

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CENTRO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis de Grado previo la obtención del Título de Magíster en:

VÍAS TERRESTRES

TÍTULO DE LA TESIS:

**MODELO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES
EN LAS CARRETERAS DEL SUBTRÓPICO DEL NOR
OCCIDENTE DEL ECUADOR A FIN DE EVITAR
ACCIDENTES DE TRÁNSITO Y DISMINUIR LOS
COSTOS DE OPERACIÓN VEHICULAR**

AUTOR: Ing. Vicente Ulpiano Revelo Burgos

DIRECTOR: M.Sc. Ing. Dillon Germán Moya Medina

Ambato – Ecuador

Noviembre, 2008

Al Consejo de Postgrado de la Universidad Técnica de Ambato:

El Comité de Defensa del Trabajo de Investigación **“MODELO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN LAS CARRETERAS DEL SUBTRÓPICO DEL NOROCCIDENTE DEL ECUADOR A FIN DE EVITAR ACCIDENTES DE TRÁNSITO Y DISMINUIR LOS COSTOS DE OPERACIÓN VEHICULAR”**, presentado por el Señor Maestrante Vicente Ulpiano Revelo Burgos, y conformado por: el Ingeniero M.Sc. Francisco Mantilla, el Ingeniero M.Sc. Víctor Hugo Fabara y el Ingeniero M.Sc. Francisco Pazmiño; Ingeniero M.Sc. Dillon Moya, Director de Tesis y presidido por el Ingeniero M.Sc. Luis Velásquez Medina, Director del CEPOS - UTA una vez escuchada la defensa oral y revisado el Trabajo de Investigación de Grado escrita en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas por el Tribunal de Defensa, remite el presente Trabajo de Investigación para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería civil y Mecánica.

M.Sc. Ing. Francisco Mantilla
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL (E)

M.Sc. Ing. Luis Velásquez
Director CEPOS – UTA

M.Sc. Ing. Dilón Moya
Director de Tesis

M.Sc. Ing. Francisco Mantilla
Miembro del Tribunal

M.Sc. Ing. Víctor Hugo Fabara
Miembro del Tribunal

M.Sc. Ing. Francisco Pazmiño
Miembro del Tribunal

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Director de la tesis “MODELO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN LAS CARRETERAS DEL SUBTRÓPICO DEL NOR OCCIDENTE DEL ECUADOR A FIN DE EVITAR ACCIDENTES DE TRÁNSITO Y DISMINUIR LOS COSTOS DE OPERACIÓN VEHICULAR”, trabajo elaborado por el Ing. Vicente Revelo Burgos, certifico que la presente tesis es original del autor, todos los capítulos han sido revisados por mi persona y están de acuerdo a las especificaciones de diseño vigentes en el País.

Ing. M.Sc. Dillon Moya.

AUTORÍA

El contenido del presente trabajo investigativo, así como sus ideas y opiniones, son de exclusiva responsabilidad de su autor

Ing. Vicente Revelo Burgos

C.C.: 170174969-7

DEDICATORIA

A mi esposa, Bertha y mis hijos Irene y Vicente.

AGRADECIMIENTO

A la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, representada por sus autoridades y profesores, por los conocimientos impartidos; al Ingeniero Msc Dillon Moya, Tutor de la Investigación realizada. A la consultora INDETEC en la persona del Ing. Martín Moreno.

ÍNDICE GENERAL

A. PAGINAS PRELIMINARES

PORTADA	I
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR	II
AUTORÍA	III
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
ÍNDICE GENERAL	VII
RESUMEN EJECUTIVO	XIV

B. TEXTO

INTRODUCCIÓN	XVI
CAPITULO 1: EL PROBLEMA	2
1.1. Tema	2
1.2. Planteamiento del Problema	2
1.2.1. Contextualización	2
1.2.2. Análisis Crítico	4
1.2.2.1 Estratigrafía y Litografía	5
1.2.2.2 Estructura Geológica y Discontinuidades	6
1.2.2.3 Condiciones Hidrogeológicas	6
1.2.2.4 Tensiones Naturales	8
1.2.2.5 Otros Factores	9
1.2.3 Prognosis	11
1.2.4. Formulación del Problema	11
1.2.5 Preguntas Directrices	12
1.2.6 Delimitación	12
1.2.6.1 Delimitación Temporal	12
1.2.6.2 Delimitación Espacial	13
1.3. Justificación de la Investigación	13

1.4.	Objetivo General y Específico	15
1.4.1.	Objetivo General	15
1.4.2.	Objetivos Específicos	15
CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO		16
2.1.	Antecedentes Investigativos	16
2.2	Fundamentación Teórica	17
2.2.1.	Principales Fallas en Taludes	17
2.2.2	Clasificación de medidas según daños y Justificación Conceptual	18
2.2.3	Técnicas de Investigación	18
2.2.4	Métodos de Investigación	19
2.2.4.1	De campo.....	19
2.2.4.2	De laboratorio.....	19
2.2.5	Análisis de Estabilidad de Taludes	19
2.2.5.1	Estabilidad de un Talud	20
2.2.5.2	Medidas de protección superficial.	21
2.2.6.	Métodos de análisis.....	21
2.2.6.1	Métodos Sintetizados de Análisis	22
2.2.6.2	Métodos Analíticos	23
2.2.6.3	Metodología de Cálculo con el programa GSLOPE	24
2.2.7	Sistemas de Protección y Refuerzo frente a Inestabilidades Superficiales	27
2.2.7.1	Sistemas de Estabilización con Mallas Metálicas	28
2.3	Fundamentación Legal	30
2.4	Categorías Fundamentales.....	30
2.5	Hipótesis	30
2.6	Señalamiento de Variables	31
2.6.1	Variables Independientes	31
2.6.2	Variables Dependientes	31
CAPITULO 3: METODOLOGÍA		32
3.1.	Modalidad Básica de la Investigación	32
3.1.1	De Campo	32
3.1.2	Bibliográfica	32

3.1.3	Exploratoria	32
3.2	Tipo de Investigación	32
3.2.1	Explicativo	32
3.2.1	Descriptivo	32
3.3	Población y Muestras	33
3.3.1	Población	33
3.3.2	Muestras	33
3.4	Operacionalización de Variables	33
3.4.1	Variable Independiente	33
3.4.2	Variabes Dependientes	34
3.5	Recolección de Información	34
3.6	Procesamiento y Análisis	34
	CAPITULO 4: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	36
4.1.	Análisis de los resultados	37
4.1.1.	Estructura Geológica y Discontinuidades	37
4.1.2.	Condiciones Hidrogeológicas	37
4.1.3	Propiedades Geomecánicas de los Suelos y Macizos Rocosos ...	38
4.1.4	Ejes de Deslizamientos	38
4.1.5	Mecanismos de estabilización	38
4.1.6	Ensayos de Laboratorio de suelos	39
4.2.	Interpretación de Datos	39
4.2.1	Geología	39
4.2.2	Análisis de Estabilidad de Taludes	43
4.2.2.1	Características de los Suelos	43
4.2.2.2	Evaluación de la Estabilidad	44
4.2.2.3	Resultados	44
	CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
5.1.	Conclusiones	46
5.2.	Recomendaciones	48

CAPITULO 6: PROPUESTA	50
6.1. Datos Informativos	50
6.2. Antecedentes de la Propuesta	50
6.3. Justificación	51
6.4. Objetivos	52
6.4.1 Objetivo General	52
6.4.2 Objetivos Específicos	53
6.5. Análisis de Factibilidad	53
6.6. Fundamentación	54
6.6.1. Investigaciones Preliminares	54
6.6.2. Taludes de Montaña	54
6.6.3. Caracterización Geológica	54
6.6.4. Caracterización Geotécnica	55
6.6.5. Tipos de Movimientos	55
6.6.5.1 Desprendimientos	55
6.6.5.2 Deslizamientos	56
6.6.6 Observaciones de Campo	56
6.6.7 Efectos en las obras de Ingeniería Civil	56
6.6.8 Modelos de Estabilización en Taludes	57
6.6.8.1 Geometría de Taludes	57
6.6.8.2 Estabilización con Plantaciones	58
6.6.8.3 Estabilización de Taludes en roca con mallas metálicas y anclajes	58
6.7. Metodología. Modelo Operativo	59
6.8. Administración	60
6.8.1. Recursos Económicos	60
6.8.2. Recursos Técnicos	60
6.8.3. Recursos Administrativos	61
C. MATERIALES DE REFERENCIA	
BIBLIOGRAFÍA	62
ANEXOS	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.	Factores influyentes en la Inestabilidad de los taludes	6
Tabla 2.1.	Clasificación de Datos	17
Tabla 2.2.	Clasificación de las medidas de Consolidación de taludes	20
Tabla 2.3.	Deslizamientos y estabilidad de taludes	22
Tabla 2.4.	Métodos analíticos para estabilizar taludes.....	23
Tabla 2.5.	Sistemas de refuerzo y protección de taludes.....	28
Tabla 4.1.	Resultados de Ensayos de laboratorio.....	39
Tabla 4.2.	Características Geológicas de los Suelos.....	40
Tabla 4.3.	Características Mecánicas de los Suelos	43
Tabla 4.4.	Factores de Seguridad	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.	Fuerzas actuantes en una falla circular.....	26
Figura 2.2	Esquema de funcionamiento de las mallas	29

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
MAESTRÍA EN VÍAS TERRESTRES**

**TEMA: MODELO DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN LAS
CARRETERAS DEL SUBTRÓPICO DEL NOR OCCIDENTE DEL
ECUADOR A FIN DE EVITAR ACCIDENTES DE TRÁNSITO Y
DISMINUIR LOS COSTOS DE OPERACIÓN VEHICULAR**

AUTOR: Ing. Vicente Revelo Burgos

Fecha: Noviembre - 2008

RESUMEN EJECUTIVO

Las carreteras del Ecuador generalmente sufren continuas interrupciones de tráfico debido a los deslizamientos de laderas y taludes, sea por un defectuoso diseño de los mismos o por un inadecuado y oportuno mantenimiento. Este problema se agrava en zonas del subtrópico donde las condiciones climáticas son rigurosas y las características de los suelos poco favorables a su estabilidad.

Este fenómeno obliga a la necesidad de realizar costosas reconstrucciones luego de haber sufrido numerosas y periódicas interrupciones de tráfico, accidentes graves y el consecuente incremento económico en la operación vehicular.

Una rehabilitación o mantenimiento puede llegar a ser más costosa que la construcción de taludes perfectamente estudiados y diseñados.

A fin de desarrollar esta investigación se eligió la carretera Selva Alegre – Saguangal como modelo de aplicación para las vías del subtrópico nor occidental del Ecuador.

La investigación se apoyó en la información proporcionada por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas, el Gobierno Provincial de Imbabura y los Estudios Definitivos de Ingeniería y de Impacto Ambiental de la carretera Selva Alegre –

Alegre Saguangal – Quininde realizados por la Consultora Protecvia Cía Ltda., y; la Policía Nacional, Distrito de Imbabura.

Para conocer profundamente las características físicas y mecánicas de los suelos se realizó la investigación de campo mediante la evaluación de los taludes existentes y la toma de muestras de suelos a fin someterlas a ensayos de laboratorio cuyos resultados proporcionaron los parámetros para el diseño de taludes.

La investigación bibliográfica constituye la base de esta tesis porque se recabó, en lo posible, los métodos más actualizados y modernos para estabilización de taludes. Dentro de esta información prevalece la obtenida del V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables, realizado en Madrid el mes de noviembre de 2001, con las exposiciones sobre el tema de investigadores y expertos españoles y extranjeros de reconocida capacidad internacional.

Para el diseño de la geometría de los taludes se utilizó la última versión computacional del programa GSLOPE.

