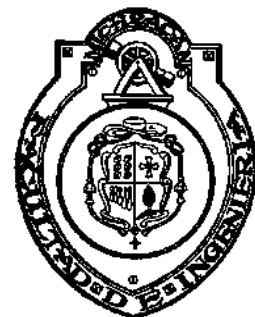


UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE
HIDALGO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

*“PROPUESTAS DE CONSERVACIÓN PARA ATENDER
PROBLEMAS DE EROSIÓN Y ESTABILIDAD EN
TALUDES CARRETEROS.”*

TESIS

Presenta:

LESLIE GIOVANNA GONZÁLEZ ANGEL

Para obtener el grado académico de:

INGENIERO CIVIL

Asesor:

DR. RAFAEL SOTO ESPITIA

Morelia, Mich., Agosto 2022.

ÍNDICE GENERAL

RESÚMEN.	9
ABSTRACT.	10
Palabras clave:	10
CAPÍTULO 1. Introducción.	11
1.1 Introducción.	11
1.2 Objetivos.	14
1.2.1 Objetivo general:	14
1.2.2 Objetivos particulares:	14
1.3 Hipótesis.	14
1.4 Justificación.	14
CAPÍTULO 2: Marco teórico.	16
2.1. Definición y clasificación de las carreteras.	16
2.2 Partes de un camino.	18
2.2.1 Características de los tipos de carreteras de acuerdo a la Norma de Servicios Técnicos.	22
2.3 Definición de corte y talud.	23
2.4 Diseño de un talud.	24
2.5 Factores influyentes en la inestabilidad de un talud.	25
2.5.1 Estratigrafía y litología.	26
2.5.2 Estructura geológica y discontinuidades.	27
2.5.3 Condiciones hidrogeológicas.	27
2.5.4 Propiedades geomecánicas de los suelos y de los macizos rocosos. ...	29
2.5.5 Tensiones naturales.	29
2.5.6 Otros factores.	30

2.6 Tipos de rotura.....	31
2.6.1 Taludes en suelos.....	31
2.6.2 Taludes en roca.....	31
2.6.3 Rotura plana.....	32
2.6.4 Rotura en cuña.....	32
2.6.5 Vuelco de estratos.....	32
2.6.6 Rotura por pandeo.....	33
2.6.7 Rotura curva.....	33
2.7 Análisis de estabilidad.....	33
2.7.1 Métodos de equilibrio límite.....	35
2.7.2 Taludes en suelos.....	36
2.7.2.1 Talud infinito.....	37
2.7.2.2 Método de las cuñas.....	37
2.7.2.3 Método de la masa total, método de Taylor.....	38
2.7.2.4 Ábacos de Hoek y Bray.....	39
2.7.2.5 Método de rebanadas. Método de Bishop.....	40
2.7.3 Taludes en rocas.....	40
2.7.3.1 Rotura plana.....	41
2.7.3.2 Rotura en cuña.....	41
2.7.3.3 Rotura por vuelco.....	42
2.7.3.4 Rotura por pandeo.....	42
2.7.3.5 Rotura curva.....	43
2.8 Clasificación geométrica de taludes.....	43
2.8.1 Índice SMR.....	43
CAPÍTULO 3. Componentes de la erosión y mecanismos de intemperismo.....	44
3.1 Erosión.....	44
3.1.1 Erosionabilidad.....	45

3.2 Erosión en suelos.	45
3.2.1 Erosión hídrica.	45
3.2.2 Erosión Laminar	45
3.2.3 Erosión en surcos.....	46
3.2.4 Erosión en Cárcavas.	46
3.2.5 Erosión interna (Piping).....	47
3.2.6 Erosión por afloramiento de agua.	47
3.3 Mecanismo de intemperismo.	47
3.3.1 Intemperismo o meteorización.	47
3.3.1.1 Meteorización física.	48
3.3.1.2 Meteorización química.	48
3.3.2 Etapas del proceso de meteorización	48
3.3.2.1 Desintegración.	48
3.3.2.2 Descomposición.	48
3.3.2.3 Hidrólisis.....	49
3.3.2.4 Intercambio catiónico	49
3.3.2.5 Oxidación y recementación.....	49
3.4 Clima.....	49
3.4.1 Temperatura.....	50
3.4.2 Humedad.....	50
3.4.3 Viento.	50
3.4.4 Presión atmosférica.....	50
3.5 Precipitación.	51
3.6 Escurrimiento.....	51
3.7 Infiltración.	52
3.8 La deforestación	53
CAPÍTULO 4. Esfuerzo y resistencia al cortante.....	55

4.1 Ángulo de fricción	56
4.2 Cohesión.....	56
4.3 Cohesión aparente	56
4.4 Esfuerzo efectivo	56
4.5 Esfuerzo-Deformación	57
4.5.1 Resistencia máxima o resistencia pico.....	57
4.5.2 Resistencia residual	57
4.5.3 Sentividad.	57
4.5.4 Parámetros de presión de poros	58
4.6 Etapas en el proceso de falla.....	59
4.7 Procesos en la etapa de deterioro.	59
4.7.1 Caída de granos.....	60
4.7.2 Descascaramiento.....	60
4.7.3 Formación, inclinación y caída de losas de roca.....	61
4.7.4 Caídos de bloques.	61
4.7.5 Desmoronamiento del talud.	61
4.7.6 Caídos de roca.....	62
4.7.7 Lavado superficial o erosión.....	62
4.7.8 Flujo de detritos.....	62
4.7.9 Colapso.	62
4.7.10 Disolución.....	63
4.7.11 Expansión y contracción.	63
4.7.12 Agrietamiento cosísmico.	63
4.7.13 Deformaciones por concentración de esfuerzos y fatiga.....	63
4.7.14 Agrietamiento por tensión.	63

4.8	Parámetros geométricos.....	64
4.8.1	Pendiente.....	64
4.8.2	Curvatura.....	64
4.8.3	Largo – ancho.....	64
4.8.4	Áreas de infiltración arriba del talud.....	65
4.9	Parámetros Geológicos.....	65
4.9.1	Formación Geológica.....	65
4.9.2	Estructura y discontinuidades.....	65
4.9.3	Meteorización.....	65
4.10	Parámetros Hidrológicos e Hidrogeológicos.....	65
4.10.1	Características de las lluvias.....	66
4.10.2	Régimen de aguas subterráneas.....	66
4.11	Parámetros Geotécnicos.....	66
4.11.1	Resistencia al Cortante.....	66
4.11.2	Permeabilidad.....	66
4.11.3	Sensitividad.....	66
4.11.4	Expansividad.....	67
4.11.5	Erosionabilidad.....	67
CAPÍTULO 5: Propuestas de conservación.....		68
5.1	Métodos de estabilización.....	69
5.1.1	Modificación de la geometría.....	70
5.1.2	Medidas de drenaje.....	71
5.1.3	Elementos estructurales resistentes.....	73
5.1.4	Muros y elementos de contención.....	75
5.1.5	Medidas de protección superficial.....	77

5.2 Caso práctico.	79
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES.....	88
BIBLIOGRAFÍA	90

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Clasificación de acuerdo al Manual de Proyecto Geométrico 2018. Tipos de carreteras y sus principales características.....	17
Tabla 2: Anchos de corona, de calzada, de acotamientos y de la faja separadora central.	22
Tabla 3: Factores influyentes en la inestabilidad de los taludes.....	26

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1: Sección transversal tipo A2.....	18
Figura 2: Elementos de un talud.....	24
Figura 3: Esquemas del nivel freático en un talud según la distribución de los materiales.....	28
Figura 4: Autopista siglo XXI, km 70+000	79
Figura 5: Planta del año 2018	80
Figura 6: Corte del año 2018.....	80
Figura 7: Planta del año 2019	81
Figura 8: Planta del año 2019	82
Figura 9: Planta del año 2020	82
Figura 10: Planta del año 2021	83
Figura 11: Planta del año 2021	84
Figura 12: Colapso del talud año 2021.....	84

Figura 13: Colapso del talud año 2021.....	85
Figura 14: Planta del año 2022	85
Figura 15: Corte del año 2022.....	86
Figura 16: Trabajos de estabilización con bermas 2022.	87
Figura 17: Trabajos de estabilización con bermas 2022.	87



RESÚMEN.

Los cortes son excavaciones a cielo abierto en el terreno natural, ampliaciones de taludes, rebases de corona de cortes o terraplenes existentes así como derrumbes, con el objetivo de preparar y formar la sección transversal de la obra.

Los taludes en ingeniería se proyectan para ser estables a largo plazo, precisando medidas de estabilización. Los elementos que conforman un talud son: altura, pie, cabecera y ángulo del talud.

La estabilidad de un talud está determinada por factores geométricos, los cuales son su altura e inclinación, factores geológicos que condicionan la presencia de planos y zonas de debilidad y anisotropía en el talud, factores hidrogeológicos, presencia de agua y factores geotécnicos o que se relacionan con el comportamiento mecánico del terreno que se refiere a su resistencia y deformabilidad.

La erosión es el desprendimiento, transporte y deposición de partículas o masas pequeñas de suelo o roca, por acción de las fuerzas generadas por el movimiento del agua. El flujo puede concentrarse en canales produciendo surcos y cárcavas. Es el principal agente de desertificación del suelo en el país, a causa del cambio climático en los últimos años esta ha aumentado de manera progresiva. Generando la inestabilidad en taludes de las carreteras mexicanas presentándose como uno de los mayores conflictos de conservación carretera.

Intemperismo es la alteración de los materiales rocosos expuestos al aire, a la humedad y al efecto de la materia orgánica; puede ser mecánico o de desintegración, y químico o de descomposición, ambos interactúan.

Las medidas de estabilización en taludes carreteros son los siguientes: modificación de la geometría, medidas de drenaje, elementos estructurales resistentes, elementos de contención, protección superficial.



ABSTRACT.

With the objective to prepare and form the transversal section of the road work, the highway cuts could be excavations on open sky and wild areas, slope extensions, overhanging the crown or existent embankments, besides landslides.

Using precise stabilization measurements, engineers project the slopes to be stables on the long term. The elements that are identified on a slope are: crest, cliff, talus slope, pediment slope.

The stability of a slope is determined by different factors such as its geometric factors, where the slope equals rise over run. Geological factors that determine the presence of planes (restrict the existence of dimensions), weak areas and the slope's anisotropy. Hydrogeological factors like water, geotechnical factors or factors that could be related with the mechanical behaviors of the ground, meaning its strength and deformability.

Erosion is the detachment, transport and deposition of particles or small masses of soil or rock, due to the forces generated by the flow of water. Sometimes this flow can be so concentrated, that it could produce furrows and gullies. This is the main cause of soil desertification in the country, and in recent years it has increased progressively due to climate change. This origins instability on slopes of Mexican highways, presenting itself as one of the greatest highway conservation conflicts.

Weathering is the alteration of rocky materials exposed to air, humidity and organic matter; it can be mechanical and or chemical decomposition, both interact.

The stabilization measurements on highway embankments are the following: modification of the geometry, drainage measures, resistant structural elements, containment elements and surface protection.

Palabras clave:

Talud, erosión, intemperismo, estabilidad, conservación.



CAPÍTULO 1. Introducción.

1.1 Introducción.

En la antigüedad la construcción de caminos fue un gran avance en las civilizaciones ya que esto ayudo a conectar simultáneamente las civilizaciones entre ellas.

Los primeros caminos conocidos en la historia fueron construidos por los romanos, los cuales modificaron a lo largo de la historia en el siglo XVIII Gautier y Tresaguet en Francia y en el siglo XIX Telford y McAdam en Escocia, los hombres mencionados anteriormente fueron considerados como los padres de la moderna técnica de construcción en calzadas (Blanco, 1987).

La carretera más antigua de larga distancia fue conocida como “Carretera Real Persa” la cual comenzaba en Susa, cerca del golfo Pérsico, continuaba hacia el noroeste de Arbela y de ahí hacia el oeste de Nínive a Harran, seguía hacia el noroeste de Samosata y hacia el oeste de Boghas-koei y más al oeste llegaba a Sardis donde existía una bifurcación hacia Efeso y Esmira. En Harran comenzaba un ramal que pasaba por Palmira, Damasco, Tiro y Jerusalén.

Según Herodoto en el año 475 a de J. C. la distancia desde Susa a Esmira era de 2957 km con un tiempo de recorrido de 93 días.

Se entiende por “camino”, aquella faja de terreno acondicionada para el tránsito de vehículos. La denominación de camino incluye a nivel rural las llamadas carreteras, y a nivel urbano las calles de la ciudad. El diseño geométrico de las carreteras y calles, incluye todos aquellos elementos relacionados con el alineamiento horizontal, el alineamiento vertical y los diversos componentes de la sección transversal (Reyes Espíndola & Cárdenas Grisales, 2000).

En 1533, cuando la Reina de España emitió en Madrid la Cédula Real que ordenó la construcción de caminos en la Nueva España. Es así que en nuestro país, Juan Bautista Antonelli -ingeniero militar italiano- trazó la primera vía transitable que iba de México a Veracruz, vía Orizaba, por mandato del Virrey Luis de Velasco (hijo), en 1590. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2015).



En 1891 el gobierno a cargo de Benito Juárez crea la primera dependencia federal que se encargó de construir caminos a la cual se le denominó Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas (SCOP). Dicha dependencia jugó un papel importante en el desarrollo de un México moderno, construyó la carretera México-Nuevo Laredo que unió la ciudad de México con la frontera a Estados Unidos con una longitud de 1,174 kilómetros. También construyó las primeras carreteras México-Pachuca, México-Acapulco y México-Guadalajara entre los años 1927 y 1929. En 1950 se inaugura la carretera Panamericana con una longitud de 3,446 kilómetros que abarcaba desde Ciudad Juárez, Chihuahua hasta Ocotlán, Chiapas. En ese mismo año SCOP cierra su trayectoria institucional con las autopistas de cuota: México-Querétaro y México-Cuernavaca.

El presidente Adolfo López Mateos en 1959 instituye la Secretaría de Comunicaciones y Transportes con la cual se inicia una era de modernidad en la construcción de caminos en México. Esta dependencia era responsable de planear, programar, construir, modernizar, operar y dar mantenimiento así como rehabilitación de la red de carreteras federales, caminos rurales y alimentadores.

Los caminos son la primer fuente de comunicación entre dos puntos sea cual sea el origen o destino, conforme pasan los años, el avance tecnológico y crecimiento poblacional la infraestructura carretera crece a la par con el objetivo de satisfacer las necesidades de los usuarios que las transitan a diario.

El desarrollo económico de un país está ligado directamente a su infraestructura carretera, ya que a través de ella se logra unir a los diversos sectores de la sociedad y promover el intercambio de productos y mercancías, movimiento de personas y cubrir necesidades de servicios de toda la población. Debido a lo anterior, debe existir una adecuada planeación, operación y conservación de la red carretera nacional, todo esto en armonía con el medio ambiente, para que el usuario transite por la red con la mayor seguridad y confort. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2018)



“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”



La red carretera del país tiene distintas clasificaciones las cuales tienen como objetivo agrupar las características físicas y las funciones del camino para integrarlas en redes que satisfagan las necesidades y los propósitos de comunicar y transportar, facilitando las acciones realizadas como lo es planear, proyectar, construir, modernizar, conservar y operar el sistema carretero mexicano.



1.2 Objetivos.

1.2.1 Objetivo general:

Propuesta de trabajos de conservación para cortes carreteros.

1.2.2 Objetivos particulares:

Analizar los componentes de la erosión.

Analizar los mecanismos del intemperismo.

Proponer técnicas para tratar la erosión así como sus beneficios.

Combinar distintas técnicas para mitigar la erosión.

1.3 Hipótesis.

Se mantendrá el principal objetivo de la conservación, el cual es mantener el nivel de servicio en tiempo y forma del camino, para así bajar el costo de operación. Ya que si el nivel de servicio se ve perjudicado por falta de conservación afecta directamente al usuario en cuanto a tiempos de recorrido y economía en la zona.

La falta de conservación en los cortes carreteros da como consecuencia deslizamientos de material y/o caídos de roca lo cual provoca una inestabilidad en el talud que puede llegar a ser mayor y caer completamente o fragmentos importantes de él. Lo cual como se menciona anteriormente que afectara el nivel de servicio del camino y por ende a la sociedad.

El que exista un talud inestable o erosión en él, puede provocar accidentes que afecten directamente a la sociedad, como los coches que circulan sobre el camino sufran aplastamiento por fragmentos de suelo y/o roca o que el desprendimiento de este ocasione un accidente automovilístico.

1.4 Justificación.

El presente trabajo de investigación surgió a través de la inquietud y necesidad de presentar y proponer técnicas de solución a la erosión y estabilidad en los taludes de las carreteras mexicanas, así como estudiar los problemas que genera la



“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”



inestabilidad y el impacto que esta tiene en la construcción y conservación de un camino.



