

INDUCCION AL PROBLEMA DE LOS DESLIZAMIENTOS

I. INTRODUCCION

El problema de la estabilidad de taludes debe ser considerado y tiene que ver con muchos campos de la actividad humana, de un modo particular con la Ingeniería Civil.

Los deslizamientos y otros movimientos de talud han llamado la atención del hombre, tanto como otros fenómenos naturales incontrolables que amenazan continuamente su vida y su propiedad, tales como los temblores de tierra, la actividad volcánica, las inundaciones, etc.

En algunas regiones, los deslizamientos ocurren con muy poca frecuencia mientras que en otras, son tan frecuentes que se constituyen en uno de los factores importantes de la conformación topográfica y el paisaje. Debido al enorme perjuicio que se deriva de ellos en los bosques, tierras productivas, comunicaciones, asentamientos humanos y obras de ingeniería, pueden llegar a ser un problema económico y social de vastas proporciones.

En cuanto que su ocurrencia está asociada no sólo con los procesos naturales sino muy frecuentemente con la actividad humana, su estudio debe enfrentarse debidamente interrelacionado con los procesos mismos de desarrollo y organización social del hombre y con un claro sentido de comprensión de la naturaleza, entiéndase bien, de comprensión y armonía con la naturaleza más que de dominio sobre ella.

A. Definición de deslizamiento

En el sentido más estricto, se designan como deslizamientos a los movimientos rápidos de rocas masas de suelo deslizantes, separados de la parte estacionaria del talud que las subyace por un plano definido de separación.

En un sentido un poco más amplio, puede considerarse al deslizamiento como un movimiento rápido de una masa de suelo, residual o sedimentario, o de una masa de roca en el que el centro de gravedad de la masa que se mueve avanza hacia abajo y hacia afuera, en la dirección del movimiento.

Los fenómenos de deslizamiento también incluyen deformaciones lentas de talud, a muy largo plazo, en las que el movimiento generalmente no ocurre a lo largo de una superficie de falla definida sino que abarca una zona muy amplia que se caracteriza por un sistema de planos parciales de deslizamiento. Estas deformaciones que actúan a una tasa casi imperceptible de movimiento y poseen el carácter de un movimiento viscoso reciben el nombre de "creep".

La principal diferencia entre el deslizamiento y el creep radica en que en el creep no se puede hablar de una superficie de falla definida, mientras que en el deslizamiento si hay un plano de falla identificable, la masa involucrada es relativamente pequeña y tiene límites definidos. En el creep se producen deformaciones intrincadas en una zona de la masa de suelo o de roca, como en el caso de los movimientos tectónicos.

La velocidad de la masa movida de un deslizamiento típico sufre un incremento más o menos grande hasta que la masa alcanza un equilibrio relativo, para el que se ha producido un descenso apreciable de la tasa

de desplazamiento. En el caso del creep el movimiento ocurre a una velocidad constante y permanente; se trata de un movimiento continuo. En cuanto al comportamiento a la deformación, en el deslizamiento la deformación es similar a la de un cuerpo sólido; en el creep, el material tiende a comportarse como perfectamente plástico.

Taludes Inestables

Se llaman taludes inestables aquellos en los que se ha roto el equilibrio por causas internas o externas y, una vez perturbada la estabilidad, ocurren movimientos del más variado carácter.

La inestabilidad puede involucrar no únicamente los taludes naturales sino también los taludes de cortes asociados con excavaciones durante o posteriores a una etapa constructiva y los taludes de terraplenes, por deficiencias en sí mismos o en su fundación.

La ocurrencia de deslizamientos está frecuentemente asociada con la actividad humana, de un modo particular con procedimientos inadecuados de construcción, deficiencias en la planificación y desarrollo de los asentamientos humanos en laderas, deforestación, etc. que de una u otra forma van alterando a corto y a largo plazo el equilibrio natural de un talud. Su estudio pues, así como la importancia de sus efectos, solo podrá adelantarse y entenderse mediante una visión global y multidisciplinaria que se centre no únicamente en el fenómeno natural aislado sino fundamentalmente, en las interacciones del hombre con su medio ambiente, con la naturaleza.