Para la estabilización de los taludes se propone una alternativa incrementada en el mundo a partir del año 1990, que consiste en la colocación de mallas metálicas ancladas, y de la cual en el Ecuador se tiene pocas referencias.

INTRODUCCIÓN

El propósito principal de la investigación es el de proporcionar un Modelo para la Estabilización de Taludes en las carreteras del Subtrópico del Nor Occidente del Ecuador a fin de evitar accidentes de tránsito y disminuir los costos de operación vehicular, para lo cual se tomó a la carretera Selva Alegre - Saguangal, como modelo de aplicación.

El capítulo 1 plantea el problema generado por los deslizamientos producidos en esta carretera por la falta de estabilidad en los taludes, como consecuencia de estudios y métodos constructivos incompletos e inadecuados y produce accidentes y el incremento en los costos de operación vehicular.

En el Capítulo 2 se recopila la información técnica referente al tema de la investigación, sobre avances investigativos, esquemas de construcción aplicados en otros países del mundo, de la región y del país; materiales que intervienen en la construcción de los nuevos diseños; equipos y programas computacionales que ayudan los diseños.

Este capítulo finaliza con la formulación de la hipótesis y la determinación de la variable independiente (Estabilización de taludes en las carreteras del subtrópico del noroccidente del Ecuador) y de las variables dependientes (Evitar accidentes de tránsito y disminución de los costos de operación vehicular)

En el capítulo 3, Metodología, se presenta la modalidad básica, el nivel y el tipo de investigación que se desarrolló, con la determinación de la población y muestra; así como la operacionalización de variables y el plan de recopilación y procesamiento de la información.

El Capítulo 4 describe y recopila la información obtenida acerca de trabajos realizados en el proceso de investigación, los resultados de los diseños y los métodos de aplicación.

En el Capítulo 5, que por su contenido se lo elaboró luego de concluida la investigación, se incluyen las conclusiones a las que llevó la misma y las recomendaciones para la mejor actuación de las instituciones Públicas involucradas en la construcción de carreteras.

Finalmente, en el Capítulo 6 se formula la propuesta en la que se incluyen los siguientes temas: Antecedentes, justificación, formulación de objetivos, análisis de la factibilidad de desarrollar el tema propuesto, fundamentación, metodología para el desarrollo del modelo para la estabilización de taludes, Metodología y Método Operativo y finalmente la implementación de la propuesta con la disponibilidad de recursos económicos, técnicos y administrativos

En Anexos se incorpora ensayos de laboratorio, reportes del diseño de la geometría de taludes, planos de ubicación nacional y regional de la zona y la carretera en estudio y plano geológico.

CAPITULO 1

EL PROBLEMA

1.1. TEMA

Modelo para la estabilización de taludes en las carreteras del subtrópico del noroccidente del Ecuador a fin de evitar accidentes de tránsito y disminuir los costos de operación vehicular.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN

Las obras como carreteras, ferrocarriles, canales, y en general cualquier construcción que requiera una superficie plana en una 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 más elevada que permite la resistencia del terreno, manteniendo unas condiciones aceptables de estabilidad. El diseño de taludes es uno de los aspectos más importantes de la ingeniería geotécnica, pues está presente en la mayoría de las actividades constructivas.

En general, los taludes en ingeniería Civil alcanzan alturas máximas de 50 a 60 m y se proyectan para ser estables a largo plazo, precisando medidas de estabilización complementarias cuando no sea posible realizar las excavaciones con las alturas y ángulos requeridos, por motivos económicos o de otro tipo.

En el país existen varios problemas en los taludes, que se los ha tratado independientemente de acuerdo con los problemas puntuales que se han ido presentando en las carreteras del país, las causas principales son el poco mantenimiento, la mala utilización del suelo sobre los taludes tanto para el uso de

siembra como para asentamientos poblacionales que no tienen o implementan sistemas adecuados de evacuación de aguas, las cunetas de coronación en mal estado por falta de mantenimiento o por un mal proceso constructivo.

El área afectada tiene una topografía montañosa con pendiente transversal alrededor del 50 % y está constituida por coluviones en matriz limo arenosa, arenisca tipo granodiorita, que se encuentran en imperceptible inestabilidad, pero continuo desplazamiento hacia las partes bajas de la ladera. La precipitación de lluvia anual fluctúa entre 1200 mm y 2000mm, lo cual constituye una de las causas más importantes que agravan el problema.

En la zona Nor-occidental del país y en especial en el Sub Trópico se tiene una complejidad en los suelos porque se encuentran en un franco proceso de meteorización por la elevada pluviosidad de la zona, cambios bruscos de temperatura variando de 7° C a 30° C provocando un proceso de expansión y compresión de las masas rocosas, la vegetación que emite ácidos que penetran en la roca fracturada y su consecuente oxidación. Los datos pluviométricos emitidos por el INAMHI proporcionan un promedio en esta zona de 1500 mm anuales.

Foto 1.1 Coluviones Sector Chalguayacu



Fuente: Autor

1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO

La estabilidad de un talud está determinada por factores geométricos (altura e inclinación), factores geológicos (presencia de agua) y factores geotécnicos o relacionados con el comportamiento mecánico del terreno (resistencia y deformabilidad). La combinación de los factores citados puede determinar la condición de rotura a lo largo de una o varias superficies, y que sea cinemáticamente posible el movimiento de un cierto volumen de masa de suelo o roca. La posibilidad de rotura y los mecanismos y modelos de inestabilidad de los taludes están controlados principalmente por factores geológicos y geométricos.

Los factores geológicos, hidrogeológicos y geotécnicos se consideran factores condicionantes, y son intrínsecos a los materiales naturales, en los suelos, litología, estratigrafía y las condiciones hidrogeológicas determinan las propiedades resistentes y el comportamiento del talud. En el caso de macizos rocosos competentes el principal factor condicionante es la estructura geológica: la disposición y frecuencia de las superficies de discontinuidad y el grado de fracturación; en materiales blandos, como los lutíticos o pizarrosos, la litología y el grado de alteración juegan también un papel predominante.

Foto1.2.Areniscas granodioríticas, sector El Limonar



Fuente: Autor

Junto a los factores condicionantes de la estabilidad de los taludes (también denominados pasivos), los factores desencadenantes o activos provocan la rotura una vez que se cumplen una serie de condiciones.

Estos últimos son factores externos que actúan sobre los suelos o macizos rocosos, modificando sus características y propiedades y las condiciones de equilibrio del talud. El conocimiento de todos ellos permitirá un correcto análisis de talud, la evaluación del nivel de estabilidad del mismo y, en su caso, el diseño de las medidas que deberán ser adoptadas para evitar o estabilizar los movimientos.

1.2.2.1 Estratigrafía y Litología

La naturaleza del material que forma un talud esta íntimamente relacionada con el tipo de inestabilidad que éste puede sufrir, presentando las diferentes litologías, distinto grado de susceptibilidad potencial ante la ocurrencia de deslizamientos o roturas. Las propiedades físicas y resistentes de cada tipo de material, junto con la presencia de agua, gobiernan su comportamiento tenso deformacional y, por tanto, su estabilidad.

Aspectos como la alternancia de materiales de diferente litología, competencia y grado de alteración, o la presencia de capas de material blando o de estratos duros, controlan los tipos y la deposición de las superficies de rotura. En los suelos, que generalmente se pueden considerar homogéneos en comparación con los materiales rocosos, las diferencias en el grado de compactación, cementación, granulometría predisponen zonas de debilidad y de circulación de agua, que pueden generar inestabilidades. En los macizos rocosos, la existencia de capas o estratos de diferente competencia implica también un diferente grado de fracturación en los materiales, lo que complica la caracterización y el análisis del comportamiento del talud.

1.2.2.2 Estructura Geológica y discontinuidades.

La estructura geológica juega un papel definitivo en las condiciones de estabilidad de los taludes en macizos rocosos. La combinación de los elementos estructurales con los parámetros geométricos del talud, altura e inclinación, y su orientación, define los problemas de estabilidad que se pueden presentar.

Tabla 1.1 Factores influyentes en la inestabilidad de los taludes

Factores condicionantes	Factores desencadenantes
<ul style="list-style-type: none">- Estratigrafía y litología.- Estructura geológica.- Condiciones hidrogeológicas y comportamiento hidrogeológico de los materiales.- Propiedades físicas, resistentes y deformacionales.- Tensiones naturales y estado tenso-deformacional.	<ul style="list-style-type: none">- Sobrecargas estáticas.- Cargas dinámicas.- Cambios de las condiciones hidrogeológicas.- Factores climáticos.- Variaciones en la geometría.- Reducción de parámetros resistentes.

Fuente: Autor

La influencia de la estructura geológica va mas allá del condicionamiento geométrico de las roturas, pudiendo afectar a la estabilidad de los taludes a causa de las modificaciones inducidas por la excavación; por ejemplo, en estructuras de tipo compresivo o distensivo la existencia de esfuerzos tectónicos residuales puede inducir procesos desestabilizadores.

1.2.2.3 Condiciones hidrogeológicas.

La mayor parte de las roturas se producen por los efectos del agua en el terreno, como la generación de presiones intersticiales, o los arrastres y erosión, superficial o interna, de los materiales que forman el talud. En general, puede decirse que el agua

es el mayor enemigo de la estabilidad de los taludes (además de las acciones atópicas, cuando se realizan excavaciones inadecuadas sin criterios geotécnicos).

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

- Reducción de la resistencia al corte de los planos de rotura al disminuir la tensión normal efectiva
- La presión ejercida sobre grietas de tracción aumenta las fuerzas que tienden al deslizamiento.
- Aumento del 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 un talud depende de diferentes factores, entre los que se encuentran la permeabilidad de los materiales, la geometría o forma del talud y las condiciones de contorno. En macizos rocosos, la estructura geológica tiene una gran influencia en la disposición del nivel freático y, por tanto, en la distribución de las presiones intersticiales sobre cualquier superficie potencial de deslizamiento en el talud, así como la alternancia de materiales permeables e impermeables.

El nivel freático puede sufrir cambios estacionales o como consecuencia de dilatados periodos lluviosos o de sequía. Solo parte del agua de lluvia o esorrentía penetra en el terreno, y una mínima parte alcanza el nivel freático. Si bien la modificación del nivel freático obedece generalmente a cambios lentos o periodos largos, en caso de materiales muy permeables puede llegar a producirse un ascenso relativamente rápido como consecuencia de precipitaciones intensas.

Además del agua en el interior del terreno, hay que considerar el papel del agua superficial (por precipitación, esorrentía, etc.), que puede causar problemas

importantes de estabilidad al crearse altas presiones en las discontinuidades y grietas por las que se introduce, y en la zona más superficial del terreno; de hecho, las roturas en taludes en suelos son más frecuentes en periodos de lluvias intensas, tras una fuerte tormenta o en épocas de deshielo. Los fenómenos de erosión y lavado en materiales blandos o poco consistentes aparecen asimismo asociados a la presencia de agua superficial.

Propiedades geotécnicas de los suelos y de los macizos rocosos.

La posible rotura de un talud a favor de una determinada superficie depende de la resistencia al corte de la misma. En primera instancia, esta resistencia depende de los parámetros resistentes del material: cohesión y rozamiento interno.

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

El comportamiento de un macizo rocoso competente depende, generalmente, de las características de las discontinuidades, además de su litología e historia geológica evolutiva.

La resistencia al corte de estos planos de debilidad depende de su naturaleza y origen, continuidad, espaciado, rugosidad, tipo y espesor de relleno, presencia de agua, etc., y es el aspecto más importante para determinar la estabilidad del macizo rocoso.