CAPÍTULO 2: Marco teórico.

Para comprender el tema acerca de erosión e inestabilidad en los taludes de los caminos es necesario definir algunos conceptos relacionados con el tema los cuales se presentan a continuación.

2.1. Definición y clasificación de las carreteras.

Carretera: Camino público ancho y espacioso, pavimentado y dispuesto para el tránsito de vehículos, con o sin accesos controlados, que puede prestar un servicio de comunicación a nivel nacional, interestatal, estatal o municipal. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2012)

La República Mexicana está comunicada por 318,723.93 kilómetros de carreteras, de los cuales 103,021.66 son vías libres; 6,249.11 son de cuota; 157,037.16 son caminos rurales, y 52,416.00 son brechas, mismas que conforman una red de comunicación integral al permitir el libre tránsito en todo el país. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2018)

La clasificación de ellas tiene como objetivo agruparlas de acuerdo a sus características físicas y funciones para así integrarlas en esquemas que satisfagan las necesidades de los usuarios y sus propósitos.

Según la Secretaría de Comunicaciones y transportes en el manual de proyecto geométrico carretero en 2018 clasificaron las carreteras en 5 tipos los cuales son:

1. Clasificación administrativa: Se utiliza para denotar los diferentes niveles de responsabilidad gubernamental, así como su financiamiento, modernización y conservación. Son red federal, red estatal y red rural. Así mismo esta clasificación se basa en las características geométricas y sus niveles de servicio los cuales son autopistas, carreteras multicarril, carreteras de dos carriles, carreteras rurales.
2. Clasificación por nomenclatura: Esta se basa en el número de ruta, así mismo facilitando la administración e identificación por ejemplo, rutas federales



“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

MEX45, rutas estatales ZAC18 y rutas rurales AGS15. Esta nomenclatura consiste en asignar un número al itinerario que une dos puntos geográficos de la República y se identifica alfanuméricamente.

3. Clasificación según su importancia: Por su importancia regional se clasifican en red troncal (primaria), red alimentadora (red secundaria) y red colectora (terciaria), la clasificación se basa en el servicio regional que proporciona. La red troncal primaria es la principal comunicación sirve de corredor interestatal conectando todas las capitales estatales. La red secundaria vincula las ciudades y poblaciones importantes, así como zonas turísticas, industriales y agrícolas. La red terciaria son rutas que conectan las poblaciones rurales con los centros poblacionales.
4. Clasificación de acuerdo al Manual de Proyecto Geométrico: También puede considerarse como técnica, ya que se respalda en las características geométricas de las carreteras a partir de los datos básicos, el volumen horario de proyecto, el vehículo, el nivel de servicio esperado, velocidades de proyecto, distancias de visibilidad, de rebase o de encuentro.

Tabla 1. Clasificación de acuerdo al Manual de Proyecto Geométrico 2018. Tipos de carreteras y sus principales características.

Carretera tipo	Número de carriles	Control de accesos	Determinación geométrica	Principal medida de efectividad	Sección transversal
ET	Dos o más por sentido	Total	Eje de Transporte (Autopista)	Niveles de servicio en zonas de entrecruzamiento y tramos específicos o genéricos de la autopista.	Un cuerpo separado por barrera de concreto central, o faja separadora central o dos cuerpos separados
A	Dos o más por sentido	Total o parcial	Autopista o carretera libre	Niveles de servicio en zonas de entrecruzamiento y tramos específicos o genéricos de la autopista o de la carretera multicarril.	Un cuerpo separado por barrera de concreto central o dos divididos por una faja separadora central o dos cuerpos separados
B	Dos o más por sentido	Parcial	Carretera libre	Niveles de servicio en zonas de entrecruzamiento y tramos específicos o genéricos.	Un cuerpo separado por marcas en el pavimento o dos cuerpos divididos por una faja separadora central



“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

C	Uno por sentido	Parcial o sin control	Carretera libre	Niveles de servicio en tramos específicos o genéricos de la carretera.	Un cuerpo
D	Uno por sentido	Sin control	Carretera libre	Niveles de servicio en tramos específicos o genéricos de la carretera.	Un cuerpo
E	Uno por sentido	Sin control	Camino rural	Probabilidad de encuentro y distancia entre libraderos. No aplican niveles de servicio	Un cuerpo

Fuente: SCT 2018

5. Clasificación según su función: Esta se refiere al control total y parcial de accesos, camino dividido y no dividido, arteria urbana, camino de dos carriles, tres carriles o carriles múltiples, vía rápida y autopista.

2.2 Partes de un camino.

A continuación se presenta una sección transversal de carretera de dos carriles así como sus descripciones de acuerdo a la Norma de Servicios Técnicos y el Manual de Proyecto Geométrico.

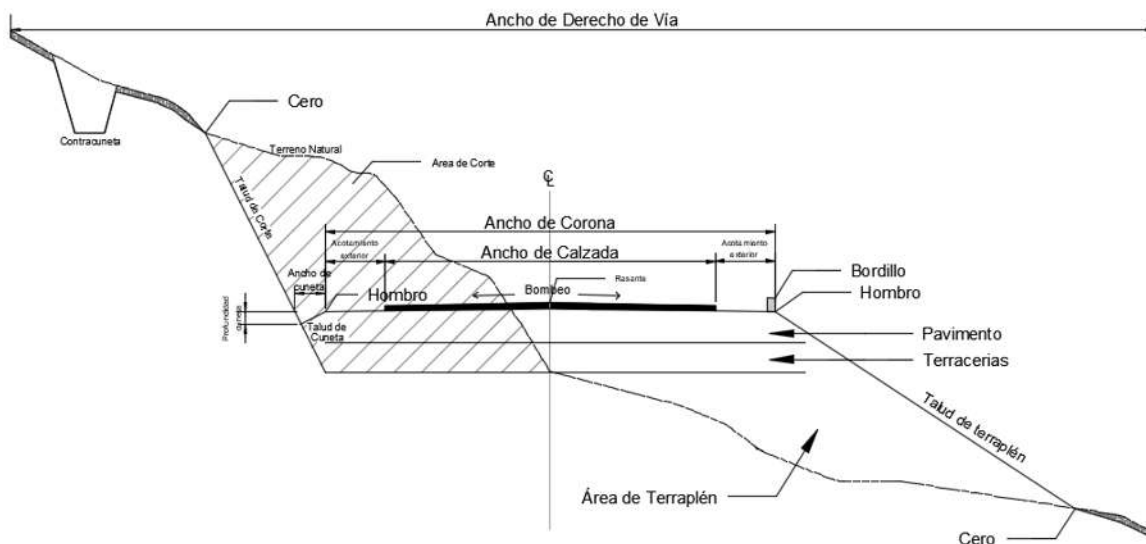


Figura 1: Sección transversal tipo A2

Fuente: SCT 2018



Ancho de derecho de vía.

Superficie de terreno cuyas dimensiones fija la secretaria, que se requiere para la construcción, conservación, reconstrucción, ampliación, protección, y en general, para el uso adecuado de una vía de comunicación y/o sus servicios auxiliares.

Terreno de restricción federal o estatal que va paralela a la vía de comunicación la cual se requiere para su construcción.

Ancho de corona.

Superficie terminada de una carretera, comprendida entre sus hombros.

Está dada por el ancho de calzada más el ancho de los acotamientos así como el ancho de la faja separadora en los casos de carreteras de cuatro carriles o más.

Ancho de calzada.

Está definida por el ancho del carril multiplicado por el número de carriles. El ancho de carril establecido en el MPGC-SCT-2018 es de 3.50 m para todo tipo de carreteras.

Calzada.

Parte de la corona destinada al tránsito vehicular.

El tipo de calzada está definido por la superficie de rodamiento que se constituye de dos capas de material seleccionado que va sobre la subrasante, siendo la capa superior el pavimento y existen dos tipos el rígido (concreto hidráulico) y es flexible (carpeta asfáltica). También existen los pavimentos de alto desempeño que están constituidos por pavimentos rígidos o flexibles de concreto asfáltico, de regular desempeño como lo son las mezclas asfálticas o de riego y de pobre desempeño que son los revestimientos. Otros pavimentos utilizados son los empedrados o adoquinados.

El tipo de pavimento a utilizar será de acuerdo al tipo de camino a construir, volumen y composición de tránsito así como los factores físicos y ambientales del lugar sin olvidar la parte económica y costos de operación.



Cero.

En sección transversal, punto de intersección de las líneas definidas por el talud del terraplén o del corte y el terreno natural.

Hombro.

En sección transversal, punto intersección de las líneas definidas por el talud del terraplén y la corona o por esta y el talud interior de la cuneta.

Rasante.

Proyección del desarrollo del eje de la corona de una carretera sobre el plano vertical.

Bombeo.

Pendiente transversal descendente de la corona o subcorona, a partir de su eje y hacia ambos lados en tangente horizontal.

Esta dependerá de la ubicación de cada una de las secciones en relación con el alineamiento horizontal del camino. En las tangentes horizontales a la pendiente transversal se le denominará bombeo y su finalidad será desalojar el agua hacia las obras de drenaje menor. En México el bombeo más utilizado es del 2% para los pavimentos de alto y bajo desempeño, pero para los pavimentos de desempeño pobre se utiliza un bombeo del 3%.

Acotamiento.

Faja contigua a la calzada, comprendida entre su orilla y la línea de hombros de la carretera o la guarnición de la banqueta o de la faja separadora.

Son las franjas contiguas a la calzada. Estos se construyen del mismo material de la calzada. Es conveniente dar una textura diferente a la calzada ya que alarma al usuario de que está circulando fuera de la calzada.

Los acotamientos deben de tener una inclinación de modo que drene el agua superficial hacia las cunetas rápidamente sin poner en riesgo la seguridad del usuario.



El ancho del acotamiento dependerá del tipo de camino proyectado con una distancia libre de mínimo 30 cm y preferentemente de 60 cm. Para las carreteras tipo ET y A se recomiendan 3.00 m, en caminos tipo B de dos carriles se recomiendan 2.50 m y para los tipo C un acotamiento de 1.00 m.

NOTA: En la práctica nacional el ancho de acotamiento exterior es de 2.5 m.

Cunetas.

Canal que se ubica en los cortes, en uno o en ambos lados de la corona, contiguo a la línea de hombros, para drenar el agua que escurre por la corona y/o el talud.

Tienen como función recolectar el agua superficial del derecho de vía del camino y transportarla, estas deben estar siempre limpias y libres de material así como deben tener un revestimiento que permita resistir las velocidades del flujo y protegerlas de la erosión.

Pueden ser de forma triangular o trapezoidal, no es recomendable las cunetas en sección rectangular ya que sus taludes tienden a sufrir daños.

Las cunetas se complementarán con otras obras de drenaje menor las cuales son: cunetas en corte, cunetas al pie de pendientes, contracunetas y lavaderos.

Contracuneta.

Canal que se ubica arriba de la línea de ceros de los cortes, para interceptar los escurrimientos superficiales del terreno natural.

Lavadero.

Obra complementaria de drenaje, que se construye para desalojar las aguas de la superficie de la carretera y evitar su erosión.

Talud.

Inclinación de la superficie de los cortes o de los terraplenes.

Los taludes laterales serán diseñados para permitir al conductor recuperar el control de los vehículos que salgan de la zona de rodamiento. Para su diseño se deberá consultar la NOM-037-SCT2-2012.



“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

La inclinación del interior no deberá ser mayor a la proporción 4:1, la pendiente del talud exterior no será mayor de 3:1. En caso de que se utilicen proporciones mayores será necesario construir muros de contención o barreras para detener los vehículos, y esto también dependerá de la estabilidad del suelo o la seguridad del tránsito.

Guarniciones y bordillos.

Las guarniciones ayudan a dar soporte a las superficies más altas como las banquetas, camellones etc. Mejoran el drenaje y delimitan el borde del pavimento. Inhibe que los vehículos salgan de la carretera y se usan particularmente en los túneles.

Los bordillos son elementos que evitan que el agua superficial de la carretera escurra directamente sobre el talud y le cause daños como la erosión. Se construyen sobre el acotamiento junto a los hombros de los terraplenes y guían el agua hacia los lavaderos del talud. Elemento que se construye sobre los acotamientos, junto con los hombros de los terraplenes, para evitar que el agua erosione el talud del terraplén.

Alineamiento horizontal.

Proyección del eje de proyecto de una carretera sobre el plano horizontal.

Alineamiento vertical.

Proyección del desarrollo del eje de proyecto de una carretera sobre un plano vertical.

2.2.1 Características de los tipos de carreteras de acuerdo a la Norma de Servicios Técnicos.

Tabla 2: Anchos de corona, de calzada, de acotamientos y de la faja separadora central.

Tipos de carretera	Anchos de			
	Corona (m)	Calzada (m)	Acotamientos (m)	Faja separadora central (m)
E	4.00	4.00	-	-



	D	6.00	6.00	-	-	
	C	7.00	6.00	0.50	-	
	B	9.00	7.00	1.00	-	
	A2	12.00	7.00	2.50	-	
A	A4	22.00 mínimo	2 x 7.00	Ext 3.00	Int 0.50	1.00 mínimo
	A4S	2 x 11.00	2 x 7.00	3.00	1.00	8.00 mínimo

Fuente: Norma de servicios técnicos.

2.3 Definición de corte y talud.

Las obras de infraestructura lineal carreteras, ferrocarriles requieren una superficie plana en la zona de pendiente, o alcanzar una profundidad determinada por debajo de la superficie, precisan la excavación de taludes. Los taludes se construyen con la pendiente máxima que resista el terreno, sin perjudicar las condiciones aceptables del terreno natural.

Según la N·CTR·CAR·1·01·003/11 los cortes son las excavaciones ejecutadas a cielo abierto en el terreno natural, en ampliación de taludes, en rebajes en la corona de cortes o terraplenes existentes y en derrumbes, con objeto de preparar y formar la sección de la obra, de acuerdo con lo indicado en el proyecto o lo ordenado por la Secretaría.

Los taludes en la ingeniería civil alcanzan alturas máximas de 40 o 50 metros y se proyectan para ser estables a largo plazo, precisando medidas de estabilización complementaria cuando no sea posible realizar las excavaciones con las alturas y ángulos requeridos. (Vallejo, 2002).

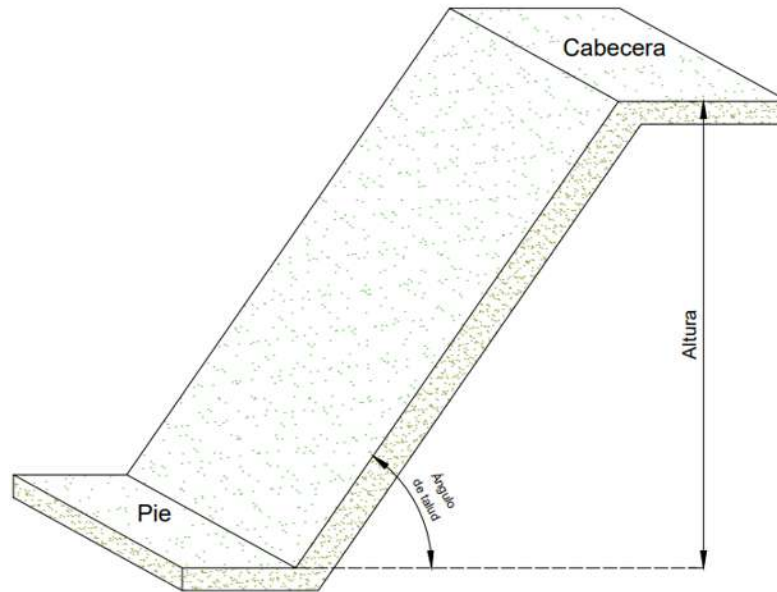


Figura 2: Elementos de un talud.

Fuente: Ingeniería Geológica (Luis I. González de Vallejo 2002)

Los elementos que componen a un talud son: (Diaz, 1998)

- ⊕ Altura: Es la distancia vertical entre el pie y la cabecera.
- ⊕ Pie: Corresponde al cambio brusco de pendiente en la parte inferior.
- ⊕ Cabecera: Se refiere al cambio brusco de pendiente en la parte superior.
- ⊕ Ángulo del talud: Es la medida de inclinación del talud.

2.4 Diseño de un talud.

Los estudios geológicos y geotécnicos requeridos para el diseño de un talud estable están en función de las condiciones requeridas ya sea si son a corto, mediano o largo plazo, la relación costo-seguridad, grado de riesgo así como la estabilización de los taludes inestables.

El objetivo de las investigaciones *in situ* es reconocer la geología y geotécnicamente terreno afectado por la excavación, con los fines de obtener los parámetros necesarios para analizar su estabilidad, diseñar los taludes, excavar los materiales, calcular las medidas de estabilización y proyectar obras de drenaje.