Repercusiones económicas de los deslizamientos

El estudio de los fenómenos de inestabilidad de laderas y deslizamientos es de importancia tanto teórica como práctica, ya que el recono-

cimiento de las causas, carácter y desarrollo de los mismos hace posible apreciar el alcance del peligro y encontrar una solución adecuada para el control y corrección de áreas deslizadas. Deslizamientos que no puedan ser anticipados o que no sean bien entendidos pueden poner en peligro el esfuerzo del trabajo y las vidas humanas.

Las implicaciones económicas de los deslizamientos son obvias. Basta pensar mediante un breve repaso de experiencias ya vividas, en el gran impacto económico y social que puede llegar a representar un deslizamiento, dependiendo de sus características.

El balance no sólo se refiere a las pérdidas de los habitantes y obras de ingeniería del sector afectado, contabilizados en vidas, viviendas, semovientes, cultivos y tierras laborables, vías de comunicación, sistemas de servicios públicos y de riego y drenaje, sino también a los costos de reconstrucción, rehabilitación y mantenimiento, compra de propiedades adicionales y, de una magnitud difícilmente previsible, a los costos indirectos tales como demoras en el transporte, lucros cesantes y las comúnmente llamadas pérdidas del usuario.

Los deslizamientos y movimientos de talud, para sólo citar algunos casos de importancia, pueden poner en peligro:

- a. Desde una o varias viviendas individuales hasta una población completa.
- b. Extensiones apreciables de bosques o tierras agrícolas.
- c. Carreteras y otros sistemas de comunicación, en construcción o en servicio.
- d. Sistemas de conducción de agua, luz, teléfono, alcantarillado, gas etc.
- e. La operación de canteras y explotación de depósitos minerales.

- i. Proyectos hidroeléctricos, en especial la construcción de presas.
- g. Construcción de túneles, tuberías de presión, canales de desvío, etc.
- h. Embalses.

Hay numerosas referencias históricas que datan de muy antiguo entre las cuales merece destacarse una de las crónicas que describe una gran caída de rocas que en el año 563 de nuestra era destruyó la población de Taurentuno, a orillas del lago Lemán. Menciona la crónica que los bloques de roca que se desprendieron y cayeron, taponaron el valle del río, produciendo una ola de tal magnitud en el lago, que destruyó por completo sus orillas.

Las citas, como en el caso anterior, podrían multiplicarse; todas ellas ilustran la forma como los movimientos de talud han influido en la historia geomorfológica de la superficie terrestre, cuáles son sus manifestaciones actuales y demuestran además la importancia económica de los procesos de desestabilización de laderas.

II. CAUSAS PRINCIPALES DE LOS DESLIZAMIENTOS

El identificar las causas principales de la susceptibilidad de un área a deslizarse y los factores o mecanismos de falla es de gran importancia, ya que sólo un diagnóstico serio y preciso puede servir de base para el planeamiento y ejecución de medidas remediales efectivas.

La gran diversidad de tipos de deslizamiento refleja a su vez la variedad de factores que actuando individual o simultáneamente, son responsables de su origen.

En términos generales, se habla de las causas de los movimientos dividiéndolas en internas y externas: Las causas internas se refieren a aquellas

que tienden a disminuir la resistencia al corte de la masa de suelo involucrada en el movimiento y, las externas a aquellas que producen aumentos en los esfuerzos de corte propios del suelo.

A. Causas Internas

Entre las principales causas internas podemos citar las siguientes:

1. Acción del agua subterránea

- a. El agua de percolación o agua infiltrada establece su propio patrón de flujo subterráneo que ejerce presión sobre las partículas de suelo, debilitando la estabilidad de taludes.
- b. El agua subterránea puede lavar cementantes solubles y deteriorar así los lazos o fuerzas intergranulares: consiguientemente la cohesión aparente se elimina y el coeficiente de fricción interna disminuye.
- c. El flujo subterráneo "lava" partículas de arena fina y limo de el talud y de las cavidades subterráneas que así se forman, propiciando el fenómeno conocido como tubificación
- d. El agua subterránea confinada actúa sobre las capas impermeables suprayacentes. Al aumentar la altura piezométrica las presiones de poros hacen que los esfuerzos efectivos disminuyan, de un modo particular en las superficies potenciales de falla.