1.2.2.4 Tensiones naturales.

Las tensiones naturales pueden jugar un papel importante en la estabilidad de los taludes rocosos. 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. Este efecto se ha comprobado en explotaciones para corte en las carreteras Papallacta -Baeza y Selva

Alegre – Saguangal en taludes lutíticos y granodioríticos sometidos a elevadas tensiones internas, fragmentándose la formación rocosa hasta quedar convertida en un material granular con fragmentos centimétricos (con varios metros de espesor desde la superficie del talud), dando lugar al desmoronamiento de taludes.

El estado tensional de un talud depende de su configuración geométrica y del estado de tensiones del macizo rocoso previo a la excavación. En excavaciones profundas, las elevadas tensiones que se generan en zonas singulares como el pie del talud puede dar lugar a condiciones de desequilibrio, llegando incluso a producirse deformaciones plásticas. También en la cabecera del talud se generan estados tensionales anisótropos con componentes traccionales que provocan la apertura de grietas verticales.

1.2.2.5 Otros factores.

Las sobrecargas estáticas y las cargas dinámicas que se ejercen sobre los taludes modifican la distribución de las fuerzas y pueden generar condiciones de inestabilidad. Entre las primeras están el peso de estructuras o edificios, u otro tipo de cargas como rellenos, escombreras, paso de vehículos pesados, que cuando se ejercen sobre la cabecera de los taludes aportan una carga adicional que puede contribuir al aumento de las fuerzas desestabilizadoras.

Las cargas dinámicas se deben, principalmente, a los movimientos sísmicos, naturales o inducidos, y a las vibraciones producidas por voladuras cercanas al talud.

El principal efecto en los macizos rocosos fracturados es la apertura de discontinuidades preexistentes, con la consiguiente reducción de su resistencia al corte, y el fracturamiento 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 alternancia de períodos de sequías y lluvias produce cambios en la estructura de los suelos que dan lugar a pérdidas de

resistencia. Se pueden establecer criterios de riesgos de inestabilidad de taludes en función de la pluviometría.

En determinados tipos de suelos o macizos rocosos, blandos, los procesos de meteorización juegan un papel importante en la reducción de sus propiedades resistentes, dando lugar a una alteración y degradación intensa al ser expuestos los materiales a las condiciones ambientales como consecuencia de una excavación. Esta pérdida de resistencia puede dar lugar a la caída del material superficial y sí afecta a zonas críticas del talud, como su pie, puede generar roturas generales, sobre todo en condiciones de presencia de agua.

Los deslizamientos se producen por la existencia de suelos deleznable debido a la mala captación de aguas subterráneas, inadecuado manejo de aguas de escorrentía o superficiales, fallas geológicas con el diaclasamiento paralelo al talud de inclinación, composición geológica de los suelos que incide en la baja cohesión de los mismos.

Inadecuada gestión vial como consecuencia de un diseño deficiente de taludes o falta de mantenimiento de taludes.

Desprotección de la capa vegetal en la corona de los taludes por efecto del uso inapropiado del suelo al cambiar las especies autóctonas que protegen los taludes de la erosión y son remplazadas por cultivos de ciclo corto que requieren la continua remoción del suelo y el riego no controlado para desarrollar estos productos agrícolas.

Se agrava el problema y los riesgos con los asentamientos humanos cercanos al talud.

Existe generalmente en todo el país una explotación antitécnica de minas y canteras que conforman los taludes de corte de las carreteras y contribuyen a la desestabilización de las laderas.

1.2.3 PROGNOSIS

A pesar de constituir una red de caminos que son los únicos medios de acceso a la zona, hasta la presente fecha no se ha emitido una solución definitiva a la inestabilización de las laderas, por lo que en forma cíclica cada período invernal, cuando las lluvias son más intensas y saturan el suelo, se producen deslaves de roca y tierra que bloquean por varios días o semanas la carretera, con los consecuentes perjuicios a los usuarios.

Adicionalmente, y sin dar una solución definitiva al problema, el costo de la rehabilitación y mantenimiento es muy elevado.

Los deslizamientos de taludes en la zona subtropical en el nor occidente del país aumentará el riesgo de accidentes y los costos de operación vehicular serán mayores.

1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El área afectada tiene una topografía montañosa con pendientes transversales que fluctúan entre el 20 y el 100 % y está constituida geológicamente por rocas granodioríticas fracturadas y en proceso de descomposición, recubiertas por suelos residuales producto de esta desintegración y por lahares, muy sensibles a los vientos y a las lluvias. Las precipitaciones anuales varían entre 1200 a 2000 mm lo cual constituye una de las causas más importante que agrava el problema de inestabilidad.

Foto 1.3 Talud con pendiente de 70 % Sector La Armenia



Fuente: Autor

Las carreteras no tienen suficientes obras de drenaje ni protección de taludes.

Entre las alternativas para estabilizar los taludes:

¿Cuál será el método aplicable de estabilización de taludes para disminuir el riesgo de accidentes y elevado costo de operación de vehículos en las carreteras del subtrópico del noroccidente del Ecuador?

Foto 1.4 Coluviones. Sector San Roque



Fuente: Autor

1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES

¿Cuál será la solución para evitar la alta accidentalidad y altos costos de operación por el deslizamiento de taludes?

¿Por qué se producen los deslizamientos en taludes?

¿Qué efectos producen estos deslizamientos?

¿Cuál es el mejor método aplicable de estabilización de taludes?

1.2.6 DELIMITACIÓN

1.2.6.1 DELIMITACIÓN TEMPORAL

El período para el presente estudio se desarrolló de junio a noviembre de 2008.

1.2.6.2 DELIMITACIÓN ESPACIAL

La investigación se realizó en un tramo de 19 km de la carretera Selva Alegre – Saguangal, representativo de las carreteras del subtrópico del nor occidente del país, que abarca las poblaciones de Cotacachi, Apuela, Cuellaje, Vacas Galindo, García Moreno, Chontal.

Foto 1.5 Sector de la Peña



Sector La Magdalena



Fuente: Autor

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La inestabilidad de taludes es una de las causales de mayor implicación en la accidentabilidad en las carreteras del país.

La investigación genera interés porque es una zona que en la actualidad no es atendida adecuadamente por la falta de datos investigativos, que este trabajo quiere aportar.

No es un tema novedoso para los sistemas de cálculo actuales pero los datos de la zona en estudio pueden aportar nuevos criterios para reformular algunas metodologías.

Esta investigación beneficiará a una población marginal que vive de la agricultura y ganadería y sin una vía de transporte funcional sufrirán daños económicos y sociales.

Se investigó para tener una vía segura que evitará la pérdida de vidas humanas por accidentes, se garantiza el tráfico seguro y permanente de vehículos que permite el transporte de la producción agrícola y ganadera de la zona y el aprovisionamiento de insumos para la industria, el comercio y el turismo.

Por el trabajo que se realiza y la experiencia en la construcción de carreteras del país se considera que es Factible realizarlo.

Debido a la importancia de la vía, ésta no puede permanecer expuesta a los fenómenos de la naturaleza que la destruyen.

En esta investigación, entre las alternativas para estabilizar la ladera se escogió la más segura y económica que indicaron los estudios geotécnicos, hidráulicos, viales y financieros, como la implementación de cunetas de coronación, cunetones, taludes con bermas, subdrenes, recalces, anclajes, recubrimiento con vegetación de raíces profundas y que requieran mucha humedad, diseño apropiado de la inclinación de taludes utilizando el método sueco o de dovelas.

Los datos mínimos que obtenidos para la realización de esta investigación fueron:

- 1) Dimensiones y límites de la zona estudiada.
- 2) Situación de la zona movida.
- 3) Efectos producidos por el movimiento.
- 4) Volumen de escombros.
- 5) Sondeos y ensayos.
- 6) Materiales constituyentes.
- 7) Agua y situación de capa freática.
- 8) Condiciones climatológicas de la zona.
- 9) Reseña geológica de la ladera.
- 10) Información fotográfica.

11) Causas a las que se atribuye el fallo.

12) Soluciones propuestas, con indicación de las medidas provisionales urgentes que fuera necesario tomar.

La vía tiene un ancho de 14.0 m., incluidos los espaldones y las cunetas, el talud de corte excede los 30.0 m de altura y la longitud afectada es 15 km.

1.4. OBJETIVOS GENERAL Y ESPECÍFICOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un modelo de estabilización de taludes que permita mejorar las condiciones existentes de las carreteras del sub trópico del nor occidente del país y aplicable a regiones de similares características geológicas y climatológicas.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la constitución geológica del área afectada
- Identificar los tipos de inestabilidad más comunes en el área estudiada
- Obtener parámetros técnicos mediante ensayos de penetración estándar mediante perforaciones a percusión y obtención de muestras alteradas e inalteradas que serán sometidas a ensayos de laboratorio con el fin de determinar sus características físicas y mecánicas
- Investigar en criterios para la de evaluación de taludes en las carreteras del subtrópico nor occidental del Ecuador
- Determinar un método de estabilización apropiado para los taludes de las carreteras del sub trópico del nor occidente del país
- Aportar con criterios para el mantenimiento adecuado de taludes

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Debido a la importancia de la vía, ésta no puede permanecer expuesta a los fenómenos de la naturaleza que la destruyen.

Como aporte a este modelo de investigación se revisaron los estudios realizados por el Dr. Roberto Castro N. y el Ing. Rodrigo Herrera referentes a la estabilización de taludes y laderas en el km 45, y km 59 respectivamente, en los años 2001 y 2004 para el Ministerio de Obras Publicas y el “Geomorphological – Geological Report of Cosanga Landslide Area to Support Stabilization Designs desarrollado por la asociación de Consultoras Tecnie Consultores Petroleros y Caminos y Canales Cía. Ltda. A pedido de ARCO Oriente. Inc. Williams Brothers Engineering Company, en el año 1997.

Se revisó además el estudio geotécnico para el diseño de taludes realizado por la consultora Viastra Cía Ltda., en el año 1999 de la carretera Vilcabamba – Yangana – Valladolid – Palanda – Zumba – La Balsa contratado por el MTOP

Para el área en investigación se ha revisado el estudio para la estabilización de taludes ejecutado por la Consultora Protecvia Cía Ltda. de la carretera Selva Alegre – Quinindé en el año 1990 y sirve para la actual construcción de la misma por parte del Ministerio de Transporte y Obras Públicas. En este estudio se presenta como única alternativa para la estabilización de taludes diferentes secciones geométricas en base a la altura de corte y los distintos tipos de suelo.

2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.2.1 PRINCIPALES FALLAS EN TALUDES

a) Causas de inestabilidad

Las causas principales de inestabilidad de laderas y taludes son entre otras: erosión de pie, acumulación de materia en cabeza, empuje hidrostático, heladas, variaciones rápidas de humedad y temperatura, arrastre de sólidos internos en rocas solubles, fenómenos de naturaleza química, fenómenos de naturaleza biológica, sismos, presión intersticial debida a filtraciones, etc.

b) daños en la infraestructura de una obra o en el entorno natural

Los daños que puede sufrir la infraestructura de una obra, construcción, o la propia ladera, pueden agruparse esquemáticamente como indica el cuadro 2.1.

Tabla 2.1 Clasificación de datos

Emplazamiento	Daño sufrido en la infraestructura	
Terraplén	Asientos (del terraplén o del cimiento)	Por deformación plástica. Por compactación creciente
	Deslizamientos (taludes del terraplén)	Superficiales Profundos
	Degradación por erosión	
Media ladera	Asientos (del terraplén o del cimiento)	Por deformación plástica Por compactación creciente
	Deslizamientos (taludes terraplén o ladera)	Superficiales Profundos
	Desprendimientos (taludes ladera)	
Trinchera y taludes naturales	Deslizamientos (taludes trinchera o ladera)	Superficiales Profundos
	Desprendimiento (taludes trinchera o ladera)	
	Degradación por erosión	

Fuente: Erenas (1995)

2.2.2 MEDIDAS PARA ELEVAR EL COEFICIENTE DE SEGURIDAD

Medidas del tipo I.- Las modificaciones favorables del perfil geométrico.