Cada proyecto debe ser analizado teniendo en cuenta lo siguiente de acuerdo a Luis I. González de Vallejo.

- ⊕ Dimensiones en cuanto a profundidad y longitud de los taludes.
- ⊕ Posición del nivel freático y las condiciones hidrogeológicas.
- ⊕ Litología y estructura hidrogeológica.
- ⊕ Los requisitos del proyecto los cuales son: si estarán diseñados a corto largo o mediano plazo, condiciones geométricas, etc.

2.5 Factores influyentes en la inestabilidad de un talud.

La estabilidad de un talud está determinada por una serie de factores geométricos los cuales son su altura e inclinación, factores geológicos que condicionan la presencia de planos y zonas de debilidad y anisotropía en el talud, factores hidrogeológicos presencia de agua y factores geotécnicos o que se relacionan con el comportamiento mecánico del terreno que se refiere a su resistencia y deformabilidad.

La combinación de los factores antes mencionados puede determinar la condición de falla a lo largo de una o varias superficies. La posibilidad de rotura y los mecanismos y modelos de inestabilidad de los taludes están controlados principalmente por factores geológicos y geométricos.

Los factores condicionantes o pasivos están definidos por los factores hidrogeológicos, geológicos y geotécnicos. En los suelos la litología, estratigrafía y las condiciones hidrogeológicas determinan las propiedades resistentes y el comportamiento del talud. En el caso de los macizos rocosos el principal factor condicionante es la estructura geológica la disposición y la frecuencia de las superficies de discontinuidad y el grado de fracturación.

Los factores desencadenantes o activos producen la ruptura una vez que cumplen una serie de condiciones. Son factores externos que actúan sobre los suelos o macizos rocosos modificando sus características y propiedades así como las condiciones de equilibrio del talud.



“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

Tabla 3: Factores influyentes en la inestabilidad de los taludes.

Factores condicionantes	Factores desencadenantes
– Estratigrafía y litología	– Sobrecargas estáticas
– Estructura geológica	– Cargas dinámicas
– Condiciones hidrogeológicas y comportamiento hidrogeológico de los materiales	– Cambios en las condiciones hidrogeológicas
– Propiedades físicas, resistentes y deformacionales	– Factores climáticos
– Tensiones naturales y estado tenso-deformacional	– Variaciones en la geometría
	– Reducción de parámetros resistentes

Fuente: Ingeniería geológica (Luis I. González de Vallejo 2002)

El conocimiento de todos los factores antes mencionados permitirá un correcto análisis del talud, su evaluación del estado de estabilidad y si es el caso diseñar las medidas para evitar o estabilizar los movimientos.

2.5.1 Estratigrafía y litología.

La naturaleza del talud está directamente relacionada con el tipo de inestabilidad que puede sufrir. Las propiedades físicas de cada material, la presencia de agua gobernarán su comportamiento tenso-deformacional y por lo tanto su estabilidad.

En el caso de los suelos generalmente se pueden considerar homogéneos en comparación con los materiales rocosos, las diferencias en el grado de compactación, cementación o granulometría predisponen zonas de debilidad y circulación de agua que pueden generar inestabilidades.

En los macizos rocosos la existencia de capas o estratos diferentes implica un diferente grado de fracturación en los materiales, lo que complica la caracterización del talud y su análisis de comportamiento.



2.5.2 Estructura geológica y discontinuidades.

La combinación de los elementos estructurales de los macizos rocosos con los parámetros geométricos del talud, altura e inclinación, su orientación definen los problemas de estabilidad.

La estructura del macizo quedará definida por la distribución espacial de sus discontinuidades, que se representan en bloques individuales de una matriz rocosa que se mantienen unidos entre sí por las características y propiedades resistentes de las discontinuidades. La presencia de planos de debilidad buzando hacia el frente del talud dará lugar a la existencia de planos de rotura y deslizamiento potenciales, su orientación y disposición condiciona los tipos, modelos y mecanismos de inestabilidad.

La presencia de discontinuidades implica un comportamiento anisótropo del macizo y planos preferenciales de rotura.

2.5.3 Condiciones hidrogeológicas.

La mayor parte de las roturas se producen por los efectos del agua en el terreno natural, como la generación de presiones intersticiales, o arrastres y erosión, superficial o interna de los materiales que forman el talud. El agua es el mayor enemigo de la estabilidad de los taludes.

La presencia de agua en el talud reduce su estabilidad al disminuir la resistencia del terreno y aumentar las fuerzas que tienden a la inestabilidad. Sus efectos más importantes son:

- ⊕ Reducción de la resistencia al corte en los planos de rotura al disminuir la tensión normal.
- ⊕ La presión ejercida sobre las grietas de tracción aumenta las fuerzas que tienden al desplazamiento.
- ⊕ Aumento en el peso del material por saturación.
- ⊕ Erosión interna por flujo subsuperficial o subterráneo.
- ⊕ Meteorización y cambios en la composición mineralógica de los materiales.
- ⊕ Apertura de discontinuidades por agua congelada.

La forma de la superficie freática en el talud dependerá de los factores como la permeabilidad de los materiales, la geometría o forma del talud y las condiciones del contorno. En los macizos rocosos la estructura geológica tiene una gran influencia en la disposición del nivel freático y en la distribución de las presiones intersticiales sobre la superficie potencial de deslizamiento en el talud así como la alternancia de materiales permeables o impermeables.

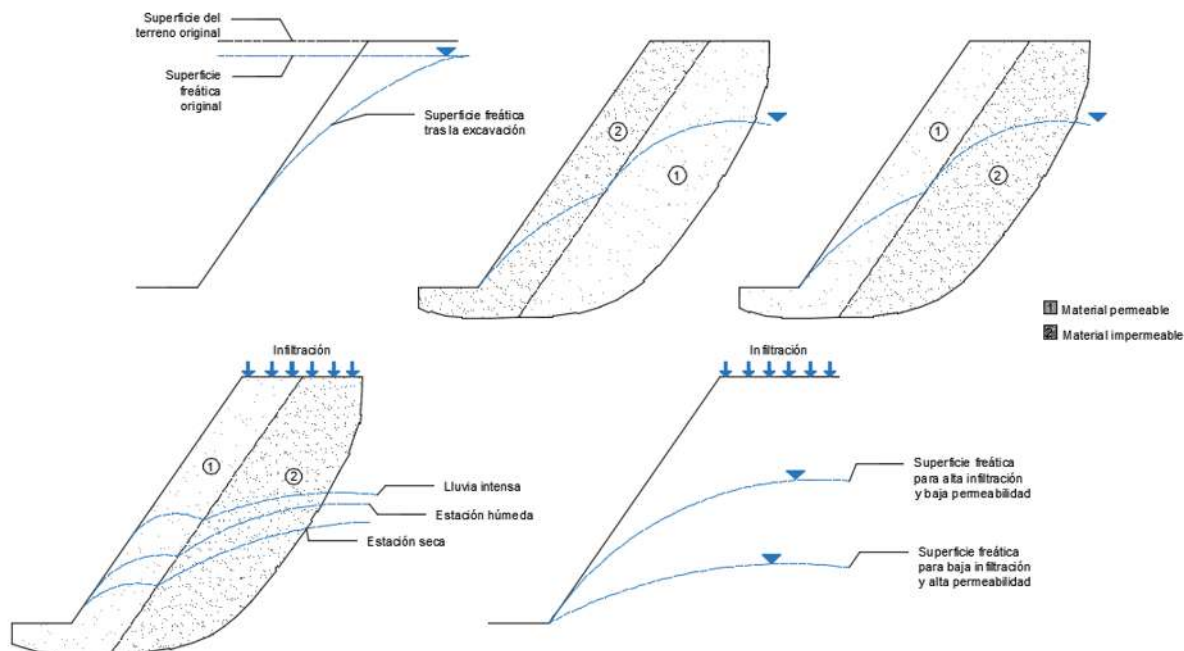


Figura 3: Esquemas del nivel freático en un talud según la distribución de los materiales.

Fuente: Ingeniería geológica (Luis I. González de Vallejo 2002).

La influencia del agua en las propiedades de los materiales depende de su comportamiento hidrogeológico, el efecto más importante es la presión ejercida que está definida por la altura del nivel piezómetro. Los aspectos más importantes para elevar la magnitud y distribución de las presiones intersustanciales en el talud y los efectos del agua son:

- ⊕ Comportamiento hidrogeológico de los materiales.
- ⊕ Presencia de niveles freáticos y piezómetros.



“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

- ⊕ Flujo del agua en el talud.
- ⊕ Parámetros hidrogeológicos de interés: coeficiente de permeabilidad o conductividad hidráulica, gradiente hidráulico, transividad y coeficiente de almacenamiento.

2.5.4 Propiedades geomecánicas de los suelos y de los macizos rocosos.

La resistencia al corte de un talud dependerá de los parámetros del material como la cohesión y rozamiento interno.

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

En los macizos rocosos son las propiedades resistentes de las discontinuidades y de la matriz rocosa las que controlan el comportamiento mecánico. En función de las características y estructura del macizo, de su red de fracturación y de la naturaleza de los materiales y de las discontinuidades, la resistencia vendrá controlada por las propiedades de la matriz rocosa o por ambas. El comportamiento de un macizo rocoso depende de las características de las discontinuidades así como su litología e historia geológica evolutiva.

La resistencia al corte de los planos de debilidad depende de su naturaleza y origen, continuidad, espaciado, rugosidad, tipo y espesor de relleno y presencia de agua.

2.5.5 Tensiones naturales.

La liberación de tensiones que puede suponer la excavación de un talud puede originar tal descompresión que el material se transforma y fragmenta por las zonas más débiles y pasa a comportarse como un suelo.

El estado tensional de un talud depende de su configuración geométrica y del estado de tensiones y del estado de tensiones del macizo rocoso previo a la excavación.

En las excavaciones profundas, las elevadas tensiones que se generan en las zonas singulares como el pie del talud pueden dar lugar al desequilibrio, llegando a veces a deformaciones plásticas. También en la cabecera del talud se generan estados



“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

tensionales anisótropos con componentes traccionales que provocan grietas verticales.

Si un macizo rocoso está sometido a tensiones de tipo tectónico, al hacerse una excavación estas tensiones se liberan y redistribuyen sobre él, esta modificación en el estado tensional contribuye a la pérdida de resistencia del material.

El efecto de relajación que produce la excavación puede dar lugar a deslizamientos en el macizo, al tener un nuevo estado de equilibrio, generando grietas o aperturas de los planos de discontinuidad. Las discontinuidades y las zonas con estructuras compresivas pueden convertirse en zonas de debilidad con la aparición de tensiones distensivas o traccionales.

2.5.6 Otros factores.

Las sobrecargas estáticas y las cargas dinámicas que se ejercen sobre los taludes modifican la distribución de las fuerzas y generan condiciones de inestabilidad. Están el peso de las estructuras, rellenos, escombreras, paso de vehículos pesados, que ejercen fuerza sobre la cabecera de los taludes y aportan carga adicional que contribuye al aumento de las fuerzas desestabilizadoras.

Las cargas dinámicas se deben los movimientos sísmicos, naturales o inducidos, y a las vibraciones producidas por voladuras cercanas al talud. El principal efecto de los macizos rocosos fracturados es la apertura de discontinuidades preexistentes, con la reducción de su resistencia al corte y la individualización y caída de bloques rocosos.

Las precipitaciones y el régimen climático influyen en la estabilidad de los taludes al modificar el contenido de agua del terreno. La alteración en los periodos de lluvia y sequia produce cambios en la estructura del suelo que dan lugar a pérdidas de resistencia.

En algunos tipos de suelo y macizos rocosos blandos, la meteorización juega un papel importante en la reducción de la resistencia, dando lugar a la alteración y degradación intensa al ser expuestos los materiales a las condiciones ambientales.



“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

Está pérdida de resistencia da lugar a la caída de material superficial y si afecta al pie de talud genera roturas sobre todo en presencia de agua.

2.6 Tipos de rotura.

2.6.1 Taludes en suelos.

Los taludes en suelo rompen generalmente a favor de la superficie de curvas con diferentes formas condicionadas por su morfología y estratigrafía del talud.

Si se dan determinadas condiciones en el talud, como la existencia de estratos o capas de diferente competencia, puede tener lugar una rotura a favor de una superficie plana o de una superficie poligonal formada por varios tramos planos.

Las roturas de taludes en los suelos a favor de un plano paralelo al talud son prácticamente inexistentes, aunque el modelo puede ser válido en el caso de las laderas naturales con recubrimientos de suelos sobre rocas o en el caso de taludes rocosos, donde la presencia de discontinuidades paralelas al talud puedan definir superficies de roturas planas aunque muchas de las veces estas no alcanzan la cabecera del talud.

2.6.2 Taludes en roca.

Los diferentes tipos de rotura están condicionados por el grado de fracturación del macizo rocoso y por la orientación y distribución de las discontinuidades con respecto al talud, quedando su estabilidad definida por los parámetros resistentes de las discontinuidades y de la matriz rocosa.

En los macizos rocosos duros o resistentes las discontinuidades determinan la situación de los planos de rotura. En macizos formados por rocas blandas poco competentes, la matriz rocosa jugará un papel importante en la generación de estos planos y en el mecanismo de rotura.

Los modelos de rotura más frecuentes son: rotura plana, rotura en cuña, por vuelco, por pandeo y curva.



2.6.3 Rotura plana.

Se produce a favor de una superficie preexistente que puede ser la estratificación, una junta tectónica, una falla etc. La condición básica es la presencia de discontinuidades buzando a favor del talud y con su misma dirección, cumpliéndose la condición de que la discontinuidad debe estar descalzada sobre el talud y su buzamiento debe ser mayor que su ángulo de rozamiento interno. En los taludes excavados paralelos a la estratificación, pueden tener lugar a roturas planas por deslizamiento de los estratos. Este tipo de rotura es típica en macizos lutíticos o pizarrosos generándose planos de rotura a favor de la esquistosidad.

Los diferentes tipos de rotura plana dependen de la distribución y características de las discontinuidades en el talud, las más frecuentes son:

- ⊕ Rotura por un plano que aflora en la cara o en el pie del talud, con o sin grieta de tracción.
- ⊕ Rotura en un plano paralelo a la cara del talud, por erosión o pérdida de resistencia en el pie.

2.6.4 Rotura en cuña.

Corresponde al deslizamiento de un boque en forma de cuña, formado por dos planos de discontinuidad, a favor de su línea de intersección. Para que se produzca este tipo de rotura, los dos planos deben aflorar en la superficie del talud y se deben cumplir iguales condiciones que para la rotura plana. Este tipo de rotura suele presentarse en macizos con varias familias de discontinuidades, cuya orientación, espaciado y continuidad determina la forma y el volumen de la cuña.

2.6.5 Vuelco de estratos.

Se produce en taludes de macizos rocos donde los estratos presentan buzamiento contrario a la inclinación del talud y dirección paralela o subparalela al mismo. En general, los estratos aparecen fracturados en bloques a favor del sistema de discontinuidades ortogonales entre sí. Este tipo de rotura implica el movimiento de rotación de bloques y la estabilidad de los mismos no está únicamente condicionada por su resistencia al deslizamiento.



2.6.6 Rotura por pandeo.

Este tipo de rotura se produce a favor de planos de estratificación paralelos al talud, con buzamiento mayor que el ángulo de rozamiento interno. La rotura puede ocurrir con o sin flexión del estrato, la condición necesaria es que los estratos sean suficientemente esbeltos, en relación con la altura del talud, para poderse pandear.

Las causas que pueden generar la rotura por pandeo son:

- ⊕ Altura excesiva del talud.
- ⊕ Existencia de fuerzas extremas aplicadas sobre los estratos.
- ⊕ Geometría desfavorable de los estratos.
- ⊕ Existencia de presiones de agua sobre los estratos.
- ⊕ Concentración desfavorable de tensiones.

2.6.7 Rotura curva.

Puede ocurrir en macizos rocosos blandos poco competentes y en macizos muy alterados o intensamente fracturados, que presentan un comportamiento isótropo y donde los planos de discontinuidad no controlan el comportamiento mecánico.

2.7 Análisis de estabilidad.

Los análisis de estabilidad se aplican al diseño de taludes o cuando estos presentan problemas de inestabilidad. Se debe elegir un coeficiente de seguridad de acuerdo a lo que se necesite, por ejemplo dependerá de la finalidad de la excavación y del carácter temporal o definitivo del talud, combinando la seguridad, costos, consecuencias o riesgos que podría causar la rotura. Para taludes permanentes, el coeficiente de seguridad debe ser igual o superior a 1.5 o 2.0, dependiendo de la seguridad exigida. Para taludes temporales el factor de seguridad gira en torno a 1.3 o valores menores.

