojo en cualquier punto en el que se encuentren, pues una falla en ellos puede traer consigo no sólo pérdidas de carácter económico, sino una gran pérdida en cuanto a vidas humanas se refiere.

Desde siempre, el hombre ha buscado día con día los medios para facilitar sus actividades y mejorar el entorno en que se desenvuelve, y es en éste último en el cual con sus intervenciones ha generado en muchas ocasiones zonas de riesgo, entre las cuales, aquellas donde se hacen presentes los taludes son más comunes de lo que podemos imaginar, dado que la Tierra que habita no cuenta con una orografía precisamente regular.

Así como el hombre explora continuamente el medio natural que lo rodea, del mismo modo lo hace en aquellos medios que, con su estudio y análisis, puedan generarle algún beneficio; éste es el caso de la industria tecnológica que camina a pasos agigantados, brindando al ser humano nuevos caminos para facilitar, mejorar y ampliar sus expectativas y horizontes en los trabajos y actividades que realiza cotidianamente.

Es la industria tecnológica la que con sus avances ha desarrollado mayores posibilidades para el hombre en sus labores, y la industria de la construcción ha resultado una de las más beneficiadas con dichas innovaciones, pues a ella han incursionado nuevos materiales que han venido a complementar, y en algunos casos desplazar, los métodos tradicionales utilizados desde antaño en las labores del constructor.

Los Materiales Geosintéticos, basados en la investigación científica de los Polímeros, han venido a revolucionar los trabajos en materia de Geotecnia e Ingeniería Civil, mas sus múltiples aplicaciones han brindado al Arquitecto y al Paisajista nuevas opciones para ampliar la gama de servicios que se pueden brindar, así como para ofrecer alternativas novedosas y de utilidad ante los diferentes trabajos que se realizan a diario.

Dentro de las funciones de los Materiales Geosintéticos, las aplicaciones para los taludes resultan de gran interés; sin embargo, no en todos los casos es eficiente el uso de estos materiales para los diversos problemas posibles presentes en un talud, sea por la composición del mismo o las características que los Geosintéticos pueden ofrecer, es por ello que las nuevas investigaciones, entre ellas la presente, se enfocan a desarrollar nuevas alternativas de aplicación y diseño que puedan satisfacer las distintas necesidades que un talud puede presentar, y que arquitectónicamente puede aportar.

Como parte de esta investigación no sólo se encuentra el rubro de nuevas aplicaciones y diseño alternativo, sino de demostrar el costo / beneficio que puede

generar la adecuada aplicación de éstos materiales en los nuevos proyectos de la vida cotidiana cuando se cumplen con lineamientos previamente establecidos, considerando el diseño y tratamiento de un talud con materiales geosintéticos no sólo dentro del terreno de trabajo, sino con una visión contextual que englobe a un entorno en el cual nos encontremos inmersos.

Como parte de las herramientas con las que puede contar el profesional de la construcción para tener una primera impresión y formularse un criterio inicial de intervención en un terreno en cuya área se encuentre ubicado en talud, se han desarrollado en este trabajo las Fichas de Análisis de Riesgo para Taludes, en las cuales, se vacía la información obtenida en las visitas de reconocimiento, las cuales nos simplifican la asimilación de datos y nos permiten ampliar el horizonte de trabajo para una zona en específico.

Así mismo, como parte de uno de los objetivos de esta tesis - la difusión de los materiales geosintéticos como alternativa para los profesionales de la construcción – se muestran matrices comparativas para dos casos específicos: la protección contra intemperismo y erosión y el desarrollo de muros mecánicamente estabilizados, en las cuales se da muestra de que los materiales geosintéticos son una opción viable en muchos aspectos para el desarrollo de los trabajos cotidianos en la industria de la arquitectura y la construcción.

BIBLIOGRAFÍA

Libros

- Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. **Simposio sobre Geosintéticos – Memorias del Simposio**. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México, julio de 1990.
- García Pelayo y Gross, Ramón. **Pequeño Larousse Ilustrado**. Ediciones Larousse. México, 1998.
- Crespo Villalaz, Carlos. Ing. **Mecánica de Suelos y Cimentaciones**. Editorial Limusa – Grupo Noriega Editores. 2ª Reimpresión. México, 1993.
- Ling, Hoe I. **Civil and Environmental Applications of Geosynthetics. Reinforced Soil Engineering – Advances in Research and Practice**. Marcel Dekker, Inc. New York, 2003.
- Geosynthetic Materials Association. **Handbook of Geosynthetics**. Geosynthetic Material Association. USA, 2004.
- Juárez Badillo, Eulalio. et. al. **Mecánica de Suelos. Tomo I – Fundamentos de la Mecánica de Suelos**. Editorial Revista Ingeniería. México, 1963.
- Juárez Badillo, Eulalio. et. al. **Mecánica de Suelos. Tomo II – Teoría y Aplicaciones de la Mecánica de Suelos**. Editorial Limusa – Noriega Editores. México, 2006.
- Lambe, T. William. et. al. **Mecánica de Suelos**. Editorial Noriega Limusa. México, 1991.
- Leshchinsky and Tatsuoka (editors). **Reinforced Soil Engineering: Advances in Research and Practice**. Ed. M. Dekker. Nueva York, 2003.
- López de Juambelz, Rocío. **Taludes: Aspectos Formales y Técnicos**. Facultad de Arquitectura, UNAM. México, 2004.