Medidas del tipo II.- Las modificaciones que hacen disminuir las tensiones cortantes de deslizamiento, que actúan sobre la posible superficie de rotura.

Medidas del tipo III.- Las modificaciones que tienden a incrementar la capacidad de resistencia del suelo a esfuerzo cortante a lo largo de la posible superficie de rotura.

2.2.3 TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo del modelo se acudió a las siguientes técnicas de investigación:

a) Mapas: Para la localización del proyecto a nivel nacional y regional se han utilizado el mapa físico del Ecuador y una hoja topográfica, escala 1:100000 del sector, respectivamente. Con el fin de conocer las características geológicas generales de la zona se empleó el mapa geológico general del Ecuador.

b) Reconocimientos de Campo: Las inspecciones de campo permitieron identificar el tipo, la causa y la magnitud de los deslizamientos. Durante el reconocimiento se pudo identificar los siguientes fallos:

- Hundimientos con grietas de tracción
- Bloques caídos al pie de acantilados o escarpes
- Macizos rocosos fracturados y meteorizados
- Presencia de grietas de tracción
- Reptaciones de material blando
- Laderas escalonadas y con escarpes
- Hundimientos con grietas de tracción
- Árboles, arbustos, postes e incluso viviendas inclinados a favor de la pendiente
- Hundimientos y desplazamientos en la calzada de carreteras.

2.2.4 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

2.2.4.1 DE CAMPO

- a) **Calicatas y pozos:** En los sitios considerados representativos (km 10 +300, km 17+500, km 22+400 y km 25+200) se realizó observación directa de la estratigrafía y se tomó muestras alteradas e inalteradas con el fin de efectuar ensayos de laboratorio.

2.2.4.2 DE LABORATORIO

Para determinar las características físicas y mecánicas de los suelos y analizar la estabilidad de los taludes se efectuaron los siguientes ensayos de laboratorio:

a) **Clasificación:**

- Granulometría
- Límites de Atterberg
- Granulometría
- Humedad natural

b) **Propiedades mecánicas**

- Triaxial
- Compresión simple
- Peso unitario

2.2.5 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

El análisis consistió en determinar, a partir de los datos de campo necesarios (geometría, tipo de materiales, modelo de rotura, presión hidrostática, etc.), los parámetros resistentes de terreno c y ϕ , que cumplen la condición de equilibrio estricto del talud (es decir, $F=1.0$).

Para el análisis se tomó en cuenta:

- Las características geológicas y geomecánicas de materiales (suelos o macizos rocosos).
- Los datos disponibles del talud y su entorno (geométricos, geológicos, geomecánicos, hidrogeológicos, etc.).
- Alcance y objetivos del estudio, grado de detalle y resultados.

2.2.5.1 Estabilidad de un talud.

En la siguiente tabla, se resume diferentes medidas para la estabilización de taludes de acuerdo al tipo de daño.

Tabla 2.2 Clasificación de las Medidas de Consolidación de Taludes

DAÑOS		MEDIDAS		TIPO DE MEDIDAS		
				Medidas de Tipo I	Medidas de Tipo II	Medidas de Tipo III
T I P O S D E I N T E Ñ O S	A S I E N T O S	a) Por deformación plástica	Cadenas drenantes	Drenes subhorizontales. Drenes profundos Longitudes Galerías y pozos drenantes Galerías con pilotes drenantes Pantallas de transición	Pantallas de desagüe Cadenas drenantes	
			b) Por compactación creciente			Inyección
	D E S L I Z A M I E N T O S	a) Superficiales	Plantaciones Riesgos superficiales impermeables Revestimiento de desagües Prolongación obras existentes de desagüe.	Plantaciones Riegos superficiales impermeables	Plantaciones Pilotes o carriles hincados Tratamientos químicos Concentración electrocinética y electroquímica	
			b) Profundos	Defensa en el cauce	Cunetas de coronación	Sistemas de pozos y galerías drenantes Muros de pie con contrafuertes drenantes
	Desprendimientos		Telas metálicas, berma de pie y defensas Muros de acompañamientos Contrafuertes y vigas	Protección con productos bituminosos	Anclaje de la Ladera Captaciones y drenes	
	E R O S I O N	Eólica			Ordenación de cultivos	Enmiendas
		Hídrica			Mulch Encespedados	Drenaje Encespedados

Fuente: Kraemer (2001)

2.2.5.2 Medidas de protección superficial

Estas medidas están encaminadas a:

- Eliminar el problema de caídas 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.
- Construcción de muros de revestimiento a pie del talud.
- Implantación de materiales geotextiles.
- Impermeabilización.
- Siembra de especies que contribuyen a reforzar el terreno superficial en taludes excavados en suelos.

2.2.6 MÉTODOS DE ANÁLISIS

En el área de estudio se ha observado que los fenómenos de inestabilidad se deben a las siguientes razones:

- a) Degradación superficial en taludes de corte por los agentes atmosféricos.
- b) Erosión superficial por el agua.
- c) Infiltración del agua de lluvia.
- d) Afloramiento de filtraciones de agua a la pared del talud.

En cualquier caso, el resultado es la presencia de una zona superficial en el talud con menor resistencia que el resto del suelo que ha originado el deslizamiento de masas de suelo con espesor variable entre 1 y 10 m.

2.2.6.1 MÉTODOS SINTETIZADOS DE ANÁLISIS En la tabla 2.3 se resumen estos métodos

Tabla 2.3 Deslizamientos y estabilidad de taludes

Autor	Parámetros	Inclinación de talud	Método analítico utilizado	Observaciones
Taylor (1.948)	C_u, c, Φ	0 - 90°	$\Phi = 0$, círculo de fricción	Análisis no drenado. Solo taludes secos
Bishop y Morgensten (1.960)	Φ, r_u, c	11° - 26.5°	Bishop	Primero en incluir efectos del agua
Gibson Morgensten (1.960)	C_u	0° - 90°	Φ	Análisis drenado con cero resistencia en la superficie y C_u aumenta linealmente con la profundidad
Spencer (1.967)	Φ, r_u, c	0° - 34°	Spencer	Círculos de pie solamente
Janbú (1.968)	Φ, r_u, c, C_u	0° - 90°	$\Phi = 0$ Janbú GPS	Una serie de tablas para diferentes efectos de movimiento de agua y grietas de tensión
Hunter y Schuster (1.968)	C_u	0° - 90°	$\Phi = 0$	Análisis no drenado con una resistencia inicial y C_u aumenta linealmente con la profundidad
Cheny Giger (1.968)	Φ, r_u	10° - 90°	Análisis límite	
O'Connor y Mitchel (1.977)	Φ, c, r_u	11° - 26°	Bishop	Bishop y Morgensten
Hoek y Bray (1.977)	Φ, c	0° - 90°	Círculo de fricción de cuña	Incluye agua subterránea y grietas de tensión, análisis de bloque en tres dimensiones
Cousins (1.978)	Φ, c	0° - 45°	Círculo de fricción	Extensión del método de Taylor (1.948)
Charles Soares (1.984)	Φ	26° - 63°	Bishop	Envolvente de falla no lineal de Mohr – Coulomb
Bames (1.991)	Φ, r_u, c	11° - 63°	Bishop	Extensión de Bishop y Morgensten (1.960) para un rango mayor del ángulo del talud

Fuente: Jaime Suárez Díaz

2.2.6.2 MÉTODOS ANALÍTICOS

El Factor de Seguridad es empleado por los Ingenieros para conocer cuales son las probabilidades de que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña.

F.S. = Resistencia al corte / Esfuerzo al cortante

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

F.S. = Momento resistente / Momento actuante

Existen, además, otros sistemas de plantear el factor de seguridad, tales como la relación de altura crítica y altura real del talud y método probabilístico.

La tabla 2.4 sintetiza los métodos analíticos más comunes

Tabla 2.4 Métodos analíticos para estabilizar taludes

Método	Tipo de inestabilidad	Tipo de suelo	Diferencias	Información obtenida	Resultados	Autores
Equilibrio límite	Superficial y profunda	Homogéneo	Comportamiento rígido-plástico	Sobre la rotura	Conocer F.S	Bishop(1955), Janbu (1957) Azzouz (1975) Gens(1988) Eid (1998) Huang (2002) Askaro(2003)
Elementos finitos	Profunda	Heterogéneo	Comportamiento elasto-plástico	Relación tenso deformacional, se conoce la distribución de tensiones y deformaciones antes de la rotura	F.S. Factor de la reducción de la resistencia	Zienkiewicz (2003)

Fuente: Autor

En el análisis de inestabilidades superficiales generalmente el talud se puede considerar como indefinido, dada la relación existente entre el espesor de la zona potencialmente inestable con respecto a la altura del talud. Bajo esta premisa, el empleo del método basado en elementos finitos no es usual, realizándose en la mayoría de los casos análisis de equilibrio límite. Ello se debe a la gran sencillez de cálculo que supone la aplicación del método de equilibrio límite en una situación en la que el talud es considerado como indefinido, y donde se estudia el posible deslizamiento de un espesor de suelo reducido y más o menos constate, es decir, con una superficie de deslizamiento paralela al paramento del talud.

En cambio, el análisis mediante elementos finitos se suele emplear en casos de inestabilidades profundas donde la geometría del problema sea más complicada o donde el terreno presente gran heterogeneidad lo que complicaría la realización de un análisis mediante equilibrio límite. No obstante, existe alguna referencia de análisis de inestabilidades superficiales por este método.

Todos los métodos de equilibrio límite empleados en el análisis de estabilidad de taludes tienen en común una serie de aspectos que se pueden resumir en dos características (Duncan y Wright, 1980).

- El factor de seguridad se define con respecto a los parámetros resistentes del terreno.

- La relación tensión-deformación del suelo no influye en el análisis, de modo que la misma resistencia tangencial puede ser movilizadada dentro de un amplio rango de valores de deformaciones que se tengan a lo largo de la superficie de deslizamiento.

2.2.10.3 Metodología de Cálculo con el Programa GSLOPE

Para el cálculo y diseño de los taludes se ha utilizado el programa GSLOPE que utiliza el método general de equilibrio límite.

El programa evalúa el factor de seguridad, para satisfacer las fuerzas y momentos de equilibrio.

El factor de seguridad es definido por el esfuerzo al corte del suelo en estado límite de equilibrio a lo largo de la superficie de falla.

Para el análisis con esfuerzos efectivos, el esfuerzo de corte esta definido por:

$$s = c' + (\sigma_n - u) \tan \phi'$$

Donde:

s = esfuerzo de corte

c' = cohesión efectiva

ϕ' = ángulo de fricción interna efectivo

σ_n = esfuerzo normal total

u = presión de poro

Para el análisis con esfuerzos totales, se definen en términos de esfuerzo totales y la presión de poro no se requiere.

El análisis de estabilidad se realiza dividiendo la masa de la superficie de suelo deslizante en dovelas. Se asume para la formulación del equilibrio límite:

1. La teoría de Mohr-Coulomb
2. La componente de esfuerzos cohesivos y fricciónales es igual para todo la envolvente.
3. El factor de seguridad es similar para todas las dovelas.

En la figura N° 2.1 se presenta todas las fuerzas actuantes en una superficie de falla circular.