Los análisis permiten definir la geometría de la excavación o las fuerzas externas que deben ser aplicadas para lograr el factor de seguridad requerido. En el caso de los taludes inestables, los análisis permiten diseñar medidas de corrección o una estabilización adecuada para evitar nuevos deslizamientos.



Los métodos de análisis de estabilidad se basan en un planteamiento físico-matemático en el que intervienen fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras que actúan sobre el talud y que determinan su comportamiento y condiciones de estabilidad. Se agrupan en:

- ⊕ **Métodos determinístico:** Estos métodos indican si el talud es estable o no, son las supuestas o conocidas condiciones en las que se encuentra el talud. Consiste en seleccionar los valores adecuados de los parámetros físicos y resistentes que controlan el comportamiento del material, para que a partir de ellos y de las leyes de comportamiento se defina el estado de estabilidad o el factor de estabilidad del talud. Existen dos grupos: métodos de equilibrio limite y métodos de tenso-deformacionales.
- ⊕ **Métodos probabilísticos:** Consideran la probabilidad de rotura del talud bajo ciertas condiciones determinadas. Es necesario conocer las funciones de distribución de los diferentes valores considerados como variables aleatorias en los análisis, realizándose a partir de ellas el cálculo del factor de seguridad mediante procesos iterativos. Se obtienen las funciones de densidad de probabilidad y distribución de probabilidad del factor de seguridad, y curvas de estabilidad del talud, con el factor de seguridad asociado a una determinada probabilidad de ocurrencia.

La elección del método de análisis más adecuado en cada caso dependerá de:

- ⊕ Las características geológicas y geomecánicas de los materiales.
- ⊕ Los datos disponibles del talud y su entorno.
- ⊕ El alcance y objetivos del estudio, grado de detalle y resultados que se espera obtener.

Estos factores son interdependientes entre sí, no se podrá efectuar un análisis detallado si no se dispone de los datos necesarios y suficientes, al igual que un caso de estabilidad complejo no podrá ser abordado por un método simple por el hecho de tener pocos datos. Se debe tener en cuenta que los datos de campo así como



los de laboratorio deberán ser obtenidos en función del método de análisis de estabilidad que se vaya a emplear.

2.7.1 Métodos de equilibrio límite.

Los métodos de equilibrio límite son los más usados, los cuales analizan el equilibrio de una masa potencialmente inestable, y consiste en comparar las fuerzas que tienden al movimiento con las fuerzas resistentes que se oponen al mismo a lo largo de una determinada superficie de rotura. Se basan en:

- ⊕ La selección de una superficie teórica de rotura en el talud.
- ⊕ El criterio de rotura de Mohr-Coulomb.
- ⊕ La definición de coeficiente de seguridad.

Los problemas de estabilidad son estáticamente indeterminados, para su resolución es preciso considerar una serie de hipótesis. Se asumen las siguientes condiciones:

- ⊕ La superficie de rotura debe ser postulada con una geometría tal que permita que ocurra el deslizamiento, es decir, será una superficie cinemáticamente posible.
- ⊕ La distribución de las fuerzas actuando en la superficie de rotura podrá ser computada utilizando datos conocidos como el peso específico del material, presión del agua, etc.
- ⊕ La resistencia se moviliza simultáneamente a lo largo de todo el plano de rotura.

Con estas condiciones se establecen las ecuaciones del equilibrio entre las fuerzas que inducen el deslizamiento y las resistentes. Los análisis proporcionan el valor del coeficiente de seguridad del talud para la superficie analizada, referido al equilibrio estricto o límite entre las fuerzas que actúan.

Una vez evaluado el coeficiente de seguridad de la superficie supuesta, es necesario analizar las superficies de rotura, cinemáticamente posible, hasta encontrar aquella que tenga menor coeficiente de seguridad.



“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

Las fuerzas actuando sobre un plano de rotura o deslizamiento potencial, suponiendo que no existen fuerzas externas sobre el talud, son las debidas al peso del material, a la cohesión y a la fricción del plano.

Existen distintos métodos para el cálculo del coeficiente de seguridad por equilibrio límite, los métodos analíticos proporcionan el coeficiente de seguridad a partir de la resolución inmediata de ecuaciones simples como el método de Taylor y el método de Fellenius, mientras que los métodos numéricos necesitan para su resolución sistemas de ecuaciones y procesos de cálculo iterativo como el método de Mongenstern y Price y el método de Spencer.

Los métodos por equilibrio límite se clasifican en:

- ⊕ Métodos que consideran el análisis del bloque o masa total.
- ⊕ Métodos que consideran la masa dividida en rebanadas o fajas verticales.

Los primeros son utilizados para materiales homogéneos y únicamente realizan el cómputo y la comparación de fuerzas en un punto de la superficie de rotura. Los segundos pueden considerar materiales no homogéneos y conllevan una serie de hipótesis propias sobre la localización, posición y distribución de fuerzas que actúan sobre las rebanadas.

Para las roturas en rocas los métodos se basan igualmente en las ecuaciones del equilibrio entre las fuerzas actuantes, establecidas en la base a la geometría concreta de cada tipología de rotura.

2.7.2 Taludes en suelos.

Los métodos para el análisis de estabilidad en suelos se pueden considerar:

- ⊕ El análisis de roturas planas en taludes infinitos.
- ⊕ El análisis de varios bloques de terreno que interaccionan entre si, aplicable a superficies de rotura tipo poligonal.
- ⊕ Los métodos que analizan el equilibrio total de una masa deslizante, de desarrollo circular o logarítmico, para análisis de roturas curvas.
- ⊕ Los métodos de rebanadas.



2.7.2.1 Talud infinito.

El método se basa en la hipótesis de que la longitud de una rotura plana superficial paralela al talud puede considerarse infinita con respecto al espesor deslizado. Este método se utiliza generalmente para el análisis de estabilidad de laderas naturales.

Basta con analizar lo que sucede en una sección o rebanada del talud sometida lateralmente a los empujes y a su propio peso, en su base. El peso produce una fuerza tangencial deslizante y al mismo tiempo genera un mecanismo de rozamiento en dicha base, función de rozamiento interno del terreno, que se opone al deslizamiento mediante su componente tangencial. A esta componente se le agrega la posible existencia de una fuerza resistente debida a la cohesión.

Si no hay cohesión el factor de seguridad estará dado por la siguiente expresión:

$$F = A \frac{\tan \phi'}{\tan \alpha} + B \frac{c'}{\gamma H}$$

Siendo $B = 1/(\cos \alpha \sin \alpha)$ un parámetro que depende de la inclinación del talud.

2.7.2.2 Método de las cuñas.

Si bien la hipótesis de rotura según un plano puede ser muy simplista para el caso de suelos, la consideración de una superficie de forma poligonal, con la formación de dos o más bloques que se apoyan en los contiguos, puede reproducir adecuadamente el problema en algunos casos, como en las presas de tierras, terraplenes sobre suelos blandos, etc. Siempre que se admita una ley de rotura de tipo Mohr-Coulomb en los planos de rotura.

Para este tipo de análisis la masa deslizante se divide en varios bloques mediante líneas verticales para los que se establece el equilibrio de fuerzas verticales y horizontales. El coeficiente de seguridad es la relación entre la resistencia tangencial disponible y la requerida para el equilibrio.

El método se aplica de la siguiente manera:

- ⊕ Se supone una superficie de rotura.



“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

- ⊕ Se divide la masa deslizante en dos o más cuñas, de forma que cada tramo recto de la superficie de rotura solo afecte a un tipo de terreno.
- ⊕ Se calcula el peso de cada cuña.
- ⊕ Se supone un valor para el coeficiente de seguridad F_1 , y se calculan los valores $c_m = c/F_1$ y $\tan \phi_m = \tan \phi/F_1$.
- ⊕ Se construye el polígono de fuerzas para la cuña extrema a partir del valor ϕ_m y suponiendo un valor para el ángulo δ con lo que se cierra el polígono.
- ⊕ A partir de lo obtenido, se establece el equilibrio en el siguiente bloque y así sucesivamente hasta el último bloque en el que se calcula la fuerza necesaria para el cierre del polígono, comprobando si hay equilibrio para los valores de la cohesión y rozamientos movilizados c_m y ϕ_m .
- ⊕ Si hay equilibrio, el coeficiente de seguridad es F_1 . En caso contrario se supone otro valor, F_2 y se inicia el cálculo de nuevo hasta obtener el coeficiente de seguridad de la superficie tomada.
- ⊕ Se adopta otra nueva superficie poligonal y se inicia el proceso de nuevo, hasta obtener la superficie con menor valor de F .

Es muy frecuente suponer $\delta = 0$ es decir, que los empujes entre los bloques son horizontales.

2.7.2.3 Método de la masa total, método de Taylor.

La utilización de las superficies de rotura circulares en dos dimensiones es una hipótesis muy utilizada en la práctica y representa el problema real en taludes de altura finita, cuando no existen zonas de terreno que definen claramente el desarrollo de superficies de rotura. Sobre la superficie de rotura se ejercen las acciones siguientes:

- ⊕ El peso propio W , de la masa de suelo.
- ⊕ La presión intersticial del agua, distribuida a lo largo de la superficie de rotura, con la resultante U .
- ⊕ Un esfuerzo tangencial distribuido sobre la superficie de rotura, resultando $T(R_c + R_\phi)$.



“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

- ⊕ Un esfuerzo normal distribuido sobre dicha superficie, de resultante N .

Si el análisis se realiza teniendo en cuenta el rozamiento, debido a la naturaleza del terreno o a las condiciones de drenaje, es necesario añadir alguna hipótesis complementaria para resolver el problema. La más difundida puede considerarse la de Taylor, que admite que la resultante de las fuerzas normales está concentrada en un solo punto dando lugar al denominado método del círculo de rozamiento o método de Taylor, en el que es necesario realizar diversos tanteos gráficos o analíticos.

A partir de este método, Taylor analizó el problema adimensionalmente para suelos homogéneos a fin de poder establecer ábacos de uso sencillo. Según se considere terreno solo con cohesión (rotura sin drenaje), o suelos con rozamiento interno, se pueden emplear sus ábacos.

Los círculos de rotura más desfavorables pueden ser del tipo:

- ⊕ Círculos de pie, cuando pasan por el pie del talud.
- ⊕ Círculos de punto medio, tangentes a la capa dura con centro sobre la vertical del punto medio del talud.
- ⊕ Círculos de talud, con salida en la cara del talud.

2.7.2.4 Ábacos de Hoek y Bray

Basados en el método de Taylor, los ábacos de Hoek y Bray (1981) permiten el cálculo del coeficiente de seguridad de taludes en suelos con rotura circular por el pie del talud, de forma rápida y sencilla, a partir de los datos geométricos del talud y de los parámetros resistentes del suelo. Se asumen las hipótesis:

- ⊕ El material de talud es homogéneo.
- ⊕ Se considera la existencia de una grieta de tracción.
- ⊕ La tensión normal se concentra en un único punto de la superficie de rotura.

Se consideran cinco casos con respecto a la situación de la superficie freática en el talud, desde seco a saturado, con flujo paralelo en el talud, en función de lo que se eligen uno de los cinco ábacos de cálculo.



2.7.2.5 Método de rebanadas. Método de Bishop.

La hipótesis de Taylor asume que las tensiones normales en la superficie de rotura están concentradas en un único punto, lo que se supone que en cierto punto es un error, aunque queda del lado de la seguridad. El ábaco de Taylor solo permite el estudio con presencia de agua en caso de un suelo homogéneo y nivel freático horizontal.

Para evitar todo lo anterior Bishop desarrolló un método en 1955 llamado el método de rebanadas o método de Bishop el cual presenta las siguientes hipótesis:

- ⊕ Se supone una superficie de rotura circular.
- ⊕ La masa deslizante se divide en n rebanadas o fajas verticales.
- ⊕ Se establece el equilibrio de momentos de las fuerzas actuantes en cada rebanada respecto al centro del círculo.
- ⊕ De la condición de equilibrio de fuerzas verticales en cada rebanada se obtienen las fuerzas Normales a la superficie de rotura y se sustituyen en la ecuación de momento que resulte.
- ⊕ El método de Bishop simplificado supone, que las fuerzas de contacto entre cada dos rebanadas no influyen, por estar equilibradas.
- ⊕ Se obtiene la expresión del coeficiente de seguridad, de la superficie considerada.

2.7.3 Taludes en rocas.

Los taludes de roca, sus inestabilidades son debidas a las características del macizo rocoso, al estado de conservación del talud y a las condiciones de penetración del agua.

Los tipos de rotura están condicionados por el grado de fracturación del macizo rocoso y por su orientación así como la distribución de discontinuidades respecto al talud, quedando su estabilidad definida por los parámetros resistentes de las discontinuidades y la matriz rocosa.



2.7.3.1 Rotura plana.

El caso más simple de análisis. A partir de las fuerzas actuantes sobre la superficie de rotura considerada, se establece la ecuación del coeficiente de seguridad.

$$F = \frac{cA + (W \cos \alpha - U) \tan \phi}{W \sin \alpha}$$

Donde:

cA = fuerza debida a la cohesión en el plano de deslizamiento.

$(W \cos \alpha - U) \tan \phi$ = fuerza debida al rozamiento en el plano.

$W \cos \alpha$ = componente estabilizadora del peso normal a la superficie de deslizamiento.

U = fuerza total debida a la presión de agua sobre la superficie de deslizamiento.

$W \sin \alpha$ = componente del peso tendente al deslizamiento paralela a la superficie de deslizamiento.

2.7.3.2 Rotura en cuña.

Para el análisis de estabilidad de una cuña se pueden emplear distintos procedimientos, dependiendo de la exactitud requerida y de la finalidad del análisis.

Las expresiones matemáticas que proporcionan el factor de seguridad de una cuña por el método analítico de Hoek y Bray son complicadas. El caso más simple, suponiendo que solo existe fricción para los dos planos de cuña y que el ángulo de fricción es el mismo para ambos, el coeficiente de seguridad se obtiene:

$$F = [(R_A + R_B) \tan \phi] / W \sin \alpha$$

Siendo α el ángulo de línea de intersección con la horizontal. Para R_A y R_B se calculan las fuerzas actuantes en la dirección paralela y perpendicular a la línea de intersección de los planos de cuña.

Los datos necesarios para el cálculo del coeficiente de seguridad de la cuña son:

- ⊕ Dirección y buzamiento de los dos planos de cuña.



“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

- ⊕ Áreas de los planos.
- ⊕ Peso de la cuña.
- ⊕ Valores de la fricción y cohesión de cada plano.
- ⊕ Valores de los esfuerzos hidrostáticos que actúan normalmente en cada plano.

2.7.3.3 Rotura por vuelco.

El análisis de rotura por vuelco de bloques se lleva a cabo estudiando las condiciones de equilibrio de cada uno de los bloques que conforman el talud. Para realizar los cálculos se establecen las relaciones entre todos ellos considerando sus acciones mutuas y las relaciones geométricas de los bloques y del talud.

Goodman y Bray (1976) y Hoek y Bray (1981) han desarrollado el análisis para los casos sencillos y taludes con bloques esquemáticos. Los casos más complejos no pueden ser representados con modelos simples y no pueden ser analizados mediante métodos de equilibrio límite.

2.7.3.4 Rotura por pandeo.

Este análisis se realiza mediante las ecuaciones para pandeo de vigas, empleadas en el análisis de resistencia de materiales. La expresión del factor de seguridad para una columna de roca que puede sufrir pandeo viene dada por:

$$F = P_{cr}/P_D$$

Donde P_{cr} es la carga crítica de pandeo y P_D es la fuerza ejercida sobre el punto que sufre el pandeo en la columna.

Para el pandeo de estratos con flexión. Cavers (1981) presenta un método simple de análisis a partir de la hipótesis.

- ⊕ La columna de roca a analizar es elástica y cumple la Ley de Hooke.
- ⊕ La columna no tiene peso.
- ⊕ La columna es perfectamente recta.
- ⊕ Los extremos de la columna se encuentran empotrados.



2.7.3.5 Rotura curva.

Para el análisis de esta tipología de rotura en macizos rocosos isótropos, muy alterados o intensamente fracturados y de baja resistencia, pueden utilizarse los métodos de rotura circular en suelo. Dentro de los métodos aproximados, el más extendido es el método de Bishop simplificado.

2.8 Clasificación geométrica de taludes.

Los macizos rocosos como medios discontinuos presentan un comportamiento geomecánico complejo. De una forma simplificada puede ser estudiado y categorizado en función de su amplitud para distintas aplicaciones. Las clasificaciones geomecánicas aportan, mediante la obtención directa de las características de los macizos rocosos y la realización de sencillos ensayos, índices de calidad relacionados con los parámetros geomecánicos del macizo y sus características frente a los sostenimientos de túneles y taludes.

2.8.1 Índice SMR.