- Das, Braja M. **Fundamentos de Ingeniería Geotécnica**. Ed. Thomson Learning. Australia-México, 2001.
- Ruiz Vázquez, Mariano. González Huesca, Silvia. **Geología Aplicada a la Ingeniería Civil**. Editorial Limusa – Noriega Editores. México, 2000.
- Blyth, F. G. H. **Geología para Ingenieros**. Compañía Editorial Continental CECSA. México, 1992.
- Izquierdo Silvestre, Francisco Ángel. **Cuestiones de Geotecnia y Cimientos**. Departamento de Ingeniería de Terreno. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Valencia. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España, 2001.
- Pérez Alamá, Vicente. **Materiales y Procedimientos de Construcción. Mecánica de Suelos y Cimentaciones**. Editorial Trillas, México, 1998.
- Iglesias Pérez, Celso. **Mecánica del Suelo**. Editorial Síntesis. Madrid, España, 1997.
- U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. **Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes. Design & Construction Guidelines**. Publication No. FHWA-NHI-00-043. NHI Course No. 132042. NHI - National Highway Institute. Office of Bridge Technology. USA, Marzo 2001.

Artículos

- Campbell, Danny M. **Avances en Geotextiles. Simposio sobre Geosintéticos. Memorias del Simposio**. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México, julio de 1990.
- Auvinet G., Gabriel, et. al. **Tendencias Actuales en el Desarrollo y Uso de Geosintéticos. Simposio sobre Geosintéticos. Memorias del Simposio**. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México, julio de 1990.
- Porraz, Mauricio G. **Investigación, Desarrollo, Aplicaciones y Proyección Futura. Simposio sobre Geosintéticos. Memorias del Simposio**. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México, julio de 1990.

- Ramírez M., Alejandro. **Los Geosintéticos y el Ingeniero de Diseño. Simposio sobre Geosintéticos. Memorias del Simposio.** Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México, julio de 1990.
- Murillo F., Rodrigo. **Hidráulica de Geosintéticos. Simposio sobre Geosintéticos. Memorias del Simposio.** Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México, julio de 1990.
- Ortiz Gómez, Carlos. **Terremoto en El Salvador. Control de Deslizamientos.** Revista GFR – Geotechnical Fabrics Report. Edición Especial 2002 en Español. Páginas 17 – 19. México, 2002.
- Álvarez del Río, Enrique. Sánchez Ibarra, Marco Antonio. **Geomallas Mono – Orientadas en Taludes Pronunciados.** Revista GFR – Geotechnical Fabrics Report. Edición Especial 2002 en Español. Páginas 20 - 21. México, 2002.

Fuentes de Internet

- **Geosynthetic Materials Association.**
<http://www.gmanow.com/index.php?option=displaypage&Itemid=121&op=page&SubMenu=>
- **Tenax.**
<http://www.tenax.net/>
<http://www.tenax.com.mx/Tenax%20en%20Mexico.htm>
- **ML Ingeniería.**
<http://www.mlingenieria.com/>
- **Malla Talud Cantabria – España.**
<http://www.mallatalud.com/>
- [http://www.etcg.upc.es/asg/cimentacions/Tema%20IX%20\(Tierra%20armada\).pdf](http://www.etcg.upc.es/asg/cimentacions/Tema%20IX%20(Tierra%20armada).pdf)
- http://www.todoarquitectura.com/v2/foros/Topic.asp?Topic_ID=10983&Termino

- <http://www.holcim.com/mx/MEX/id/66395/mod/gnm20/page/product.html>
- <http://www.mallacasco.com/lanzados.asp>
- <http://www.cemexcolombia.com/content/publica/concreto/index.asp?subm=1&ns=dgeneral16.html&nsDer=qdralderecha1.html&submenu=submenu1.html&varfoto=16&vartitulo=16>
- <http://www.concresal.com.sv/productos/ligero.php>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Gunitado>

Cursos

- **Curso Técnico Los Materiales Geosintéticos en la Ingeniería Geotécnica.** Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. Asociación de Materiales Geosintéticos. Agosto 22 y 23 de 2007. Colegio de Ingenieros Civiles de México. México, 2007.

Otros

- Gobierno del Distrito Federal. Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda (SE. D. U. VI.). **Planes Delegacionales de Desarrollo Urbano (P. D. D. U.). Álvaro Obregón y Cuajimalpa de Morelos 2003.** México, D. F., 2003.
- Visitas de Reconocimiento de Zonas de Riesgo por Taludes a cargo del Ing. Francisco Olvera de la Subdirección de Protección Civil en Cuajimalpa de Morelos. Enero 09 de 2007 y abril 22 de 2008.