La magnitud de la fuerza de corte movilizada que satisface las condiciones límites de equilibrio es:

$$S_m = \frac{s \beta}{F} = \frac{\beta (c' + (\sigma_n - u) \tan \phi')}{F}$$

(1)

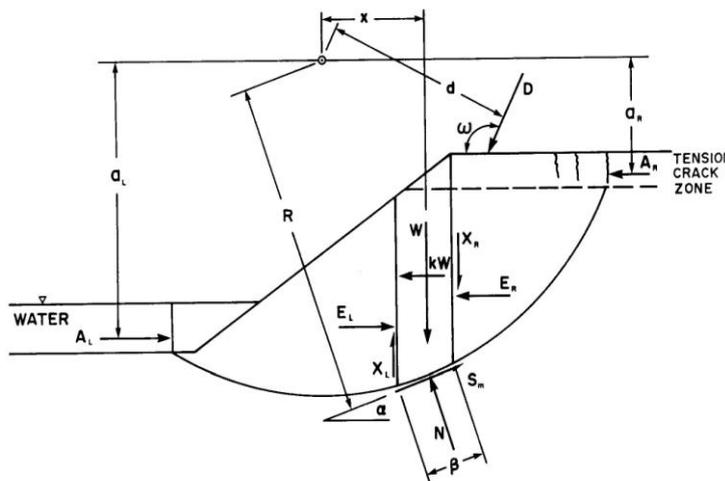
donde:

$$\sigma_n = \frac{N}{\beta} = \text{Promedio de esfuerzo normal en la base de cada dovela}$$

F = Factor de seguridad

β = Longitud de la base de cada dovela

Figura 2.1 Fuerzas actuantes en una falla circular



Fuente: Bishop (1955)

Estos elementos estáticos son usados para determinar el factor de seguridad con la sumatoria de fuerzas y momentos en las dos direcciones. Estas, son insuficientes para resolver el problema, el número de variables conocidas es menor que las no conocidas, dando como resultado un problema indeterminado.

EL Método General de Equilibrio Límite, usa las ecuaciones de estática para resolver el problema y obtener el Factor de Seguridad.

- a. Con la sumatoria de fuerzas en la dirección vertical de cada dovela, se determina la ecuación de la fuerza normal en la base de la dovela, N .
- b. La sumatoria de fuerzas en la dirección horizontal para cada dovela se usa para computar la fuerza normal E interdovelas.
- c. Con la sumatoria de momentos en relación al punto común para todas las dovelas, la ecuación resuelve el momento del factor de seguridad de equilibrio, F_m .
- d. La sumatoria de fuerzas en la dirección horizontal para todas las dovelas, da el valor de la fuerza de equilibrio del factor de seguridad F_j

El análisis es hasta ahora indeterminado. El factor de seguridad que satisface las ecuaciones de fuerzas y momentos, es obtenido mediante convergencia en el método de equilibrio límite.

2.2.7 SISTEMAS DE PROTECCIÓN Y REFUERZO FRENTE A INESTABILIDADES SUPERFICIALES DE TALUDES EN SUELOS

Los métodos empleados para la corrección de posibles inestabilidades de taludes en suelos se pueden agrupar de forma genérica en dos, por un lado los métodos de protección, y por otro los de estabilización o refuerzo.

La principal diferencia entre ambos se centra en que los primeros tratan de evitar que se desarrollen posibles fenómenos de alteración de la zona superficial del talud, lo que puede dar lugar a inestabilidades; mientras que los métodos de refuerzo y estabilización se caracterizan por actuar de forma activa en el caso de que se produzcan dichos fenómenos.

En la tabla 2.5 se sintetiza los sistemas más empleados hasta nuestros días dentro de los dos grupos mencionados.

Tabla 2.5 Sistemas de protección y refuerzo de taludes

Sistemas de protección y refuerzo	Condición	Material empleado	Efecto en el talud
Vegetación	Superficie desprotegida	Hierba, arbustos	Atenuación del viento y las lluvias
Mallas metálicas ancladas	Coluvión y rocas fracturadas	Mallas metálicas ancladas	Estabilización y refuerzo superficial
Hormigón proyectado	Suelos inestables	Hormigón y mallas metálicas	Estabilización
Geotextil	Superficie desprotegida	Malla de prolipropileno	Atenuación del viento y las lluvias
Malla de contención sobre vegetación	Suelos inestables	Geomallas y hierba	Estabilización y refuerzo

Fuente: Autor

2.2.7.1 Sistemas de estabilización o refuerzo con Mallas Metálicas

Se hace una breve descripción de este sistema por considerarlo interesante y nuevo en nuestro medio. Hace unos años se ha comenzado a emplear sistemas cuya misión es la estabilización y refuerzo superficial del talud, es decir, no se trata de elementos con misión principal de protección, sino que se trata de ejercer un efecto estabilizador en la zona superficial del talud.

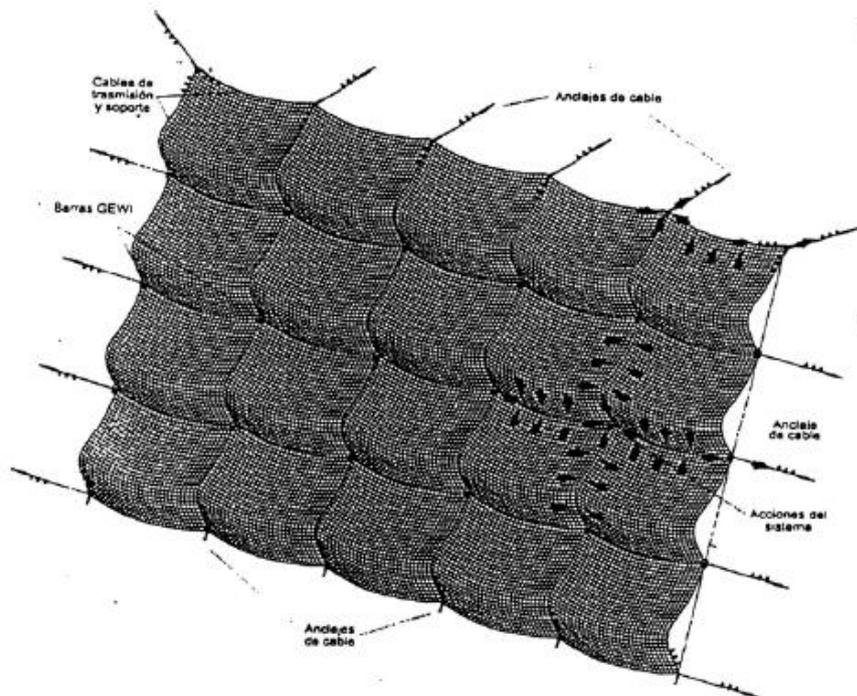
Se trata de elementos flexibles (mallas metálicas) anclados al talud y que son capaces de soportar tensiones elevadas. La misión de estos elementos es la de contención del terreno de la superficie sometida a erosión, filtración, etc., produciendo una mejora con respecto a posibles inestabilidades superficiales en el talud.

La forma de trabajo de estos sistemas se basa en el efecto que producen sobre el talud que consiste básicamente en la transmisión de una presión sobre su paramento

(ver Figura 2.2). En algunos casos la forma de funcionamiento de estos sistemas es activa, es decir, los anclajes empleados se pretensan de forma que desde un principio la zona superficial del talud se encuentra comprimida debido al efecto de la malla y anclajes.

Como elemento flexible de sostenimiento se pueden emplear mallas de alta resistencia, muy superior a la de las geomallas o geosintéticos descritos anteriormente como sistemas de protección de las semillas de vegetación, y por tanto capaces de cumplir su función de estabilización.

Figura 2.2. Esquema de funcionamiento de las mallas



Fuente (Torres, J.A., 1997)

Este tipo de sistemas ha sido muy empleado en taludes en roca, pero no tanto en el caso de taludes en suelos.

Un sistema que se ha comenzado a emplear recientemente con este objetivo son las mallas de alambre de acero de simple torsión y de alto límite elástico, las cuales se

disponen sobre el paramento del talud, ancladas al terreno. Este tipo de mallas son las que se considerarían para estabilización de los taludes de las carreteras de la zona nor occidental del país y específicamente la vía Selva Alegre – Saguangal, sector de Intag, provincia de Imbabura, pero solamente en los tramos rocosos. No es viable esta alternativa por cuanto en el mercado nacional no se dispone de mallas que cumplan las respectivas especificaciones e importarlas sería muy oneroso para el país, sobre todo en las condiciones económicas actuales.

La malla es de alambre de acero simple torsión TECCO-G65 y está constituida por alambres de 3 mm. de diámetro, siendo las dimensiones de las diagonales de los rombos que forma de 143 y 83 mm. El radio de curvatura aproximado de los alambres que constituyen la malla es de 10 mm., y el módulo de elasticidad del acero que constituye los alambres de 2×10^5 N/mm².

2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL

Para el desarrollo del tema se considerará las Especificaciones Generales para la construcción de Caminos y Puentes MOP – 001 – F – 2002 y normas INEN e internacionales de la ASTM, que rigen para la construcción de taludes.

2.4 CATEGORIAS FUNDAMENTALES

Desarrollo del país
Diseño vial
Geotecnia
Estabilización de taludes

VI

Crecimiento Económico
Nivel de vida
Economía
Eliminar la accidentabilidad

VD

2.5 HIPÓTESIS

El modelo de diseño para estabilización de taludes mediante el sistema de mallas metálicas ancladas y la determinación adecuada de la inclinación del talud es la solución para disminuir la accidentabilidad y los costos de operación.

2.6 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES

2.6.1 Variable Independiente:

Diseño de estabilización de taludes en la zona del sub trópico del noroccidente del país mediante mallas metálicas ancladas con una adecuada inclinación del talud.

2.6.2 Variables Dependientes:

La accidentabilidad que provoca los deslizamientos constantes en esta zona del país.

CAPITULO 3

METODOLOGÍA

3.1 MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 De campo

En el lugar donde se ha presentado el problema se ejecutó la inspección previa para definir el equipo, personal de apoyo que desarrolló los trabajos de pruebas y ensayos.

3.1.2 Bibliográfico

Según la naturaleza del problema se acudió para recabar información a textos especializados en la estabilidad de taludes.

3.1.3 Exploratoria.

Medición de inclinación de taludes, determinación de capas freáticas, análisis del tipo de suelos.

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.2.1 Explicativo

Se planteó los efectos negativos que produce el fenómeno y la necesidad de eliminar estos efectos

3.2.2 Descriptivo.

Se hizo una descripción del problema planteado y de los instrumentos que se utilizaron para el análisis y solución del mismo

3.3 POBLACION Y MUESTRA

3.3.1 Población:

Los diferentes tipos de suelos y rocas constitutivos de las laderas y taludes por donde atraviesan estos caminos.

3.3.2 Muestra:

Taludes críticos localizados en Apuela, García Moreno y Chontal.

3.4 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

3.4.1 Variable Independiente:

Diseño de estabilización de taludes en la zona del sub trópico del nor occidente del país.

CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADOR	INDICE	HERRAMIENTA
Diseño Estabilización de Taludes	Hidrosiembra	¿Que taludes se pueden estabilizar con Hidrosiembra?	Análisis del Suelo componente de la ladera	Observación Entrevista
	Hormigón lanzado	¿Que taludes se pueden estabilizar con Hormigón Lanzado?	Análisis mecánico de la estructura de la roca	Observación
	Mallas metálicas	¿Que taludes se pueden estabilizar con Mallas Metálicas?	Análisis del Suelo componente de la ladera	Observación
	Geotextiles	Geotextiles	Análisis del Suelo componente de la ladera	Observación
	Anclajes	¿Que taludes se pueden estabilizar con Anclajes?	Análisis mecánico de la estructura de la roca	Observación
	Descargar taludes	¿Que taludes se pueden estabilizar con descargar taludes?	Análisis de la altura de taludes	Observación Entrevista

3.4.2 Variables Dependientes:

Bajar la accidentabilidad que provoca los deslizamientos constantes en esta zona del país.