La aplicación de las clasificaciones geomecánicas a los taludes, permite evaluar empíricamente la estabilidad de una excavación.

Se obtiene del RMR (Rock Mass Rating) que es una clasificación desarrollada por Bieniaswski en 1973, que constituye una clasificación de macizos rocosos que permiten a su vez relacionar los índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo y de la excavación, varía del 0 a 100. Esta clasificación tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos.

- ⊕ Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
- ⊕ Grado de fracturación en términos del RQD.
- ⊕ Espaciado de las discontinuidades.
- ⊕ Condiciones de las discontinuidades.
- ⊕ Condiciones hidrogeológicas.
- ⊕ Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.

El índice SMR se obtiene a partir de lo anterior definiéndose unos factores de ajuste por orientación de las discontinuidades y por el método de excavación.



CAPÍTULO 3. Componentes de la erosión y mecanismos de intemperismo.

3.1 Erosión.

La palabra erosión proviene del latín *erosio* que significa: el desgaste que se produce en la superficie del suelo por la acción de agentes externos como el viento y el agua y que son acelerados por la acción del Hombre (INEGI, 2014)

Existen tres tipos de erosión los cuales son:

Erosión antrópica: La cual está definida como la erosión es provocada directamente por el hombre, al modificar el paisaje natural debido al crecimiento y evolución mediante la construcción de infraestructura.

Erosión hídrica: El agente causal es el agua, en forma de torrente, lluvia, arroyos, granizo, aumento del gasto hidráulico en ríos.

Erosión eólica: Es causada por el viento el cual erosiona en forma de remolinos, tolveras o tornados.

La erosión es el principal agente de desertificación del suelo en el país, a causa del cambio climático en los últimos años esta ha aumentado de manera progresiva. Generando la inestabilidad en taludes de las carreteras mexicanas presentándose como uno de los mayores conflictos de conservación carretera.

La erosión es el desprendimiento, transporte y depositación de partículas o masas pequeñas de suelo o roca, por acción de las fuerzas generadas por el movimiento del agua. El flujo puede concentrarse en canales produciendo surcos y cárcavas (Díaz, 1998).

La lluvia contribuye al desprendimiento de las partículas o granos, puede producir también sedimentación de materiales en el pie del talud.



3.1.1 Erosionabilidad.

Es la susceptibilidad de un suelo a sufrir procesos de erosión, tiene relación con las propiedades físico-químicas del suelo y su estructura inter-partículas.

La erosionabilidad de un grupo de suelos afectado por procesos intensos de erosión intensa, depende de la mezcla e interrelación de las partículas granulares con las arcillosas.

La susceptibilidad de un suelo a sufrir procesos de erosión varía de acuerdo con las características geológicas, mineralógicas, del suelo y del perfil de meteorización de la formación, la topografía y la cobertura vegetal.

3.2 Erosión en suelos.

Los procesos de erosión son muy comunes en suelos residuales poco cementados o en suelos aluviales, especialmente, los compuestos por limos y arenas finas principalmente, cuando la cobertura vegetal ha sido removida. Se conocen varios tipos de erosión:

3.2.1 Erosión hídrica.

La erosión hídrica es un fenómeno ocasionado por acción de fuerzas hidráulicas, las cuales actúan sobre las partículas de suelo produciendo su desprendimiento y posterior transporte. La erosión comprende el desprendimiento, transporte y posterior depósito de materiales de suelo o roca por acción de la fuerza del agua en movimiento. El proceso puede ser analizado iniciando por el despegue de las partículas de suelo, debido al impacto de las gotas de lluvia. Adicionalmente, ocurre el proceso de flujo superficial en el cual las partículas removidas son incorporadas a la corriente y transportadas talud abajo.

3.2.2 Erosión Laminar

El proceso de erosión laminar se inicia por el impacto de las gotas de agua lluvia contra la superficie del suelo, complementada por la fuerza de la escorrentía produciendo un lavado de la superficie del terreno como un todo, sin formar canales definidos. Al caer las gotas de lluvia levantan las partículas de suelo y las reparten sobre la superficie del terreno.



“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

La velocidad de las gotas de lluvia puede alcanzar valores hasta de 10 metros por segundo y su efecto es muy grande sobre las superficies de talud expuestos y sin cobertura vegetal. El proceso es particularmente grave cuando la pendiente del talud es grande, como es el caso de los taludes de cortes en obras viales.

3.2.3 Erosión en surcos.

Los surcos de erosión se forman por la concentración del flujo del agua en caminos preferenciales, arrastrando las partículas y dejando canales de poca profundidad generalmente, paralelos. El agua de escorrentía fluye sobre la superficie de un talud y a su paso va levantando y arrastrando partículas de suelo, formando surcos (rills).

Los surcos forman una compleja microred de drenaje donde un surco al profundizarse va capturando los vecinos, formando surcos de mayor tamaño, los cuales a su vez se profundizan o amplían formando cárcavas en forma de V que pueden transformarse a forma de U.

Inicialmente la cárcava se profundiza hasta alcanzar una superficie de equilibrio, la cual depende de las características geológicas e hidráulicas, para luego iniciar un proceso de avance lateral mediante deslizamientos de los taludes semiverticales producto de la erosión.

La localización en cuanto a su profundidad y la velocidad de avance del proceso es controlada por los fenómenos de tipo hidráulico y por la resistencia del material a la erosión. Los surcos de erosión pueden estabilizarse generalmente, con prácticas de agricultura.

3.2.4 Erosión en Cárcavas.

Las cárcavas constituyen el estado más avanzado de erosión y se caracterizan por su profundidad, que facilita el avance lateral y frontal por medio de desprendimientos de masas de material en los taludes de pendiente alta que conforman el perímetro de la cárcava.

Las cárcavas inicialmente tienen una sección en V pero al encontrar un material más resistente o interceptar el nivel freático se extiende lateralmente, tomando forma en U.



3.2.5 Erosión interna (Piping).

El agua al fluir por ductos concentrados dentro del suelo produce erosión interna, la cual da origen a derrumbamientos o colapsos que pueden generar un hundimiento del terreno o la formación de una cárcava.

3.2.6 Erosión por afloramiento de agua.

Un caso de erosión puede ocurrir en los sitios de afloramiento de agua, formando pequeñas cavernas y/o taludes negativos, los cuales a su vez pueden producir desprendimientos de masas de suelo.

3.3 Mecanismo de intemperismo.

Alteración de los materiales expuestos al aire, la humedad y el efecto de la materia orgánica.

3.3.1 Intemperismo o meteorización.

La descomposición física o química produce alteraciones en la roca o suelo, las cuales modifican substancialmente los parámetros de resistencia y permeabilidad, facilitando la ocurrencia de deslizamientos. (Díaz, 1998)

Intemperismo o meteorización es la alteración de los materiales rocosos expuestos al aire, a la humedad y al efecto de la materia orgánica; puede ser intemperismo mecánico o de desintegración, y químico o de descomposición, pero ambos procesos, por regla general interactúan. Las variaciones de humedad y temperatura inciden en ambas formas de intemperismo toda vez que afectan la roca desde el punto de vista mecánico y que el agua y el calor favorecen las reacciones químicas que la alteran.

Distintos factores ambientales físicos y químicos atacan a las rocas y las cuartean, disgregan y descomponen, y según el carácter de los factores que produzcan la meteorización se distinguen la meteorización física y la meteorización química. (Escobar, 2017)



3.3.1.1 Meteorización física.

Es causada por procesos físicos, se desarrolla en ambientes desérticos y periglaciares. Los climas desérticos tienen amplia diferencia térmica entre el día y la noche y la ausencia de vegetación permite que los rayos solares incidan directamente sobre las rocas, mientras en los ambientes periglaciares las temperaturas varían por encima y por debajo del punto de fusión del hielo, con una periodicidad diaria o estacional.

3.3.1.2 Meteorización química.

Causa la disgregación de las rocas y se da cuando los minerales reaccionan con algunas sustancias presentes en sus inmediaciones, principalmente disueltas en agua, para dar otros minerales de distintas composiciones químicas y más estables a las condiciones del exterior. En general los minerales son más susceptibles a esta meteorización cuando más débiles son sus enlaces y más lejanas sus condiciones de formación a las del ambiente en la superficie de la Tierra.

3.3.2 Etapas del proceso de meteorización

Según Jaime Suarez, un proceso de meteorización involucra tres etapas:

3.3.2.1 Desintegración.

Se abren las discontinuidades y se desintegra la roca, formándose nuevas discontinuidades por fracturación y las partículas se parten, aumentando la relación de vacíos y la permeabilidad y disminuyendo la cohesión. En la meteorización la sal es generalmente un silicato y el producto de la reacción es una arcilla.

3.3.2.2 Descomposición.

Se incrementa el contenido de arcilla y de suelo en general y se disminuye la fricción. La descomposición puede ser ocasionada por procesos químicos o biológicos.

Los procesos químicos incluyen la hidrólisis y el intercambio cationico. Los procesos biológicos pueden incluir efectos de las raíces, oxidación bacteriológica y reducción de hierro y compuestos del azufre.



3.3.2.3 Hidrólisis

El proceso químico más importante en la meteorización química es la hidrólisis. Esta ocurre cuando una sal se combina con agua para formar un ácido o una base.

3.3.2.4 Intercambio catiónico

Es la descomposición de un mineral de arcilla para formar otro a través de la transferencia de iones entre soluciones percolantes y el mineral original. Los cationes tales como el sodio y el calcio son fácilmente intercambiables. El intercambio de cationes no altera la estructura básica del mineral de arcilla pero modifica el espaciamiento entre capas, convirtiendo por ejemplo una illita en una motmorillonita.

3.3.2.5 Oxidación y recementación.

Se aumenta el contenido de óxidos de hierro y aluminio, los cuales pueden cementar grupos de partículas aumentando la cohesión y el suelo tiende a estabilizarse.

En la mayoría de los procesos de meteorización en las rocas ígneas predominan los procesos químicos, mientras en las rocas sedimentarias predominan los procesos físicos, sin embargo estos procesos se interrelacionan.

La meteorización generalmente, avanza hacia abajo de la superficie y a través de las juntas y demás conductos de percolación, produciendo variaciones de intensidad, de meteorización y dejando bloques internos de material no descompuesto.

3.4 Clima.

La influencia del clima importante para que algún tipo de intemperismo prevalezca, en los climas áridos el intemperismo mecánico actúa mayor que el químico. En los climas húmedos y calurosos el intemperismo químico tendrá mayor impacto. Un factor importante es la composición de la roca ya que influirá de una manera notable en su resistencia que oponga a los procesos destructivos del intemperismo.

Los elementos del clima son: la temperatura, las precipitaciones, los vientos, la presión atmosférica y la humedad.



3.4.1 Temperatura.

Se define como la cantidad de calor que posee la atmosfera, dependiendo de la energía que el sol genere.

La temperatura varía en función de tres factores climáticos: altitud, latitud y proximidad al mar. También depende de los movimientos de rotación y traslación de la tierra que definen la alternancia del día y la noche y las estaciones del año.

La temperatura depende de la inclinación de los roros rolares t del tipo de sustratos que conformen el talud así como la dirección y la fuerza del viento, la proximidad de masas de agua.

3.4.2 Humedad.

Es la cantidad de vapor de agua que tiene la atmosfera. La humedad del aire es la cantidad de vapor de agua presente en el aire originada en la evaporacion del agua de la superficie de océanos, lagos y ríos, tambien de la tierra y la vegetación.

Existen dos tipos de humedad:

Humedad relativa; es el cociente entre la parte de vapor de agua y la cantidad que puede llegar a precipitarse.

Humedad absoluta; cantidad de vapor de agua que abarca la atmosfera en un momento dado.

3.4.3 Viento.

Son corrientes de aire que se producen a partir de una diferencia de la presión atmosférica, que provoca un deslizamiento del aire desde las zonas de mayor a menor presión. Son masas de aire en movimiento que se trasladan desde las zonas de baja temperatura y alta presión denominados centros anticiclónicos hasta las zonas de alta y baja presión llamadas centros ciclónicos.

3.4.4 Presión atmosférica.

La presión atmosférica es la fuerza que ejerce la atmosfera en todas las direcciones como consecuencia del peso de las cargas superiores. La temperatura alta hace



que el aire sea más liviano y se eleve generando una baja presión, en el caso del frío el aire se vuelve más denso y genera alta presión.

3.5 Precipitación.

El agua es el factor que más comúnmente se le asocia con las fallas de los taludes en zonas tropicales, debido a que la mayoría de los deslizamientos ocurren después de lluvias fuertes o durante periodos lluviosos y el control del agua subterránea es uno de los sistemas más efectivos para la estabilización de deslizamientos.

La precipitación se define como la cantidad de agua que cae a la superficie terrestre procedente de la atmosfera, puede ser de forma líquida como lluvia o llovizna, o sólida como nieve o granizo.

Existen tres tipos básicos de precipitaciones:

Precipitación orográfica; que se producen cuando un viento frío se enfrente a una cadena montañosa y al ascender por la ladera se enfría, por lo tanto la humedad se condensa y precipita en forma de lluvia o nieve.

Precipitación ciclónica; que aparece cuando se encuentran dos masas de aire, una cálida y otra fría, en el que el aire frío se introduce en forma de cuña por debajo del aire caliente obligándolo a descender.

Precipitaciones convectivas; en las que el aire caliente asciende y se enfría, condensa su humedad y forma nubes que precipitan en forma de lluvia.

3.6 Escurrimiento.

Cuando llueve, el agua que llega a la superficie del terreno natural se infiltra en este o se escurre por la superficie. El grado de penetración o escurrimiento del agua dependerá de la permeabilidad de la superficie del suelo, la presencia de vegetación y la topografía.

Entre más permeable el suelo más fácil se infiltrara el agua lo cual generara que poca de esta se escurra. En algunos casos la superficie puede ser impermeable por ejemplo en los macizos rocos y la lluvia se escurrirá.



“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

Si la lluvia es poco intensa, habrá menos escurrimiento y más infiltración, en el caso contrario cuando la lluvia es intensa, habrá más escurrimiento y poca infiltración. Si la cantidad de lluvia es menor a lo que el suelo puede absorber, se filtrará toda y no habrá escurrimiento.

Cuando el suelo está en pendiente como es el caso de los taludes, el agua escurre a lo largo de la superficie y llega al pie del talud, lo cual puede ocasionar socavación y volverlo inestable.

3.7 Infiltración.

La infiltración se define como el movimiento del agua desde la superficie del terreno hacia el suelo o roca por los poros o intersticios y discontinuidades de la masa térrica.

El porcentaje de infiltración corresponde a la proporción de lluvia que se infiltra. La infiltración a su vez puede dividirse entre aquella parte que contribuye a aumentar el contenido de agua de la zona no saturada y aquella que recarga el sistema saturado de agua subterránea.

La lluvia sobre la superficie de la tierra puede conducir a dos condiciones diferentes de frontera:

Superficie del talud inundada. La intensidad de la lluvia en este caso es mayor que la cantidad de agua que puede infiltrarse dentro de la tierra. Por lo tanto, solamente parte de la lluvia se infiltra y el resto se convierte en esorrentía. En este caso, la condición de frontera es que la succión en la superficie del terreno es igual a 0 equivalente a saturación del 100%.

Infiltración controlada. La intensidad de la lluvia es menor que el flujo máximo de agua que se puede infiltrar en el talud. En este caso, la infiltración es controlada por la intensidad de la lluvia:

$Q_{infiltración} = Intensidad\ de\ la\ lluvia.$

La cantidad de agua que penetra o se infiltra en la tierra queda determinada por varios factores:



Cantidad, intensidad y tipo de precipitación.

Ritmo de precipitación. Cuanto más rápidamente cae la lluvia, menos agua penetra, pues se satura la superficie del terreno y no permite la infiltración rápida. Entre más lenta la lluvia, habrá más infiltración y menos escorrentía.

Pendiente superficial. La infiltración es mayor en terrenos más planos a los que corresponde velocidades de escurrimiento superficial menores.

La permeabilidad de los suelos y las rocas.

La estructura de suelos y rocas, especialmente en lo que se refiere a fracturación, estratigrafía y la secuencia de los estratos permeables y los impermeables. El tipo de material o suelo del talud va a determinar la infiltración relacionada con la succión y la permeabilidad.

Cantidad y tipo de vegetación.

Para determinar la cantidad de agua infiltrada es conveniente realizar un ensayo de infiltración. En esta prueba el agua es suministrada a una superficie expuesta a una rata controlada y el volumen total de agua infiltrada en varios intervalos de tiempo, es infiltrada contra el tiempo. En este ensayo se puede obtener, además, la permeabilidad de los materiales.

3.8 La deforestación

La tala y quema indiscriminada de los bosques tropicales ha producido efectos catastróficos de erosión masiva y generalizada que afecta grandes áreas, tanto en la zona de montaña propiamente dicha, como en las áreas intermedias de las corrientes.