GLOSARIO

Acuífero.- En hidrología e hidrogeología, un acuífero es una capa subterránea de tierra que contiene agua. Las rocas de este estrato tienen poros llenos de agua, cuando se produce un desnivel piezométrico, por ejemplo al perforarse un pozo y extraerse agua del mismo, permiten que el líquido fluya a través de su estructura.

Amorfo.- Sin forma regular o bien determinada.

Asentamiento.- Un asentamiento es el lugar donde se establece una persona o una comunidad. Los asentamientos pueden ser categorizados de diversas maneras, ya sea por su tamaño, su tipo de actividad productiva o su condición. Pueden existir diversos tipos de asentamientos, de acuerdo a la ley se pueden dividir en asentamientos formales y asentamientos informales. Un establecimiento formal o asentamiento regular forma la parte de un esquema del planeamiento de ciudad. Un establecimiento informal está fuera del esquema de planificación de la ciudad.

Base.- En los taludes se refiere a la parte baja del terreno que conforma este elemento (talud), generalmente, y de acuerdo al material de composición del mismo, es más ancha. En muros de contención es la zona de apoyo del muro para resistir los empujes capaces de producir el volteo del mismo.

Bentonita.- Arcilla con gran capacidad de absorción de agua de uso común en la rama de la construcción como medio de estabilización de paredes en perforaciones y otras obras civiles debido a su propiedad de incremento de volumen y su densidad, que la hacen sumamente útil sobre todo en los suelos con alto contenido de agua.

Biaxial.- Que tiene dos ejes.

Berma.- masas generalmente del mismo material que el propio talud, que se colocan adecuadamente en el lado exterior del mismo con el fin de aumentar su estabilidad.

Bidimensional.- Que se compone de dos dimensiones.

Cohesión.- Acción y efecto de reunirse o adherirse las cosas entre sí o la materia de que están formadas. En física, fuerza de atracción que mantiene unidas las moléculas de un cuerpo.

Confinamiento.- Acción y efecto de confinar.

Confinar.- Mantener algo dentro de ciertos límites.

Contención.- Acción y efecto de contener (sujetar el movimiento de un cuerpo).

Contener.- Reprimir o sujetar el movimiento o impulso de un cuerpo.

Corona.- En taludes, parte plana superior del mismo donde es posible el desarrollo de diversas actividades.

Corte (véase Sección).- Separación que se hace en un cuerpo sólido con un instrumento o algo cortante.

Deformación.- Pérdida de la forma regular o natural de algo. Cambio en el tamaño o forma de un cuerpo debido a la aplicación de una o más fuerzas sobre el mismo o la ocurrencia de dilatación térmica.

Derrumbe.- Precipitación o desprendimiento de algo.

Deslave.- Al efecto del deslizamiento o la caída de material térreo. Pueden ser provocados por terremotos, erupciones volcánicas o inestabilidad en la zona circundante. Los movimientos de barro o lodo son un tipo especial de deslaves cuyo causante es el agua que penetra en el terreno por lluvias fuertes, modificando el terreno y provocando el deslizamiento.

Deslizamiento.- Un deslizamiento es un tipo de corrimiento o movimiento de masa de tierra, provocado por la inestabilidad de un talud. Se produce cuando una gran masa de terreno se vuelve zona inestable y desliza con respecto a una zona estable, a través de una superficie o franja de terreno de pequeño espesor, también conocida como superficie de falla). Los deslizamientos se producen cuando en la franja se alcanza la tensión tangencial máxima en todos sus puntos. Estos tipos de inestabilidades son evitables por medios técnicos. Sin embargo, el resto de tipos de corrimientos (flujo de arcilla, licuefacción y reptación) no lo son.

Dique.- Muro o construcción para contener las aguas.

Disgregación.- Separar, desunir, apartar lo que estaba unido.

Dren.- Elemento utilizado para brindar drenaje a ciertos elementos que lo necesiten.

Elongación.- Alargamiento que sufre un cuerpo que se somete a esfuerzo de tracción.

Erosión.- Desgaste de la superficie terrestre por agentes externos, como el agua o el viento. Se denomina erosión al proceso de sustracción o desgaste de la roca del suelo intacto (roca madre), por acción de procesos geológicos exógenos como las corrientes superficiales de agua o hielo glaciar, el viento, o los cambios de temperatura.

Esfuerzo.- Empleo enérgico de la fuerza física contra algún impulso o resistencia.

Estabilización.- Brindar estabilizada a algún elemento que la carezca.

Estratificación.- Disposición de las capas o estratos de un terreno.

Extrusión.- Dar forma a una masa metálica, plástica, etc., haciéndola salir por una abertura especialmente dispuesta.

Falla.- Una falla, en geología, es una discontinuidad que se forma en las rocas superficiales de la Tierra (hasta unos 200km de profundidad) por fractura, cuando las fuerzas tectónicas superan la resistencia de las rocas. La zona de ruptura tiene una superficie generalmente bien definida denominada plano de falla y su formación va acompañada de un deslizamiento de las rocas tangencial a este plano. El movimiento causante de la dislocación puede tener diversas direcciones: vertical, horizontal o una combinación de ambas. En las masas montañosas que se han alzado por movimiento de fallas, el desplazamiento puede ser de miles de metros y muestra el efecto acumulado, durante largos periodos, de pequeños e imperceptibles desplazamientos, en vez de un gran levantamiento único. Sin embargo, cuando la actividad en una falla es repentina y brusca, se puede producir un gran terremoto, e incluso una ruptura de la superficie terrestre, generando una forma topográfica llamada escarpe de falla.