CONCEPTO	CATEFORIA	INDICADOR	INDICE	HERRAMIENTA
Bajar la accidentabilidad	Adecuado diseño de taludes	¿Cómo se consigue adecuado diseño de taludes?	Investigación apropiada	Observación Información ensayos de laboratorio
	Mantenimiento adecuado de vías	¿Cómo se logra un adecuado mantenimiento?	Capacitación y recursos	Observación
	Descargar taludes	¿Qué taludes pueden descargarse para estabilizarlos?	Análisis de la altura de taludes	Observación , ensayos de laboratorio

3.5 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

En referencia a los instrumentos de los trabajos realizados para la estabilización de taludes que son presentados en formularios los materiales, accesorios y ensayos que determinen la efectividad de la estabilización de taludes.

3.6 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

Con los datos de campo, laboratorio, encuestas y topografía obtenidos, se preparó un informe que, como mínimo recogerá los siguientes conceptos:

- 1) Dimensiones y límites de la zona estudiada.
- 2) Situación de la zona movida.
- 3) Efectos producidos por el movimiento.
- 4) Volumen de escombros.
- 5) Sondeos y ensayos.
- 6) Materiales constituyentes.
- 7) Agua y situación de capa freática.

- 8) Condiciones climatológicas de la zona.
- 9) Reseña geológica de la ladera.
- 10) Información fotográfica.
- 11) Reconstrucción de las curvas de nivel anteriores al movimiento, y en caso de talud artificial, las del terreno natural.
- 12) Causas a las que se atribuye el fallo.
- 13) Soluciones propuestas, con indicación de las medidas provisionales urgentes que fuera necesario tomar, planos, cantidades de obra y presupuesto.

CAPITULO 4

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El reconocimiento y observación de los taludes de las carreteras del subtrópico del noroccidente del Ecuador confirma la estructura geológica de estos taludes constituida por estratos heterogéneos compuestos básicamente por limos arenosos granodioríticos de color amarillo, rocas intrusivas, lahares y conglomerados.

La topografía, en un 90% de las fajas topográficas por donde se desarrollan estas vías es completamente abrupta, con pendientes transversales elevadas y drenajes naturales bien definidos. Debido a este relieve, el desarrollo geométrico es a media ladera, casi paralelo a los principales ríos de la zona, como es el caso del tramo definido para la investigación y que se inicia en el sitio de Aguagrú (Km 0+000) y termina en Saguangal (Km. 37+200), bordeando las márgenes derechas de los ríos Íntag y Guayllabamba; este tramo se encuentra delimitado por las coordenadas:

Aguagrú: 10.039.700 Norte
771.000 Este

Saguangal: 10.026.600 Norte
750.100 Este

El clima es típico de las zonas subtropicales, con precipitaciones anuales entre 1200 y 2000 mm.

Las temperaturas medias anuales fluctúan entre 15 y 25^o C y una humedad relativa del 70 al 90%.

Se han producido grietas en la cabeza de los taludes por efecto de la supresión del confinamiento de las laderas, al realizar los cortes y dejar al descubierto la roca,

produciéndose lubricación en la interfase de suelo y roca por efecto de la filtración de agua.

Los factores mencionados han acelerado el proceso de inestabilidad en los taludes de corte y laderas.

En los sitios analizados, Km 6+400, existe una roca granodiorítica fracturada y meteorizada en estratos de diferente competencia y diferente grado de fracturación, en el Km. 17+500 se puede considerar homogéneos los suelos de cobertura constituidos por limos arenosos color café oscuro y los suelos subyacentes, por arenas limosas, susceptibles a la erosión hídrica.

4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Como parte del desarrollo de esta investigación para recomendar la técnica adecuada con el fin de estabilizar los taludes en las carreteras del sub trópico nor occidental del Ecuador se desarrollaron las siguientes actividades:

Se ha tomado como tramo representativo de las carreteras del sub trópico nor occidental, el tramo que se encuentra en construcción comprendido entre Selva Alegre y Saguangal.

4.1.1 ESTRUCTURA GEOLÓGICA Y DISCONTINUIDADES

Se nota la presencia de planos de debilidad como superficies de estratificación, diaclasas, fallas, etc., buscando hacia el frente del talud, lo que supone la existencia de planos de rotura y deslizamientos potenciales.

4.1.2 CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS

Además del agua en el interior del terreno se observa el agua superficial por precipitación o escorrentía que causa graves problemas de estabilidad, al crearse altas

presiones en las discontinuidades y grietas. En los períodos de lluvias intensas se producen la rotura de taludes.

4.1.3 PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DE LOS SUELOS Y MACIZOS ROCOSOS.

Las propiedades geomecánicas están definidas por los valores de resistencia al corte, cohesión y ángulo de fricción que lo definen con suelos de baja consistencia limo arenosos, grano mediano propensos a la erosión y socavación.

La roca analizada presenta una resistencia a la compresión simple equivalente a 637 Kg./cm²., que se considera aceptable, considerando su origen intrusivo o granodiorita.

4.1.4 EJES DE DESLIZAMIENTOS.

Se ha observado roturas planas debido a una superficie preexistente como es la presencia de fallas (Km. 17+500). La rotura circular se observa en el macizo rocoso (Km. 6+ 400) intensamente fracturado y alterado.

4.1.5 MECANISMOS DE ESTABILIZACIÓN

Mediante las observaciones de campo se ha certificado que las causas de inestabilidad son la inadecuada geometría del talud (Km. 17+500)

Características erosionables de los suelos que constituyen el talud (arenas luminosas)
Ausencia de vegetación que sostenga los suelos con sus raíces.

Las lluvias intensas, se escurren por la superficie del talud produciendo surcos y cárcavas.

En el talud rocoso (Km. 6+400) los desprendimientos se producen por los cambios de temperatura y la oxidación que rompen la roca, favorecido este fenómeno por la calidad de roca (granodiorita, intrusivos). El mecanismo planteado es rediseñar la

geometría y cubrirlo con vegetación el talud del Km. 17+500 y mallas metálicas ancladas en el talud rocoso del Km. 6+400

4.1.6 ENSAYOS DE LABORATORIO DE SUELOS

Mediante la ejecución de estos ensayos se determinaron las características físicas y mecánicas más importantes del suelo, que se resumen en el cuadro N° 4.1

Tabla 4.1 Resultados de ensayos de laboratorio

Abscisa	Compresión Simple Kg/cm ²	Granulometría % pasa tamiz N°				LL %	IP %	HN %	C Kg/cm ²	Fi °	Pu gr/cm ³
		4	10	40	200						
5+200		23	19	17	13	66	18	64.5			
6+400	637							6.6			2.2
10+300		100	100	86	66	44	33	33.3			
12+100		100	100	99	90	59	15	85.1			
12+900		100	100	98	80	49	20	43			
14+700		100	100	99	86	102	28	89.5			
16+000		100	82	50	14	NP	NP	9.0			
16+500		100	87	46	16	NP	NP	10.6			
17+000		100	89	45	19	NP	NP	11,9			
17+500		100	100	96	67	37	27	26	0.37	23	1.61
22+400		100	100	83	65	41	35	34	0.40	33	1.56
25+200		100	100	98	78	42	33	36	1.00	30	1.55
31+300		100	89	45	19	NP	NP	11.9			

Fuente: Autor

En el anexo N° 1 se presentan los ensayos de laboratorio

4.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.2.1 GEOLOGÍA

Este apartado resume el estudio realizado por la Consultora Protecvia en el año 1990 sobre la carretera Selva Alegre Quinindé, el plano geológico del Ecuador y observaciones hechas en la franja asumida para el desarrollo de esta tesis.

El tramo considerado comprendido entre Selva Alegre y Saguangal, tiene una longitud de 37 km y se desarrolla en una terraza alta y a veces colgada y laderas abruptas.

El proyecto cruza por valles fluviales con un sistema complejo de terrazas, de origen principalmente laharítico por la actividad volcánica que se encuentra dentro de la cuenca del Intag.

Tabla N° 4.2 Características geológicas de los suelos

ZONA GEOTECNICA	MALA
------------------------	-------------

FACTORES CONDICIONES	CALIDAD CONSTRUCTIVA	DESFAVORABLE
Morfología		Laderas de montaña
Relieve		Fuerte y muy fuerte
Tectónica, estructura geológica		Capas subverticales afectadas por tectónica
Geología		Formación Macuchi e intrusivo
Cobertura de suelos		Limos, limos arenosos con fragmentos de roca
Morfología		Escurrimiento alto, drenaje bien marcado
Riesgo a deslizamiento		Inestable, zonas con deslizamientos activos
Ripabilidad		Maquinaria para suelos blandos/compactos. Localmente voladura
Aptitud para uso		La roca fracturada para base y agregados
Empuje de contenciones		Medio a alto
Limitantes en construcción		Disección, deslizamientos locales, suelos blandos y laderas abruptas

Fuente: Estudios definitivos de Ingeniería, carretera Selva Alegre Quininde-MOP. Consultora PROTECVIA (1990)

Foto N° 4.1 Deslizamiento km 5+200



Fuente: Autor

Foto N° 4.2 Deslizamiento de roca fracturada km 10+300



Fuente: Autor

Foto 4.3 Proceso erosivo debido a las lluvias km 9+500



Fuente: Autor

Foto N° 4.4 Deslizamiento de fragmentos de roca km 6+400



Fuente: Autor

Foto N° 4.5 Deslizamiento de rocas Fracturadas en la vía y consecuente interrupción del tráfico, km 6+400



Fuente: Autor

Foto N° 4.6 Limpieza de derrumbos km 6+300



Fuente: Autor

4.2.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Los suelos que conforman los taludes en su mayoría son limos arenosos y arenas limosas, clasificados en el sistema SUCS como de baja compresibilidad, los cuales para el análisis de estabilidad de los taludes, fueron caracterizados en sus parámetros físicos y mecánicos, mediante ensayos triaxiales realizados en muestras inalteradas que se obtuvieron en cuatro sectores de la vía y que se adjuntan en el anexo N° 4.2.

Los taludes en sus características geométricas son de gran altura en la mayor parte de la vía y amerita el análisis de estabilidad, salvo en los valles de Santa Rosa y Villa Dorita en los cuales las alturas de los cortes son de poca importancia o son terraplenes respectivamente.

4.2.2.1 Características Mecánicas de los suelos:

Tabla 4.3 Características Mecánicas de los Suelos

SECTOR	γ (Ton/m³.)	c (Kg/cm²)	Φ °	SUCS
10+300	1.44	0.65	20	ML
17+500	1.61	0.37	23	ML
22+400	1.56	0.65	33	ML
25+200	1.55	1.00	30	ML

Fuente: Autor

Como se puede observar las características de los suelos no son buenas y no es recomendable aplicar taludes normales de corte para vías con una inclinación 1 H: 2V., de todas maneras en el análisis se realizan varios ejercicios con diferentes alternativas de inclinación e inclusión de terrazas a diferentes niveles, para observar la variación del factor de seguridad.

4.2.2.2 Evaluación de la estabilidad

Para la evaluación de la estabilidad se utilizó el programa GSLOPE y se consideraron los parámetros físicos y mecánicos de los suelos, asumiendo que el talud es homogéneo. En cuanto a su geometría esta se fue variando, en primera instancia se utilizó un talud de corte 1H: 2V, sin terraza, posteriormente se incluyeron terrazas a 10 m. de altura manteniendo la inclinación 1H: 2V, para observar la variación en el factor de seguridad, en tercera instancia se varió el ángulo del talud 3H:4V, incluyendo terrazas hasta conseguir una sección adecuada, considerando que un factor de seguridad de 1.1 es suficiente.