2. Cambios estructurales progresivos

La meteorización mecánica y química perturba gradualmente la cohesión de las rocas y genera un proceso continuo de disminución de resistencia. Hay evidencia de que los cambios químicos (hidratación e intercambios iónicos en arcillas) inducidos por el agua de percolación han sido otro de los factores de deterioro en algunos deslizamientos.

La falla en estos casos no se presenta por un cambio súbito en el clima sino más bien por ese proceso continuo de deterioro.

3. Descensos rápidos del nivel freático

4. Licuefacción espontánea

En arenas saturadas y arcillas sensibles, las cargas vibratorias pueden producir desplazamiento o rotación de los granos que conducen a una licuefacción súbita del suelo.

5. Los ciclos estacionales y cambios en el contenido de humedad del suelo.

a. Los efectos de la precipitación y el deshielo son de importancia. El agua penetra en las diaclasas o fisuras produciendo presión hidrostática en sus paredes; el aumento en la presión de poros a su vez, produce un cambio de consistencia que hace que disminuyan la fricción interna y la cohesión. Los deslizamientos recurrentes generalmente ocurren en las épocas de precipitación inusualmente alta.

b. Algunas medidas de potencial eléctrico efectuadas entre dos planos de contacto en los que se ha desarrollado un plano de deslizamiento explican que el aumento en contenido de humedad induce a movimientos de talud debido a procesos de electro-ósmosis.

c. En períodos de sequía los suelos arcillosos se contraen, presentando cambios significativos de volumen; como resultado de esto, las fisuras se abren, la cohesión del suelo disminuye y el agua puede penetrar en las rocas arcillosas.

6. Cambios en la cobertura vegetal de los taludes

Las raíces de los árboles contribuyen con la estabilidad de los taludes mediante efectos mecánicos y contribuyen al secado de los taludes absorbiendo parte del agua subterránea. La deforestación de las laderas altera considerablemente el régimen de agua en los estratos más superficiales.

B. Causas Externas

Entre las causas externas merecen especial mención:

1. Aquellas que producen una modificación importante del estado de esfuerzos, en especial un aumento en los esfuerzos de cizalladura, entre las que se destacan:

a. Cambios en la pendiente del talud, no solo por interferencias naturales sino artificiales tales como la pérdida de soporte lateral en la pata de un talud por erosión bajo la acción de las corrientes de agua o por excavaciones inadecuadas. De un modo excepcional, el cambio de gradiente en una ladera puede ser producido por procesos tectónicos, subsidencia o levantamientos. El aumento en la pendiente de un talud produce un cambio de esfuerzos en la masa de roca; el equilibrio se perturba entonces por el aumento en los esfuerzos de corte. Con el alivio de esfuerzos laterales las rocas o la masa de suelo se aflojan en el talud, facilitando la penetración del agua.

A más largo plazo, los procesos erosivos, especialmente la erosión laminar y el cárcavamiento modifican también las pendientes, debilitando la estabilidad de un talud.

b. Sobrecargas por construcciones, terraplenes, llenos, etc., las cuales pueden llevar a un aumento en los esfuerzos de cizalladura

y en la presión de poros que a su vez, produce una disminución de la resistencia. Mientras más rápida sea la aplicación de la sobrecarga, más peligrosa para la estabilidad de un talud.

c. Vibraciones y shocks. Los temblores de tierra, explosiones en gran escala y vibraciones de maquinaria producen oscilaciones de frecuencias diferentes y de este modo, un cambio temporal de esfuerzos que puede llegar a romper el estado de equilibrio de un talud.

2. Las Técnicas constructivas

Con más frecuencia de la imaginable, el empleo de técnicas constructivas inadecuadas llevan a un debilitamiento gradual de taludes, cuando no se convierten en uno de los principales mecanismos de falla que pueden llevar al colapso de estructuras importantes. El empleo de técnicas y equipos adecuados, la implementación de sistemas de protección, el buen manejo del agua superficial y subterránea y una comprensión clara del comportamiento del terreno y del problema que se está manejando deben integrarse para sortear con éxito los trabajos de construcción en terrenos difíciles y pendientes.