Filtración.- Dicho de un líquido: penetrar a través de un cuerpo sólido.

Flexibilidad.- Que es flexible, es decir, Susceptible de cambios o variaciones según las circunstancias o necesidades.

Fluido.- Se dice de las sustancias en estado líquido o gaseoso. Un fluido es una sustancia o medio continuo que se deforma continuamente en el tiempo ante la aplicación de una sollicitación o tensión tangencial sin importar la magnitud de ésta. También se puede definir un fluido como aquella sustancia que, debido a su poca cohesión intermolecular, carece de forma propia y adopta la forma del recipiente que lo contiene.

Fractura.- Fractura es la separación bajo presión en dos o más piezas de un cuerpo sólido. Rotura o quiebre.

Fricción.- Roce de dos cuerpos (o partículas) en contacto.

Geología.- Ciencia que trata de la forma exterior e interior del globo terrestre, de la naturaleza de las materias que lo componen y de su formación, de los cambios o alteraciones que estas han experimentado desde su origen, y de la colocación que tienen en su actual estado.

Geosintético.- Los Geosintéticos se refieren a cualquier material sintético usado en Ingeniería Geotécnica o en contacto con el suelo.

Geotecnia.- Aplicación de principios de ingeniería a la ejecución de obras públicas en función de las características de los materiales de la corteza terrestre. La geotecnia es una de las principales ramas de la ingeniería civil. Tiene por objeto permitir la viabilidad de todas las obras de ingeniería en que se presente una interacción entre la obra misma y el suelo. Entre sus principales aplicaciones se encuentra el diseño de

cimentaciones, el diseño y revisión de la estabilidad de taludes, el control del flujo subsuperficial de aguas, y el diseño de túneles y de presas de tierra. Hace uso de varios insumos provenientes de otras ramas profesionales como por ejemplo la topografía, la geología. Aplica conocimientos provenientes de la teoría de resistencia de materiales, física, hidráulica, y métodos numéricos. La geotecnia está directamente relacionada con todo tipo de construcciones o edificaciones puesto que en la mayoría de los casos (salvo estructuras en el agua o en el espacio) se usa el suelo (o rocas) como material de cimentación.

Hidrostática.- La hidrostática es la rama de la física que estudia los líquidos en estado de equilibrio. Parte de la mecánica que estudia el equilibrio de los fluidos.

Hombro.- En taludes, la parte superior angular que divide la cara del talud de su corona.

Intemperismo (meteorización).- La meteorización es la desintegración y descomposición de una roca en la superficie terrestre o próxima a ella como consecuencia de su exposición a los agentes atmosféricos, con la participación de agentes biológicos. También puede definirse como la descomposición de la roca, en su lugar; sería un proceso estático por el cual la roca se rompe en pequeños fragmentos, se disuelve, se descompone, se forman nuevos minerales. Se posibilita así la remoción y el transporte de detritus en la etapa siguiente que vendría a ser la erosión. La meteorización entonces, al reducir la consistencia de las masas pétreas, abre el camino a la erosión.

Monofilamentoso.- Compuesto por un solo filamento o fibra.

Multifilamentoso.- Compuesto por dos o más filamentos o fibras.

Muro.- Pared. Un muro es una construcción que presenta una superficie vertical y sirve para cerrar un espacio.

Permeabilidad.- Que puede ser penetrado o traspasado por el agua u otro fluido. La permeabilidad es la capacidad de un material para permitir que un fluido lo atravesase sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable. La velocidad con la que el fluido atraviesa el material depende de tres factores básicos: la porosidad del material, la densidad del fluido considerado, afectada por su temperatura y la presión a que está sometido el fluido. Para ser permeable, un material debe ser poroso, es decir, debe contener espacios vacíos o poros que le permitan absorber fluido. A su vez, tales espacios deben estar interconectados para que el fluido disponga de caminos para pasar a través del material.

Pie.- Base o parte en que se apoya algo. En taludes, parte baja de éste donde es posible desarrollar actividades.

Polímero.- Compuesto químico, natural o sintético, formado por polimerización y que consiste esencialmente en unidades estructurales repetidas.

Porosidad.- Espacio que hay entre las moléculas de los cuerpos.

Prefabricado.- Dicho de una casa o de otra construcción: cuyas partes esenciales se envían ya fabricadas al lugar de su emplazamiento, donde solo hay que acoplarlas y fijarlas.