Para el análisis se consideró las secciones del Km. 17+500 y Km 25+200 por ser las más críticas y representativas. Las características geométricas de la vía imponen en estos sectores cortes altos, razón por la cual se analizan estas secciones. Los reportes del programa constan en el Anexo N° 4.3

4.2.2.3 RESULTADOS:

TABLA 4.4 Factores de seguridad

SECTOR	ANALISIS	INCLINACION	ALTURAS DE CORTE				
			10	15	20	25	30
17+500	ESTATICO	1H: 2V	1.74	1.32	1.09		
	DINAMICO		1.43	1.10	0.92		
17+500	ESTATICO	3H: 4V			1.20		
	DINAMICO				0.94		
25+200	ESTATICO	1H: 2V	3.44	2.50	2.10	1.76	1.55
	DINAMICO		2.82	2.16	1.73	1.50	1.31

Fuente: Autor

Foto 4.7 Deslizamiento Potencial km 16+500



Fuente: Autor

Foto N° 4.8 Grieta o falla en la cabeza del talud km 16 +700



Fuente: Autor

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los recorridos y evaluación in situ de las vías del nor-occidente subtropical del país ponen de manifiesto el problema generado y analizado en este trabajo.

La circulación segura y confortable por las carreteras es un derecho de todos los ecuatorianos por tanto el problema generado por el deslizamiento de taludes deberá ser solucionado mediante una intervención técnica y urgente.

5.1 CONCLUSIONES

- a) Los taludes de corte son realizados en suelos tipo limo arenosos y rocas fracturadas y meteorizadas, con características mecánicas pobres.
- b) Las inclinaciones de los cortes utilizados en el modelo son 1H: 2V y la 3H: 4V, las superficies probables de falla son de pie y de cuerpo de talud, el programa busca la superficie crítica, la que proporciona el menor factor de seguridad.
- c) Se observa la influencia de la altura de corte en los factores de seguridad, conforme crece la altura, el factor de seguridad disminuye.
- d) Los efectos de sismo producen variaciones del factor de seguridad, ocasionando su disminución
- e) Los suelos existentes en los taludes de la vía estudiada y que representan a los de la zona, están constituidos por limos arenosos, color variable: amarillo claro, café claro, café y café oscuro la capa superficial o vegetal, son de baja

consistencia y sensibles al agua. Hay sitios puntuales en donde aflora roca granodiorítica color gris parduzco, diaclasada y regular resistencia a la compresión.

- f) En general la corona de los taludes tiene una cobertura de tierra vegetal color negro con un espesor promedio de 3m.
- g) La pendiente transversal es muy abrupta obligando a cortes altos.
- h) Se ha observado fallas locales.
- i) Los deslizamientos provocan accidentes, el tráfico se suspende y aumenta el costo de operación vehicular y desequilibra las actividades de la población.
- j) Los drenajes naturales están bien marcados.
- k) Las carreteras se desarrollan en áreas cultivadas pese a la agreste topografía.
- l) La zona es de alto riesgo.
- m) El tendido de la inclinación del talud influye mejorando los factores de seguridad, en el caso de la sección km. 17+500, para alturas de corte de 20.00 m., con inclinación 1H: 2V, los factores de seguridad son bajos, cuando se tiende el talud a inclinación 3H: 4V el factor de seguridad crece.
- n) Para la sección km. 17+500 las inclinaciones de talud 1H: 2V permite realizar cortes seguros hasta alturas de corte de 15.00 m. Para alturas de corte hasta 20.00 m. la inclinación será 3H: 4V. Para alturas mayores deberá introducirse terrazas, a fin de disminuir alturas de corte y aumentar el factor de seguridad.
- o) En el caso de la sección km 25+200, de mejores características de resistencia al corte, las alturas de corte con inclinaciones 1H: 2V, pueden realizarse con factores de seguridad aceptables hasta los 30.00 m. Para alturas mayores a

30.00 m, el talud puede tenderse a 3H: 4V, que proporcionará factores de seguridad admisibles.

5.2 RECOMENDACIONES

Las partes involucradas en la construcción, mantenimiento y conservación de carreteras como el MTOP y el Consejo Provincial de Imbabura deben monitorear permanentemente éstas vías, considerando que cualquier reparación o arreglo no es inmediato al no disponer de maquinaria pesada en sitios estratégicos.

Se aplicará estrictamente la Ley de Caminos en cuanto a la conservación de carreteras, prohibiendo los asentamientos humanos y agrícolas en la corona de los taludes.

Concientizar a la población para no contaminar y represar los cauces naturales de quebradas y ríos.

Estimular en la siembra de especies vegetales nativas en las paredes de los taludes. En casos emergentes informar a las autoridades cualquier daño de las vías y así proteger la vida de los usuarios y no encarecer la transportación.

Los taludes de corte de alturas mayores a 15 metros deben considerar la inclusión de una terraza intermedia, y, tener inclinación 3H: 4V.

Taludes de alturas mayores a 20 metros, tomarán en cuenta la inclusión de dos terrazas a 10 m., de altura, y, su inclinación será 3H: 4V.

Para la estabilización del talud en roca del Km. 6+400 se recomienda la colocación de mallas metálicas ancladas tipo TECCO G-65.

Adicionalmente, todos los taludes serán protegidos con arbustos, hierba o árboles originarios de la zona, que serán sembrados mediante un proceso técnico, que implica un estudio de mitigación ambiental y un plan de manejo ambiental.

CAPÍTULO 6

PROPUESTA

6.1 DATOS INFORMATIVOS.

Para el desarrollo de esta investigación se eligió la carretera Selva Alegre - Saguangal la zona nor-occidental del sub-trópico ecuatoriano, que abarca concretamente la zona de Íntag. Por su peculiar topografía muy agreste y donde continuamente se presentan deslizamientos de laderas y derrumbes en taludes de las carreteras.

En el anexo 3, se presenta los planos de ubicación nacional, regional y geológico de la carretera aplicada.

6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA.

La zona de Íntag, donde se ubica la carretera para la que se trata de generalizar el presente estudio, tiene una topografía muy irregular donde son frecuentes los deslizamientos de taludes de corte, provocando el riesgo de accidentes y los incrementos de operación vehicular por la pérdida de tiempo y daños en los vehículos.

Hasta la presente fecha la única solución ha sido limpiar ésta y las demás vías de la zona, sin atacar la causa u origen del problema, como es proteger los taludes para evitar los deslizamientos.

El Consejo Provincial de Imbabura, por ley para todo el Ecuador, tiene la obligación de conservar y mantener las vías de su jurisdicción.

Sin embargo el análisis y la alternativa para estabilizar los taludes es una cuestión técnica que requiere la contratación de estudios específicos que con el presente trabajo se trata de hacerlos.

Con tal propósito se ha seleccionado tres sitios representativos de las carreteras de toda la zona. Estos son el talud en roca localizada en el Km. 6+400 y los taludes en suelo en el Km. 17+500 y en el Km. 25+200 de la carretera en construcción Selva Alegre – Saguangal.

De esta carretera existen estudios de Ingeniería ejecutados para el MTOP por la Consultora Protecvia en el año 1990, cuando gran parte del área eran terrenos baldíos y actualmente la agricultura y asentamientos humanos han cambiado la concepción original del estudio.

Las restantes vías de la zona, a excepción de la carretera Otavalo – Selva Alegre han sido construidas únicamente por medio de la localización directa a media ladera, sin estudios geotécnicos para la estabilización de taludes.

Este ha sido el antecedente para proponer el tema

6.3 JUSTIFICACIÓN

Como se puede observar en las fotografías presentadas, son impresionantes los deslizamientos producidos en el Km. 6+400 y sobre todo la expectativa de los usuarios.

No se han producido hechos mayores que lamentar en cuanto a pérdidas humanas, pero sí daños a vehículos y pérdidas de tiempo que significan atrasos, pérdidas de productos perecibles e incremento en el transporte.

Actualmente existen estudios e investigaciones técnicas que proporcionan métodos y medios para optimizar la estabilización de taludes en cualquier tipo de terreno y clima.

A pesar de existir estudios sobre esta carretera en la práctica se demuestra que es necesario actualizarlos.

Básicamente, se ha propuesto una geometría del talud utilizando el método computarizado GSLOPE para los taludes en suelo de los Km. 17+500 y 25+200, cuyos reportes se presentan en el anexo N° 6.1 y mallas metálicas ancladas para el talud en roca del Km. 6+400

En este sentido el beneficiario es la población para lo cual deben responsabilizarse las instituciones que tienen en su cargo la construcción y mantenimiento de carreteras, el costo de mantenimiento puede resultar más oneroso que la estabilización definitiva de taludes.

El modelo presentado puede ser utilizable en vías de clima y características similares al presentado.

La estabilización de taludes empleando la tecnología y materiales adecuados garantizará una carretera libre de deslizamientos y anulará en un porcentaje elevado los accidentes de tránsito, el tiempo de viaje que encarece los costos de operación y retrasa o entorpece el desarrollo de las actividades humanas y abrir una ruta confortable económica y segura a posibles explotaciones mineras.

Al no existir vías alternas cercanas a los ejes viales de la zona, se ha producido pérdidas de productos perecibles debido a la interrupción de las vías por los deslizamientos.

Todos estos factores obligan a la implementación del método propuesto, que se ha basado en la consulta de investigaciones existentes a nivel nacional e internacional.

6.4 OBJETIVOS

6.4.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el Modelo Técnico adecuado para estabilizar taludes de corte en la carretera Selva Alegre – Saguangal, típica del sub-trópico nor-occidental del Ecuador, a fin de disminuir los accidentes de tránsito y consecuentemente, los costos de operación vehicular.

6.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar los tipos de deslizamientos que se producen en la carretera, que recorre la zona de Íntag.

Recomendar el modelo de estabilización de taludes acorde a las características topográficas, geológicas, geotécnicas y ambientales de la vía en estudio, para disminuir los accidentes de tránsito y costos de operación vehicular.

Determinar la constitución geológica del área afectada.

Identificar los tipos de inestabilidad más comunes en la vía estudiada.

Obtener muestras alteradas e inalteradas para someterlas a ensayos de laboratorio con el fin de determinar sus características físicas y mecánicas.

Determinar un método de estabilización apropiado para los taludes de la carretera.

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

Es aplicable la propuesta en base a las siguientes consideraciones:

- En el área a la cual se aplica el modelo se encuentran claramente diferenciadas dos caracterizaciones geotécnicas: corte en suelo y corte en roca para los cuales es aplicable las dos alternativas propuestas.
- Se obtendrán los resultados esperados si la aplicación del modelo se la hace mediante una política de viabilidad con participación de las autoridades del ramo y la población que se beneficie de este proyecto.

6.6 FUNDAMENTACIÓN

6.6.1 INVESTIGACIONES PRELIMINARES

Es imprescindible la recopilación de información a través del análisis de planos, fotografías aéreas, informes, etc., previo al reconocimiento del terreno.

Este recorrido sirvió de base para la puntualización de pruebas de campo y selección del tramo o sitios específicos del estudio.

6.6.2 TALUDES DE MONTAÑA

Una vía proyectada sobre una topografía montañosa inevitablemente tendrá taludes de corte.

Estos taludes se diseñarán considerando las características geotécnicas de los suelos y la geometría de la vía. En montaña el tipo de suelo es un factor determinante en el costo de la construcción por lo que es importante disponer de la mayor información del terreno y características climáticas que permitan diseñar taludes y métodos de estabilización que represente la mayor garantía con la menor inversión.

En este caso el 90% de la vía se construye en terreno montañoso.

6.6.3 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA

Del estudio geológico realizado por la Consultora Protecvia se resume las características geológicas del área por donde cruza la vía.

Se presentan coluviones, limos arenosos color gris o amarillo, cenizas volcánicas y granito meteorizado, con presencia de cantos y bloques graníticos, y localmente gravas.

Relleno: grava arenosa con limo

Aluvion: cantos y bloques con gravas y arenas

Lahar: grava arenosa con cantos y bloques.

Granodiorita: de color gris claro, de moderado a severamente meteorizado, roca blanda a dura, discontinuidades de calidad regular.

6.6.4 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA.

La capa de cobertura está constituida por limo color café oscuro, de mediana plasticidad y muy húmeda, su espesor varía de 1 a 3 metros, se considera la capa de tierra vegetal.