Recomienda Terzaghi que "el ingeniero debe ser muy cauto en llegar a conclusiones basadas en la experiencia en un área limitada y siempre debe considerar el espectro completo de las condiciones geológicas posibles antes de hacer cualquier generalización".

3. Manejo y uso de la tierra

Dentro de los múltiples factores que controlan la actividad del hombre, unos como el hambre y la sed son inmediatos mientras que

otros sólo se perciben de un modo indirecto. Sin embargo, basta detenerse un instante para pensar en la Tierra en sí misma como el elemento básico que controla todas las actividades del hombre.

La Tierra ha controlado la distribución de los grupos humanos de numerosas maneras. Unos de los primeros asentamientos permanentes se estableció en el valle de los ríos Tigris y Eufrates en donde en las zonas bajas, con las inundaciones anuales se configuró un escenario ideal para una economía de tipo agrario.

A medida que los asentamientos fueron creciendo, las necesidades y deseos del hombre se hicieron crecientes también y así la expansión tuvo lugar en áreas en donde la Tierra tenía algo diferente para ofrecer. Con la expansión, otros factores llegaron a ser importantes tales como el clima, la topografía, las fuentes de agua, todo lo cual contribuyó a la formación de tribus y grupos étnicos modificando así el lenguaje y la cultura humana.

Con el Renacimiento, el hombre tuvo un cambio gradual hacia la filosofía del explorador, del pionero, del industrial y casi sin darse cuenta dirigió sus esfuerzos y sus máquinas contra los procesos naturales que actúan sobre la superficie de la tierra, con una filosofía de dominio sobre la naturaleza y no de comprensión y convivencia con ellas, convirtiendo a la geología y los procesos naturales en un factor olvidado.

El afán de lucro desmedido y rentabilidad sin límites, especialmente a corto plazo y sin objeción alguna acerca de los impactos futuros que nuestras acciones de hoy podrían acarrear, han dirigido la acción del hombre con excesiva agresividad hacia la tierra, convirtiéndola en un factor importante de deterioro de la misma. Así, la destrucción de bosques, el sobrepastoreo, las técnicas agrícolas inadecuadas y, en el medio urbano, la creación y crecimiento

desordenado de los asentamientos humanos producto de un medio social complejo e injusto, se constituyen en factores altamente negativos que contribuyen a romper el equilibrio y la estabilidad de una ladera.

La comprensión del medio ambiente y el reconocimiento de que la vida en armonía con la naturaleza tiene algo que aportar al hombre debe contribuir a una nueva filosofía de construir con la Tierra y no de luchar contra ella.

III. CLASIFICACION DE DESLIZAMIENTOS

Los fenómenos de deslizamiento generalmente se estudian desde dos puntos de vista diferentes. En la medida en que se consideran como procesos naturales que participan en la modificación y conformación de la superficie terrestre son el sujeto de estudios geológicos. Los geólogos estudian los fenómenos de desplazamientos del terreno como uno de los procesos importantes de denudación exógena, con respecto a las causas de su origen, su evolución y las formas superficiales resultantes. El criterio de los ingenieros y geotecnistas es algo diferente. Ellos investigan los taludes desde el punto de vista de la seguridad de las obras asociadas con ellos y en este sentido, sus acciones se encaminan a evaluar con anticipación la tendencia de los taludes a desplazarse o fallar, para determinar ángulos máximos de excavación o de llenos, y a desarrollar métodos para una estimación confiable de la estabilidad de taludes así como de las medidas correctivas y de control que sean necesarias.

Sin embargo, los mejores resultados de estudios de deslizamientos sólo pueden lograrse mediante la combinación de estos dos puntos de vista. La determinación cuantitativa de la estabilidad de taludes por los métodos de la mecánica de suelos debe apoyarse en un conocimiento de la estructura

geológica del área, la composición detallada y la orientación de los estratos, y la historia geomorfológica de la superficie de la tierra. De otro lado, los geólogos podrían obtener un panorama más claro del origen y carácter de los procesos de deslizamiento evaluando sus consideraciones con los resultados de los análisis estáticos y las investigaciones de la mecánica de suelos y de rocas.