Protección.- Resguardar a una persona, animal o cosa de un perjuicio o peligro, poniéndole algo encima, rodeándole, etc. En taludes, procedimiento que se realiza para proteger los taludes de obras de ingeniería, o taludes naturales, contra los daños causados por el escurrimiento del agua o el avatar de las ondas de un lago, río, o mar contra sus márgenes. La protección de los taludes se realiza de varias formas: mediante la plantación de especies vegetales apropiadas a crecer en el agua, recubriendo las márgenes, en la franja donde oscila el agua de un enrocado, (rocas sueltas acomodadas en forma más o menos irregular en el talud a ser protegido, sistema denominado generalmente como enrocado. Este último método es muy usado en los taludes aguas arriba de las presas hidráulicas, recubriendo el talud con una placa de concreto o con un revestimiento en piedra.

Reforestación.- Repoblar un terreno con plantas forestales. La reforestación es una operación en el ámbito de la silvicultura destinada a repoblar zonas en las cuales en el pasado estaban cubiertas de bosques, y estos han sido eliminados por diversos motivos como pueden ser: explotación de la madera para fines industriales y/o para consumo como combustible, ampliación de la frontera agrícola, ampliación de áreas urbanas; etc. Por extensión se llama también reforestación a la plantación más o menos masiva de árboles, en áreas donde estos no existieron, por lo menos en tiempos históricos.

Retención.- Impedir que algo salga, se mueva, se elimine o desaparezca. Interrumpir o dificultar el curso normal de algo.

Revegetación (véase Vegetar).- Germinar, nutrirse, crecer y aumentarse. El término Revegetación implica el hecho de hacer brotar o germinar de nueva cuenta semillas en una zona que parecía desaprovechada y perdida.

Riesgo.- Contingencia o proximidad de un daño. Riesgo es el daño potencial que puede surgir por un proceso presente o suceso futuro, (y esto se puede dar en cualquier ámbito laboral y más en instituciones de seguros, ya que en estos lugares los clientes pueden utilizarla para la comisión de delito y así poder hacer cualquier tipo de fraude). Diariamente en ocasiones se le utiliza como sinónimo de probabilidad, pero en el asesoramiento profesional de riesgo, el riesgo combina la probabilidad de que ocurra un evento negativo con cuanto daño dicho evento causaría. Es decir, en palabras claras, el riesgo es la posibilidad de que un peligro pueda llegar a materializarse. Riesgo puede ser: real, potencial o fortuito.

Roca.- Sustancia mineral que por su extensión forma parte importante de la masa terrestre. En geología se llama roca a cualquier material constituido como un agregado natural de uno o más minerales, entendiéndose por agregado, un sólido cohesionado. Las rocas son los materiales de los que de manera natural están hechos el manto y la corteza de la Tierra, y las partes equivalentes de otros cuerpos planetarios semejantes.

Sección.- Separación que se hace en un cuerpo sólido con un instrumento o algo cortante.

Semicristalino.- Que casi tiene la estructura molecular de los cristales.

Suelo.- Se llama suelo, en las ciencias de la Tierra y de la vida, al sistema estructurado, biológicamente activo, que tiende a desarrollarse en la superficie de las tierras emergidas por la influencia de la intemperie y de los seres vivos. De un modo simplificado puede decirse que las etapas implicadas, en su formación son las siguientes: disgregación mecánica de las rocas, meteorización química de los materiales regolíticos, liberados, instalación de los seres vivos (vegetales, microorganismo, etc.) sobre ese sustrato inorgánico. Esta es la fase más significativa, ya que con sus procesos vitales y metabólicos, continúan la meteorización de los minerales, iniciada por mecanismos inorgánicos. Además, los restos vegetales y animales a través de la fermentación y la putrefacción enriquecen ese sustrato. Mezcla de todos estos elementos entre sí, y con agua y aire intersticiales.

Talud.- Es la inclinación del paramento de un muro o de un terreno.

Termoplástico.- Dicho de un material: Maleable por el calor.

Termosellado.- Elemento cuyas juntas son selladas por medio de calor.

Terraplén.- Macizo de tierra con que se rellena un hueco, o que se levanta (plataforma) para hacer una defensa, un camino u otra obra semejante. Desnivel con una cierta pendiente.

Trabajo.- Producto de la fuerza por el camino que recorre su punto de aplicación y por el coseno del ángulo que forma la una con el otro.

Tridimensional.- Que se compone de tres dimensiones.

Uniaxial.- Que tiene un solo eje.

Vegetar.- Germinar, nutrirse, crecer y aumentarse.

ANEXO A ESTUDIO DE LOS SUELOS

A.1. Origen de los suelos

Para efectos de este trabajo de investigación, y previendo una interpretación distinta a la que se busca dar del término suelo, considero pertinente el iniciar dando la definición que para fines de esta investigación tendrá el término suelo, el cual se apoya en definiciones varias ubicadas en distintas publicaciones que, a lo largo del tiempo, no han modificado su contenido respecto al mismo.

En este trabajo, suelo será definido como todo material terroso de composición heterogénea no consolidado, formado por partículas minerales de origen orgánico o inorgánico, con gases o líquidos incluidos en su composición (de ahí su no homogeneidad).