Los bosques cumplen una función reguladora del ciclo hidrológico. Las gotas de lluvia son retenidas por el follaje y son soltadas poco a poco, demorando la acumulación de agua disponible de escorrentía. Un bosque denso retrasa varias horas la ocurrencia de las avenidas y hace que la intensidad de estas sea menor. Al deforestar se elimina la regulación y el efecto de la lluvia sobre las avenidas de las corrientes es inmediato, produciendo avenidas más rápidamente y estas son de



“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”



mayor intensidad. El efecto es una mayor erosión del fondo y las riberas de las corrientes.



CAPÍTULO 4. Esfuerzo y resistencia al cortante.

Las rocas y los suelos al fallar al corte se comportan de acuerdo a las teorías tradicionales de fricción y cohesión, según la ecuación generalizada de Coulomb:

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

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

Donde:

τ = Esfuerzo de resistencia al corte

c' = Cohesión o cementación efectiva

σ = Esfuerzo normal total

μ = Presión del agua intersticial o de poros

μ_a = Presión del aire intersticial

φ' = Angulo de fricción interna del material

φ'' = Angulo de fricción del material no saturado.

El análisis de la ecuación de Coulomb requiere predefinir los parámetros, ángulo de fricción y cohesión, los cuales se consideran como propiedades intrínsecas del suelo.

La presencia del agua reduce el valor de la resistencia del suelo dependiendo de las presiones internas o de poros de acuerdo a la ecuación de Coulomb, en la cual el factor u está restando al valor de la presión normal. La presión resultante se le conoce con el nombre de presión efectiva σ' .

$$\sigma' \text{ (Presión efectiva)} = \sigma - \mu$$

φ' = Angulo de fricción para presiones efectivas.

c' = Cohesión para presiones efectivas.



4.1 Ángulo de fricción

El ángulo de fricción es la representación matemática del coeficiente de rozamiento.

Coeficiente de rozamiento = $\text{Tan } \varphi$

El ángulo de fricción depende de varios factores, los cuales son:

- Tamaño de los granos
- Forma de los granos
- Distribución de los tamaños de granos
- Densidad

4.2 Cohesión

La cohesión es una medida de la cementación o adherencia entre las partículas de suelo. En mecánica de suelos es utilizada para representar la resistencia al cortante producida por la cementación.

En suelos eminentemente granulares en los cuales no existe ningún tipo de cementante o material que pueda producir adherencia, la cohesión se supone igual a 0 y a estos suelos se les denomina Suelos no Cohesivos.

4.3 Cohesión aparente

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

4.4 Esfuerzo efectivo

Una masa de suelo saturada consiste de dos fases distintas: el esqueleto de partículas y los poros entre partículas llenos de agua. Cualquier esfuerzo impuesto sobre el suelo es soportado por el esqueleto de partículas y la presión en el agua. Típicamente, el esqueleto puede transmitir esfuerzos normales y de corte por los puntos de contacto entre partículas y el agua a su vez puede ejercer una presión hidrostática, la cual es igual en todas las direcciones.

Los esfuerzos ejercidos por el esqueleto solamente, se conocen como esfuerzos efectivos y los esfuerzos hidrostáticos del agua se les denominan presión de poros.



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

4.5 Esfuerzo-Deformación

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

4.5.1 Resistencia máxima o resistencia pico

Es la resistencia al corte máxima que posee el material que no ha sido fallado previamente, la cual corresponde al punto más alto en la curva esfuerzo - deformación.

La utilización de la resistencia pico en el análisis de estabilidad asume que la resistencia pico se obtiene simultáneamente a lo largo de toda la superficie de falla. Sin embargo, algunos puntos en la superficie de falla han alcanzado deformaciones mayores que otros, en un fenómeno de falla progresiva y asumir que la resistencia pico actúa simultáneamente en toda la superficie de falla puede producir errores en el análisis.

4.5.2 Resistencia residual

Es la resistencia al corte que posee el material después de haber ocurrido la falla Skempton observó que en arcillas sobreconsolidadas, la resistencia calculada del análisis de deslizamientos después de ocurridos, correspondía al valor de la resistencia residual y recomendó utilizar para el cálculo de factores de seguridad, los valores de los parámetros obtenidos para la resistencia residual ϕ_r y c_r . Sin embargo, en los suelos residuales la resistencia pico tiende a ser generalmente, muy similar a la resistencia residual.

4.5.3 Sentividad.

Otro factor que determina las diferencias entre la resistencia pico y residual es la sensibilidad, la cual está relacionada con la pérdida de resistencia por el remoldeo o la reorientación de las partículas de arcilla.



“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

En arenas, gravas y limos no plásticos que se denominan como suelos granulares, la cohesión es muy baja y puede en muchos casos considerarse de valor cero y el ángulo de fricción depende de la angulosidad y tamaño de las partículas, su constitución, mineralogía y densidad. Generalmente, el ángulo de fricción en suelos granulares varía de 27° a 42° , dependiendo del tipo de ensayo que se realice. Por ejemplo, en un ensayo Triaxial drenado el ángulo de fricción es 4° a 5° menor que el medido en un ensayo de Corte Directo. En arcillas normalmente consolidadas y limos arcillosos se puede considerar la fricción igual a cero y la cohesión como el valor total del esfuerzo de resistencia obtenida. En suelos residuales generalmente, predominan las mezclas de partículas granulares y arcillosas y el ángulo de fricción depende de la proporción grava-arena-limo y arcilla y de las características de cada tipo de partícula presente.

4.5.4 Parámetros de presión de poros

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

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

Donde:

Δu = Exceso de presión de poros

A = Parámetro de presión de poros A

B = Parámetro de presión de poros B

$\Delta\sigma_1$ = Cambio en el esfuerzo principal mayor

$\Delta\sigma_3$ = Cambio en el esfuerzo principal menor.

Los parámetros A y B deben ser determinados de ensayos de laboratorio o seleccionados de la experiencia. Para suelos saturados B se acerca a 1.0 pero su



“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

valor disminuye drásticamente con la disminución en el grado de saturación. Los valores del parámetro A dependen de las deformaciones y generalmente, alcanzan valores máximos en el momento de la falla. Suelos normalmente consolidados tienden a generar excesos de presión de poros positivos durante el corte, en contraste los suelos sobreconsolidados pueden esperarse que generen presiones en exceso negativas.

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

4.6 Etapas en el proceso de falla.

La clasificación de los deslizamientos describe e identifica los cuerpos que están en movimiento. Las clasificaciones existentes son geomorfológicas y solamente algunas de ellas introducen consideraciones mecánicas o geológicas.

Se consideran cuatro etapas diferentes en la clasificación de los movimientos de acuerdo a (Díaz, 1998):

- Etapa de deterioro o antes de la falla donde el suelo es esencialmente intacto.
- Etapa de falla caracterizada por la formación de una superficie de falla o el movimiento de una masa importante de material.
- La etapa post-falla que incluye los movimientos de la masa involucrada en un deslizamiento desde el momento de la falla y hasta el preciso instante en el cual se detiene totalmente.
- La etapa de posible reactivación en la cual pueden ocurrir movimientos que
- pueden considerarse como una nueva falla, e incluye las tres etapas anteriores.

4.7 Procesos en la etapa de deterioro.

El deterioro con el paso de tiempo da lugar a la necesidad de mantenimiento o construcción de obras de estabilización. Al deterioro se le da muy poca importancia al momento de diseñar y se enfocan en evitar fallas profundas, más que evitar el deterioro.



“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

Cuando un talud se corta para la construcción de vías de comunicación o de obras de infraestructura, ocurre la relajación de los esfuerzos de confinamiento y una exposición al medio ambiente, cambiando así la posición de equilibrio por una de deterioro acelerado.

El deterioro abarca la alteración física y química de los materiales y su desprendimiento o remoción. Este incluye la alteración mineral, los efectos de relajación y la abrasión. El comienzo y propagación de fracturas es particular en la destrucción de la superficie que puede provocar caídas de roca o colapso en el talud.

La clasificación más común de deterioro ampliada por Jaime Juárez Díaz incluye los procesos que ocurren previamente a la falla masiva.

4.7.1 Caída de granos.

Consiste en la caída de granos individuales del macizo rocoso con desintegración física a granos como prerrequisito. Dependerá de la resistencia de las uniones intergranulares o las microgrietas. La caída de granos también causa un debilitamiento general del material de roca, no presenta una amenaza pero puede conducir a la pérdida de soporte y un posible colapso en pequeña escala. Los finos pueden sedimentarse y producir depósitos dentro de las estructuras de drenaje.

Como solución se sugerirá la limpieza de residuos en el pie del talud y cubrir con técnicas de concreto lanzado y refuerzo local en donde exista un riesgo de colapso.

4.7.2 Descascaramiento.

Se refiere a la caída de cascadas de material del macizo rocoso, las cascadas tienen forma de láminas con dimensiones menores. Pueden reflejar la litología, fisilidad o reflejan la penetración de la meteorización. Los fragmentos en forma de láminas no son grandes y no son una amenaza, sin embargo producen depósitos de sedimentos en el pie del talud.

Como solución se sugieren técnicas de concreto lanzado con pequeños anclajes y obras de concreto.



“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

4.7.3 Formación, inclinación y caída de losas de roca.

Se forman prismas o pequeñas placas con dimensión mínima de 50 milímetros, puede existir deslizamiento y rotación o pandeo. Generalmente, las fracturas a tensión paralelas a la superficie del talud son prerequisite para su ocurrencia, seguidas por la pérdida de soporte.

Pueden caer grandes bloques de material y pueden significar una amenaza importante, causando daño a los canales de drenaje, cercas, pavimentos o puede crear taludes negativos. Las inclinaciones pueden considerarse como un proceso de deterioro o como un movimiento del talud.

Como tratamiento se sugiere la construcción de gradas o escaleras, bermas intermedias, refuerzo con pernos o estructuras de contención.

4.7.4 Caídos de bloques.

Pueden caer por gravedad, en forma ocasional bloques individuales de roca de cualquier dimensión, produciendo un deterioro en la estructura del talud.

La amenaza es difícil de predecir debido al gran rango de tamaños que pueden caer y especialmente los bloques grandes pueden causar daño estructural. En ocasiones bajan saltando y rodando y pueden caminar grandes distancias.

Como tratamiento se sugiere la construcción de gradas, la utilización de mallas de acero, concreto lanzado o mampostería.

4.7.5 Desmoronamiento del talud.

El desmoronamiento general del talud produce la caída de bloques de diversas dimensiones en forma semicontinua. Puede causar una amenaza significativa y crear grandes acumulaciones de detritos en el pie del talud.

Como solución se sugiere la construcción de gradas, colocación de mallas, trampas para detritos y cercas protectoras; también se pueden construir estructuras de submuración en mampostería o concreto lanzado. Los bloques grandes pueden requerir aseguramiento con pernos, anclajes o cables.



Las áreas con desintegración severa pueden requerir soporte total o disminuir el ángulo de inclinación del talud.

4.7.6 Caídos de roca.

La caída de muchos bloques de roca requiere que haya ocurrido un debilitamiento de la masa de roca, debido a la fragmentación y a la ausencia de soporte lateral. El volumen de la falla depende de los diversos planos de discontinuidad y puede cubrir en un solo momento varios planos (falla en escalera).

4.7.7 Lavado superficial o erosión.

La erosión es el desprendimiento, transporte y depositación de partículas o masas pequeñas de suelo o roca, por acción de las fuerzas generadas por el movimiento del agua. El flujo puede concentrarse en canales produciendo surcos y cárcavas.

4.7.8 Flujo de detritos.

El desprendimiento y transporte de partículas gruesas y finas en una matriz de agua y granos en forma de flujo seco o saturado. Los flujos de detritos son impredecibles, mueven grandes volúmenes de material y pueden crear una amenaza moderada a alta.

Se requiere un análisis especial de cada caso para su tratamiento. Generalmente no se les considera como procesos de deterioro sino como deslizamientos. Sin embargo, pueden generar grandes deslizamientos del macizo al producir cambios topográficos importantes.

4.7.9 Colapso.

Bloques independientes de gran tamaño colapsan debido a la falta de soporte vertical. El tamaño de los bloques es de más de 500 milímetros e incluyen los taludes negativos. Representa una escala grande de amenaza, de acuerdo a su tamaño y potencial de colapso.

Las soluciones incluyen concreto lanzado, estructuras de refuerzo, submuración y estructuras de retención.



4.7.10 Disolución.

La disolución de materiales solubles en agua que puede ser acelerado por las condiciones locales, especialmente la presencia de aguas agresivas. Puede producir cavidades internas que podrían colapsar o formar cárcavas karsticas.

Como tratamiento se sugiere la inyección o relleno de las cavidades o la construcción de estructuras de puente.

4.7.11 Expansión y contracción.

En los suelos arcillosos se producen cambios de volumen por cambios de humedad asociados con el potencial de succión del material. Estas expansiones y contracciones producen agrietamientos y cambios en la estructura del suelo generalmente, con pérdida de la resistencia al cortante.

Se puede disminuir evitando los cambios de humedad o disminuyendo el potencial de expansión utilizando procedimientos físicos y químicos como es la adición de cal.

4.7.12 Agrietamiento cosísmico.

Los eventos sísmicos pueden producir agrietamientos especialmente en los materiales rígidos y frágiles. Los agrietamientos cosísmicos debilitan la masa de talud y generan superficies preferenciales de falla. El agrietamiento cosísmico es menor cuando existe buen refuerzo subsuperficial con raíces de la cobertura vegetal.

4.7.13 Deformaciones por concentración de esfuerzos y fatiga.

Los materiales al estar sometidos a esfuerzos de compresión o cortante sufren deformaciones, las cuales aumentan con el tiempo en una especie de fatiga de los materiales de suelo o roca. Estas deformaciones se pueden evitar disminuyendo los esfuerzos sobre el suelo, construyendo estructuras de contención o refuerzo.

4.7.14 Agrietamiento por tensión.

La mayoría de los suelos poseen muy baja resistencia a la tensión y la generación de esfuerzos relativamente pequeños, (especialmente arriba de la cabeza de los taludes y laderas), puede producir grietas de tensión, las cuales facilitan la



infiltración de agua y debilitan la estructura de la masa de suelo permitiendo la formación de superficies de falla.

4.8 Parámetros geométricos.

La topografía del talud: altura, pendiente, curvatura, largo y ancho cuando actúan en conjunto o por separado, afectan la estabilidad de un talud cuando se determinan los esfuerzos totales y las fuerzas de gravedad que provocan los movimientos.

Su topografía controla la meteorización e infiltración así como el movimiento de agua a través del material del talud, afectando la cantidad de agua disponible lo cual afecta la ocurrencia y características de los niveles freáticos.

El nivel de esfuerzos también se determina por el volumen y la ubicación de los bloques o masas de materiales, estos factores dependen de las características topográficas. Los parámetros topográficos a estudiar son los siguientes:

4.8.1 Pendiente.

Los perfiles más profundos de meteorización se encuentran en los taludes suaves más que en los empinados. Para cada formación, en un estado determinado de meteorización existe un ángulo de pendiente a partir del cual un talud es inestable.

Mientras algunos suelos residuales de origen ígneo permiten ángulos del talud superiores a 45°, en Lutitas meteorizadas saturadas éste no debe exceder los 20° y hasta valores de la mitad del ángulo de fricción.

En suelos granulares limpios y secos el ángulo de inclinación del talud con la horizontal no debe sobrepasar el del ángulo de fricción del material.

4.8.2 Curvatura.

Se define como concavidad o convexidad ya sea en sentido longitudinal como transversal y afecta el equilibrio de la masa en sí, así como la capacidad de infiltración y de erosión por su efecto en la velocidad del agua de escorrentía.

4.8.3 Largo – ancho.

Entre más largo sea un talud, mayor recorrido tendrán las aguas de escorrentía sobre éste y por lo tanto el talud estará más expuesto a la erosión superficial.



4.8.4 Áreas de infiltración arriba del talud.

Es importante identificar áreas de concentración de agua arriba del talud, que coinciden con depresiones topográficas o zonas de regadío intenso. Entre más grande sea la zona que aporte agua al talud, será mayor la cantidad de agua que está afectando la estabilidad del talud.

4.9 Parámetros Geológicos

La Geología, define las características o propiedades del suelo o roca. La formación geológica determina la presencia de materiales duros o de baja resistencia y las discontinuidades pueden facilitar la ocurrencia de movimientos a lo largo de ciertos planos de debilidad.

Los elementos geológicos principales son:

4.9.1 Formación Geológica.

Los materiales de origen ígneo-metamórfico poseen un comportamiento diferente a los suelos de origen sedimentario, aluviones, coluviones, etc.