En la actualidad existen diversas clasificaciones de los movimientos de talud, dentro de las que se destacan las del HRB (Highway Research Board) y la de Skempton y Hutchinson.

La primera divide los movimientos de talud en 4 grandes grupos:

- I. Caídas
- II. Deslizamientos
- III. Flujos
- IV. Deslizamientos complejos

Para cada uno de ellos se tiene en consideración

- a. El tipo de material involucrado (suelo o roca)
- b. Si el movimiento es de pocas partes o de muchas partes o unidades
- c. La dirección del movimiento. (Caídas, rotaciones, translaciones)
- d. Si el desplazamiento de una parte es pequeño o grande en relación con el tamaño de ella misma.
- e. La tasa de movimiento y
- f. La textura y contenido de humedad del suelo

La clasificación de Skempton y Hutchinson establece que los deslizamientos se deben principalmente a fuerzas gravitacionales combinadas en ocasiones con la actividad sísmica y que la respuesta del talud a esas fuerzas depende de factores tales como la geología, la hidrología, la topografía, el

clima y la meteorización. A su vez, le han dado mayor importancia a la forma de la masa movida y descartan la tasa de movimiento como una base útil de clasificación. Entre los tipos principales de movimientos incluyen:

- a. Caídas
- b. Deslizamientos Rotacionales
- c. Deslizamientos Compuestos
- d. Deslizamientos translacionales
- e. Flujos
- f. Deslizamientos múltiples y complejos

La clasificación se convierte en una herramienta útil de trabajo en el análisis de movimientos de talud en la medida en que ayuda a establecer los mecanismos de falla, a agrupar los tipos de falla en categorías comunes, a estudiar los factores geológicos y a definir las medidas de corrección y estabilización.

IV. INVESTIGACIONES DE DESLIZAMIENTOS

El estudio de deslizamientos potenciales o existentes generalmente se orienta al establecimiento de las condiciones básicas que favorecen la ocurrencia de los mismos y a las medidas de corrección y protección a corto y largo plazo que es necesario implementar para estabilizarlos, evitarlos y anticiparlos. Para ello es necesario tener en cuenta factores tales como:

1. Carácter, estratigrafía y estructura de roca y suelos
2. Clima y otros factores ambientales
3. Vegetación
4. Topografía y uso de la tierra
5. Agua superficial y subterránea y,
6. Estructuras de Ingeniería

En donde ya han ocurrido deslizamientos generalmente la influencia ambiental es mayor y puede hablarse entonces de "deslizamientos reactivados" los que generalmente ocurren a lo largo de superficies pre-existentes de falla, donde impera la resistencia al corte residual.

En el estudio de deslizamientos potenciales, los reconocimientos geológicos deben encaminarse al establecimiento de los siguientes factores:

1. Unidades de suelo y roca y sus características
2. Distribución por áreas de dichas unidades
3. Secuencia de dichas unidades
4. Carácter y distribución de plegamientos, fallas, diaclasas y fisuras en las rocas.
5. Localización de zonas que puedan presentar problemas especiales
6. Patrones de drenaje
7. Depresiones o zonas en forma de cuenca que sugieran origen de deslizamientos
8. Terrazas
9. Taludes anormales empinados
10. Si la zona es de deslizamientos antiguos deberán establecerse las pendientes de los taludes inestables y de los taludes naturales intactos adyacentes.

En cuanto hace relación con el efecto de las estructuras de ingeniería deben estudiarse factores tales como:

1. Restricción del drenaje superficial
2. Sobrecarga de suelos relativamente débiles con rellenos o depósitos de productos, o con la misma estructura.
3. Sobrecarga de formaciones con estratificación en el sentido de la pendiente. (Rellenos en media ladera).

4. Aumento de la pendiente de corte en terrenos inestables
5. Remoción en los cortes de cubierta de suelo, roca o vegetación que servía de protección a materiales débiles
6. Incremento de presiones de infiltración o de presiones hidrostáticas y
7. Origen o activación de procesos erosivos

La elaboración de mapas topográficos "post-mortem" se justifica cuando las medidas de corrección implican relocalización de vías u otras obras.