El origen de los suelos que más concuerda con la definición anteriormente dada es el que indica que éste sin duda es producto de la desintegración y/o alteración física y/o química de las rocas y de los residuos de las actividades de los seres vivos que sobre la corteza terrestre se asientan¹. Esta desintegración/alteración físico/química es ocasionada por agentes ambientales tan comunes como el agua y el aire, que sin lugar a dudas se consideran los generadores del suelo, ya que son los que mayor desgaste provocan en las rocas (que posteriormente serán estudiadas).

De acuerdo al lugar en que se encuentren los productos provenientes de la descomposición de las rocas previamente mencionada, es posible clasificar a los suelos, de una manera muy general, en suelos residuales, cuando los productos de la acción de los agentes ambientales son depositados en su lugar de origen, y donde el principal agente de descomposición es el agua, y los suelos transportados o sedimentarios, cuando los mismos agentes ambientales (principalmente el agua y el viento) sirven como medio de transporte, y han removido los productos de su lugar de formación y los han depositado en sitios ajenos a él, generalmente acompañados de materia orgánica dado su recorrido de un lugar a otro².

Cabe destacar que dentro de los agentes ambientales que regularmente se consideran como medios de transporte de residuos, son los glaciares, el viento, los ríos y corrientes de agua superficial, los mares y las fuerzas de gravedad³, los que mayor presencia tienen en éstos fenómenos naturales.

A.2. Generalidades de los suelos

¹ Crespo Villalaz, Carlos. Ing. **Mecánica de Suelos y Cimentaciones**. Editorial Limusa – Grupo Noriega Editores. 2ª Reimpresión. México, 1993.

² Pérez Alamá, Vicente. **Materiales y Procedimientos de Construcción. Mecánica de Suelos y Cimentaciones**. Editorial Trillas. México, 1998.

³ Juárez Badillo, Eulalio. et. al. **Mecánica de Suelos. Tomo I. Fundamentos de la Mecánica de Suelos**. Editorial Revista Ingeniería. México, 1965.

De manera independiente al tipo de suelo al que nos refiramos, y considerándolo como un medio poroso, cabe destacar que todos ellos tienen características comunes, como el hecho de estar compuestos por tres fases, cada uno de ellos en diferentes proporciones de acuerdo a su origen y composición química. Estas fases, sólida, líquida y gaseosa⁴, pueden ser distinguidas por las partículas que las componen, es decir, la fase sólida se halla compuesta por partículas minerales u orgánicas, o en algunos casos ambas; la fase líquida es aquella que llena parcial o totalmente los vacíos del suelo; y la fase gaseosa que llena parcial o totalmente los vacíos que deja la fase líquida.

Estas fases de composición del suelo, permiten no sólo clasificar a éstos por su composición química u origen, sino también por características particulares que a continuación se mencionarán:

- **La cantidad de agua⁵** que en ellos se contengan, que generaría las siguientes subdivisiones:
 - **Suelos secos:** cuando todos los huecos están exclusivamente llenos de aire.
 - **Suelos saturados:** cuando todos los huecos están completamente llenos de agua.
 - **Suelos semisaturados:** cuando los huecos están ocupados en parte por aire y en parte por agua.
- **La relación de vacíos⁶**, definida como la relación entre el volumen de vacíos y el volumen de sólidos.
- **El grado de porosidad⁷**, que es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total.
- **El grado de humedad⁸**, definida como la relación del peso del agua al peso de los sólidos en una determinada masa del suelo.
- **El grado de saturación⁹**, relación del volumen de agua que contiene el suelo al volumen de vacíos del mismo.

⁴ Crespo Villalaz, Carlos. Ing. **Mecánica de Suelos y Cimentaciones**. Editorial Limusa – Grupo Noriega Editores. 2ª Reimpresión. México, 1993.

⁵ Iglesias Pérez, Celso. **Mecánica del Suelo**. Editorial Síntesis. Madrid, 1997.

⁶ Crespo Villalaz, Carlos. Ing. **Mecánica de Suelos y Cimentaciones**. Editorial Limusa – Grupo Noriega Editores. 2ª Reimpresión. México, 1993.

⁷ Ídem.

⁸ Ídem.

⁹ Ídem.

- **La compacidad relativa**¹⁰, que indica el grado de acomodo alcanzado por las partículas del suelo, dejando más o menos vacíos entre ellas.

A.3. Características de los suelos

Existen en los suelos características analizables que, con un estudio general, nos pueden brindar gran información acerca de ellos, y en las cuales se encuentran basadas todas aquellas pruebas por medio de las cuales podemos conocer aún más a fondo el comportamiento de los suelos en condiciones de trabajo y esfuerzo distintas.

Dichas características son los datos más necesarios e inmediatos con los que se debe contar antes de realizar un estudio del suelo; es la información preliminar que permitirá adentrarnos en el conocimiento de sus características y comportamiento particular y realizar expectativas de los resultados que tras su estudio podríamos obtener.