Los limos arenosos subyacentes son de color café amarillento, de baja plasticidad y medianamente compactos. Bajo estas capas se detecta roca intrusiva tipo granodiorita con una resistencia a la compresión igual a 637 Kg/cm², fracturada y meteorizada.

Este tipo de suelos es sensible al agua y la humedad, volviéndose inestable, lo cual provoca deslizamientos si no tienen la geometría correcta o una protección adecuada.

6.6.5 TIPOS DE MOVIMIENTOS.

Según el tipo de movimiento que se produce en los taludes de esta carretera se adoptó la metodología para su estabilización.

6.6.5.1 DESPRENDIMIENTOS

Son la masa o los bloques aislados que se separan de un talud o ladera formando una superficie de corte normalmente pequeña. Si los desprendimientos son de roca puede producirse una catástrofe.

6.6.5.2 DESLIZAMIENTOS

Estos movimientos se producen cuando el suelo pierde su resistencia al corte y se desplaza a lo largo de una superficie o varias a través de una franja estrecha. Estos movimientos se los puede clasificar en varios tipos:

Rotacionales: se producen a lo largo de una superficie interna generalmente circular o cóncava. La velocidad de estos movimientos varía de lenta a moderada según la inclinación de la superficie de rotura.

Traslacionales: la masa del suelo se desplaza hacia fuera y abajo a lo largo de una superficie plana y ondulada con pequeños movimientos de rotación. Generalmente se desarrollan en macizos rocosos y se caracterizan por la gran masa que desplazan.

6.6.6 OBSERVACIONES DE CAMPO.

De las observaciones hechas a la vía estudiada y a las carreteras de la zona se deduce que se trata de movimientos rotacionales de gran volumen y desprendimientos de bloques de roca de diferente diámetro (0.50 a 2 m.) como se puede observar en las fotos presentadas.

Se han observado grietas en las cabeceras de taludes o laderas, planos inclinados y lisos rocosos, macizos rocosos fracturados y meteorizados, cuñas caídas y deslizadas, hundimientos y grietas de tracción. En determinados sitios se observa flujos o avalanchas y reptaciones de suelo blando, laderas con escarpes, escalonadas y agrietados, árboles, arbustos y postes inclinados a favor de la pendiente y grietas en construcciones.

6.6.7 EFECTOS EN LAS OBRAS DE INGENIERÍA CIVIL

Al romperse el equilibrio entre las fuerzas actuantes y resistentes en una ladera o talud por efecto del agua, las variaciones de temperatura, desalojo de la capa vegetal o una excavación descontrolada se generan problemas geotécnicos como los mencionados anteriormente.

Estos fenómenos traen como consecuencia la obstrucción y daños de carreteras, daños en instalaciones eléctricas, agua potable y viviendas y lo que es peor causar la pérdida de vidas humanas.

Un fenómeno que produce iguales o peores consecuencias en este tipo de suelos son los sismos ya que aceleran o reactivan fallas y grietas, provocando deslizamientos. Durante un sismo se aumenta la presión de poros y se genera esfuerzos desestabilizantes que pueden romper los enlaces entre partículas y consecuentemente producir el colapso de la estructura.

6.6.8 MODELO DE ESTABILIZACIÓN EN TALUDES

El modelo más común para la estabilización en taludes es un diseño adecuado de la geometría del talud, sin embargo los suelos en su mayoría son anisotrópicos y no es suficiente este diseño para evitar deslizamientos, por lo que adicionalmente al diseño del talud se presentan alternativas de estabilización de taludes.

6.6.8.1 GEOMETRÍA DE TALUDES

El análisis matemático desarrollado para obtener la geometría que estabiliza el talud en el sector de Limonar (km. 17+500) y Chalhuayacu (km 25+200) proporciona las medidas en dos dimensiones y se presentan en el anexo 6.2.

El talud del km. 6+400 se recomienda, de acuerdo al tipo de roca un corte 1H: 5V.

6.6.8.2 ESTABILIZACIÓN CON PLANTACIONES

En los taludes estudiados de suelos las plantas crecen mejor por estar bien drenadas, pues pocas especies soportan agua excesiva o inundación; los suelos limo arenosos o areno-arcillosos son ventajosos para un rápido crecimiento de la hierba. Es necesario añadir fertilizantes y correctores especialmente si no se dispone de suficiente tierra vegetal.

Los árboles nativos son muy beneficiosos para la estabilización de taludes porque drenan merced al agua que absorben sus raíces, las plantas originarias son las que mejor se adaptan a la nueva topografía del terreno e incluso crecen de forma natural, tales como la caña, los espinos, el penco, la cacia horrida, caña brava, pambil, caña güadua, güabilla, güaba, nogal, kicuyo, trébol, cola de conejo, almohadilla, etc.

6.6.8.3 ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN ROCA CON MALLAS METÁLICAS Y ANCLAJES.

La utilización de redes de cables de acero se inició en Suiza para la estabilización de taludes a finales de los años 80. La malla Tecco G-65 que se menciona en esta tesis es una membrana compuesta por una malla de alambre de acero de alto límite elástico desarrollada en España a mediados de los 90 y que ha dado buenos resultados en la estabilización de macizos rocosos o conglomerados.

Estas mallas pueden estar reforzadas por cables de acero de hasta 2 cm. de diámetro y espaciadas de 2 a 5mt.

La secuencia de instalación cuando la altura del talud es mayor a 30 mt., se la realiza por bancas sucesivas desde la coronación hasta el pie, luego se realiza las perforaciones para anclajes utilizando un trackdrill, este proceso se lo hace cuando la construcción es nueva. Se coloca el anclaje, se inyecta el mortero y finalmente se suelda el anclaje con la malla.

La malla Tecco G-65 se utiliza en España luego de muchas pruebas e investigaciones sobre su funcionamiento y caracterización de la misma.

En nuestro país no existe en el mercado, sin embargo, se la puede importar o producir siguiendo las especificaciones técnicas que las avalizan para su utilización.

El diseño de las retículas para colocar los anclajes, longitud y diámetro de estos, así como la metodología detallada de instalación y mantenimiento requiere de un diseño especial. Para efecto de la estabilización del talud del Km. 6+400 se reportan las dimensiones tomadas de un diseño semejante realizado por la Consultora TYPESA para la estabilización del talud de la autopista San Antolin en Cantabria, España, presentado en el Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables, Torres Vila Gabriel (2001).

Características técnicas de la malla Tecco G-65:

a) Geometría de la malla Tecco:

Malla de simple torción

Malla romboidal

Dimensiones de cada rombo 143 x 83 mm. (+- 2%).

Superficie de cada rombo 2625 mm².

Círculo inscrito de 65 mm.

Número de espiras en la dirección horizontal, 12 espiras / m.

Número de mallas en la dirección vertical, 7 mallas / m.

b) Características del alambre:

Diámetro 3 y 4 mm.

Resistencia nominal 1770/2020 N/mm².

Acero de alto límite plástico.

Protección anti-corrosión Superloatin.

Adicionalmente a lo planteado se evitará la infiltración de agua con la construcción de cunetas de coronación, encauzamientos y drenes.

6.7 METODOLOGÍA – MÉTODO OPERATIVO

La metodología del plan orientada a identificar y evaluar los problemas en la construcción vial se ajusta a los objetivos de esta tesis, sin embargo la limitación económica que propugna estudios de ingeniería poco profundos afecta la obtención de resultados y procedimientos que no necesitan ser corregidos en los procesos de construcción.

Para la identificación correcta del problema deben ser partícipes los actores directos que se sienten afectados por el mal estado de las vías que generan accidentes y conllevan el incremento en los costos de operación vehicular y pérdidas de productos por la incapacidad de transportarlos oportunamente a los centros de consumo.

Una óptima estabilización de taludes minimizará estos problemas.

6.8 ADMINISTRACIÓN

Para implementar la propuesta de estabilizar taludes, básicamente, se necesitan recursos económicos, técnicos y administrativos.

6.8.1 RECURSOS ECONÓMICOS

Las instituciones inmersas en la planificación vial como el MTOP, Consejos Provinciales, Corpecuador deben asignar los recursos suficientes para la ejecución de estudios de ingeniería completos, que contemplen los últimos avances de la técnica vial y métodos actualizados en construcción.

6.8.2 RECURSOS TÉCNICOS

Es imprescindible la presencia de técnicos especializados en el diseño y estabilización de laderas y taludes, conocedores de los nuevos adelantos en materiales, equipos y fundamentos científicos para cumplir con los proyectos planificados.

Sin la posesión de programas informáticos que agilicen y den resultados confiables para la construcción de carreteras los escasos recursos serán diluidos en reparaciones y mejoramientos posteriores.

6.8.3 RECURSOS ADMINISTRATIVOS

El estudio y seguimiento de las construcciones viales deben apoyarse en un equipo administrativo que dispongan de la logística suficiente como personal idóneo, equipos de última tecnología, laboratorios, etc. Además la administración orientará y priorizará los proyectos de acuerdo a su importancia para el desarrollo del país.

BIBLIOGRAFIA

1. BISHOP, A.W y HENKEL, D.J. (1962), The measurement of soil properties in the triaxial test, Edit Arnold, Londres
2. CAÑIZO, Luis, (1973), Estudio elastoplástico de taludes, Editorial ETS, Ingenieros de caminos, Madrid
3. DA COSTA, Almudena, (2001), Comportamiento de taludes en suelos reforzados con mallas ancladas, V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables, Tomos I, II y III, Imprenta Universidad Politécnica de Madrid, Madrid
3. DEL VAL, Miguel Ángel, ROMANA, Manuel, (2002), Explanaciones, Imprenta Universidad Politécnica de Madrid, Madrid
4. ERENAS, Godin Carlos, (1995), Ejercicios de Geotecnia y Cimientos, Edición N° 6, Editorial CEDEX, Madrid
5. HENKE, K.F., (1971), Estabilización de taludes con drenes horizontales y electroósmosis, Editorial Rugarte S.L, Madrid
6. JIMENEZ SALAS, José y otros (1991), Geotecnia y Cimentaciones, Propiedades del suelo y las rocas, Tomos I, II, II, Editorial Rueda, Madrid
7. JUAREZ BADILLO, Eulalio, RICO RODRIGUEZ, Alfonso, (1980), Mecánica de suelos, Edición N° 3, Tomos I y II, Editorial LIMUSA, México
8. KRAEMER, Carlos y otros, (2001), Carreteras II, Explanaciones, Firmes, Drenaje, Pavimentos, Edición N° 2, Editorial Rugarte S.L. Madrid
9. LAMBE, T., (1973), Up to- date method of investigating the strenght and deformability of soil, Edición N° 8, Editorial ICOSOMEF, México
10. ORTOLANI, E, (1961), Evitación de taludes y protección contra ellos, Editorial CEDEX, Madrid
11. PECK,R.B., y otros, (1983), Ingeniería de cimentaciones de taludes naturales, Edición N° 2, Editorial LIMUSA, México
12. PILOT, G, (1970), Estabilidad de taludes en Carretera, Edición N° 2, Grenole
12. SUTTON, B.H, (2000), Problemas de mecánica del suelo, Traducido por Jesús Caralledo del Valle, Librería Editorial Bellisco, Madrid

ANEXOS

- Anexo 1 Ensayos de Laboratorio
- Anexo 2 Reportes del diseño de la Geometría del Talud del Km. 17 + 500 km
25+200
- Anexo 3 Plano de ubicación Nacional, Regional y Geológico

ANEXO 1
ENSAYOS DE LABORATORIO

ANEXO 2
REPORTES DE DISEÑO DE LA GEOMETRÍA
DEL TALUD DEL Km 17+500

ANEXO 3
PLANOS DE UBICACIÓN NACIONAL,
REGIONAL Y GEOLOGICO