La obtención de los mapas topográficos y geológicos, la elaboración de perfiles topográficos periódicos de la zona en estudio y, ante todo, de la instrumentación y sondeos exploratorios, son una herramienta de gran valor en estos estudios, así como las investigaciones de laboratorio necesarias para una buena caracterización del problema. Piezómetros, inclinómetros, deformómetros, apiques o pozos de prueba, métodos de prospección geofísica y puntos de control superficial proporcionan siempre una buena base de datos para los análisis de ingeniería que complementarán las demás observaciones y ayudarán a definir el espectro completo del caso en estudio.

V. LA PLANEACION URBANA Y LOS DESLIZAMIENTOS

En la localización y organización de asentamientos humanos, de conjuntos residenciales y de instalaciones industriales, las condiciones geotécnicas son frecuentemente desconocidas o pasadas por alto. La misma construcción de vías y servicios, al no prever con suficiente detalle y cuidado las condiciones de un área desde el punto de vista geológico y del suelo, pueden llegar a convertirse en factores desestabilizadores de una ladera y de deterioro acelerado del medio ambiente.

En áreas de montaña y donde las condiciones propias de desarrollo de una comunidad crean desequilibrios de importancia en la organización social, se favorece la génesis de asentamientos urbanos de tan rápido como desordenado crecimiento localmente conocidas como invasiones, sin redes de servicio, sin controles de agua superficial y subterránea, carentes de toda técnica constructiva conformando una verdadera patología urbana de contaminación y agresión al medio ambiente que más tarde revierte su acción catastrófica sobre el conglomerado que sirvió de agente en la creación de estas mismas condiciones

La memoria suele ser frágil y las condiciones sociales desesperadas de tal modo que áreas ya desestabilizadas son blanco predilecto para el desarrollo de estas invasiones en la mayoría de los casos; en otros la oportunidad de tierra "barata", tentadora oferta de compra para los entes estatales encargados de la vivienda popular, sumado a las presiones de máxima rentabilidad de la tierra

El hombre moderno ha heredado los sitios de la mayoría de las ciudades, sitios que fueron seleccionados en razón de una combinación afortunada de la tecnología del hombre primitivo los suelos la geología, las geformas o los recursos que existían cuando el área fue ocupada.

En los pasados cincuenta años la sociedad ha cambiado como respuesta a una tecnología siempre cambiante. Mayor libertad, más dinero y confort en muchas partes del mundo ha favorecido el desarrollo de una sociedad móvil. Este nuevo estilo de vida ha trasladado la filosofía del "pionero" a la tierra y de esta forma, la geología, la topografía y los suelos han quedado abiertos al desarrollo urbano.

Es así como el "pionero urbano" enfrenta un creciente número de pérdidas asociadas con los procesos naturales; casas en terrenos inundables, casas en laderas afectadas por deslizamientos, casas costeras destruidas por la

erosion y estructuras en regiones tectonicamente activas devastadas durante sismos. Y a medida que estos hechos aumentan en costo y en frecuencia, el hombre continúa invirtiendo grandes sumas de dinero y esfuerzo en atención de desastres y proyectos de ingeniería para proporcionar protección contra futuros desastres.

En los últimos años, el hombre ha comenzado a preguntarse si se justifica esta continua fuga económica e impacto ambiental, si se trata realmente de hechos fortuitos o son muchas veces el resultado de la ignorancia, la imprudencia o la fé ciega en la tecnología. Muchas ciudades modernas se están planteando estas preguntas y buscando las respuestas que equilibren una vez más la actividad humana con las condiciones geológicas y el medio ambiente natural.

No obstante, los intentos de conseguir este equilibrio necesario colocan a la ciudad en conflicto con sus ciudadanos y con su deseo de crecimiento. Los controles del uso de la tierra basados en factores sociales y geológicos podrán aplicarse únicamente cuando el público acepte que las inundaciones, los deslizamientos, los temblores y la erosión son procesos naturales y no picardías de una deidad. Una vez se tengan políticas que controlen el desarrollo de areas geológicamente peligrosas, será posible entonces desarrollar patrones de comportamiento que le permitan tanto al urbanizador como al público lograr sus respectivas metas.

LUIS FERNANDO OSORNO R.

Medellín, 2 de octubre de 1986