Estas características son:

- **Peso volumétrico:** representado con la letra griega γ , es el peso del suelo contenido en la unidad de volumen, generalmente expresado en kg/m^3 .
- **Peso volumétrico seco y suelto:** es el peso volumétrico aparente del suelo en cuestión, tomando el peso del mismo previamente cuarteado y secado en un horno a peso constante.
- **Peso volumétrico aparente:** se refiere al considerar el volumen de los vacíos formando parte del suelo.
- **Densidad absoluta:** es la masa de un cuerpo contenida en la unidad de volumen sin incluir sus vacíos.
- **Densidad aparente:** es la masa de un cuerpo contenida en la unidad de volumen incluyendo sus vacíos.
- **Densidad relativa:** es la relación de su densidad con la densidad absoluta del agua destilada a una temperatura de 4°C .
- **Absorción:** es la capacidad de retención de agua dentro de la partícula del suelo.

¹⁰ Juárez Badillo, Eulalio. et. al. **Mecánica de Suelos. Tomo I. Fundamentos de la Mecánica de Suelos.** Editorial Revista Ingeniería. México, 1965.

- **Plasticidad:** es la propiedad que presentan los suelos de poder deformarse hasta cierto límite sin romperse; por este medio es posible medir el comportamiento de los suelos en cualquier época.
 - **Límite líquido:** se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco del suelo muestreado, con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico.
 - **Límite plástico:** se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco del suelo muestreado secado al horno, para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico; éste límite resulta muy afectado debido al contenido orgánico del suelo, ya que eleva su valor sin aumentar de manera simultánea el límite líquido.
 - **Índice de plasticidad:** es la diferencia numérica entre los límites líquido y plástico, e indica el margen de humedades dentro del cual se encuentra el estado plástico.
- **Granulometría:** es la determinación de la cantidad (en porcentaje) de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo.

Hay que resaltar que cada tipo de suelo posee en sí características diferentes, tanto en características físico/químicas, como en la estructura que los conforma. La estructura en términos generales es la disposición que adoptan las partículas minerales para dar lugar al conjunto que conocemos como suelo; en éstas se distinguen las siguientes clasificaciones¹¹:

- **Estructura simple o granular:** es aquella producida cuando las fuerzas debidas al campo gravitacional terrestre son claramente predominantes en la disposición de las partículas, haciendo que estas últimas descansen de manera individual en los puntos de contacto de sus vecinas; típica de los suelos de grano grueso de masa comparativamente importante.
- **Estructura panaloide o apanalada:** es considerada típica en suelos con granos de pequeños tamaño depositados en un medio continuo (normalmente agua y, en ocasiones, aire), en donde la gravitación ejerce un efecto que hace que tiendan a sedimentarse, más por su tamaño, otras fuerzas semejantes pueden hacerse de magnitud comparable, de modo que se forman arcos con grandes espacios vacíos, muy parecidos a los panales de abejas.

¹¹ Juárez Badillo, Eulalio. et. al. **Mecánica de Suelos. Tomo I. Fundamentos de la Mecánica de Suelos.** Editorial Revista Ingeniería. México, 1965.

- **Estructura flocculenta o panaloide de orden superior**¹²: cuando se lleva a cabo un arreglo complejo entre dos partículas de dimensiones muy pequeñas, donde éstas se adhieren y sedimentan juntas con gran fuerza, permitiendo a otras semejantes unirse a ellas y formar grumos de partículas, debido a la atracción ejercida por sus cargas eléctricas de signos opuestos.
- **Estructura compuesta**: dado que en la naturaleza rara vez se presentan de manera pura estructuras como las anteriormente expuestas, se han considerado “nuevas” estructuras que combinan propiedades y características de las tres anteriores, tal como la llamada estructura en castillo de naipes.

De los ejemplos de estructuras anteriores, y basados en estudios realizados de manera constante en cada uno de ellos, se ha llegado a comprobar que los suelos conformados por estructuras de tipo panaloide o apanalado, así como los suelos flocculentos, poseen una capacidad de carga relativamente alta siempre y cuando su estructura permanezca inalterada; de lo contrario, dicha capacidad de carga se vería disminuida.

A.4. Principales tipos de suelos

Como se mencionó en un principio, los suelos pueden estar conformados por partículas minerales sean de origen orgánico o inorgánico; éstos mismos dan origen a los suelos residuales y suelos transportados respectivamente (ver origen de los suelos). Cuando la cantidad de materia orgánica es mayor a la inorgánica y elimina las propiedades minerales de los segundos, se forman depósitos de gran espesor conocido como turbas, caracterizadas por su color negro o café oscuro, por su poco peso en estado seco y su gran compresibilidad y porosidad¹³.

Así, habiendo descrito de manera general el origen, propiedades y características de los suelos, procederemos a conocer los tipos más comunes de suelos, describiendo cada uno de manera general¹⁴:

- **Gravas**: son acumulaciones sueltas de fragmentos de rocas y que tiene más de 2mm de diámetro, de aristas redondeadas debido al desgaste producido por el constante contacto con el agua. Ocupan grandes extensiones, pero generalmente se encuentran con cantos rodados, arenas, limos y arcillas.

¹²Crespo Villalaz, Carlos. Ing. **Mecánica de Suelos y Cimentaciones**. Editorial Limusa – Grupo Noriega Editores. 2ª Reimpresión. México, 1993.

¹³ Ídem.

¹⁴ Ídem.