4.9.2 Estructura y discontinuidades.

En los suelos residuales y rocas la estratificación y las discontinuidades actúan como planos de debilidad o como conductores de corrientes de agua subterránea y las características de estas pueden facilitar los movimientos.

4.9.3 Meteorización.

La descomposición física o química produce alteraciones en la roca o suelo, las cuales modifican substancialmente los parámetros de resistencia y permeabilidad, facilitando la ocurrencia de deslizamientos.

4.10 Parámetros Hidrológicos e Hidrogeológicos

Los cambios en el régimen de aguas subterráneas actúan como detonadores de movimientos en las laderas o taludes y estos se encuentran generalmente, relacionados con las lluvias y la hidrología superficial.

En un estudio de deslizamientos se deben tener en cuenta los parámetros relacionados con la hidrogeología y en especial los siguientes factores:



4.10.1 Características de las lluvias.

La ocurrencia de períodos lluviosos intensos produce ascensos en los niveles piezométricos y la saturación disminuye las tensiones capilares.

4.10.2 Régimen de aguas subterráneas.

Los niveles de agua freáticas pueden fluctuar de manera considerable con el tiempo y modificar la resistencia de los materiales y el estado de esfuerzos.

Es importante determinar las áreas de recarga y descarga, partiendo de la base del conocimiento del clima regional y análisis del terreno, incluyendo el tipo y distribución de la roca, fallas, fracturas, manantiales y humedales.

4.11 Parámetros Geotécnicos

4.11.1 Resistencia al Cortante.

La resistencia al corte representa la modelación física del fenómeno de deslizamiento.

Los parámetros de ángulo de fricción y cohesión determinan el factor de seguridad al deslizamiento de una determinada superficie dentro del terreno.

Los ángulos de fricción varían de cero en materiales muy blandos, a 50 grados en gravas angulosas o mantos de arenisca y las cohesiones de cero en materiales granulares limpios, a más de 10 Kg/cm² en suelos muy bien cementados y valores superiores en las rocas masivas.

4.11.2 Permeabilidad.

La permeabilidad mide la resistencia interna de los materiales al flujo del agua y puede definir el régimen de agua subterránea, concentración de corrientes, etc.

Los valores del coeficiente de permeabilidad varían de 100 cm/seg., en roca fracturada o suelos compuestos por arenas y gravas, hasta 10⁻¹⁰cm/seg., en arcillas impermeables o en pizarras y granitos sanos.

4.11.3 Sensitividad.

La sensitividad se define como la relación de la resistencia pico al corte entre una muestra inalterada y otra remoldeada. En algunos suelos arcillosos esta relación



“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

puede ser hasta de 4, lo que equivale a que se pierde gran parte de la resistencia al remoldearse; se conoce de casos catastróficos, donde por acción del cambio de esfuerzos, el suelo se remoldea in situ, pierde su resistencia y se produce el deslizamiento.

4.11.4 Expansividad.

Los suelos arcillosos al contacto con el agua expanden su volumen produciéndose movimientos de extensión dentro de la masa del suelo. En suelos sensitivos se puede producir pérdida de resistencia al corte por acción del remoldeo generado por el proceso expansivo, factor que se ha detectado en suelos de origen volcánico.

La expansividad de un suelo se puede medir por medio de ensayos de presión de expansión o expansión libre o por su relación con los límites de plasticidad. La expansividad de suelos arcillosos en los rellenos de juntas puede generar deslizamientos de rocas.

4.11.5 Erosionabilidad.

La erosionabilidad es la facilidad con la cual el suelo puede ser desprendido y transportado por acción del agua. Este factor puede afectar la estabilidad de un talud, en cuanto produce cambios topográficos desestabilizantes o genera conductos internos de erosión.



CAPÍTULO 5: Propuestas de conservación.

Cuando un talud sufre una rotura o deformaciones que impliquen riesgo de inestabilidad, se deben optar por medidas de estabilización. De igual manera cuando se realice una excavación de un talud con mayor ángulo del correspondiente a su propia resistencia del terreno, es necesario tomar medidas de estabilización. Para esto se necesita conocer:

- ⊕ Las propiedades y el comportamiento geomecánico del terreno.
- ⊕ El mecanismo y tipología de las roturas, velocidad y dirección del movimiento y la geometría de la rotura.
- ⊕ Los factores geológicos, hidrogeológicos y otros tipos que influyan en la inestabilidad, que determinan las causas de la misma, las medidas más adecuadas para la estabilización siendo importante los datos sobre el nivel freático, presiones de agua y permeabilidad de los materiales.

Para lo anterior se necesitan realizar estudios geológicos e hidrogeológicos y hacer investigaciones a detalle y reconocimientos in situ, que con ayuda de los ensayos de laboratorio permitirán la definición y parámetros geotécnicos de los materiales. Es necesario también conocer los factores ambientales y los relacionados con las acciones humanas.

Para el diseño de las medidas de estabilización debe considerarse lo siguiente:

- ⊕ Los medios económicos y materiales disponibles.
- ⊕ La urgencia de intervención.
- ⊕ La magnitud y dimensiones de la inestabilidad.

El coeficiente de seguridad de un talud aumentará disminuyendo las fuerzas desestabilizadoras que tienden a la rotura o aumentando las fuerzas estabilizadoras. Las actuaciones afectan a los factores que están controlados por el equilibrio como lo son: el peso de los materiales, sus propiedades resistentes y el agua.



“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

Cuando se elimina el peso de la cabecera del talud es buena para la estabilidad. Si se elimina un volumen muy pequeño, la repercusión en el coeficiente de seguridad es nula. Cuando se refuerza el pie del talud con un muro de gaviones, este debe estar cimentado para poder desarrollar su resistencia en la base.

Antes de corregir la inestabilidad es recomendable hacer un análisis posteriori, lo que permite obtener el orden de magnitud de los parámetros geotécnicos reales y deducir la posición del nivel freático que originó la inestabilidad, si se conoce el tipo de formación geológica, la geometría y algunos datos geotécnicos. Este análisis debe hacerse tanteando los valores de la cohesión y del rozamiento, geometría de la superficie de rotura, condiciones hidrogeológicas, etc. Si esta en una zona sísmica debe tenerse en cuenta.

Las medidas estabilizadoras pueden consistir en:

- ⊕ Modificación de la geometría del talud.
- ⊕ Drenajes.
- ⊕ Aumento de la resistencia del terreno mediante la introducción en el talud de elementos estructurales resistentes.
- ⊕ Construcción de muros u otros elementos de contención.

5.1 Métodos de estabilización.

La problemática de la ejecución de cortes y terraplenes en las laderas de cerros y montañas modifican radicalmente el estado original de esfuerzos iniciándose así un proceso de inestabilidad y con frecuencia, simultáneamente este puede desencadenar otro de erosión. (Espitía, 2011)

Estos dos mecanismos son muy complejos y son consecuencia de diversos factores como:

- ⊕ Topografía.
- ⊕ Geometría del corte.
- ⊕ Geología del talud.
- ⊕ Fracturamiento.



“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

- ⊕ Estratificación.
- ⊕ Condiciones del drenaje interno y superficial.
- ⊕ Clima y precipitación.
- ⊕ Tipo de vegetación.
- ⊕ Deforestación.
- ⊕ Procedimiento constructivo.

5.1.1 Modificación de la geometría.

Mediante la modificación de la geometría los taludes se redistribuyen las fuerzas debidas al peso de los materiales, obteniéndose una nueva configuración mas estable. Las más frecuentes son:

- ⊕ Disminuir la inclinación del talud.
- ⊕ Eliminar el peso de la cabecera del talud (descabezamientos).
- ⊕ Incrementar el peso en el pie del talud (tacones o escolleras).
- ⊕ Construir bancos y bermas (escalonar el talud).

La excavación de la cabecera del talud elimina peso de esta zona reduciendo las fuerzas desestabilizadoras.

La disminución del ángulo general del talud y la retirada de peso de su cabecera no siempre pueden llevarse a cabo por las dificultades de acceso a la parte superior del talud, los grandes volúmenes que a veces es necesario mover para que las medidas sean efectivas, el problema ambiental que supone el vertido del material excavado, las expropiaciones en la zona de la cabecera del talud, la presencia de instalaciones que impidan esta solución.

Los cambios de geometría consisten en aumentar el peso en el pie del talud, aunque esta solución implica ocupar mayor espacio en la base del talud, donde normalmente suele ser escaso. La construcción de tacones aumenta las tensiones normales sobre la superficie de rotura, mejorando la estabilidad.

Es recomendable que el relleno aplicado en el pie sea de material drenante, o en su caso construir un sistema de drenaje adecuado. En caso contrario su efecto



“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

estabilizador puede verse afectado siendo anulado por la acumulación de agua en la zona del pie del talud. Esta medida es aplicable sobre todo para taludes en suelos y puede combinarse con excavación en la cabecera.

Si el terreno del pie del talud es resistente y la inestabilidad no es profunda, puede recurrirse a la construcción de un muro bien cimentado al pie del talud cuyo trádos (espacio entre el muro y el terreno) puede rellenarse de forma que soporte un peso adicional en esta zona, este relleno puede proteger al terreno natural de las acciones ambientales.

El empleo de escolleras al pie de los taludes deslizados para aportar peso, permitir el drenaje y reforzar el conjunto es una solución frecuente y rápida de ejecutar, muy utilizada en el caso de inestabilidades superficiales en materiales arcillosos.

El escalonamiento del talud con la construcción de bancos y bermas contribuye a evitar que se produzcan roturas superficiales que afecten a todo el frente del talud, al cortarse los posibles planos de rotura. Esta medida se tiende a decidir antes de la excavación del talud, además las bermas sirven para retener bloques que se desprendan y roturas locales del talud, para la instalación de medidas de drenaje y accesos para las obras de saneamiento y control del talud.

5.1.2 Medidas de drenaje.

Tienen como finalidad eliminar o disminuir el agua presente en el talud, por lo tanto las presiones intersticiales que actúan como factor desestabilizador en las superficies de rotura y grietas de tracción. El agua reduce las propiedades resistentes de determinados materiales.

Estas medidas son las más efectivas, ya que el agua es el principal agente que desencadena los problemas de inestabilidad de taludes, aumentando el peso de la masa inestable, elevando el nivel freático y las presiones intersticiales, creando empujes hidrostáticos, reblandeciendo el terreno, erosionando el pie del talud.

El drenaje puede ser superficial, mediante zanjas de drenaje y canalizaciones o profundo, mediante drenes horizontales o californianos, pozos o drenes verticales,



“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

galerías de drenaje y pantallas drenantes. Los elementos drenantes pueden ser puntuales (pozos o drenes) o continuos (zanjas y galerías).

Los drenajes superficiales evitan que las aguas de escorrentía se infiltren en el talud o penetren a favor de las discontinuidades y grietas, para así dar lugar a la elevación del nivel freático, a la aparición de presiones intersticiales y a la saturación de los suelos. Evitan los efectos erosivos de las aguas de escorrentía y el lavado de las discontinuidades en macizos rocosos. Estas medidas estabilizadoras son preventivas.

Deben ser diseñadas para evitar la llegada y acumulación de agua en el talud, sobre todo en la zona de cabecera, y en el caso de los taludes escalonados, en las bermas ya que es frecuente que se produzcan encharcamientos en las zonas planas.

Las aguas de escorrentía se canalizan y evacúan mediante zanjales o cunetas de drenaje, que se suelen situar en la cabecera y los laterales del talud, cuya sección se calcula con base a los caudales que evacuarán.

En taludes de suelo con una extensión importante e inclinación adecuada pueden construirse sistemas de zanjales o canales de drenaje de su superficie, longitudinales y transversales, o en espina de pescado para la recogida de las aguas que se evacúan fuera de la zona de influencia del talud. En estos casos las zanjales contribuyen a reforzar el terreno superficial.

Los drenajes profundos tienen como finalidad deprimir el nivel freático y evacuar el agua del interior del talud, siendo una solución frecuente en taludes rocosos con problemas de inestabilidad.

El diseño de medidas de drenaje profundo se debe considerar los siguientes aspectos:

- ⊕ La permeabilidad y características hidrogeológicas de los materiales, los caudales a drenar y el radio de acción del elemento drenante.



“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

- ⊕ Las perforaciones deben alcanzar las cotas a las que se encuentra el agua y en su caso, profundizar hasta las cotas que se requiere rebajar el nivel freático.
- ⊕ Dependiendo de la ubicación y profundidad, los elementos drenantes pueden quedar rotos o inutilizados si hay movimientos en el talud y causar efectos contrarios a los predeterminados, introduciendo agua a la superficie de rotura o en la masa inestable.

Los drenes californianos son perforaciones subhorizontales con diámetro de 100 a 150 milímetros, que pueden alcanzar longitudes de 30 a 40 metros y son muy efectivos para evacuar el agua de la zona del pie de los taludes.

Los pozos verticales con diámetro 30 a 150 centímetros o superiores, pueden drenar el agua mediante bombas introducidas en su interior, que se ponen en funcionamiento al alcanzar el agua una cota determinada dentro del pozo, o por gravedad a través de drenes que se comunican con el exterior.

Las galerías drenantes excavadas en el interior de los macizos, son de gran eficacia pero de costosa ejecución.

Las pantallas drenantes formadas por pozos verticales de gran diámetro (de 1.5 a 2 metros), comunicados entre sí por taladros horizontales que se ejecutan desde su interior.

5.1.3 Elementos estructurales resistentes.

La introducción de elementos resistentes en el terreno tiene como finalidad aumentar la resistencia al corte mediante alguno de los siguientes sistemas:

- ⊕ Introduciendo elementos que mejoran la resistencia del terreno en la superficie de rotura, como lo son los pilotes o micropilotes.
- ⊕ Introduciendo elementos que aumentan las fuerzas tangenciales de rozamiento en la superficie de rotura, como los anclajes y bulones.



“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

Las pantallas de pilotes son alineaciones de estos elementos distanciados entre sí, de forma que constituyen una estructura continua, atravesando la zona deslizada y empotrándose en la zona estable.

La distribución y longitud de los pilotes deben ser detalladamente estudiadas y diseñadas, así como su resistencia ante los esfuerzos a los que estarán sometidos. Los diámetros de los pilotes varían entre 0.65 a 2 metros, siendo frecuentemente arriostrados en superficie por medio de una viga.

De forma semejante se utilizan las pantallas de micropilotes que atraviesan la zona deslizada y se introducen en la zona estable. Los micropilotes tienen un diámetro entre 12 y 15 centímetros y longitudes entre los 15 y 20 metros. Van armados con un tubo de acero que se rellena mediante inyección de cemento. El sistema de perforación permite atravesar los materiales rocosos.

Las columnas jet-grouting se utilizan para estabilizar taludes en suelos granulares, incluso en terrenos cohesivos, cortando la superficie de deslizamiento y creando zonas con mayor resistencia al corte. El procedimiento consiste en realizar una perforación en el terreno, generalmente entre 0.4 y 1 metro de diámetro, inyectando cemento de alta presión entre 30 y 60 MPa, a través de un varillaje que gira a gran velocidad y que penetra y rompe el terreno circundante. Así se consigue una columna de alta resistencia formada por el terreno y la inyección.

Los anclajes son elementos formados por cables o barras de acero que se anclan a zonas estables del macizo, trabajan a tracción y proporcionan una fuerza contraria al movimiento y un incremento de las tensiones normales sobre la superficie de rotura. En función de su forma se clasifican en:

- ⊕ Pasivos: El anclaje comienza a trabajar al producirse el movimiento del bloque o del terreno.
- ⊕ Activo: El anclaje se tensa con una carga admisible.
- ⊕ Mixtos: El anclaje se tensa con una carga inferior a su carga admisible.



“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

Sus longitudes pueden ser habitualmente entre 15 y 40 metros y su capacidad de carga suele estar entre 60 y 120 Toneladas por anclajes. La fuerza de anclaje se calcula para alcanzar un coeficiente de seguridad adecuado.

Los anclajes se emplean frecuentemente en taludes rocosos fracturados como medida efectiva para estabilizar masas o bloques deslizantes. Las cabezas de los anclajes pueden unirse en superficie con vigas de concreto de forma que trabajan en conjunto distribuyendo las fuerzas estabilizadoras más uniformemente sobre el talud.

En el caso de los suelos o macizos rocosos de baja resistencia afectados por una inestabilidad en general, se ejecuta un muro de concreto armado en el talud, en el que se colocan las cabezas de los anclajes, con lo que se consigue repartir las fuerzas que transmiten estos elementos al terreno. En algunas ocasiones el muro se sustituye por una pantalla de pilotes.

Los bulones son barras de acero que se introducen en el talud y se pueden considerar como anclajes pasivos de baja capacidad. Las longitudes están entre los 3 y 6 metros y su diámetro varía desde los 25 a 40 milímetros. Se colocan en perforaciones realizadas en la roca y rellenas de cemento o resina. Su carga admisible oscila entre los 5 y las 15 toneladas por bulón.