- **Arenas:** arena es el nombre dado a los materiales de granos finos procedentes de la denudación¹⁵ de las rocas o de su trituración artificial, y cuyas partículas varían entre 2mm y 0.05mm de diámetro y poca compresibilidad comparada con las arcillas; suelen encontrarse en los mismos depósitos que las gravas.
- **Limos:** son suelos de granos finos con poca o nula plasticidad, cuyo diámetro de partículas está comprendido entre 0.05mm y 0.005mm; de color variable desde gris claro a muy oscuro y alta compresibilidad, pudiendo subclasificarse como:
 - **Limo inorgánico:** como el producido en las canteras.
 - **Limo orgánico:** como el hallado en ríos, con características plásticas bien definidas.
- **Arcillas:** son partículas sólidas con diámetro menor a 0.005mm y cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al mezclarse con agua; de condiciones plásticas, se contraen al secarse, presentan marcada cohesión según su humedad, compresibles y de lenta compresión ante efectos de cargas.
- **Caliche:** caliche es el término que se aplica a ciertos estratos de suelo cuyos granos se encuentran cementados por carbonatos calcáreos. Según observaciones, para la formación de este tipo de suelo es necesario un clima semiárido.
- **Loess:** son sedimentos eólicos uniformes y cohesivos¹⁶; el diámetro de sus partículas se comprende entre 0.01mm y 0.05mm; de color castaño claro, los loess se distinguen porque presentan agujeros verticales que han sido dejados por raíces extinguidas. Son colapsables, aunque disminuye dicha tendencia al incrementársele su peso volumétrico.
- **Diatomita:** las diatomitas o tierras diatomáceas son depósitos de polvo silícico, generalmente de color blanco, compuesto total o parcialmente por residuos de diatomeas, que son algas unicelulares microscópicas de origen marino o agua dulce.
- **Gumbo:** suelo arcilloso fino, generalmente libre de arena y de apariencia cerosa a la vista, muy difícil de trabajar.

¹⁵ **Denudación.**- Estado de la tierra privada de vegetación.

¹⁶ **Cohesivo.**- Que produce cohesión.

Cohesión.- Adherencia, fuerza que une las moléculas de un cuerpo.

- **Tepetate:** material pulverulento, de color café claro u oscuro, compuesto de arcilla, limo y arena en proporciones variables; debe su origen a la descomposición y alteración, por intemperismo, de cenizas volcánicas basálticas.

A.5. Clasificación de los suelos

Debido a que existen diferentes puntos de vista acerca del estudio de los suelos, se han elaborado diversas clasificaciones de acuerdo al fin que pretenda servir, por lo que dentro de las más conocidas dentro del ámbito de la Geología¹⁷ se hallan:

- La clasificación por tamaño de partículas o por estudios de granulometría¹⁸, la cual permite identificar los suelos en dos grupos que son:
 - **Suelos gruesos:** en los que encontramos las gravas (G) y los suelos en que éstas predominen; así mismo las arenas y suelos arenosos (S).
 - **Suelos finos:** en los que se encuentran los limos inorgánicos (M), las arcillas inorgánicas (C), y los limos y arcillas orgánicas (O).
- La clasificación de la Asociación Americana de Funcionarios de Caminos Públicos (A.A.S.H.O. por sus siglas en inglés).
- La clasificación de la Administración de Aeronáutica Civil (C.A.A. por sus siglas en inglés).
- La clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.)¹⁹.

De éstos, el último es el que mayor aceptación ha tenido dentro de la Geología. Fue propuesto por Arthur Casagrande en 1942, y está basado en la división principal entre partículas finas y gruesas, y a su vez designando cada una por símbolos de grupo, consistentes en:

- **Prefijo:** la inicial en inglés de los seis principales tipos de suelos:
 - Grava (G).

¹⁷ Ciencia que estudia la Tierra y sus transformaciones.

¹⁸ Proceso por medio del cuál se identifican y clasifican los granos de suelo de acuerdo con el diámetro de sus partículas, a través del paso por filtros o mallas que determinan su espesor.

¹⁹ Juárez Badillo, Eulalio. et. al. **Mecánica de Suelos. Tomo I. Fundamentos de la Mecánica de Suelos.** Editorial Revista Ingeniería. México, 1965.

- Arena (S).
- Limo (M).
- Arcilla (C).
- Suelos orgánicos de grano fino (O).
- Turba.
- **Sufijo:** las subdivisiones de cada grupo anterior, donde las subdivisiones son las siguientes:
 - Las gravas y arenas se subdividen en:
 - Material prácticamente limpio de finos, bien graduado (W).
 - Material prácticamente limpio de finos, mal graduado (P).
 - Material con cantidad apreciable de finos no plásticos (M).
 - Material con cantidad apreciable de finos plásticos (C).
 - Los limos y arcillas, a su vez, se subdividen según su límite líquido, en dos grupos:
 - Si éste es menor al 50% (suelos de compresibilidad baja o media) se añade el sufijo (L).
 - Si éste es mayor al 50% (suelos de compresibilidad alta) se añade el sufijo (H).