5.1.4 Muros y elementos de contención.

La construcción de muros se emplea para reforzar la zona del pie de los taludes, evitando la degradación en esta zona crítica frente a la estabilidad.

Los muros se construyen a pie de talud como elementos resistentes, de contención o sostenimiento, siendo efectivos frente a inestabilidades superficiales. Los muros de contención presentan el inconveniente de que hay que excavar el pie del talud para su construcción.

Los muros de sostenimiento se construyen separados del pie del talud, relleno posteriormente el trasdós (espacio entre el muro y el talud), los de revestimiento tienen como misión proteger el terreno de la erosión y proporcionar un peso estabilizador al pie del talud.



“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

Los diferentes tipos de muros presentan una serie de características que los hacen adecuados para diferentes casos de estabilización, según se requiera muros flexibles o rígidos, se quiera detener un movimiento o aportar una resistencia adicional.

Los muros de gaviones son muros flexibles que consisten en rellenos de fragmentos rocosos o escollera contenidos de una malla de acero, trabajan por gravedad y pueden ser construidos con escalonamiento hacia el exterior o el interior del talud. Tienen la ventaja de permitir la circulación de agua procedente del talud.

Los muros pantalla son elementos de concreto armado construidos in situ, en zanjas excavadas por debajo de la superficie del terreno, cuya acción estabilizadora es similar a la de las pantallas de pilotes, con la diferencia de que constituyen elementos continuos.

Otro tipo de muros son los de tierra armada, formados por un paramento exterior prefabricado de concreto o chapas metálicas y un relleno de suelo reforzado mediante bandas o tiras de metal o de material sintético, que se anclan al paramento y al talud.

Los muros anclados son muros reforzados con anclajes para mejorar la resistencia al vuelco y al deslizamiento de la estructura.

El drenaje es un aspecto que debe ser considerado en la construcción de muros ya que se puede producir la saturación del terreno en su trasdós, generando elevadas presiones intersticiales y empujes sobre la estructura.

En los muros de gaviones, el drenaje se produce de forma natural al ser estructuras muy permeables, pero en el caso de muros de concreto deben construirse los drenajes adecuados que aseguren la salida del agua acumulada, por medio de mechinales o de drenes longitudinales que atraviesen el muro.

En la práctica se combinan varios sistemas de estabilización simultáneamente. Dado que el agua es el principal agente de desestabilizador en los taludes, es normal que cualquier solución lleve consigo la construcción de zanjas de captación



“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

del agua de escorrentía por encima y en los laterales de la cabecera del talud inestable, y de cunetas impermeables de drenaje en bermas y al pie del talud.

5.1.5 Medidas de protección superficial.

Estas medidas están encaminadas a:

- ⊕ Eliminar los problemas de caída de rocas.
- ⊕ Aumentar la seguridad del talud frente a roturas superficiales.
- ⊕ Evitar o reducir la erosión y la meteorización en el frente del talud.
- ⊕ Evitar la entrada de agua de escorrentía.

Las actuaciones más frecuentes consisten en:

- ⊕ Instalación de mallas metálicas.
- ⊕ Gunitado de taludes. Concreto lanzado
- ⊕ Construcción de muros de revestimiento a pie del talud.
- ⊕ Instalación de materiales geotextiles.
- ⊕ Impermeabilización.
- ⊕ Siembra de especies que contribuyen a reforzar el terreno superficial en taludes excavados en suelos.

Las mallas metálicas están compuestas por mallas de triple torsión y por mallas de alta resistencia que se anclan desde la cabeza hasta el pie del talud protegiendo toda la altura.

El gunitado consiste en cubrir de gunita (mortero de cemento, agua y árido de hasta 8 milímetros) la superficie del talud, proyectando la mezcla neumáticamente a través de una manguera o una boquilla. Cuando se mezclan áridos de tamaño superior se denomina concreto proyectado. Normalmente se proyectan varias capas sobre el talud, con un espesor total de 5 a 8 centímetros.

La gunita puede reforzarse mediante la fijación de una malla metálica al talud sobre la que se proyecta la mezcla. Para facilitar el drenaje se realizan perforaciones que atraviesan la capa de gunita.



Los taludes excavados en macizos rocosos fracturados suelen presentar problemas de desprendimientos de bloques a favor de la red de discontinuidades. Entre las actuaciones para la estabilización de los bloques rocos inestables se encuentran:

- ⊕ Instalación de bulones para fijación de los bloques de roca; cuando los bloques a estabilizar presentan grandes dimensiones, su fijación debe realizarse mediante anclajes.
- ⊕ Instalación de cables y mallas para estabilizar zonas de talud que se encuentran muy fracturadas; consiste en la colocación de una malla metálica, preferentemente de doble o triple torsión, a la que se superpone una serie de cables formando una retícula, anclados a la roca en sus extremos y tensionados.
- ⊕ Eliminación de bloques mediante voladura con controlada, cemento expansivo, fragmentación mediante martillo picador, eliminación manual mediante placas, etc. Deben eliminarse únicamente los bloques adecuados, en caso contrario el efecto puede ser perjudicial para la estabilización de otros bloques en contacto.

Los materiales geotextiles se pueden definir como un material textil plano, permeable y polimérico, que se emplea en contacto con suelos y otros materiales para aplicaciones geotécnicas en ingeniería civil. Los polímeros utilizados en la fabricación de geotextiles suelen ser de origen sintético debido a su mayor durabilidad frente a los naturales. Los principales son las poliamidas, poliésteres y las poliolefinas (polietileno y polipropileno). Las geomallas se definen como una estructura polimérica plana consistente en una estructura regular abierta de elementos de tracción integralmente conectados, que pueden ser unidos por extrusión, ligado o entrelazado, cuyas aberturas son mayores que sus constituyentes.

La siembra de especies vegetales en el talud incrementará la capacidad de infiltración, bombea la humedad del suelo hacia el exterior, las raíces refuerzan el



“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

suelo incrementando la resistencia al cortante, anclan el suelo a los estratos inferiores, detienen las partículas del suelo disminuyendo la erosión.

5.2 Caso práctico.



Figura 4: Autopista siglo XXI, km 70+000

Fuente: Propia con ayuda de la herramienta Google Earth Pro (2022).

Autopista: Siglo XXI, Pátzcuaro - Lázaro Cárdenas.

Tramo: Pátzcuaro-Uruapan

Km: 70+000

Derrumbe del 11 de Septiembre de 2021.



Figura 5: Planta del año 2018

Fuente: Propia con ayuda de la herramienta Google Earth Pro.

Planta del talud, zona agrícola en ambos lados del derecho de vía y vegetación en el derecho de vía.



Figura 6: Corte del año 2018

Fuente: Propia con ayuda de la herramienta Google Earth Pro.



“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

Vista lateral del talud, se observa en el corte presencia de vegetación en la cabecera y cuerpo del talud.



Figura 7: Planta del año 2019

Fuente: Propia con ayuda de la herramienta Google Earth Pro.

Planta del talud, se observa movimiento de tierras por motivo de ampliación de la autopista, tala de la vegetación presente.





“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

Figura 8: Planta del año 2019

Fuente: Propia con ayuda de la herramienta Google Earth Pro.

Corte del talud, se observa erosión en todo el corte y presencia de materiales finos, vegetación en la cabeza del talud.



Figura 9: Planta del año 2020

Fuente: Propia con ayuda de la herramienta Google Earth Pro.

“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

Planta del talud, se observa obras de drenaje menor en la cabecera y pie del talud, así como erosión superficial en la cabecera.



Figura 10: Planta del año 2021

Fuente: Propia con ayuda de la herramienta Google Earth Pro.

Planta del talud, se observa la ampliación de la autopista así como el talud terminado con todos sus elementos. La topografía del talud del caso, no es favorable debido a su orientación.





“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

Figura 11: Planta del año 2021

Fuente: Propia con ayuda de la herramienta Google Earth Pro.

Corte del talud, se observan lavaderos sin disipadores de energía a lo largo del cuerpo del talud, tres estratos distintos de materiales que lo conforman, erosión en la cabecera y pie del talud, contracunetas sin revestimiento.

11 de Septiembre de 2021.



Figura 12: Colapso del talud año 2021

Fuente: Centro SICT Michoacán.





“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

Figura 13: Colapso del talud año 2021

Fuente: Centro SICT Michoacán.

Derrumbe de un fragmento del talud, causando cierre total en la circulación en ambos sentidos de la autopista siglo XXI.

Posibles causas: erosión de los materiales que conformaban al talud, saturación excesiva en el material debido a las lluvias y obras de drenaje menor poco funcionales (lavaderos, contracunetas y cunetas), intemperismo causado por el clima de la región.



Figura 14: Planta del año 2022

Fuente: Propia con ayuda de la herramienta Google Earth Pro.

“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

Planta del corte, se observa el colapso del fragmento de talud y los estratos presentes.



Figura 15: Corte del año 2022

Fuente: Propia con ayuda de la herramienta Google Earth Pro.

Corte del talud, se observa que el material tomó su nuevo ángulo de reposo debido al colapso. El talud sufrió una ruptura en forma de cuña. Se observan distintos estratos que componen el talud, los materiales son distintos en la parte colapsada y en la que sigue estable.





“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

Figura 16: Trabajos de estabilización con bermas 2022.

Fuente: Propia con ayuda de la herramienta Google Earth Pro.

La solución que se le brindó al talud fue la construcción de un escalonamiento en el talud, por medio de bermas, la cual contribuye a que ya no se produzcan más cortes en el plano de rotura.

Las bermas también sirven para retener los posibles bloques que en un futuro se desprendan y evita roturas locales

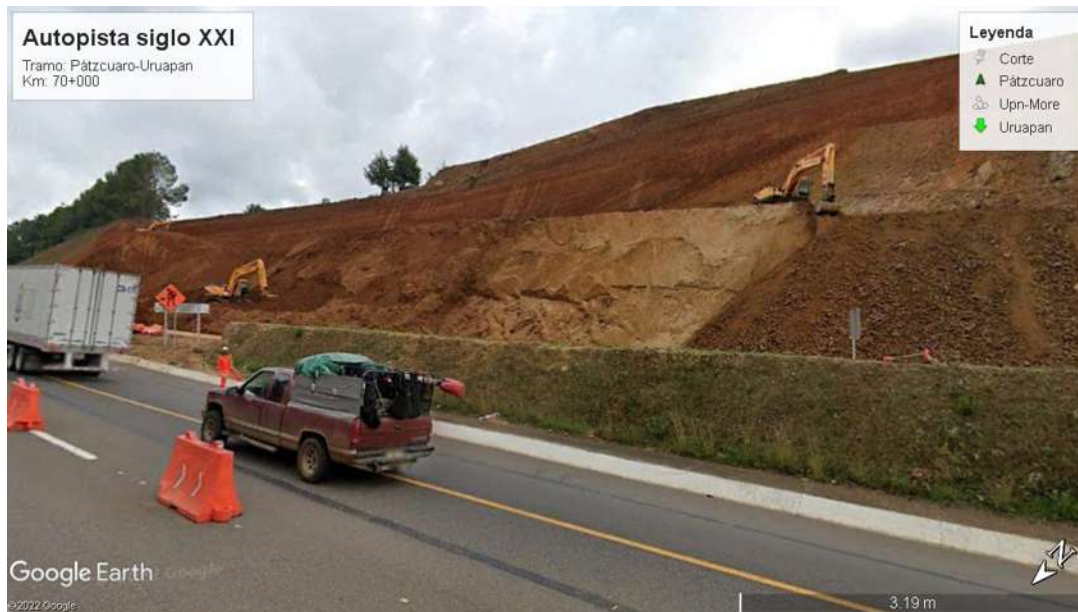


Figura 17: Trabajos de estabilización con bermas 2022.

Fuente: Propia con ayuda de la herramienta Google Earth Pro.



CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES

Una vez realizados los estudios correspondientes en el talud que se requiera estabilizar se optara por la opción más viable de acuerdo a sus características geológicas, hidrogeológicas, clima de la región y geometría del talud, así como el comportamiento geomecánico del terreno Se encontró en la bibliografía consultada las siguientes propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes:

Modificación en la geometría del talud, su principal objetivo es redistribuir las fuerzas que provoca el peso de los materiales. Las más utilizadas son, disminuir la inclinación del talud, eliminar el peso en la cabecera del talud, incrementar el peso en el pie del talud por medio de tacones o escolleras, escalonar el talud por medio de la construcción de bancos y bermas.

Medidas de drenaje, su finalidad es eliminar o disminuir en gran cantidad el agua presente en el talud. El agua reduce la resistencia del material y lo satura lo cual hace que su peso incremente, eleva el nivel freático y por lo tanto se elevan las presiones generando empujes, reblandeciendo el terreno y erosionando el pie del talud. Existe drenaje superficial mediante zanjas y canalizaciones (cunetas, contracunetas, lavaderos), así como profundas mediante drenes californianos, pozos, galerías de drenaje o pantallas drenantes.

Elementos estructurales, estos tienen por objeto aumentar la resistencia al corte del terreno introduciendo elementos en la superficie de rotura como los pilotes o micropilotes, o también aumentando las fuerzas tangenciales de rozamiento en la superficie por medio de anclajes o bulones.

Muros y elementos de contención, esta se emplea para reforzar el pie de los taludes evitando la degradación de este ya que es una zona crítica que contribuye a la inestabilidad. Existen dos tipos de muros los de contención que se construyen pegados al pie y excavando este lo cual es un inconveniente y los de sostenimiento que se construyen separados del pie, posteriormente rellenando el espacio entre el muro y el talud. Dentro de los muros están los muros flexibles que son los muros de



“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”

gaviones contruidos por fragmentos rocosos contenidos en una malla de acero y los muros rígidos estos son los muros pantalla contruidos in situ de concreto armado. Otros muros son los de tierra armada. Los muros anclados son muros reforzados con anclaje para mejorar la resistencia de la estructura.

Medidas de protección superficial, estas eliminan las caídas de roca, aumentan la seguridad del talud por roturas superficiales, reducen la erosión y el intemperismo en el cuerpo del talud y evitan la entrada de agua de escorrentía. Las principales medidas son; mallas de triple torsión, concreto lanzado, muros de revestimiento al pie del talud, impermeabilización, materiales geotextiles y siembra de vegetación.

Se puede realizar una combinación de técnicas para mitigar la erosión de acuerdo a las características que presente el talud por ejemplo: aplicar geomalla en las zonas con mayor probabilidad de erosión anclada al terreno natural para mayor estabilidad, colocar medidas de drenaje como contracunetas revestidas para así evitar la saturación en el material. En taludes que presenten las características optimas colocar especies vegetales. También pueden colocarse banquetas en taludes rocosos los cuales tiendan a presentar caídos de roca y reforzar con malla de triple de torsión o malla de alta resistencia. Para los taludes en suelo se puede optar por colocar geotextiles.



BIBLIOGRAFÍA

- Ampuero, J. F. (2016). *Obras Urbanas*. Obtenido de <https://www.obrasurbanas.es/vegetacion-taludes/>
- Blanco, V. Z. (1987). Breve historia de las carreteras. *Revista de Obras Públicas*, pág. 27 a 38.
- Díaz, J. S. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Colombia: Ingeniería de suelos Ltda.
- Díaz, J. S. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*. Bucaramanga, Colombia : Ingeniería de Suelos Ltda.
- Escobar, G. D. (2017). *Manual de Geología para ingenieros*. Manizales.
- Espitia, R. S. (2011). Propuestas de solución. *Presentación AMIVTAC*.
- INEGI. (2014). *Erosión de suelos en México*. Aguascalientes.
- M. Royo-Ochoa, R. C.-A.-M.-Á.-V.-A.-D.-C.-F.-V.-L.-S. (2010). *El Intemperismo y las Rocas en la Construcción*. Xalapa: 4º Congreso Nacional ALCONPAT 2010.
- Muñoz, F. B., Fresno, D. C., & Oceja, M. G. (2000). *Definición, función y clasificación de los geotextiles*. Obtenido de <https://www.giteco.unican.es/pdf/publicaciones/AYC30-X-2000.pdf>
- NOM-037-SCT2-2012. (s.f.). *NOM-037-SCT2-2012*.
- Reyes Espíndola, R., & Cárdenas Grisales, J. (2000). *Ingeniería de Tránsito Fundamentos y aplicaciones*. Colombia.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2012). *NOM-037-SCT2-2012*. México.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (14 de Octubre de 2015). *El caminero en la historia*. Obtenido de Gobierno de México: <https://www.gob.mx/sct/articulos/el-caminero-en-la-historia-13124>



“Propuestas de conservación para atender problemas de erosión y estabilidad en taludes carreteros.”



Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2018). *Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras*. México.

Vallejo, L. I. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN.