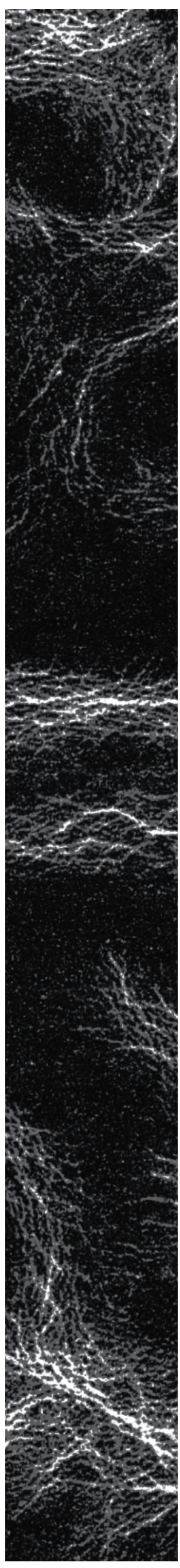


BUAP

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de Ingeniería

Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado

PLANEACIÓN ESTRATÉGICA PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN CORTES DE CARRETERAS, FUNDAMENTADA EN EL ANÁLISIS DE RIESGOS

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRÍA EN INGENIERÍA (GEOTECNIA)

PRESENTA:
GIL ABAD RAMÍREZ CASTILLO

ASESOR:
Dr. RICARDO ORTIZ HERMOSILLO

PUEBLA, PUE. SEPTIEMBRE 2015

DEDICATORIA

A Dios por estar conmigo en cada momento de mi vida, especialmente durante el desarrollo de este trabajo, por ser la fuerza interior que me impulsó a continuar hasta el último momento, ayudándome a superar todos los obstáculos que se me presentaron en el camino.

A mi Padre, el Arq. Gil Abad Ramírez Morales, que es mi ejemplo en la vida, es mi maestro, y también es mi amigo. Siempre espero poder llegar a ser un padre para mi hijo, como él es conmigo. Te quiero y admiro Papá, por eso este pequeño triunfo es dedicado a ti.

A mi Madre la Profa. Zilena Guadalupe Castillo Bojórquez, porque con tu cariño y ejemplo, he logrado ser mejor persona, siempre tengo presente el amor y dedicación que le das a toda nuestra familia, muchas gracias por todo Mamá.

A mi hijo Luis Ángel Ramírez Cervantes, a quien amo inmensamente, le dedico no sólo éste trabajo, sino cada esfuerzo de mi ser, porque la alegría que provoca en mi corazón, me inspira a seguir siempre adelante, nunca olvides agradecer a Dios por cada día que nos brinda.

Al amor de mi vida, mi esposa María Elena Cervantes Díaz, con quien comparto éste y todos los trayectos, gracias por toda tu paciencia y apoyo, que nos permite hoy en día, alcanzar una meta más. Gracias también por tu amor, porque a tu lado soy muy feliz.

A mis Hermanos, Gil Yair, Eric Amin y Luis Emir, recuerden que son mi ejemplo en muchos aspectos, nunca dejemos de estar unidos y disfrutemos de nuestros éxitos, nunca olviden cuanto los quiero.

BENEMÉRITA
UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA

No. 1798/13

C. GIL ABAD RAMÍREZ CASTILLO
Pasante de la Mtria. en Ingenieria (Geotecnia)
Facultad de Ingeniería, BUAP.
Presente

Por medio del presente, el suscrito M.I. Edgar Iram Villagrán Arroyo, Director de la Facultad de Ingeniería, de acuerdo a su solicitud de aprobación de tema de Tesis, le autoriza desarrollar el tema intitulado: **Planeación estratégica para la estabilidad de taludes en cortes de carreteras, fundamentada en el análisis de riesgos.** Asociado a la línea de investigación: Amenazas y riesgos geológicos. Para obtener el grado de Maestro en Ingeniería (Geotecnia). Asignándose como Director al Dr. Ricardo Ortiz Hermosillo.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
"PENSAR BIEN, PARA VIVIR MEJOR"
H. Puebla de Zaragoza, mayo 28 de 2013.

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN

M.I. EDGAR IRAM VILLAGRAN ARROYO
DIRECTOR

C.c.p. Dr. Ricardo Ortiz Hermosillo, Director del Tema de Tesis
C.c.p. Archivo

Puebla, Pue. a 18 de Marzo de 2015

M. en I. Edgar Villagrán Arroyo
Director de la Facultad de Ingeniería

M. en I. Miguel Ángel Figueras Corte
Coordinador de la Maestría en Ingeniería (Geotecnia)

PRESENTE

Por medio de este documento le informo a usted que después de haber revisado y solicitado las correcciones pertinentes relacionadas a la tesis denominada: **Planeación estratégica para la estabilidad de taludes en cortes de carreteras, fundamentada en el análisis de riesgos**, asociada a la línea de investigación de Amenaza y Riesgos geológicos, elaborada por el Ing. Gil Abad Ramírez Castillo para obtener el grado de Maestro en Ingeniería (Geotecnia), no tengo inconveniente en autorizar la impresión de la tesis.

Atentamente

Dr. Ricardo E. Ortiz Hermosillo

ICA carso
INFRAESTRUCTURA Y CONSTRUCCIÓN

Constructora MT Oaxaca

Comunicación Externa

CONSTRUCTORA MT DE OAXACA, S.A. DE C.V.

TROMT CARRETERA MITLA-TEHUANTEPEC

San Pablo Villa de Mitla, a 27 de Junio de 2015

Ing. Gil Abad Ramírez Castillo
Jefe de Obra de Terracerías
Constructora MT de Oaxaca S.A. de C.V.

Asunto: Autorización de uso de información para Tesis de Maestría

Estimado Ingeniero:

Por medio de la presente me permito hacerle de tu conocimiento que no existe inconveniente para utilizar información técnica del proyecto carretero "Mitla-Entronque Tehuantepec, Oaxaca" para desarrollar la Tesis denominada **"Planeación estratégica para la estabilización de taludes en carreteras, fundamentada en el análisis de riesgo"**, para obtener el grado de **Maestría en Geotecnia** en la **Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**, en el entendido que dicha información será utilizada únicamente con fines académicos.

Se expide la presente a petición del interesado para los trámites de titulación correspondientes y sin más por el momento quedo a sus órdenes.

ATENTAMENTE

Ing. Adrian Mena Olalde
Gerente de Proyecto

Contenido

Introducción 1
Capítulo 1.- Descripción de la Planeación Estratégica 2
1.1 Estructura de la Planeación Estratégica 2
1.1.1. Objetivo general 4
1.1.2. Objetivos específicos 4
1.1.3. Definición de estrategias 4
1.2 Etapas de la metodología 6
1.3 Ventajas de la Metodología 9
1.4 Limitaciones de la Metodología 10
Capítulo 2. Factores de Estabilidad en Taludes 12
2.1 Geometría 13
2.2 Geología 16
2.3 Geotecnia 21
2.4 Clima e Hidrología 22
2.5 Sísmica 24
2.6 Integración de inventarios de factores de estabilidad 26
2.7 Métodos de Estabilización de Taludes 27
Capítulo 3. Análisis de Riesgos 34
3.1 Identificación de Riesgos 34
3.2 Análisis de la Amenaza a Deslizamientos 36
3.3 Análisis de la Vulnerabilidad de los Elementos en Peligro 45
3.4 Análisis del Riesgo a Deslizamientos 50
3.5 Control y Seguimiento del Riesgo 54
3.5.1 Estrategias para Riesgos Negativos o Amenazas 54
3.5.2 Indicadores de la Planeación Estratégica 58
Capítulo 4. Aplicación de la Metodología en un caso real 59
4.1 Información de entrada 59

4.2 Análisis de Riesgo a Deslizamiento 64
Conclusiones 72
Referencias Bibliográficas 74

Introducción

Las carreteras son actualmente la vía de transporte más importante en nuestro país, con cerca de 453,386 km de infraestructura de acuerdo a la Secretaría de Comunicaciones y transportes (2013), esta red, se continúa ampliando y modernizando con el objetivo de tener una economía competitiva, que ofrezca bienes y servicios de calidad para toda la población. Por otro lado, los riesgos asociados a la inestabilidad de los taludes en carreteras, afectan de manera recurrente las actividades de construcción y operación de las vias terrestres, generando afectaciones materiales, ambientales y sociales, que reducen la confiabilidad, seguridad y eficiencia de la carretera, por esta razón, la seguridad del usuario que transita en sus vias, debe considerarse como un factor primordial para el éxito del proyecto.

La experiencia en proyectos carreteros de nuestro país, ha mostrado que no se cuenta con una metodología eficiente, que satisfaga la necesidad de predecir las medidas de protección que se colocarán en los taludes, así como el costo que será necesario destinar a estas actividades, teniendo como resultado gastos no considerados en las actividades. Por otro lado, las nuevas modalidades de contratación, tales como concesiones, proyectos para la prestación de servicios (PPS), Asociaciones público privadas (APPs), entre otras, transfieren significativamente los riesgos al socio privado, en el mejor de los casos, comparten los riesgos y analizan cada evento ocurrido, para determinar la responsabilidad de cada parte, lo que implica que cada deslizamiento en el proyecto, sea pagado hasta que se llegue a un acuerdo.

La Planeación Estratégica, utilizada como herramienta de gestión para implementar una metodología, permite conocer, valorar y prevenir los efectos de un deslizamiento durante la construcción de una carretera, generando la posibilidad de mejorar la eficiencia en la asignación de recursos destinados a estabilizar los taludes.

Es importante conocer las ventajas que ofrece realizar una Planeación Estratégica para la estabilización de taludes de las carreteras, basada en el riesgo, que permita reducir la incertidumbre en las propiedades físicas y mecánicas de los materiales localizados en el terreno no explorado, obteniendo en su lugar, criterios de evaluación basados en el nivel de riesgo por zonas.

Capítulo 1.- Descripción de la Planeación Estratégica

Los grandes proyectos de infraestructura en nuestro país, representan un reto para los ingenieros encargados de ejecutar la obra; un reto que debe ser asumido con toda la responsabilidad, ya que en gran media, de ello depende el éxito y la continuidad en el desarrollo de las comunidades. Para lograr que los objetivos trazados en un proyecto, sean alcanzados con un resultado óptimo, la planeación tiene un papel fundamental, debido a que la construcción de una obra, implica atender problemas de índole social, técnica, económica y ambiental.

Por otro lado, la Planeación Estratégica, es una poderosa herramienta de diagnóstico, análisis, reflexión y toma de decisiones colectivas, acerca del escenario actual y el camino que deben recorrer en el futuro las comunidades, organizaciones e instituciones. No sólo para responder ante los cambios y las demandas que les impone el entorno, sino también para proponer y concretar las transformaciones que éste requiere" (Burwald, 2008). Desde este punto de vista, utilizar la Planeación Estratégica en cualquier ámbito de la ingeniería, aumenta la probabilidad de éxito de un proyecto.

Uno de los principales problemas en la construcción de carreteras, es ejecutar los trabajos de estabilización de taludes, debido a que en la mayoría de los casos, los proyectos previstos para esta actividad, difieren de lo realmente requerido una vez que se han excavado los taludes.

1.1 Estructura de la Planeación Estratégica

El proceso de la Planeación Estratégica se desarrolla en cuatro fases mostradas en la figura 1.

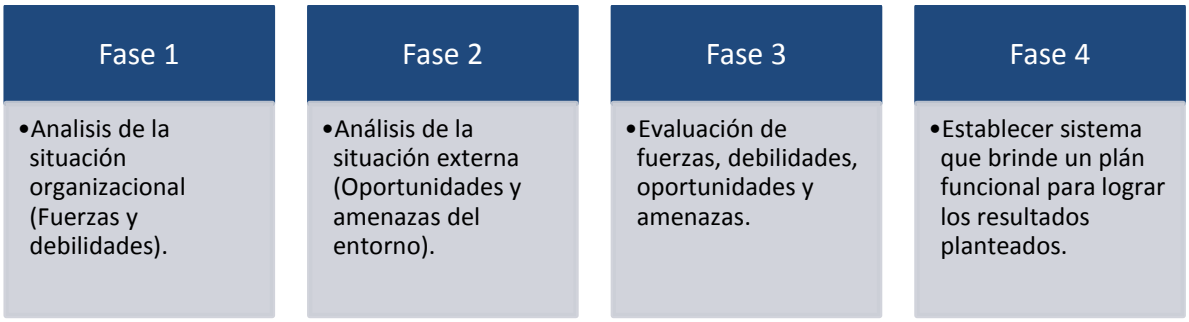


Figura No 1. Proceso de la Planeación Estratégica (Hampton, 1992).

La Planeación Estratégica consiste en establecer objetivos prioritarios, formulando los cursos de acción y sistemas de control para obtener los resultados esperados.

Las metodologías para desarrollar procesos de Planificación Estratégica son variadas y encontramos en la literatura diversos enfoques. Desde el punto de vista de las organizaciones públicas, no existe en general un modelo a seguir y encontramos esquemas metodológicos que tienen mayor o menor complejidad. (Marianela, 2009).

Para aplicar la Planeación Estratégica en la estabilidad de taludes en carreteras, se parte del análisis de la situación actual en México, en el que de acuerdo a las principales estadísticas publicadas en 2009 por la Secretaría de Comunicaciones y Trasportes (SCT), las carreteras, son el elemento fundamental del sistema de transporte de nuestro país, ya que desplaza el 53% de la carga productiva y el 98% de los pasajeros que se movilizan en el territorio nacional. Sin embargo de acuerdo a los indicadores internacionales (SCT, 2011), México ocupa el décimo lugar en muertes en accidentes carreteros, con un resultado de 3.7 muertos por cada 100,000 habitantes.

Entre las amenazas principales que se presentan en las carreteras, se encuentran los deslizamientos en taludes, que ocasionan daños a los usuarios que transitan por sus vias y a la infraestructura del camino. Considerando que muchos de estos deslizamientos pueden ser prevenidos mediante la aplicación de diversos métodos de estabilización, por ello se pretende mejorar la seguridad de las carreteras en nuestro país, estableciendo una metodología que permita estimar los recursos que será necesario aplicar a los taludes en corte de una carretera. En la tabla 1, se muestra el proceso considerado en la planeación estratégica.

Tabla 1. Proceso de la Planeación Estratégica, aplicado a la estabilidad de taludes en carreteras.

Fase 1	**Fuerzas** • Elemento fundamental del sistema de transporte en México.	**Debilidades** • Existe un alto número de muertes.
Fase 2	**Oportunidades** • Métodos de estabilización de taludes.	**Amenazas** • Deslizamientos de taludes
Fase 3	Mejorar procesos de prevención de deslizamiento a través de los métodos de estabilización que existe en el mercado, haciendo más segura las vialidades y disminuyendo el número de muertes debido a esta amenaza.	
Fase 4	Establecer objetivos, estrategias que permitan mejorar la seguridad en las carreteras de nuestro país.	

1.1.1. Objetivo general

- Integrar los principios de la Planeación Estratégica y el Análisis de Riesgos, para proponer una Metodología de evaluación del nivel de riesgo a deslizamientos en los taludes de carreteras, que permita prever las medidas de estabilización necesarias para mitigar el riesgo.

1.1.2. Objetivos específicos

- Fundamentar la inversión que las empresas privadas y dependencias gubernamentales, destinan a los trabajos de estabilización y protección de taludes en proyectos carreteros a través de la implementación de una metodología para la gestión de riesgos.
- Incrementar el acervo cultural en relación al Análisis de Riesgos de carreteras.

1.1.3. Definición de estrategias

En la actualidad, el análisis de la estabilidad de un talud, se enfoca en los aspectos técnicos, como por ejemplo, las propiedades de los materiales, la topografía del lugar, etc., sin considerar los efectos colaterales de índole social, económica y ambiental que se pueden presentar cuando ocurre el deslizamiento de un talud. Para integrar una metodología que tenga en cuenta estos efectos colaterales, se plantean tres estrategias, cada una tiene el objetivo de establecer la base para el Análisis de Riesgos del tramo carretero. En la tabla 2 se muestran las estrategias, el titulo asignado a cada una de ellas y la descripción de la función que llevara a cabo.

Para cada una de las estrategias se han determinado indicadores que permitan dar seguimiento a la implementación de la metodología y valorar el porcentaje éxito alcanzado (tabla 3). En el caso de la estrategia uno, el indicador fijado es el porcentaje completado de la información requerida, se espera contar con la mayor cantidad de datos relacionados con los factores que inciden en la inestabilidad de un talud, así como los métodos para estabilizarlos, por ello la meta propuesta debe ser mayor al 90% completado de la información.

El indicador para medir el resultado de la estrategia dos, será el nivel de riesgo original o nivel de riesgo obtenido en el análisis, antes de implementar medidas de estabilización, una vez realizados los procesos de Análisis de Riesgos a deslizamientos en los taludes, se debe obtener un nivel de riesgo que se encuentre comprendido entre las categorías muy bajo hasta muy alto. Este

resultado obtenido nos indicara que se ha logrado conocer el nivel de riesgo a deslizamiento de taludes de la carretera.

Tabla 2. Estrategias para la integración de una metodología para la evaluación del riesgo en taludes de carreteras.

Estrategia	Titulo	Descripción
Estrategia 1	Estabilidad de taludes	Determinar, analizar y organizar la información relacionada con los factores que inciden en la inestabilidad de un talud, así como los métodos de construcción más utilizados para su estabilización
Estrategia 2	Análisis de riesgos	Establecer los procedimientos a emplear para valorar el riesgo en taludes de una carretera.
Estrategia 3	Análisis de resultados	Evaluar los resultados obtenidos de acuerdo al nivel de riesgo, para determinar las medidas de protección necesarias.

La tercera estrategia, tiene como meta disminuir el nivel de riesgo original, a un nivel bajo, esto se logra a través de la implementación de medidas de estabilización y protección a los taludes.

Tabla 3. Indicadores y metas para las estrategias

Estrategia	Indicadores	Meta
Estrategia 1 Estabilidad de taludes	Porcentaje completado de la información	Mayor a 90%
Estrategia 2 Análisis de riesgos	Nivel de riesgo original	Muy Bajo a Muy alto
Estrategia 3 Análisis de resultados	Nivel de riesgo actual	Bajo

1.2 Etapas de la metodología

Para dar cumplimiento a las estrategias de la planeación, se ha propuesto una Metodología formada por cuatro etapas (Figura 2):

1. Información de entrada
2. Análisis de riesgo
3. Estabilización de taludes
4. Análisis de los resultados

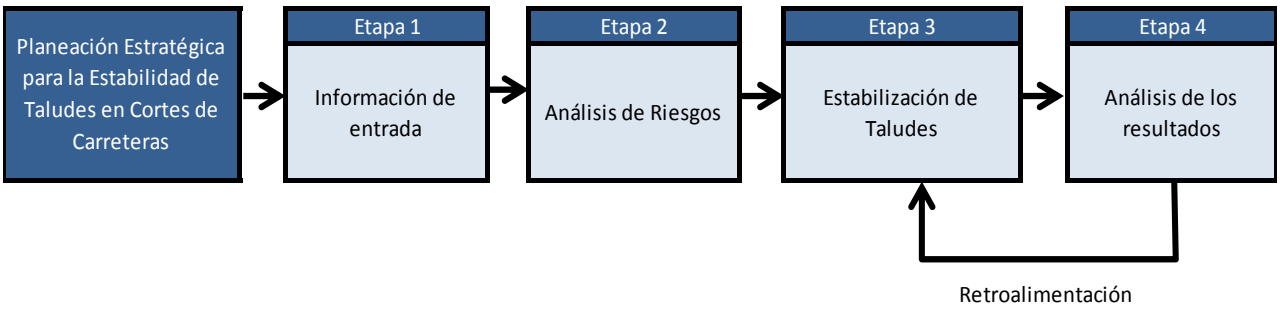


Figura No 2. Esquema de la Metodología de estabilidad de taludes basada en el Análisis de Riesgos.

La primera etapa denominada “Información de entrada” consiste en identificar y establecer los elementos que inciden en la estabilidad de un talud, y que además, pueden ser incluidos en el modelo de la Metodología.

La información de los factores que intervienen en una falla, son limitados al inicio de la construcción, debido a que no se cuenta con accesos adecuados a la obra, lo que dificulta la ejecución de los estudios de exploración, así mismo los resultados obtenidos no serán necesariamente las condiciones geológicas y geotécnicas exactas para cada talud, ya que se tienen zonas de terreno no exploradas entre un muestreo y otro. Conforme avanzan los trabajos de excavación, se definen con mayor certidumbre los rasgos geológicos y geotécnicos de cada corte, estas variaciones con respecto a los estudios iniciales, pueden modificar en gran medida los análisis de estabilidad y por tanto, las actividades programadas para la obra, dando origen a riesgos de índole social, económicos y ambientales.

En la Metodología, se establecen cinco factores de estabilidad, que son: Geométrico, Geológico, Geotécnico, Climatológico y Sísmico (Figura No 3). El Factor Antrópico no se considera en esta etapa, debido a que la planeación está basada en el Análisis de Riesgo, lo que conlleva a que la presencia de cualquier actividad o asentamiento humano, se considere como un elemento en peligro.

Al final de la etapa se obtiene una base de datos o inventario de los taludes del proyecto, ésta información se presenta en forma de fichas para facilitar su manejo en las etapas posteriores de la planeación.

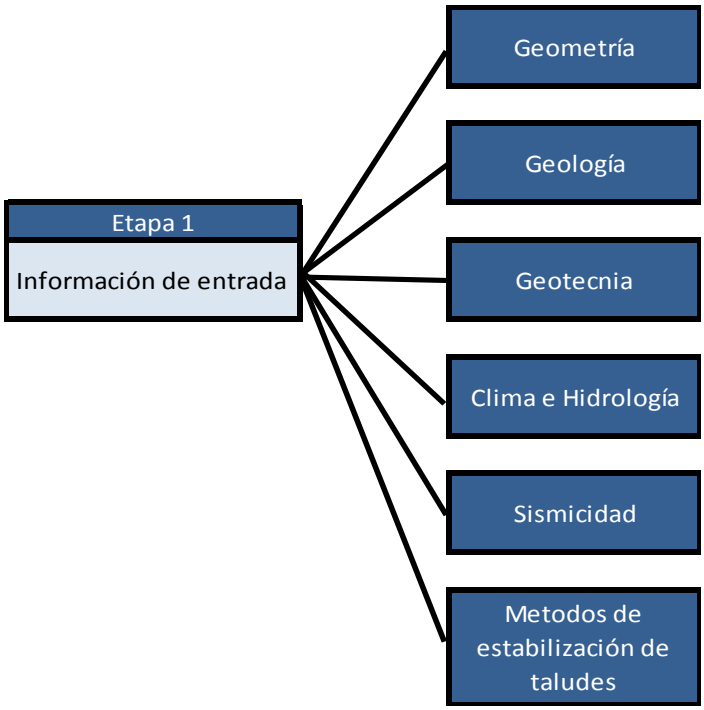


Figura No 3. Factores de estabilidad considerados en la etapa 1 de la Metodología.

En la segunda etapa denominada “Análisis de Riesgos”, se establecen los criterios para evaluar la amenaza a deslizamientos, considerando los factores de estabilidad en cada corte, para ello se utiliza una adaptación del índice Rock Hazard Rating System (RHRS), a condiciones iniciales de un proyecto carretero. El RHRS, es un índice que valora una seria de parámetros geológicos, ambientales, geométricos y frecuencia de uso de una carretera, que expresa la peligrosidad de las laderas y taludes implicados sobre la propia carretera. Así aporta por un lado, información de las condiciones geotécnicas de un talud y por otro la situación de riesgo para los usuarios de la carretera. (Rius Gibert J.M. y Aguiló R., 2013).

Para emplear el RHRS en la Metodología, se modificaron los parámetros a evaluar, así como los porcentajes de incidencia de cada uno de ellos, obteniendo una herramienta que se utiliza para conocer la amenaza real a un deslizamiento que tienen los taludes de la carretera antes de iniciar los trabajos de excavación. De acuerdo a las puntuaciones establecidas, cada talud obtiene un valor entre 0 y 100.

Una vez obtenida la probabilidad de ocurrencia de la falla, se determina la vulnerabilidad de los elementos en riesgo. Se consideran como elementos en riesgo, la cantidad de personas que puedan resultar lesionados, el costo de la maquinaria dañada, los días de retraso en el programa de obra, el volumen y la superficie adicional de terreno que se afecta por el deslizamiento. En la figura 4 se muestran los elementos que son necesarios determinar para el Análisis de Riesgos.

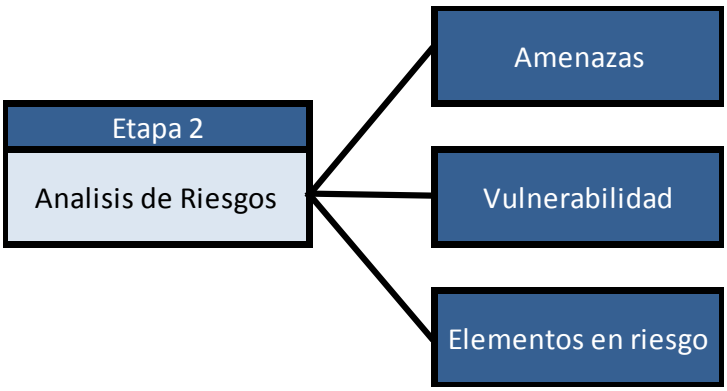


Figura No 4. Elementos principales del Análisis de Riesgos.

Como resultado de esta etapa, se obtiene la clasificación y el nivel de riesgo del tramo carretero, así como mapas de riesgo a deslizamientos de taludes. Con la información generada, se establecen prioridades para atender los casos que representan mayor peligro.

La tercera etapa denominada “Estabilización de Taludes”, tiene como objetivo, prevenir los efectos negativos del deslizamiento de un talud en el proyecto, para ello se establecen los criterios propuestos para determinar el tipo de solución que requiere el talud. Posteriormente se proponen elementos de reforzamiento que mejoren las condiciones de resistencia del talud (Figura 5).

La cuarta etapa consiste en validar los resultados obtenidos, por lo que se cuantifican los métodos de estabilización que se asignaron en la etapa anterior, y

se valorizan por medio de los costos establecidos en el proyecto, obteniendo la solución a la inestabilidad de los cortes y el monto necesario para llevarla a cabo. Con la información obtenida se puede comparar el costo-beneficio de la implementación de las medidas de prevención de deslizamientos.

.

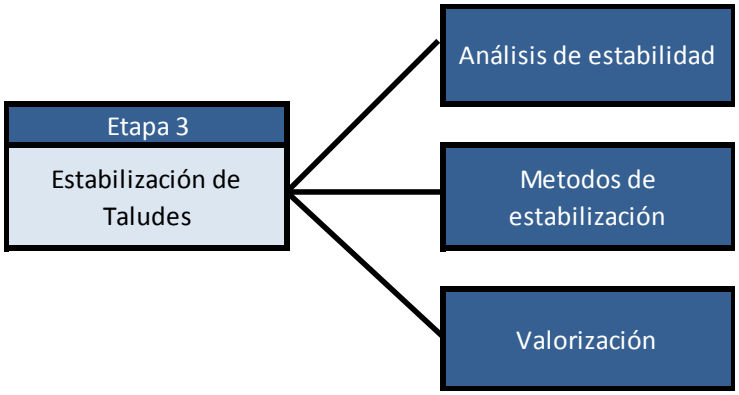


Figura No 5. Actividades integradas en la tercera etapa de la Metodología.

1.3 Ventajas de la Metodología

La aplicación de esta herramienta, dará como resultado, un conjunto de índices, tablas, mapas y valores, que permiten realizar una eficiente asignación de los recursos, considerados en la planeación de un proyecto, con ello se pretende reducir los retrasos en el programa de obra, inherentes a las actividades de estabilización de taludes.

Es importante conocer las ventajas que ofrece realizar una Planeación Estratégica para la estabilización de taludes de las carreteras, basada en el riesgo, que permita reducir la incertidumbre en las propiedades físicas y mecánicas de los materiales localizados en el terreno no explorado, obteniendo en su lugar, criterios de evaluación basados en el nivel de riesgo por zonas, una identificación temprana de los riesgos asociados a los deslizamientos, así como sus principales impactos en el proyecto.

Con el conocimiento del riesgo en cada talud de los cortes, el constructor será más reflexivo en la toma de decisiones, lo que permite asignar los recursos de forma adecuada y eficiente.

Las ventajas de la Metodología propuesta son las siguientes:

- Está diseñada para realizar la planeación de proyectos, que aún no se han construidos a diferencia de la mayoría de las metodologías, que se enfocan en determinar el riesgo en laderas o carreteras en operación.
- Permite actualizar la información que se genere conforme se vaya ejecutando la obra, por lo que no es necesario realizar una nuevo análisis, sino que, realizando las modificaciones pertinentes, se pueden actualizar los resultados obtenidos por estos cambios.
- Permite plantear estrategias y acciones de respuesta de manera oportuna en caso de fallas en los taludes, reduciendo los riesgos.
- Es posible comparar el costo-beneficio de las diferentes alternativas propuestas para la estabilización de los cortes.

Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación, permiten integrar una Metodología para la planeación de la estabilidad de taludes en corte de carreteras, mostrando soluciones y alternativas a problemáticas complejas como: la seguridad a usuarios finales, el incremento de la confiabilidad, optimización de la productividad (relación costo-beneficio) durante la construcción. Así mismo, sus beneficios pueden ser extensibles a situaciones locales, regionales, nacionales e internacionales.

La información generada al final de la Metodología es la siguiente:

- Inventario de cortes del proyecto.
- Clasificación y nivel de riesgo.
- Mapa de riesgos del tramo carretero
- Impacto en tiempo y costo para el proyecto.
- Recomendaciones para la estabilización y protección de taludes

1.4 Limitaciones de la Metodología

El Análisis de Riesgos no sustituye ningún estudio necesario para conocer las propiedades de los suelos y rocas, se considera una alternativa para la toma de decisiones en la planeación de un proyecto carretero, ya puede aportar mayor beneficio en la asignación de recursos para las actividades.

La variación de las condiciones previstas en los estudios realizados antes de iniciar la construcción de la carretera, tales como propiedades índice, parámetros geomecánicos, niveles freáticos, etc., con respecto a las condiciones encontradas en el sitio, una vez que se han excavado los taludes, traen como resultado la necesidad de realizar nuevamente el Análisis de Riesgo, utilizando los nuevos datos, esto puede o no, modificar los resultados iniciales de la Metodología.

Se considera únicamente el riesgo a deslizamientos, los eventos geológicos de menor magnitud, tales como erosión, caída de rocas, desprendimientos y colapsos de material quedan comprendidos en esta misma clasificación. Los eventos de mayor magnitud, tales como avalanchas, o flujos de suelo o roca, no son considerados para esta Metodología, ya que se consideran eventos extraordinarios, cuyo efecto esta fuera de los alcances de cualquier presupuesto y se espera no sucedan.

La Metodología propuesta deberá ser calibrada mediante la aplicación de la misma en proyectos carreteros de nuestro país, dando como resultado, que la información generada durante los primeros proyectos de vida de la Metodología, no sean completamente satisfactorios, pero se espera que con la experiencia e información adquirida durante su implementación, los resultados que ofrezca sean cada vez más confiables.

Capítulo 2. Factores de Estabilidad en Taludes

Los proyectos carreteros tienen longitudes extensas, que dificultan obtener suficiente información para realizar una evaluación detallada de la estabilidad de cada talud. Así mismo, cada talud puede poseer características muy variadas en su constitución, haciendo más compleja la elaboración de un modelo real para el análisis de su comportamiento.

De acuerdo a la establecido por la Secretaria de Comunicaciones y Transporte (Normativa SCT, 2004), la etapa de exploración geotécnica y geológica de un proyecto, tiene como objetivo, definir las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que estarán involucrados en el desarrollo de la carretera, lo que permitirá conocer la relación suelo-roca, espesores de aluviones en los cruces de ríos, fallas, discordancias y zonas potencialmente inestables. Sin embargo, esta información, no proporciona las características de cada talud, razón por la que se hace necesario recurrir a otros métodos, para conocer la probabilidad de falla que tienen los taludes del proyecto.

Para la Metodología, la etapa inicial consiste en reunir la información obtenida en los estudios previamente realizados, de esta manera, los análisis estarán basados en información válida desde el punto de vista técnico y legal. Sin embargo, esto no limita que pueda adicionarse información de relevancia a los análisis, teniendo en cuenta que los estudios tienen cierto grado de incertidumbre debido a las dificultades propias de la investigación. Así mismo se establecen los métodos de estabilización de taludes que se consideran para la Metodología (Figura 6).

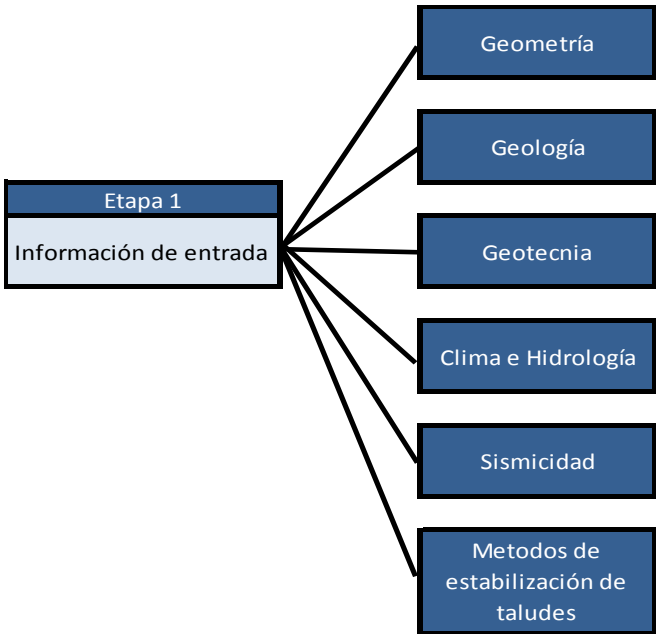


Figura No 6. Estructura de la primera etapa de la Metodología.

La ocurrencia de los deslizamientos es el producto de muchas variables como por ejemplo: condiciones geológicas, hidrológicas, geomorfológicas y la modificación de estas por procesos geodinámicas, vegetación, uso de la tierra y actividades humanas, así como la frecuencia e intensidad de las precipitaciones (Suárez J., 1998). Por tal motivo se han establecido cinco parámetros principales a evaluar: geometría, geología, geotecnia, clima y sismo.

2.1 Geometría

La conformación topográfica del talud: altura, pendiente, curvatura, largo y ancho, actuando en forma conjunta o separada, influyen en la estabilidad de un talud, por cuanto determinan los niveles de esfuerzos totales y las fuerzas de gravedad que provocan los movimientos. El nivel de esfuerzos es también determinado por el volumen y ubicación de los bloques o masas de materiales, factores que dependen de las características topográficas (Suárez J., 1998).

El comportamiento de un talud, está definido en gran medida por su geometría, en todo proyecto carretero a construir, se conoce la geometría de los cortes, que está definida por la sección transversal. Las secciones transversales se utilizan para precisar los cadenamientos de comienzo y término de cada corte, se considera que la sección más crítica para la estabilidad del talud, es aquella, que tiene la mayor altura, por lo tanto, la información requerida de la geometría del corte se obtiene de esta sección. Los elementos considerados son: la altura máxima del talud, la longitud del corte y la pendiente del talud. En la figura 7 se muestra la sección transversal de un corte, indicando los elementos a utilizar en la ficha Geometría.

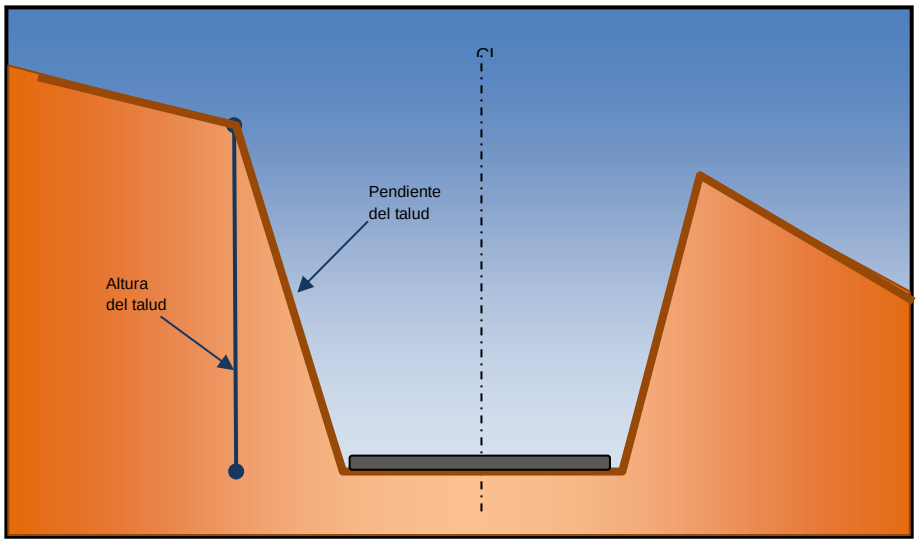


Figura No 7. Elementos de la sección transversal de un corte, utilizados en la Metodología.

Con la información geométrica de cada talud, se propone utilizar el formato de la figura 8, denominado “Ficha Geometría”, esta consiste en tres partes principales, la primera identifica el tipo de información que contiene la ficha, la segunda los datos del proyecto y la tercera parte contiene la información de los cortes. Esta ficha permite identificar el número de taludes y sus características geométricas, logrando así tener un panorama claro y objetivo de las alturas, longitudes y pendientes, así mismo se incluye una columna para indicar la sección crítica de cada corte, que es aquella donde se localiza la altura máxima.

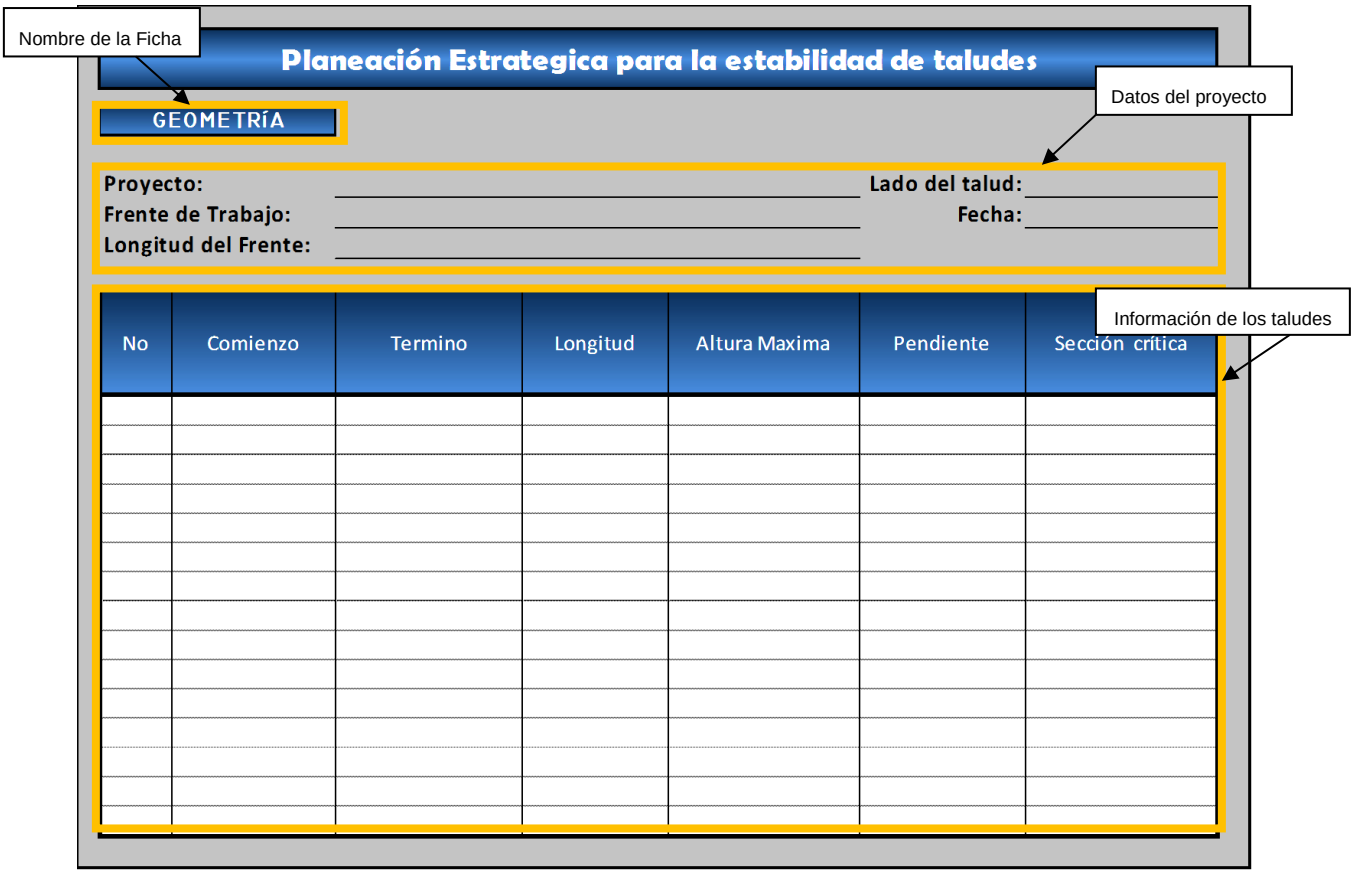


Figura No 8. Ficha “Geometría” para el análisis de la planeación de estabilidad de taludes del proyecto”

Los requerimientos generales para la investigación del sitio con miras a juzgar su estabilidad, de acuerdo a Guevara Ortiz et Al., (2004), se muestra en la tabla 4, esta plantea algunos criterios para asignar calificaciones a los atributos que determinan la estabilidad de una ladera.

Tabla 4. Criterio para la estimación de la amenaza de deslizamiento de laderas (Guevara Ortiz et Al., 2004)

Factor	Intervalo o categorías	Atributo relativo
Pendiente de los taludes	Más de 45°	2.0
	35° a 45°	1.8
	25° a 35°	1.4
	15° a 25°	1.0
	Menos de 15°	0.5
Altura	Menos de 50 m	0.6
	50 a 100 m	1.2
	100 a 200 m	1.6
	Más de 200 m	2.0

Por otro lado, el Comité Técnico de Asia en Geotecnología para Amenazas Naturales, (1997), propone la valoración mostrada en la tabla 5, con el objetivo de evaluar los rasgos geométricos de un talud y la susceptibilidad a deslizamientos debido a las lluvias.

Tabla 5. Valoración de factores para la evaluación de susceptibilidad a los deslizamientos debidos a lluvias

Factor	Característica	Peso
Altura del talud	≥10 m.	7
	<10 m.	3
Inclinación del talud	≥45º	1
	<45º	0

Estos criterios, entre otros, están enfocados a evaluar la geometría de taludes ya excavados, en base a la experiencia del autor en proyectos carreteros, se realiza la propuesta para la clasificación de las características geométricas mostrada en la tabla 6, considerando los parámetros pendiente, Altura máxima e incorporando la longitud del corte, considerando que mientras mayor sea esta longitud, mayor será la zona expuesta al deslizamiento.

Tabla 6. Criterio para clasificar las características geométricas de un talud.

PARÁMETRO	CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Longitud	1-50 m	Zona de peligro muy corta
	50-250 m	Zona de peligro corta
	250-500 m	Zona de peligro larga
	> 500 m	Zona de peligro muy larga
Altura Máxima	1-10 m	Talud muy bajo
	10-20 m	Talud bajo
	20-40 m	Talud alto
	> 40 m	Talud muy alto
Pendiente	>1.5	Talud muy inclinado
	0.75-1.5	Talud inclinado
	0.25-0.75	Talud moderadamente inclinado
	<0.25	Talud poco inclinado

2.2 Geología

Los estudios geológicos definen un modelo a lo largo de la autopista, determinando los tipos y características físicas de los diversos materiales que se atravesarán, analizando sus condiciones de alteración, dureza y fracturamiento (Consultoria Betsco, 2008), así mismo, determinan la presencia de materiales duros o de baja resistencia, que influye grandemente en la ocurrencia de los deslizamientos.

Los parámetros geológicos que se consideran en la Metodología son: el Grado de Meteorización, el Grado de Fracturación, y la Resistencia de los Materiales.

El grado de meteorización del material, es un aspecto importante en cuanto que condiciona de forma definitiva sus propiedades mecánicas. Según avanza el proceso de meteorización aumenta la porosidad, permeabilidad y deformabilidad del material. La identificación del estado o grado de meteorización en la Metodología de la matriz rocosa se puede realizar de forma sistemática a partir de las descripciones de la tabla 7 (Gonzales de Vallejo L. et al, 2002), tomando como base estas descripciones, se considera para la Metodología la clasificación de la tabla 8.

Tabla 7. Descripción del grado de meteorización. (Gonzales de Vallejo L. et al, 2002)

Termino	Descripción
Fresca	No se observan signos de meteorización
Decolorada	Se observan cambios en el color original
Desintegrada	La roca se ha alterado al estado de un suelo, se mantienen los minerales originales.
Descompuesta	La roca se ha alterado al estado de un suelo, algunos o todos los minerales están descompuestos.

Tabla 8. Clasificación del Grado de Meteorización para la Metodología.

Parámetro	Clasificación	Descripción
Grado de Meteorización	**Bajo**	No se observan signos de meteorización
	Moderado	Se observan cambios en el color original
	Alto	Más de la mitad del macizo rocoso está descompuesto y/o transformado en suelo.
	Extremo	Todo el macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo.

La clasificación de las rocas para usos ingenieriles es una tarea compleja, ya que deben cuantificarse sus propiedades con el fin de emplearlas en los cálculos de diseño. Así, los términos cualitativos de roca dura o resistente, blanda o débil, deben acotarse mediante determinados valores de su resistencia a compresión simple: 500 a 1000 kp/cm^2, para una roca dura y 50 a 250 kp/cm^2, para una roca blanda. La dificultad estriba tanto por la variabilidad de las propiedades rocosas, como en las limitaciones de los métodos y procedimientos para su determinación (Gonzales de Vallejo L. et al, 2002).

La resistencia a compresión simple es la propiedad más frecuentemente medida en las rocas, y en base a su valor, se establecen clasificaciones en mecánica de rocas. En la tabla 9 se muestra la clasificación de las rocas de acuerdo a su resistencia a la compresión simple obtenida.

Tabla 9. Clasificación de las rocas a partir de su resistencia a la compresión simple (ISRM, 1981).

Resistencia a la Compresión Simple (Mpa)	Descripción
1-5	Muy blanda
5-25	Blanda
25-50	Moderadamente dura
50-100	Dura
100-250	Muy dura
>250	Extremadamente dura

En base a esta clasificación, en la tabla 10 se define el parámetro “Resistencia a la Compresión” y las categorías consideradas para el análisis del factor geología de esta Metodología.

Tabla 10. Clasificación para la resistencia a la compresión simple para la Metodología.

Parámetro	Clasificación	Descripción
Resistencia a la compresión simple	Muy dura	>100 Mpa
	Dura	50-100 Mpa
	Media	25-50 Mpa
	Suave	> 25 Mpa

Las discontinuidades condicionan de una forma definitiva las propiedades y el comportamiento resistente, deformacional e hidráulico de los macizos rocosos. El grado de fracturación y el tamaño del bloque de la matriz rocosa, vienen dados por el número de familias y espaciado de las discontinuidades. En la tabla 11, se muestra la clasificación de macizos rocosos por el número de discontinuidades (Gonzales de Vallejo L. et al, 2002).

La dimensión y la forma de los bloques están definidas por el número de familias de discontinuidades, su orientación, su espaciado y su continuidad. La descripción del tamaño del bloque se puede realizar mediante el parámetro Jv, que representa el número total de discontinuidades que interceptan una longitud L, en cualquier dirección de interés, correspondiendo este valor a la frecuencia de las discontinuidades. El valor de Jv se relaciona con el tamaño del bloque en la tabla 12.

Tabla 11. Clasificación de macizos rocosos por el número de familias de discontinuidades (ISRM, 1981).

Tipo de Macizo rocoso	Número de familias
I	Masivo, discontinuidades ocasionales
II	Una familias de discontinuidades
III	Una familia de discontinuidades más otra ocasional
IV	Dos familias de discontinuidades
V	Dos familia de discontinuidades más otra ocasional
VI	Tres familias de discontinuidades
VII	Tres familia de discontinuidades más otra ocasional
VIII	Cuatro familias o más de discontinuidades
IX	Brechificado

Tabla 12. Descripción del tamaño del bloque en función de discontinuidades (ISRM, 1981).

Descripción	Jv (Discontinuidades/m3)
Bloques muy grandes	<1
Bloques grandes	1-3
Bloques de tamaño medio	3-10
Bloques pequeños	10-30
Bloques muy pequeños.	>30

Por otro lado, el grado de fracturación se expresa habitualmente por el valor del índice RQD (Rock Quality Designation), que representa la relación entre la suma de las longitudes de los fragmentos de testigos mayores a 10 cm y la longitud total del tramo considerado (Gonzales de Vallejo L. et al, 2002). La tabla 13 muestra la calidad de la roca de acuerdo al porcentaje obtenido en el índice RQD.

Tabla 13. Clasificación de la calidad del macizo rocoso según el Índice RQD.

RQD %	Calidad
< 25	Muy mala
25-50	Mala
50-75	Media
75-90	Buena
90-100	Muy buena

Como tercer parámetro a evaluar del Factor Geología, es el de “Discontinuidades”, se han establecido cuatro categorías para evaluar las discontinuidades en el talud, de acuerdo a los tamaños de bloque obtenidos en el índice Jv, y el grado de fracturación determinado por el RQD. (Tabla 14).

Tabla 14. Clasificación de las Discontinuidades para la Metodología.

Parámetro	Clasificación	Descripción
Discontinuidades	Baja	Jv <1, RQD >75%
	Moderada	Jv = 1 a 10, RQD = 50-75%
	Alta	Jv = 10-30, RQD = 25-50%
	Extrema	Jv >60, RQD < 25%

Al igual que en el Factor Geometría, se presenta una formato para la ficha Geología (Figura 8), donde se indica el inicio y termino de cada corte, pero en esta ocasión los campos de cada columna, corresponden a las características geológicas antes mencionadas.

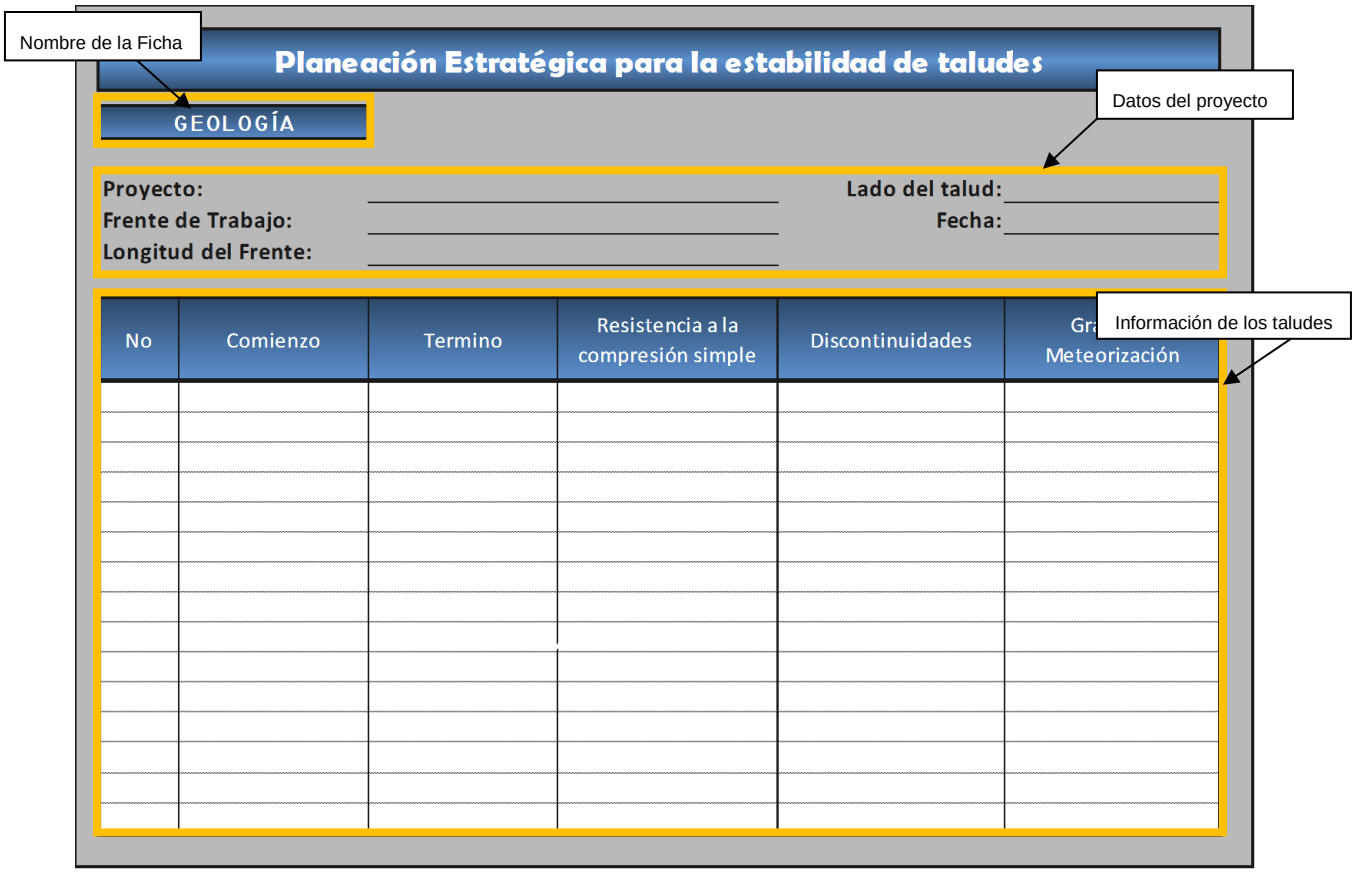


Figura No 8. Ficha "Geología" para el análisis de la planeación de estabilidad de taludes del proyecto"

2.3 Geotecnia

El estudio geotécnico de un proyecto debe proporcionar información de taludes estables para los cortes, la clasificación de los materiales que se obtendrán al excavar los cortes, así como las características físicas y mecánicas de estos materiales. En nuestro caso, la información geotécnica disponible proporcionará parámetros de resistencia obtenidos directamente de pruebas de campo, en laboratorio o por correlaciones empíricas.

La resistencia al corte, representa la modelación física del fenómeno de deslizamiento, por ello se consideran los parámetros de ángulo de fricción, cohesión y peso volumétrico, como los principales determinantes del factor de seguridad al deslizamiento de una determinada superficie dentro del terreno, esta información se agrupará en cada corte como se muestra en la figura 9, que corresponde a la ficha "Geotecnia".

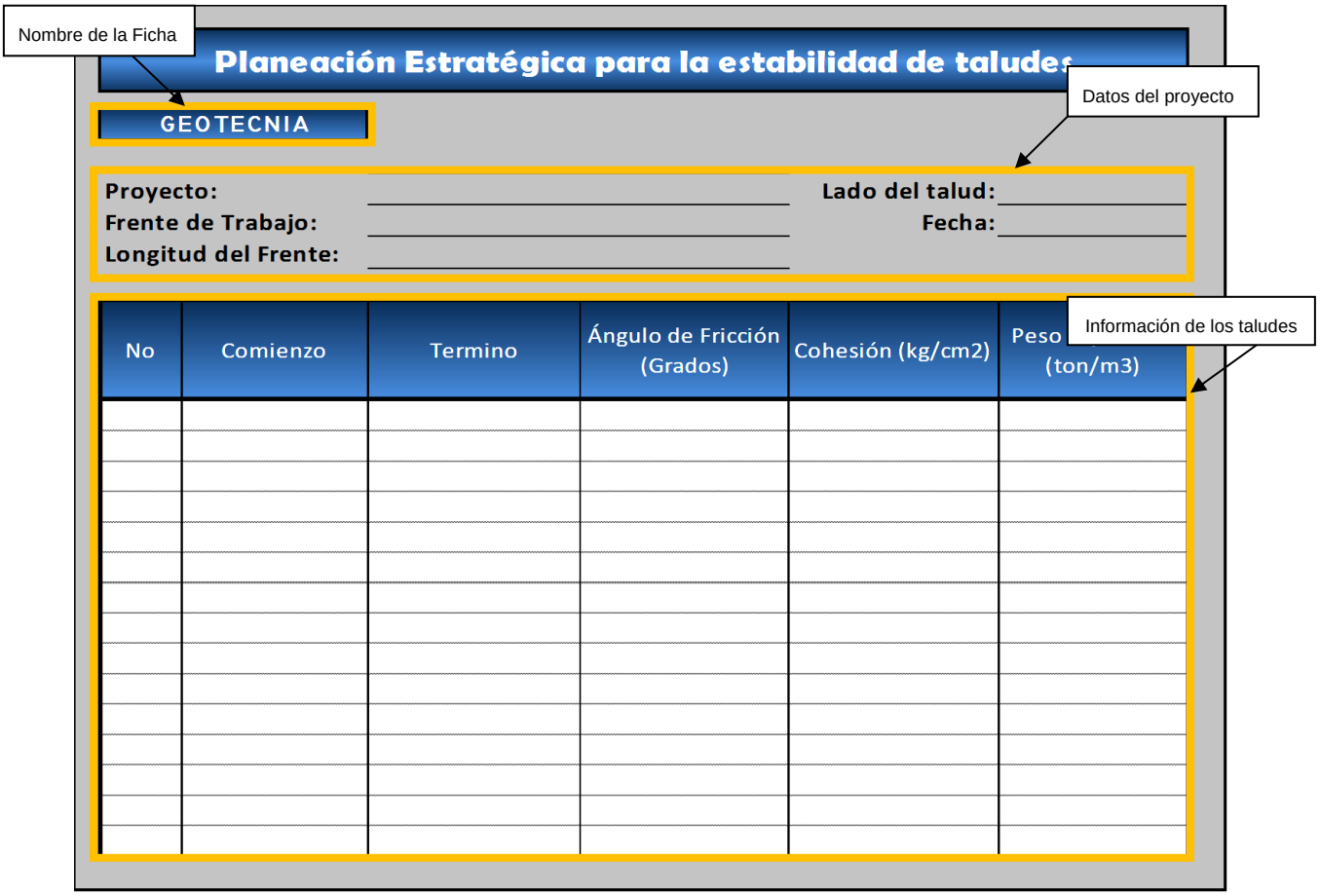


Figura No 9. Ficha “Geotecnia” para el análisis de la planeación de estabilidad de taludes del proyecto”

Se debe hacer notar que el modelo obtenido de estos datos, no será necesariamente el que se encuentre en campo después de excavado, ya que realizar estudios a detalle en cada corte, resulta difícil al tener que introducir equipo pesado a sitios que no cuentan con los accesos adecuados, lo que conlleva en muchas ocasiones a realizar únicamente sondeos a cielo abierto, poco profundos, quedando suelo sin explorar entre un sondeo y otro.

2.4 Clima e Hidrología

La respuesta del régimen de aguas subterráneas a las lluvias es diferente de acuerdo al talud, la formación geológica y las características ambientales. El flujo subterráneo y los cambios en la cantidad de agua acumulada son críticos para la estabilidad de un talud, debido a que ellos controlan el balance hidrológico que puede alterar el grado de saturación y la elevación del nivel freático (Suárez J., 1998).

Los factores de tipo hidrológico que se asocian a la falla de taludes, están relacionados en gran medida con el clima del lugar, así, la cantidad de agua que se infiltra en el subsuelo, el agua superficial, las precipitaciones que erosionan los taludes, la humedad de la superficie del terreno, el tipo de suelo y vegetación de la zona, dependerán de las características climáticas en que se ubique el proyecto.

En el Factor Precipitación se debe tener en cuenta la intensidad de la máxima lluvia o de las lluvias más fuertes en una hora, en un día, mes o año y en algunas ocasiones la cantidad de lluvia en períodos menores a una hora (Suárez J., 1998).

De acuerdo al INEGI (2004), el clima se refiere al conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en un punto de la superficie de la tierra. El Clima de una región está controlado por una serie de elementos como: temperatura, humedad, presión, vientos y precipitaciones, principalmente. Estos valores se obtienen a partir de la recopilación en forma sistemática y homogénea de la información meteorológica, durante períodos que se consideran suficientemente representativos, de 30 años o más. Factores como la latitud, longitud, continentalidad, relieve, dirección de los vientos, también determinan el clima de una región.

Los parámetros a considerar en la ficha “Clima” son la temperatura media anual y la precipitación promedio diaria. Para el caso de la precipitación, existen casos documentados que relacionan la intensidad de lluvia que cae en una zona o región con la ocurrencia de deslizamientos de laderas.

Los umbrales de lluvia para los cuales han ocurrido deslizamientos en diferentes partes del mundo, han sido determinados a partir de la necesidad de mitigar los desastres relacionados con este tipo de fenómenos, en la figura 10, se muestra la relación utilizada en Hong Kong como parte del sistema de alertamiento contra deslizamientos (Guevara Ortiz Enrique et. Al., 2004).

En México, se tiene registros de deslizamientos, como es el ocurrido en la Sierra Norte de Puebla, en la Ciudad de Teziutlán, donde un flujo de suelos de aproximadamente 7,500 m^3, arrasó las viviendas asentadas en la colina, provocando la muerte de 110 personas, para este caso el registro de la precipitación fue de hasta 360 mm por día. De acuerdo con un estudio realizado, donde la lluvia media anual es de sólo 273 mm, los umbrales críticos para que sucedan inestabilidades son: 45 mm/día cuando el suelo se encuentra seco antes de la lluvia; o bien, de 35 mm/día cuando el suelo se encuentra saturado o parcialmente saturado antes de la lluvia. (Guevara Ortiz Enrique et. Al., 2004).

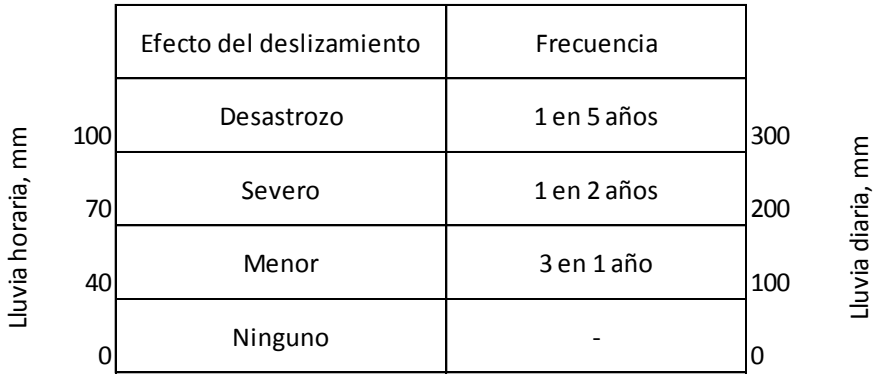


Figura No 10. Relación aproximada entre intensidad de lluvia y deslizamiento de laderas en Hong Kong.

La correlación lluvia-deslizamiento, está definida de acuerdo al clima y la geología del lugar, en la tabla 15, se propone el criterio para catalogar la precipitación promedio diaria, basada en los resultados obtenidos para las laderas de Hong Kong, pero ampliando los rangos para considerar otras locaciones.

Tabla 15. Criterio para evaluar la incidencia del clima en la estabilidad de taludes.

PARÁMETRO	CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Precipitación promedio diaria	menor a 50 mm	Sin efecto en la estabilidad de taludes
	entre 50 y 200 mm	Con efectos menores en la estabilidad de taludes
	entre 200 y 350 mm	Efecto severo en la estabilidad de un talud
	mayor a 350 mm	Efecto desastroso en la estabilidad de un talud

2.5 Sísmica

Los sismos ocupan un lugar muy importante dentro de las causas naturales o factores externos que activan o disparan la inestabilidad de laderas. De acuerdo con una estadística mundial sobre los 25 deslizamientos más catastróficos ocurridos en el Siglo XX, el 36 por ciento de ellos fueron disparados por acciones sísmicas; sólo 4 por ciento por abajo de las lluvias que son el principal factor detonante de inestabilidad de laderas (Guevara Ortiz Enrique et. Al., 2004). En el caso de un sismo, existe un triple efecto, el aumento de esfuerzo cortante, la

disminución de resistencia por aumento de la presión de poros y deformación asociados con la onda sísmica.

Desde el punto de vista de Riesgo Sísmico, el territorio de la República Mexicana se divide en 5 zonas sísmicas (Figura 11), siendo la zona “A” la de menor riesgo y la zona “D” la de mayor riego, la zona “E” es una área especial, definida para el Distrito Federal y los municipios aledaños (CFE, 2008). Para la Metodología se considerarán cuatro zonas sísmicas la A, B, C y D, de esta manera, cualquier construcción de carreteras en la Republicada Mexicana, queda ubicada en una de estas cuatro áreas. El criterio considerado en la Metodología para evaluar el efecto de la zona sísmica en los taludes de una carretera, se presenta en el capítulo tres de la planeación.

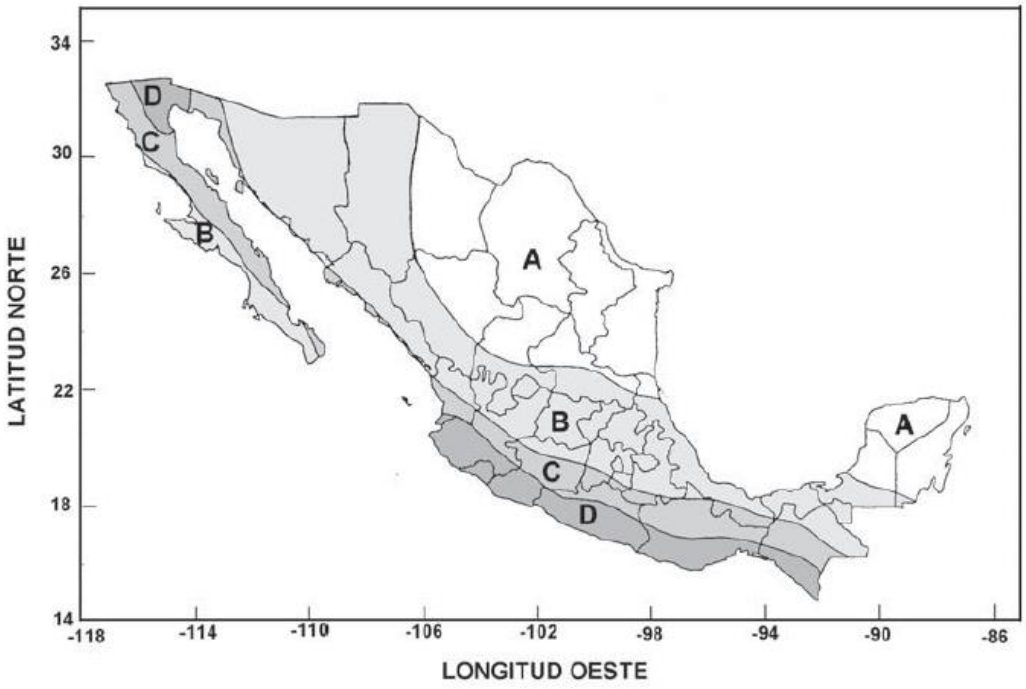


Figura No 11. Mapa de regionalización sísmica en México (CFE, 2008)

Existen diferentes métodos para la revisión por sismo de un talud, por ejemplo el método de Análisis de deformaciones Newmark, (1965), que consiste en revisar si las fuerzas de inercia debidas al sismo y a la condición del talud, superan las fuerzas resistentes disponibles, si es así, se produce una aceleración por el desbalance de fuerzas, esta aceleración corresponde a una aceleración a lo largo de la superficie de falla. El análisis de Newmark, consiste en tres pasos básicos, el primero es realizar un análisis de equilibrio límite para determinar la localización y

forma de la superficie critica de falla y la aceleración. El segundo paso es analizar la historia sísmica, para determinar los movimientos sísmicos esperados en el sitio. El paso final es calcular los desplazamientos acumulados durante el sismo (Suárez J., 1998).

Otro procedimiento para realizar el análisis sísmico de un talud, es el método Seudoestático, este consiste en colocar sobre todos los elementos analizados en el talud, una fuerza horizontal correspondiente a un coeficiente k, multiplicado por el peso del elemento. El método utiliza el mismo procedimiento general de cualquiera de los métodos de equilibrio límite, con la diferencia de que se incluyen fuerzas seudoestáticas horizontales y verticales debidas al evento sísmico.

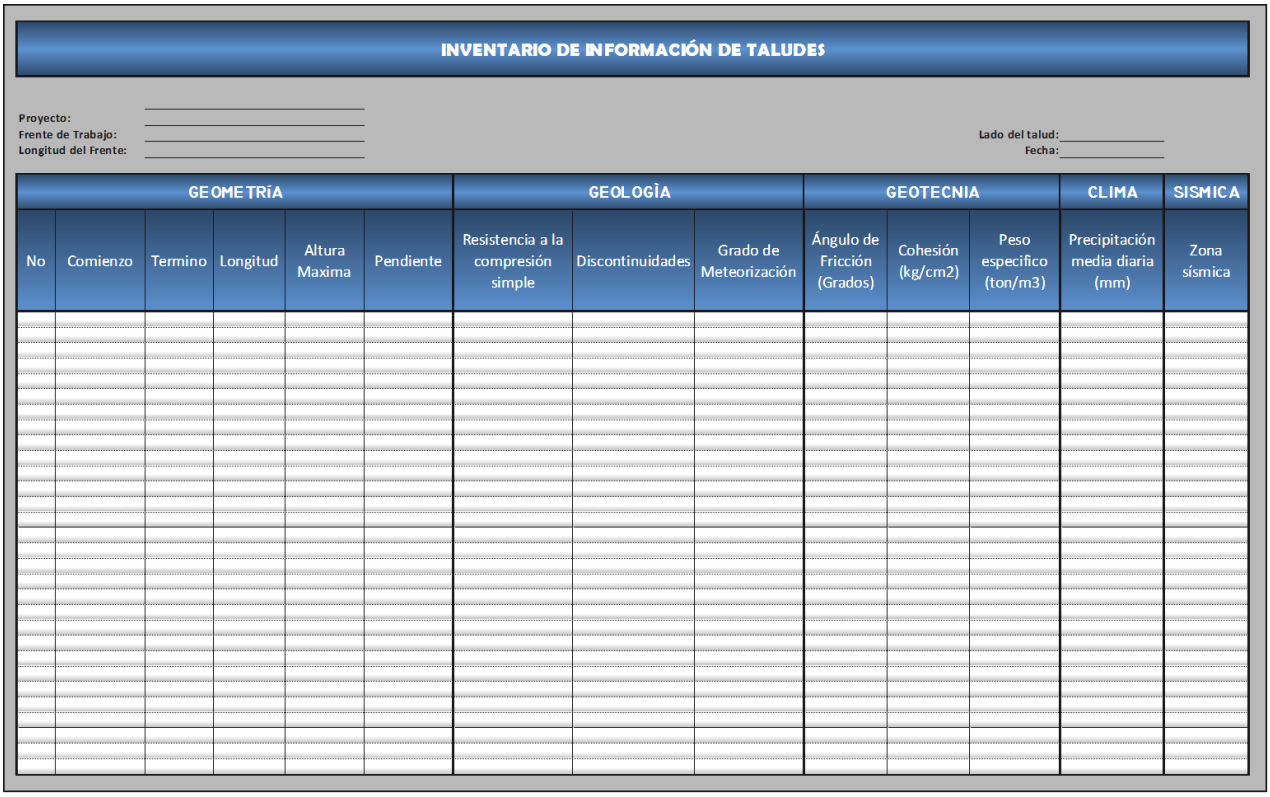
Uno de los objetivos de la Metodología, consiste en simplificar los procedimientos para realizar una correcta evaluación de sistemas de estabilización necesarios para los taludes en riesgo de una carretera, por lo que el efecto del sismo en los taludes, se considerará a partir de la región sísmica en que se ubique el talud, y no realizando alguno de los análisis mencionados. Sin embargo, queda abierta la opción y a criterio del usuario, el empleo de un método más complejo para obtener un análisis sísmico de un talud.

2.6 Integración de inventarios de factores de estabilidad

El formato de cada ficha considera el comienzo y termino de cada corte, asignando un número de identificación a cada corte, obteniendo la información necesaria para realizar el inventario con las características más relevantes de los taludes, que pueden ser empleadas durante la construcción de la obra, por ejemplo, es posible consultar las características de un talud

En esta Metodología se utilizarán para el cálculo del nivel de riesgo a deslizamientos de la carretera.

En la figura 12, se muestra un inventario de taludes que recopila la información obtenida en las fichas, de manera que pueda ser utilizado como consulta, al momento de realizar la construcción, este aporta datos de relevancia al momento de la toma de decisiones.



INVENTARIO DE INFORMACIÓN DE TALUDES

Proyecto: _____
Frente de Trabajo: _____
Longitud del Frente: _____

Lado del talud: _____
Fecha: _____

GEOMETRÍA						GEOLOGÌA			GEOTECNIA			CLIMA	SISMICA
No	Comienzo	Termino	Longitud	Altura Maxima	Pendiente	Resistencia a la compresión simple	Discontinuidades	Grado de Meteorización	Ángulo de Fricción (Grados)	Cohesión (kg/cm2)	Peso especifico (ton/m3)	Precipitación media diaria (mm)	Zona sísmica

Figura No 12. Formato de la Metodología para recopilar la información de los Factores de Estabilidad de Taludes.

2.7 Métodos de Estabilización de Taludes

Existen diversos sistemas constructivos en el mercado para lograr la estabilización y protección de un talud, la decisión de utilizar un método u otro, generalmente está en función del resultado obtenido a través de un análisis matemático y/o la experiencia del especialista en taludes.

A continuación se presentan los métodos y procedimientos de estabilización de taludes más comunes, con el objetivo de justificar la recomendación que se proporcionará en el diseño del talud, no se abordara de manera extensa la explicación de cada método, sino que se resaltaran sus características y beneficios más relevantes.

Para la Metodología propuesta se propondrán los siguientes sistemas de estabilización y protección de taludes.

- Rectificación Geométrica del Talud
- Concreto Lanzado
- Malla Triple Torsión
- Mantos Geosintéticos

- Muro de Contención
- Anclas de Fricción
- Anclas de Tensión
- Drenes Transversales

La Rectificación Geométrica o Abatimiento del talud, en la mayoría de los casos, es el sistema constructivo más rápido y económico que se puede utilizar para estabilizar un talud, ya que se ejecuta con los mismos recursos empleados en la excavación del corte.

El Abatimiento de un talud consiste en modificar la geometría original del talud, excavando el material localizado entre la línea de ceros indicada en el proyecto original y la línea de ceros requerida para estabilizar el corte (figura 13), lo que ayuda a disminuir el peso de material que actúa como fuerza desestabilizadora del corte. Este procedimiento es más fácil de aplicar durante los trabajos de construcción de una carretera que durante su operación, debido no solo a los daños que se ocasionarían a la infraestructura ya existente y a los usuarios del camino, sino que las condiciones topográficas del corte pueden ser inaccesibles para volver a subir un equipo a realizar los trabajos, por este motivo se considerará como una solución viable, solamente para la etapa de construcción. Sin embargo, esta solución requiere de una superficie adicional de terreno para su ejecución, para lo cual debe adquirir se nuevamente un área de Derecho de vía.

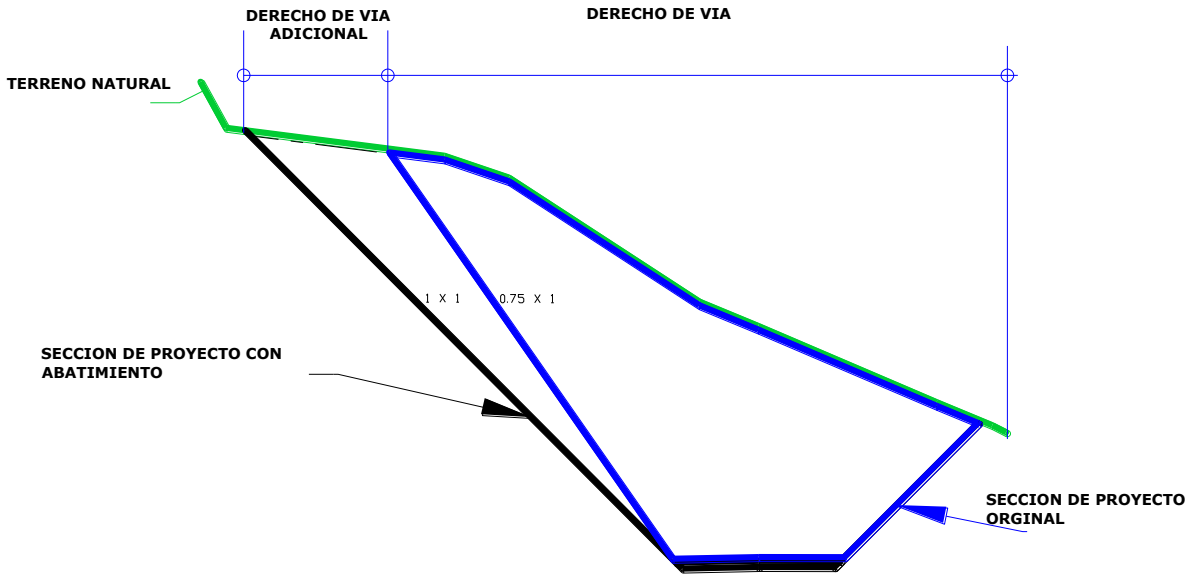


Figura No 13. Sección Transversal del proyecto original y del proyecto con abatimiento.

El Concreto Lanzado es una mezcla de cemento Portland, agregados pétreos, agua, aditivos y fibras en algunas ocasiones, que mediante la fuerza controlada de aire a presión a través de una boquilla, se proyecta sobre una superficie a fin de obtener una capa de recubrimiento compacta, homogénea y resistente, para proteger superficies de roca o suelo contra la erosión, proveer soporte temporal o definitivo de una excavación y proteger zonas con alto fracturamiento o alteración (Normativa SCT, 2004).

El Concreto Lanzado tiene diversos usos en la construcción, en esta Metodología se considerará únicamente como una protección contra la erosión, sin considerar que de alguna manera proporcione soporte al talud. En la figura 14, se muestra la aplicación de Concreto Lanzado para la protección de taludes.

Figura No 14. Aplicación de Concreto Lanzado en taludes de corte, para protegerlos de la erosión

La aplicación de Malla Triple Torsión es ampliamente utilizada en carreteras para la protección de caídos de bloques de tamaño mediano a chico, lo que resulta suficiente en la mayoría de los casos. Su colocación en el talud de un corte es rápida, versátil y se obtienen avances considerables dependiendo de la habilidad y experiencia del personal. Este sistema disminuye grandemente el riesgo de accidentes durante la operación de la via a muy bajo costo comparado con el Concreto Lanzado, y no requiere de equipo especializado para su colocación. En la figura 15, se muestra un ejemplo de la colocación de Malla Triple Torsión en taludes.

Figura No 15. Colocación de Malla Triple Torsión en el corte ubicado en el km 53+500 de Carretera Rio Verde-Cd. Valles, S.L.P.

Los Mantos Geosintéticos son una alternativa al concreto lanzado para el control de la erosión, lo que permite disminuir los costos de estabilización de un proyecto. Están conformados por fibras sintéticas no degradables, filamentos o mallas procesadas a través de una matriz tridimensional, con estabilización UV y resistentes a los químicos que habitan en el ambiente natural del suelo. Este tipo de mantos se instalan donde la vegetación natural, por si sola, no es suficiente para resistir las condiciones de flujo y no provee la protección suficiente para la erosión a largo plazo. Los Mantos que se emplean para estos casos tienen las propiedades necesarias para reforzar la vegetación y proteger el suelo, bajo las condiciones naturales del sitio. En la figura 16 se muestra la colocación del manto en un talud para protegerlo de la erosión.

La construcción de un muro al pie del talud, puede considerarse si el terreno de desplante es resistente y la superficie de falla del talud no es profunda. Los gaviones son cajones de malla de alambre galvanizado que se rellenan de cantos de roca que pueden ser utilizados para este fin. Algunas de las ventajas de un muro con gaviones, es que son simples de construir y mantener, utiliza los cantos y piedras disponibles en el sitio, también poseen una estructura flexible y puede tolerar asentamientos diferenciales mayores que otro tipo de muros, además que es fácil de demoler o reparar.

Figura No 16. Colocación de Manto Geosintético para el control de erosión en el talud del km 72+900 de la Carretera Mitla-Tehuantepec, Oax.

Existen diferentes tipos de Muros de Contención que pueden ser empleados para la estabilización y protección de taludes en corte. En la figura 17(a) se muestra el empleo de un muro gavión para retener el desplazamiento del material del talud, así mismo, en la figura 17(b) se muestra la utilización de un muro tipo rip- rap con el mismo objetivo. La metodología considera únicamente el empleo de muro tipo gavión, sin embargo su versatilidad permite que se considere otro tipo de muro, cambiando únicamente el costo del sistema.

Figura 17 (a)

Figura 17 (b)

Figura No 17 (a). Muro tipo gavión para retener el deslizamiento de material. **Figura 17 (b).** Muro tipo Rip-Rap, para retener el deslizamiento de material.

Las Anclas son elementos estructurales generalmente constituidos por varillas de acero, las cuales se colocan dentro de una perforación, ésta se inyecta posteriormente con cemento para unir la varilla al macizo de roca. Realmente, lo que ocurre es que la varilla, refuerza al macizo rocoso. En esta forma, se pueden evitar los caídos de roca y en ocasiones los deslizamientos de macizos de roca fracturada con discontinuidades muy espaciadas. El diseño de los pernos, generalmente, es empírico basado en un análisis de las discontinuidades en el macizo y de la estabilidad de los bloques. La parte más importante del diseño es determinar la localización, ángulo de inclinación y longitud de cada perno (Suárez, 1998). En la figura 18 se muestra un ejemplo del uso de Anclas de Fricción en carreteras.

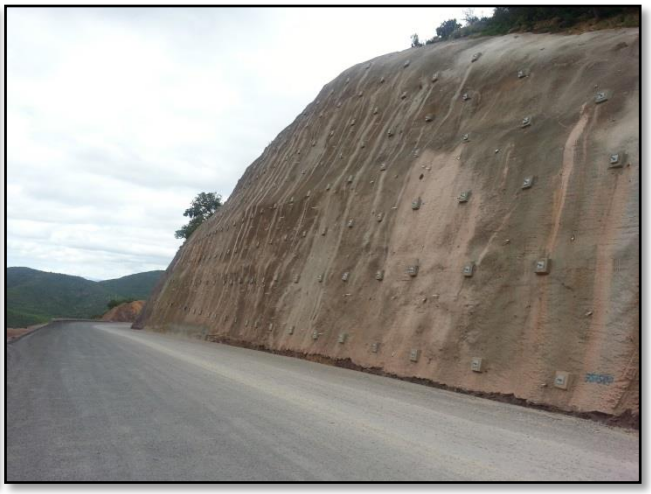


Figura 18 (a) **Figura 18 (b)**

Figura No 18 (a). Colocación de Anclas de Fricción para el reforzamiento del talud. **Figura 18(b).** Talud reforzado con Anclas de Fricción de 18 m de longitud con una separación de 6 x 6 m.

Las Anclas de Tensión consisten en la colocación dentro del macizo de roca y muy por debajo de la superficie de falla real o potencial, de una serie de cables de acero, anclados en su punta y tensados por medio de gatos en superficie. Los anclajes generan fuerzas de compresión que aumentan la fricción y contrarrestan la acción de las fuerzas desestabilizadoras.

Los anclajes pretensados, se colocan atravesando posibles superficies de falla, anclando los bloques a roca sana, detrás de esta superficie. El tensionamiento del perno, transmite una fuerza a la roca, produciendo una compresión y modificando los esfuerzos normales sobre la superficie de falla. Si las fuerzas de anclaje se instalan a un ángulo menor que a la normal a la superficie potencial de falla, se

crea adicionalmente, una fuerza resistente que se opone al movimiento. La fuerza requerida para el anclaje, se minimiza cuando la suma del ángulo de buzamiento del ancla y el de la fractura es igual al ángulo de fricción. Se ahorra gran cantidad de pernos, instalándolos al ángulo óptimo, en lugar de colocarlos normales a la falla (Suárez J., 1998).

Las medidas de drenaje, tienen por finalidad eliminar o disminuir el agua presente en el talud y, por tanto, las presiones intersticiales que actúan como factor desestabilizador en las superficies de rotura (Gonzales de Vallejo L.I., Et al, 2002).

Los Drenes Profundos tienen como finalidad deprimir el nivel freático y evacuar el agua del interior del talud, por lo que constituyen un sistema de drenaje que consiste en tuberías horizontales, ranuradas e insertadas transversalmente en los taludes. En la figura 19 se muestra la imagen de la colocación de drenes en un talud.

Figura 19 (a) **Figura 19 (b)**

Figura No 19 (a). Perforación del talud para alojar la tubería de PVC. **Figura 19 (b).** Drenes Transversales en el talud, para disminuir la presión de poro en el interior del talud.

Una vez determinada la información de los taludes y los métodos de estabilización que se utilizaran en la Metodología, se procede a realizar el Análisis de Riesgos de cada uno de los taludes.

Capítulo 3. Análisis de Riesgos

La tolerancia de la sociedad hacia los riesgos asociados a la estabilidad de los taludes disminuye día con día, provocando que los especialistas en vías terrestres busquen incansablemente innovaciones técnicas que reduzcan estos riesgos.

Se decide realizar un Análisis de Riesgos en esta etapa de la Metodología, ya que se pretende que esté basada en el riesgo asociado a la estabilidad de los taludes, por ello se tiene como objetivo identificar el riesgo potencial que cada uno de los cortes presenta, para disminuir la probabilidad de un impacto adverso al proyecto. Los riesgos considerados para cada corte son los que pudieran ocurrir durante la construcción de la obra y aquellos pueden tener lugar una vez que la carretera esté en operación. En la figura No 20 se muestra el diagrama de actividades del Análisis de Riesgo que se aplicará en la Metodología.

Figura No 20. Diagrama de actividades para la Etapa 2 de la Metodología.

3.1 Identificación de Riesgos

Un riesgo en un proyecto es un evento o condición inciertos que, si se produce, tiene un efecto positivo o negativo sobre al menos un objetivo del proyecto, como tiempo, costo, alcance y calidad (Dennis B., Et al, 2004).

La identificación de los los riesgos asociados al proyecto, es parte fundamental de la investigación que deberá considerarse para realizar una evaluación adecuada, un panorama claro de la problemática que puede presentarse en la carretera, nos

ayudará a valorizar de manera correcta los efectos durante la construcción y operación de la carretera.

De acuerdo a Suárez (1998), se deben considerar cuatro etapas diferentes en la clasificación de los movimientos, la etapa de deterioro, la etapa de falla, etapa de post-falla y una cuarta etapa de reactivación. En la Metodología, se analizará el riesgo a deslizamientos, considerando que los efectos producidos por el deterioro del talud, como caídos de granos, rocas, son de menor o igual magnitud que el de un deslizamiento. Así mismo, se considera que los efectos de un flujo de suelo, roca o avalanchas, son de mayor magnitud que la de un deslizamiento y que, por lo tanto, en caso de ocurrir, se da seguimiento como eventos fortuitos, súbitos e impredecibles, para ellos, es necesario utilizar un enfoque distinto a la metodología. En la figura 21 se muestra las consideraciones realizadas en la metodología, de acuerdo a la magnitud del deslizamiento.

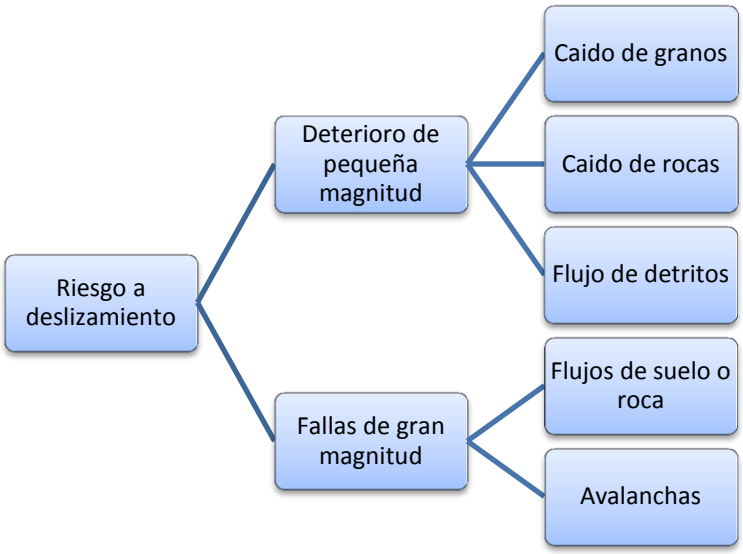


Figura No 21. Magnitud considerada para el análisis de riesgo a deslizamiento.

El riesgo de los deslizamientos tiene consecuencias de índole económica, social y ambiental, que deben ser identificadas para conocer su efecto durante la construcción y operación de la carretera

En la construcción de una carretera, es recurrente tener afectaciones en terrenos, a causa de los deslizamientos en taludes, que inicialmente no se tenían considerados en la planeación de los trabajos, en ocasiones los daños por este motivo se extienden a casas, líneas eléctricas, maquinaria pesada y personas. En la figura 22, se muestra el efecto de los deslizamientos en una carretera.

Las autopistas que se encuentran en operación, brindan servicio a diversos sectores económicos del país, por lo que el efecto de un deslizamiento en esta etapa de la carretera, resulta con un mayor impacto, pues no solo se tiene que mitigar el daño en la infraestructura, sino que las actividades productivas de los usuarios también resultan afectadas.

Figura 22(a). Figura 22(b)

Figura 22(a). Caído de Bloques durante la etapa de construcción de la Carretera Río Verde-Cd. Valles, S.L.P (2010) .**Figura 22(b).** Deslizamiento de material km 75+800 de la Carretera Mitla-Tehuantepec (2013).

Sin duda alguna, la evaluación de riesgos durante la construcción difiere de la evaluación durante la operación, por lo que esta Metodología solamente se enfocará en la etapa de construcción, dejando abierta la posibilidad de ajustar las variables para una planeación de la etapa de operación. En la Tabla 16, se muestra el impacto que tiene un deslizamiento en la construcción y operación de la carretera.

3.2 Análisis de la Amenaza a Deslizamientos

Cuando un talud se corta, para la construcción de una vía o de una obra de infraestructura, ocurre una relajación de los esfuerzos de confinamiento y una exposición al medio ambiente, cambiándose la posición de equilibrio por una de deterioro acelerado (Suarez J., 1998). Esta inestabilidad representa un peligro para la construcción del proyecto, por lo que es necesario conocer las características del posible deslizamiento.

Tabla 16. Impacto en las carreteras, ocasionado por deslizamientos de talud.

Etapa de la Carretera	Tipo de Impacto	Descripción del impacto negativo
En la construcción de la carretera	**Económico**	Costo por daño a la mano de obra
		Costo por daño a los equipos
		Costo por ejecución de trabajos adicionales
		Penalizaciones por retraso en el programa de obra
		Costo de estancia en el proyecto, más allá del periodo programado
	Tiempo	Retraso en el programa de obra del proyecto
		Periodo adicional para la ejecución de trabajos no programados
	Social y ambiental	Daño a especies vegetales y animales en las zonas de falla
		Afectación en terrenos no adquiridos para el proyecto
		Adquisición de derecho de vía adicional
		Daño a viviendas o infraestructura urbana
En la operación de la carretera	**Económico**	Costos por daño a los bienes materiales del usuario
		Costos por daño a la infraestructura
		Reclamos y demandas del usuario
		Costos de cuotas de peaje detenidas
	Tiempo	Actividades productivas detenidas por usuarios retrasados
		Tiempo de reparación afectando la fluidez, comodidad y seguridad del usuario
		Trafico excesivo en la autopista
	Social y ambiental	Daño a especies vegetales y animales en las zonas de falla
		Afectación en terrenos no adquiridos para el proyecto
		Adquisición de derecho de vía adicional
		Daño a viviendas o infraestructura urbana

La susceptibilidad al deslizamiento de un corte, generalmente, expresa la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno. Por otro lado, la amenaza es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente destructor, en un área específica dentro de un determinado período de tiempo (Suárez J., 1998).

En esta parte de la Metodología se evaluará cualitativamente los factores de estabilidad establecidos en la etapa uno, considerando que ocurre el deslizamiento al menos una vez durante la construcción de la obra, dentro del tramo establecido.

Para evaluar la amenaza se consideran los factores de estabilidad para cada uno de los cortes, utilizando una adaptación del RHRS (Rock Hazard Rating System) a

condiciones iniciales de un proyecto carretero, y se obtiene la probabilidad de que ocurra un deslizamiento en el talud más desfavorable del corte.

El porcentaje de incidencia de cada factor de estabilidad, está establecido inicialmente de forma empírica, considerando que posteriormente los factores serán actualizados de forma estadística, conforma la Metodología se aplique a más proyectos. De manera inicial se propone que los parámetros Geométricos, Geológicos y Geotécnicos, tienen la misma incidencia en la estabilidad del talud, sumando un 75% de la calificación total para el corte, así mismo los factores Clima y Sísmica se consideran eventos detonantes que pudieran o no suceder, por ello se les asigna un porcentaje máximo a considerar de 25%; es decir, no serán factores determinantes de la amenaza; sin embargo, se considera su influencia. De esta manera se logra obtener resultados que no se encuentren inclinados hacia un factor de estabilidad específico, por ejemplo, si un talud posee una geología muy desfavorable, sólo podrá ser considerado como amenaza, si la participación de los demás factores, también son desfavorables para considerarlos dentro de los parámetros de riesgo. En la Tabla 17 se muestran los porcentajes asignados para esta metodología.

Tabla 17. Porcentaje de calificación asignada a los Factores de Estabilidad de Taludes

Factores de estabilidad del talud		Tesis
1	Geometría	25%
2	Geología	25%
3	Geotecnia	25%
4	Clima	20%
5	Sísmica	5%
TOTAL		**100%**

Actualmente se tienen metodologías que persiguen el propósito de evaluar cualitativamente el riesgo a deslizamientos, principalmente en carreteras en operación, en laderas naturales o en taludes cuyas características pueden ser observadas en el sitio. Entra las principales se encuentra la valoración de factores para la evaluación de susceptibilidad a los deslizamientos debidos a lluvias realizada por el Comité Técnico Asiático en Geotecnología para Amenazas naturales (1997), en ella se valoran seis factores: La altura del talud, la inclinación del talud, salientes topográficas, espesor de suelo superficial, nacimientos de agua y fallas alrededor del área analizada (Tabla 18). De igual manera, el CENAPRED (2004), establece el criterio para la estimación de la amenaza de deslizamientos

en laderas. Por su parte el Departamento de Transporte de Oregon, EUA (1990) utiliza el RHRS, un sistema para evaluar la amenaza a caídos de roca en carretas. En todos los casos, el criterio tomado es diferente, cada autor realiza una evaluación de acuerdo a su experiencia. En la tabla 19 se muestra una comparativa de estos tres criterios, de acuerdo a los porcentajes asignados a los factores de estabilidad de un talud.

Tabla 18. Criterio de evaluación a la susceptibilidad a deslizamientos debidos a lluvias del Comité Técnico Asiático en Geotecnología para Amenazas Naturales.

Factor	Característica	Valor
Altura del talud	≥10 m.	7
	<10 m.	3
Inclinación del talud	≥45º	1
	<45º	0
Salientes topográficas	Presentes	3
	Ausentes	0
Espesor de suelo superficial	≥0.5 m.	1
	<0.5 m.	0
Nacimientos de agua	Presentes	1
	Ausentes	0
Fallas alrededor del área	Presentes	3
	Ausentes	0

Tabla 19. Comparativa de porcentajes asignados a los factores de estabilidad de un talud de la tesis y los otras metodologías similares.

Factores de estabilidad del talud		Tesis	CENAPRED	RHRS	Comité Asiático
1	Geometría	25%	26%	45%	74%
2	Geología	25%	48%	33%	15%
3	Geotecnia	25%			
4	Clima	20%	26%	22%	11%
5	Sísmica	5%			
TOTAL		**100%**	**100%**	**100%**	**100%**

La importancia de establecer porcentajes atinados para cada factor de estabilidad, tiene por objetivo, evitar resultados poco razonables, que nos lleven a implementar medidas de estabilización en lugares que no lo requieren. En la figura 23, se muestra un ejemplo del empleo de concreto lanzado en cortes de una carretera, cuya altura es relativamente pequeña, en consecuencia se tiene, que los recursos utilizados en estos taludes, no beneficia a la seguridad del usuario, sino que, representa un gasto innecesario, que pudo ser utilizado para disminuir los riesgos en otra zona del proyecto. De aquí que la asignación de porcentajes y calificaciones, debe ser calibrada con los datos obtenidos en los proyectos donde se aplique la Metodología, de esta manera se formará una base de datos y los porcentajes estarán sustentados en información estadística.

Figura 23. Taludes de poca altura, cubierto de concreto lanzado en la Carretera Oaxaca-Puebla (2013).

Para evaluar la Amenaza de los factores de estabilidad, cada uno de estos se divide en 2 o más parámetros, se han propuesto para la Metodología porcentajes de calificación de acuerdo a la experiencia del autor.

El factor de estabilidad “Geometría” está compuesto por tres parámetros: longitud, altura máxima e inclinación del talud. La longitud del corte toma relevancia en el análisis propuesto, considerando que mientras más largo sea el corte, se tendrá mayor probabilidad de tener zonas y elementos vulnerables al deslizamiento de un talud. Para este parámetro se considera un 5% de incidencia en el factor.

La pendiente del corte es el segundo elemento de la geometría que se considera al realizar el diseño de un proyecto carretero, está en función del tipo de material que se encuentra en el sitio, determinado por los estudios Geológico y Geotécnico.

El talud de diseño, define en gran medida los volúmenes de excavación que se tendrán en el proyecto, trayendo en consecuencia, que se utilice un criterio, enfocado más en la economía, que en la estabilidad del talud, para este parámetro, también se considera un 5% de incidencia en el factor.

Por último, el parámetro de altura máxima, se considera tomando en cuenta que mientras más alto es un corte, mayor es el peso que actúa sobre la superficie del talud, haciendo más susceptible al talud de fallar, éste es sin duda el valor que más nos interesa conocer de cada uno de los cortes por lo que el porcentaje correspondiente para este parámetro es del 15% del factor geometría. En las vías terrestres los cortes varían de altura, pero ésta se encuentra limitada por el costo que representa realizar cortes con alturas mayores a 100 m, en estos casos se prefiere recurrir a la construcción de túneles.

En los proyectos carreteros “Mitla-Tehuantepec, Subtramos 3-7” en el estado de Oaxaca (2014) y “Rio Verde-Cd. Valles” en el estado de San Luis Potosí (2012), se realizaron análisis estadísticos con las alturas de los cortes, en los que se ejecutó algún método de estabilización, obteniendo como resultado en el primer caso, que ningún corte menor a 10 m de altura se ha estabilizado, 20% de los cortes entre 10 y 20 metros de altura han requerido de algún sistema de estabilización, 33% de los cortes con altura entre los 20 y 40 metros, se han estabilizado y el 69% de los cortes mayores a 40 m, tuvieron que ser estabilizados. En la tabla 20, se muestran los resultados obtenidos en ambos proyectos, se puede observar que el porcentaje de cortes estabilizados es diferente en cada proyecto, sin embargo, tambien puede observarse que en la mayoría de los casos, un mayor altura del corte, mayor el porcentaje de cortes estabilizados.

Tabla 20. Porcentaje de cortes estabilizados de acuerdo a la altura.

Altura máxima del talud	Porcentaje de cortes estabilizados según su altura en la Carretera Mitla-Tehuantepec, Oax.	Porcentaje de cortes estabilizados según su altura en la Carretera Rio Verde-Cd. Valles, S.L.P.
menor a 10 m	0%	15%
entre 10 y 20 m	20%	57%
entre 20 y 40 m	33%	77%
mayor a 40 m	69%	75%

En la tabla No 21 se muestra el criterio propuesto en la Metodología para determinar la calificación de un corte, de acuerdo a su geometría. Asignando

valores que van de 1 para el rango de menor amenaza, hasta 4 para el rango de mayor amenaza.

Tabla 21. Criterio propuesto para asignar calificación al factor Geometría

Factor de estabiliad	Parámetro a valorar	% de ponderación	Asignación de calificación							
			Rango	Calif.	Rango	Calif.	Rango	Calif.	Rango	Calif.
Geometría	Longitud	5	0-50 m	1	50- 250 m	2	250-500 m	3	>500 m	4
	Altura Maxima	15	0-10 m	1	10-20 m	2	20-40 m	3	> 40 m	4
	Pendiente	5	>1.5	1	0.75-1.5	2	0.25-0,75	3	<0.25	4

Para obtener el resultado del valor final de cada parámetro, se multiplica la calificación por el porcentaje de ponderación, el resultado se divide entre la calificación mayor, en este caso es 4, de esta manera tenemos la siguiente expresión:

$$Valor\ del\ parámetro\ = \frac{(Calificación\ ) \cdot (\%\ de\ ponderación)}{(Calificación\ mayor)} \qquad \text{---------- (1)}$$

El factor de estabilidad “Geología” está formado por tres parámetros: Resistencia a la compresión simple al que se le ha asignado un porcentaje de incidencia del 10%, discontinuidades con un porcentaje de 8% y grado de meteorización con un 7%. En la tabla 22 se muestra el criterio para determinar la amenaza del factor Geología.

Tabla 22. Criterio propuesto para asignar calificación al factor Geología.

Factor de estabiliad	Parámetro a valorar	% de ponderación	Asignación de calificación							
			Rango	Calif.	Rango	Calif.	Rango	Calif.	Rango	Calif.
Geología	Resistencia a la compresión	10	Muy dura	1	Dura	2	Media	3	Suave	4
	Discontinuidades	8	baja	1	Moderada	2	Alta	3	Extremo	4
	Grado de meteorización	7	bajo	1	Moderado	2	Alto	3	Extremo	4

El factor “Geotecnia”, está integrado por los parámetros: ángulo de fricción, cohesión y peso específico, cada uno de ellos, influye en la resistencia al esfuerzo cortante, en la tabla 23 se muestra el criterio que se tomará para asignar la calificación de cada parámetro.

Tabla 23. Criterio para asignar calificación al factor Geotecnia

Factor de estabiliad	Parámetro a valorar	% de ponderación	Asignación de calificación							
			Rango	Calif.	Rango	Calif.	Rango	Calif.	Rango	Calif.
Geotecnia	Ángulo de fricción	10	>50°	1	21°-50°	2	6°-20°	3	<5°	4
	Cohesión	10	> 10 kg/cm2	1	1-10 kg/cm2	2	0.1-1 kg/cm2	3	< 0.1 kg/cm2	4
	Peso específico	5	>3 t/m3	1	1.6-3 ton/m3	2	1.2-1.5 ton/m3	3	<1.2 t/m3	4

Los factores “Clima” y “Sísmica”, se consideran eventos detonantes de los deslizamientos, y que tienen un papel importante es la estabilidad del talud; sin embargo, al tratarse factores externos que pueden o no suceder, se ha decidido asignarles un porcentaje menor que a los otros parámetros. En la tabla 24 se muestran los criterios para asignar una calificación a los factores Clima y Sísmica.

Tabla 24. Criterio propuesto para asignar calificación a los factores Clima y Sísmica.

Factor de estabiliad	Parámetro a valorar	% de ponderación	Asignación de calificación							
			Rango	Calif.	Rango	Calif.	Rango	Calif.	Rango	Calif.
Clima	Precipitación media diaria	15	< 50 mm	1	50-200 mm	2	201-350 mm	3	> 350 mm	4
Sísmica	Región Sísmica	10	A	1	B	2	C	3	D	4

En la tabla 25 se presenta un resumen de los criterios empleados para evaluar la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento, así mismo, en la tabla 26 se observa la clasificación de la Amenaza de acuerdo al resultado obtenido.

Tabla 25. Resumen de los criterios para asignar calificaciones a cada parámetro de los factores de estabilidad de taludes

Factor de estabiliad	Parámetro a valorar	% de ponderación	Asignación de calificación							
			Rango	Calif.	Rango	Calif.	Rango	Calif.	Rango	Calif.
Geometría	Longitud	5	0-50 m	1	50- 250 m	2	250-500 m	3	>500 m	4
	Altura Maxima	15	0-10 m	1	10-20 m	2	20-40 m	3	> 40 m	4
	Pendiente	5	>1.5	1	0.75-1.5	2	0.25-0,75	3	<0.25	4
Geología	Resistencia a la compresión	10	Muy dura	1	Dura	2	Media	3	Suave	4
	Discontinuidades	8	baja	1	Moderada	2	Alta	3	Extremo	4
	Grado de meteorización	7	bajo	1	Moderado	2	Alto	3	Extremo	4
Geotecnia	Ángulo de fricción	10	>50°	1	21°-50°	2	6°-20°	3	<5°	4
	Cohesión	10	> 10 kg/cm2	1	1-10 kg/cm2	2	0.1-1 kg/cm2	3	< 0.1 kg/cm2	4
	Peso específico	5	>3 t/m3	1	1.6-3 ton/m3	2	1.2-1.5 ton/m3	3	<1.2 t/m3	4
Clima	Precipitación media diaria	15	< 50 mm	1	50-200 mm	2	201-350 mm	3	> 350 mm	4
Sísmica	Región Sísmica	10	A	1	B	2	C	3	D	4

Tabla 26. Resumen de los criterios para asignar calificaciones a cada parámetro de los factores de estabilidad de taludes

Amenaza		Descripción
V Muy alta	>75%	Talud con malas características físicas y mecánicas, ubicado en zonas adversas para su estabilidad, la falla del talud es inminente.
IV Alta	51% - 75%	Talud con una gran probabilidad de presentar un deslizamiento.
III Mediana	26% - 50%	Talud bajo una condición de factores que pueden provocar su falla, si actúan conjuntamente de forma desfavorable.
II Baja	11% - 25%	Talud en condiciones estables, con probabilidad muy baja de presentar un deslizamiento.
I Muy baja	3.7-10%	Taludes con características físicas y mecánicas favorables, ubicados en zonas que no afecta su estabilidad, por lo que no es susceptible a presentar fallas.

3.3 Análisis de la Vulnerabilidad de los Elementos en Peligro

La Vulnerabilidad es el grado de daño o pérdidas potenciales en un elemento o conjunto de elementos como consecuencia de la ocurrencia de un fenómeno de intensidad determinada, suele evaluarse de 0% al elemento sin daño, y al 100% como la pérdida total del elemento (Gonzales de Vallejo L. et al, 2002).

Los Elementos en Peligro o expuestos que se consideran para la etapa de construcción los siguientes:

1. Mano de obra
2. Maquinaria
3. Actividades adicionales de reparación
4. Días de retraso en la obra
5. Superficie de terreno adicional con afectación

La Vulnerabilidad depende de las características del elemento considerado y la intensidad del fenómeno. Para evaluar la Vulnerabilidad de los elementos en peligro considerados en la construcción de una carretera, se ha determinado que aunque cada elemento posee diferentes características, todos ellos están expuestos a un nivel de perdida en función de la altura del talud, es decir, que cada elemento tendrá la misma vulnerabilidad ante el deslizamiento del talud de similar altura, sin embargo, la intensidad de deslizamiento se considera mayor mientras más altor es el talud. En la tabla 27, se muestra el criterio propuesto para evaluar la vulnerabilidad de los elementos en riesgo.

Tabla 27. Valores de la Vulnerabilidad de los Elementos en Riesgo, de acuerdo a la altura del corte.

Altura del Corte	0-10 m.	10 a 25 m.	25 a 50 m.	> 50 m.
Vulnerabilidad	25%	50%	75%	100%

La mano de obra que se encuentra vulnerable durante la etapa de construcción, está integrada por un operador de la excavadora sobre orugas, el operador del tractor sobre orugas, los choferes de los camiones, los ayudantes que acomodan los camiones y apoyan con las indicaciones a los operadores, así como el cabo responsable del frente de trabajo. Cada uno, es vulnerable al deslizamiento del talud que trabajan, por lo que se considera que la magnitud de daño a la mano de obra, está en función de la altura del propio corte.

La maquinaria vulnerable, está constituida por un grupo de trabajo formado por una excavadora sobre orugas, un operador de tractor sobre orugas y cuatro camiones de volteo. De igual manera que en la mano de obra, el porcentaje de vulnerabilidad se establece en función de la altura del corte. En la figura 24 se muestra una excavadora afectada por un deslizamiento ocurrido durante la construcción de la Carretera Mitla-Tehuantepec, Oaxaca, en el km 105+120.

Figura No 24. Excavadora dañada por deslizamiento

Cuando un derrumbe ocurre, no solamente se afecta al personal y equipo que se encuentre trabajando, sino también detiene las actividades que se realizan, provocando retrasos en los programas de obra, se requiere además, realizar reparaciones en el talud, con las que se afectan superficies adicionales a las que se tenían contempladas en el corte. Por tal motivo, se consideran elementos en riesgo, al volumen de deslizamiento, la superficie afectada y el tiempo empleado en retiro de caídos. Si existen otras afectaciones que se consideren relevantes en el resultado final, como pueden ser viviendas, vehículos, etc. se asigna al campo denominado “otros”.

La superficie de falla de un talud depende del tipo de material que lo constituye, de esta manera, los suelos rompen generalmente a favor de superficies curvas, con formas diversas condicionadas por la morfología y estratigrafía del talud. Si se dan determinadas condiciones en el talud, como la existencia de estratos o capas de diferente competencia, puede tener lugar una rotura a favor de una superficie plana. Los diferentes tipos de roturas en taludes en roca, están condicionados por el grado de fracturación del macizo rocoso y por la orientación y distribución de las discontinuidades con respecto al talud. Los modelos más frecuentes son: rotura Plana, en Cuña, por Vuelco, por Pandeo y Curva (Gonzales de Vallejo L., Ferrer

M., Ortuño L. y Oteo C., 2002). En la figura 25 se muestra un esquema de los tipos de rotura en taludes.

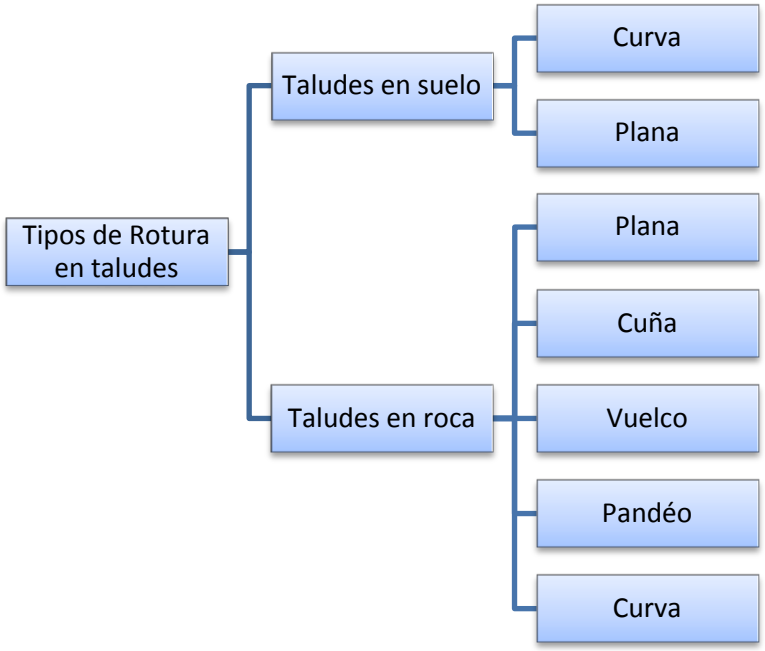


Figura No 25. Tipos de rotura más comunes en taludes

Para evaluar el volumen de material a retirar a causa del deslizamiento, se considera una superficie de rotura plana en todos los taludes, lo que simplifica las operaciones matemáticas y permite comparar los resultados en cada talud.

La información Geométrica de los taludes, establecida en la primera etapa de la planeación, se emplea para estimar la rectificación geométrica que se deberá ejecutar si ocurre un deslizamiento de material (Figura 26). El criterio utilizado para calcular el volumen de material a excavar, es considerar que el talud original, tendrá una mejora de 50 por ciento en la inclinación de su talud, de esta manera, se obtiene un volumen de material a excavar, producto del deslizamiento, así como una superficie de terreno que se verá afectada, esto queda expresado en la fórmula siguiente:

$$\emptyset = m + 0.5m \text{ ---------- (2)}$$

Dónde:

Ø = Talud de abatimiento

m = Talud de proyecto

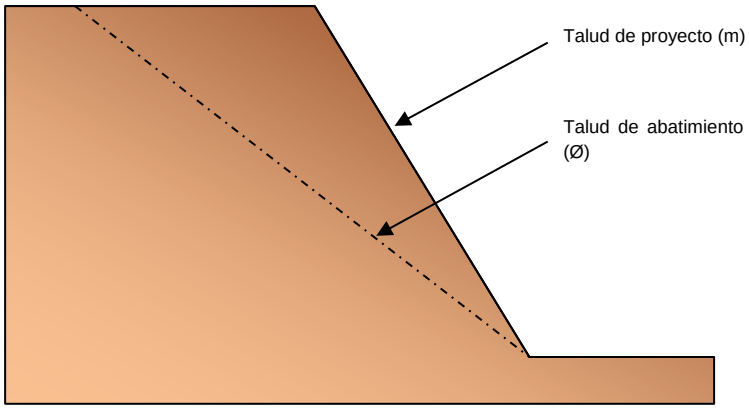


Figura No 26. Superficie de falla propuesta para los taludes en corte del proyecto.

En la figura 27, se muestra el formato propuesto para inventariar la información de los elementos expuestos establecidos en la Metodología, como puede observarse en la imagen, los datos de los cortes son los mismos utilizados para los factores de estabilidad.

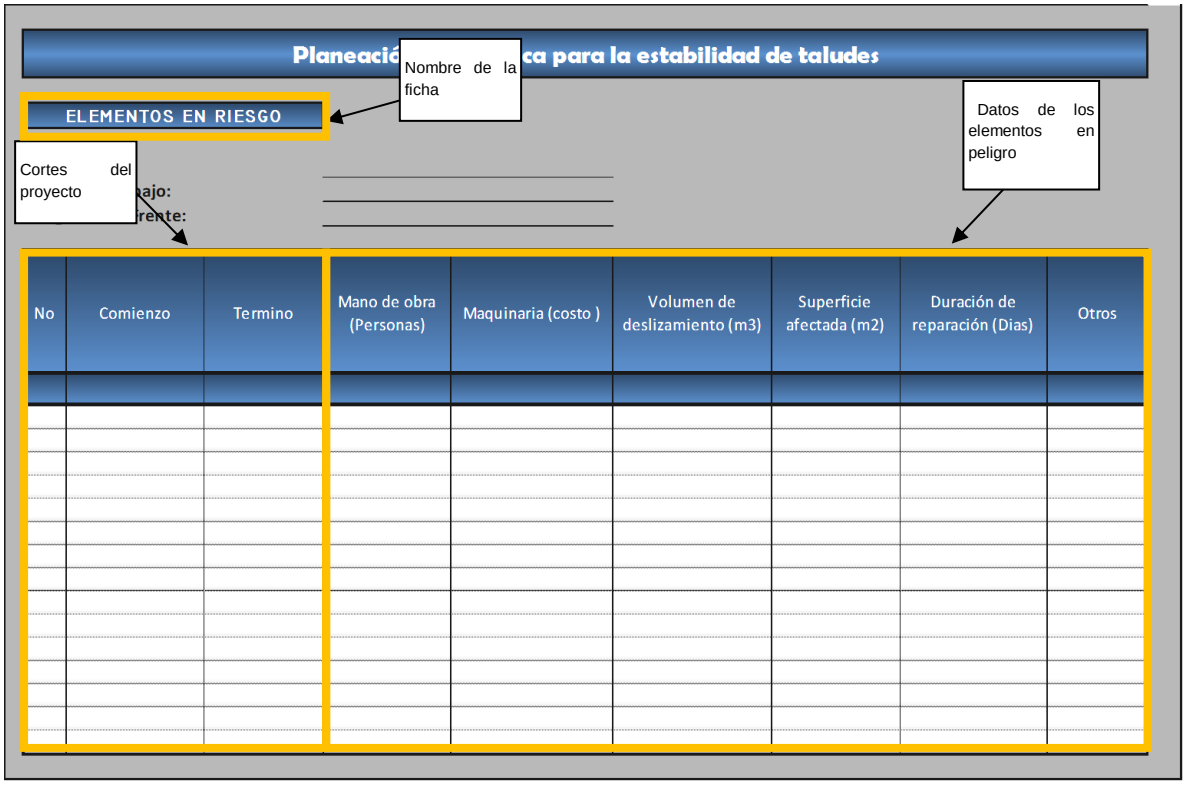


Figura No 27. Ficha para valores de los elementos expuestos.

Una vez definidas las cantidades afectadas de los elementos expuestos, se obtienen las pérdidas estimadas en para cada talud, multiplicando la Vulnerabilidad por cada uno de los Elementos en Riesgo.

Vulnerabilidad x Elementos en Riesgo = Pérdidas Esperadas ---------- (3)

Las Pérdidas Esperadas de los Elementos en Riesgo, tiene unidad de medida diferente; para homologar esta unidad, se utiliza la tabla 28, en ella se muestra el rango de valores para cada elemento, que corresponde a un criterio propuesto, basado principalmente en la experiencia en los proyectos carreteros: Rio Verde-Cd. Valles, S.L.P. y Mitla-Tehuantepec, Oax.

Tabla 28. Valor de las pérdidas de los Elementos en Riesgo de una carretera en construcción.

Perdida de los elementos en riesgo	Valor	Mano de obra (Personas)	Maquinaria (costo)	Volumen de deslizamiento (m3)	Superficie afectada (m2)	Duración de reparación (Dias)	Otros
Muy alta	**1**	mayor a 1	mayor a $ 1,000,000	mayor a 30,000 m3	mayor a 5,000 m2	mayor a 30 dias	viviendas, lineas electricas, caminos, etc.
Alta	**0.75**	entre 0.75 y 1	entre $ 500,000 y $ 1,000,000	entre 10,000 y 30,000 m3	entre 1,000 y 5,000 m2	entre 15 y 30 dias	
Media	**0.5**	entre 0.5 y 0.75	entre $ 100,000 y $ 500,000	entre 5,000 y 10,000 m3	entre 500 y 1,000 m2	entre 5 y 15 dias	
Baja	**0.25**	entre 0.1 y 0.5	entre $ 50,000 y $ 100,000	entre 1,000 y 5,000 m3	entre 100 y 500 m2	entre 1 y 5 días	
Muy baja	**0.1**	0.1	menor a $ 50,000	menor a 1,000 m3	menor a 100 m2	menor a 1 día	

En el caso de la mano de obra, la pérdida de una vida no es tolerable, por lo que un resultado mayor a una persona se considera en el nivel alto, de igual manera se ha establecido el costo de una pérdida por maquinaria como muy bajo, si es menor a $ 50,000 pesos, y muy alto si es mayor a $1,000,000. Los volúmenes del deslizamiento se consideran muy bajas si son menores a 1,000 m3, por otro lado si el volumen es mayor a 30,000 metros cúbicos, ésta se considera como una pérdida alta. La superficie afectada es considerada muy baja si es menor a 100 m2, así mismo es considerada muy alta si es mayor a 5,000 m2. Por último, si los dias de retraso en la obra, ocasionados por la reparación o retiro de caídos es menor a un día, se considera una pérdida muy baja y si esta duración es mayor a 30 dias, se considera como una pérdida muy alta. En caso de existir viviendas,

líneas eléctricas, caminos o algún otro elemento cercano al talud del corte, se considerará como una pérdida esperada muy alta.

Los valores obtenidos de la tabla 28 para cada elemento en riesgo, se suman, y se dividen entre el número de elementos considerados, de esta manera se obtiene el valor promedio de la perdida.

3.4 Análisis del Riesgo a Deslizamientos

El término Riesgo, frecuentemente se emplea para referirse a cualquier proceso más o menos violento que puede afectar a las personas o bienes, y se aplica como sinónimo de peligrosidad, ambos conceptos son diferentes. La Peligrosidad se refiere al proceso geológico, el Riesgo a las perdidas y la Amenaza a los daños. (Gonzales de Vallejo L., Ferrer M., Ortuño L. y Oteo C., 2002).

El Riesgo es una medida de la probabilidad y severidad de un efecto adverso a la vida, la salud, la propiedad o el ambiente. Se mide en vidas humanas, propiedades en riesgo y daños ambientales. El riesgo generalmente, es estimado como el producto de la probabilidad de la amenaza por las consecuencias o pérdidas esperadas para los elementos en riesgo (Suarez J. 1998).

$$R = (A \cdot P) \quad \text{---------- (3)}$$

Dónde:

R = Riesgo del corte

A = Amenaza

P = Pérdida esperada

Los riesgos pueden ser priorizados para un análisis cuantitativo posterior y para establecer las estrategias de respuesta al riesgo, basándose en su calificación. Las calificaciones son asignadas a los riesgos basándose en la probabilidad y el impacto evaluados. La evaluación de la importancia de cada riesgo y, por consiguiente, de su prioridad, generalmente se realiza usando una tabla de búsqueda o una matriz de probabilidad e impacto, dicha matriz específica combinaciones de probabilidad e impacto que llevan a la calificación de los riesgos como de prioridad baja, moderada o alta. Pueden usarse términos descriptivos o valores numéricos, dependiendo de la preferencia de la organización. (Dennis B., Et al, 2004).

La Figura 28 muestra la Matriz de Priorización de Riesgos, aplicable a la Metodología para la Planeación de la Estabilización de Taludes en Cortes Carreteras, la combinación de probabilidad e impacto resultan en una clasificación de riesgo muy alto (“estado rojo”), alto (“estado naranja”), medio o moderado (“estado amarillo”), bajo (“estado azul”), o muy bajo (“estado verde”).

Probabilidad de ocurrencia										
Magnitud de las pérdidas esperadas			Muy Bajo		Bajo		Medio		Alto		Muy alto
			0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
	Muy bajo	0.1	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
		0.2	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.12	0.14	0.16	0.18
	Bajo	0.3	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.18	0.21	0.24	0.27
		0.4	0.04	0.08	0.12	0.16	0.2	0.24	0.28	0.32	0.36
	Medio	0.5	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45
		0.6	0.06	0.12	0.18	0.24	0.3	0.36	0.42	0.48	0.54
	Alto	0.7	0.07	0.14	0.21	0.28	0.35	0.42	0.49	0.56	0.63
		0.8	0.08	0.16	0.24	0.32	0.4	0.48	0.56	0.64	0.72
	Muy Alto	0.9	0.09	0.18	0.27	0.36	0.45	0.54	0.63	0.72	0.81

Figura 28. Matriz de Priorización de Riesgos.

Un análisis cualitativo de riesgos requiere datos exactos y sin sesgos para que sea creíble, tener un alto grado de entendimiento del riesgo, la exactitud, calidad, fiabilidad e integridad de los datos. El uso de datos sobre riesgos de baja calidad puede llevar a un análisis cualitativo de riesgos de poca utilidad para el proyecto. Si la calidad de los datos es inaceptable, puede ser necesario recopilar datos mejores. (Dennis B., Et al, 2004).

En la tabla 29, se muestra la clasificación y el nivel del riesgo, de acuerdo al porcentaje obtenido en el análisis y la matriz de priorización de riesgos, en cada clase se describen las características del riesgo que representan y las medidas inmediatas a realizar. En el siguiente capítulo se tomaran medidas más objetivas para mitigar los efectos de los taludes con mayor nivel de riesgo.

Tabla 29. Clasificación propuesta para el Riesgo a Deslizamientos en carreteras

RIESGO			DESCRIPCIÓN	COLOR
Clasificación	Nivel	Porcentaje		
Inminente	I Muy alto	50-81%	Riesgo en el que se deben iniciar trabajos de estabilización ya que se tiene la certeza de falla en el talud con altas consecuencias. No puede permitirse el transito por vias de comunicación con estas caracteristicas.	
Urgente	II Alto	26-49%	Riesgo de gran importancia, en el que se debe realizar estudios a detalle, para determinar la forma de mitigación mas eficiente.	
Intermedio	III Medio	11-25%	Riesgo medio, en el que se debe realizar estudios a detalle, para determinar si es necesaria la aplicación de elementos de protección y/o estabilización	
Moderado	IV Bajo	4-10%	Riesgo razonable, es posible realizar mejoramientos superficiales a los taludes de esta categoria, sin embargo no requieren tratamientos costosos.	
Tolerable	V Muy bajo	1-3%	Riesgo permisible para la carretera, no es necesario implementar medidas de mejoramiento al talud, los recursos deberán asignarse a otro corte.	

Con los datos obtenidos se realiza un listado del Riesgo de cada corte, para ello se propone utilizar el formato de la ficha mostrado en la figura 29, está compuesto por las columnas que identifican cada corte del proyecto, al igual que en los otros formatos de la Metodología, adelante aparece el valor de la Amenaza y las Pérdidas Esperadas, así como los valores del Riesgo y su clasificación.

Para localizar de una manera visual los niveles de riesgo de cada talud, se realiza un mapa de riesgos (Figura 30), en donde se indica el Nivel de Riesgo de cada corte, así como el Riesgo General del tramo carretero. La información generada hasta esta etapa es de gran utilidad para la toma de decisiones en un corto plazo de tiempo durante la construcción del proyecto.

El Nivel de Riesgo obtenido es el riesgo natural del tramo carretero, el cual deberá ser avaluado para determinar la necesidad de implementar medidas de estabilización, que permitan reducir los niveles de riesgo.

Planeación Estrategica para la estabilidad de taludes

RIESGOS CONSTRUCCIÓN

Proyecto: _____ **Lado del talud:** _____

Frente de Trabajo: _____ **Fecha:** _____

Longitud del Frente: _____

No	Comienzo	Termino	Amenaza	Perdidas esperadas	Nivel de riesgo	
					Valor	Claficiación

Figura 29. Ficha “Riesgos Construcción” propuesta para enlistar los cortes y el Nivel de Riesgo de cada uno de ellos.

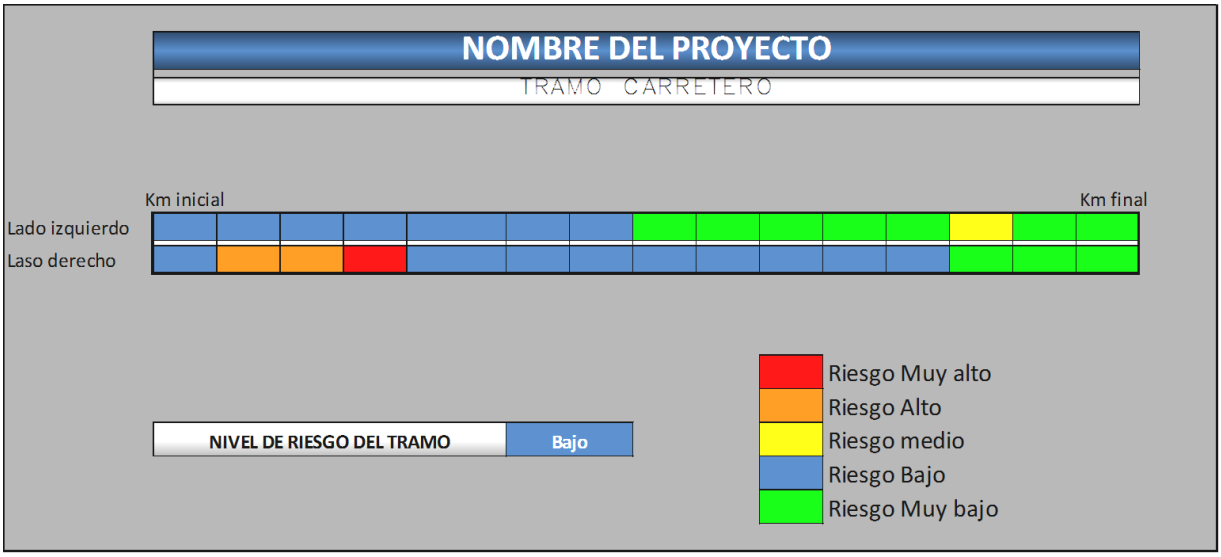


Figura 30. Mapa de Riesgos de la Carretera

3.5 Control y Seguimiento del Riesgo

La Planificación de la respuesta a los riesgos es el proceso de desarrollar opciones y determinar acciones para mejorar las oportunidades y reducir las amenazas a los objetivos del proyecto, aborda los riesgos en función de su prioridad, introduciendo recursos y actividades en el presupuesto, cronograma y plan de gestión del proyecto, según sea necesario (Dennis B., Et al, 2004). Por ello en la tercera etapa de la metodología se plantean estrategias para realizar la estabilización y protección de los taludes de mayor riesgo.

3.5.1 Estrategias para Riesgos Negativos o Amenazas

Hay disponibles varias estrategias de respuesta a los riesgos según Dennis et al (2004), para cada riesgo, se debe seleccionar la estrategia o la combinación de estrategias con mayor probabilidad de ser efectiva, se ocupan de las amenazas o los riesgos que pueden tener impactos negativos sobre los objetivos del proyecto en caso de ocurrir, estas estrategias se describen a continuación:

- Evitar el riesgo implica cambiar el plan de gestión del proyecto para eliminar la amenaza que representa un riesgo adverso, aislar los objetivos del proyecto del impacto del riesgo o relajar el objetivo que está en peligro, por ejemplo, ampliando el cronograma o reduciendo el alcance. Algunos riesgos que surgen en las etapas tempranas del proyecto pueden ser evitados aclarando los requisitos, obteniendo información, mejorando la comunicación o adquiriendo experiencia.
- Transferir el riesgo requiere trasladar el impacto negativo de una amenaza, junto con la propiedad de la respuesta, a un tercero. Transferir el riesgo simplemente da a otra parte la responsabilidad de su gestión; no lo elimina. Transferir la responsabilidad del riesgo es más efectivo cuando se trata de exposición a riesgos financieros. Transferir el riesgo casi siempre supone el pago de una prima de riesgo a la parte que toma el riesgo.
- Mitigar el riesgo implica reducir la probabilidad y / o el impacto de un evento de riesgo adverso a un umbral aceptable. Adoptar acciones tempranas para reducir la probabilidad de la ocurrencia de un riesgo y / o su impacto sobre el proyecto a menudo es más efectivo que tratar de reparar el daño después de que ha ocurrido el riesgo.

En la Metodología se buscara mitigar el riesgo en aquellos taludes, que de acuerdo al análisis de riesgo, pueden ocasionar los mayores efectos negativos en el proyecto, por lo que los taludes de la carretera que representen el mayor riesgo, serán analizados para determinar su estabilidad.

En la actualidad, existen diferentes metodologías disponibles para conocer el Factor de Seguridad de un talud, entre los que se encuentran los métodos de equilibrio límite y los métodos numéricos. La mayoría de los análisis de estabilidad se realizan utilizando programas comerciales de “software”, los cuales permiten analizar taludes complejos o con cantidad significativa de información, de forma eficiente (Suárez J., 1998).

Se considera un talud estable si se obtiene un Factor de Seguridad mayor a 1, sin embargo, en la práctica profesional es muy común adoptar valores superiores, considerando que la información utilizada para realizar el modelo geotécnico, algunas veces se ve alterada durante las pruebas de campo y laboratorio.

En la figura 31 se muestran los resultados de un análisis de estabilidad de taludes, utilizando el programa Slope/W 4.0, obteniendo el Factor de Seguridad.

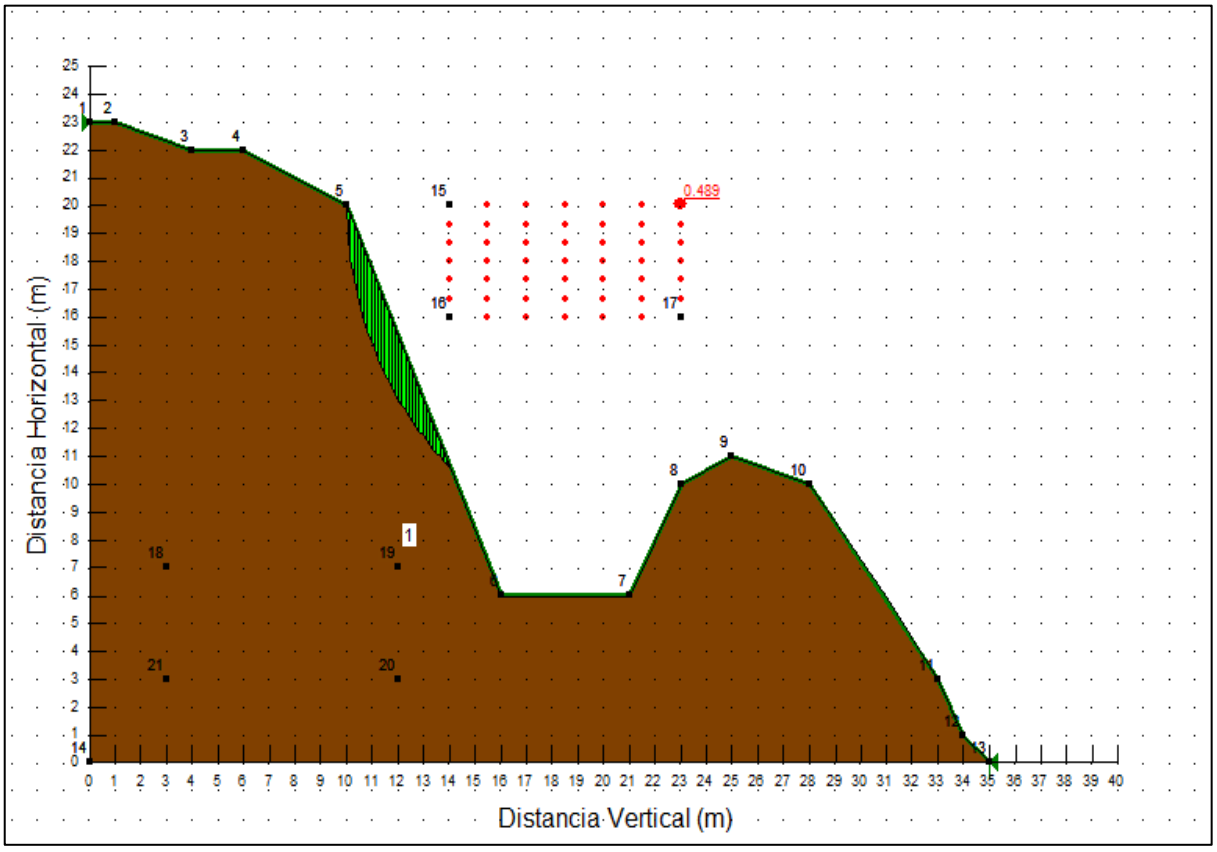


Figura No 31. Análisis de estabilidad del talud para obtener el Factor de Seguridad.

Una vez obtenido el Factor de Seguridad para los taludes de mayor riesgo, se verifica la estabilidad del talud de acuerdo al criterio establecido en la tabla 30.

Tabla 30. Estabilidad del talud según el Factor de Seguridad.

Factor de seguridad	Condición	Acción
< 1.5	Talud inestable	Estabilizar
> 1.5	Talud estable	Proteger

La protección de los taludes será recomendada de acuerdo a las características geológicas, a fin de proporcionar a la superficie del talud, un recubrimiento que cumpla con los requisitos técnicos y económicos del proyecto, para ello se plantea utilizar Concreto Lanzado para las condiciones extremas de meteorización y discontinuidades, así como resistencia a la compresión simple bajas. El Manto Geosintético para condiciones altas de meteorización y discontinuidades. La Malla Triple Torsión en taludes rocosos con grado de meteorización y discontinuidades Alto. Drenes Transversales en el caso que la precipitación promedio diaria sea mayor a 200 mm. En la tabla 31 se muestra el criterio empleado para la asignación del método de protección.

Tabla 31. Criterio propuesto para asignar la protección de taludes

Metodo de Protección para el talud	Resistencia a la compresión simple	Discontinuidades	Grado de meteorización	Precipitación promedio diaria (mm)
Concreto Lanzado	"Media" a "Suave"	"Extremo"	"Extremo"	
Manto Geosintético	"Media" a "Suave"	"Alto"	"Alto"	
Drenes transversales				Mayor a 200 mm
Malla Triple torsión	"Dura" a "Muy dura"	"Alto"	"Alto"	

Para la estabilización de taludes inestables (Factor de Seguridad menor a 1.5), se deberá recurrir a realizar nuevamente el análisis de estabilidad, considerando elementos de refuerzo (Anclas de Fricción o Tensión), elementos de drenaje (Drenes Profundos), disminución de fuerzas actuantes (Abatimiento de talud), o contención para el material inestable (Muros de Contención), con el objetivo de aumentar el factor de seguridad. En la tabla 32 se propone una manera cualitativa

para asignar el tipo de método de estabilización que se debe considerar para los taludes de mayor riesgo.

Tabla 32. Criterio propuesto para asignar la estabilización de taludes

Método de estabilización	Criterio propuesto
Anclas	Taludes con nivel de riesgo Alto a muy alto
Muros de Contención	Taludes con nivel de riesgo Alto a muy alto
Rectificación Geométrica	Taludes con nivel de riesgo medio a muy alto

Los resultados obtenidos se integran en una tabla que indica las cantidades a utilizar en cada talud de mayor riesgo. (Figura 32).

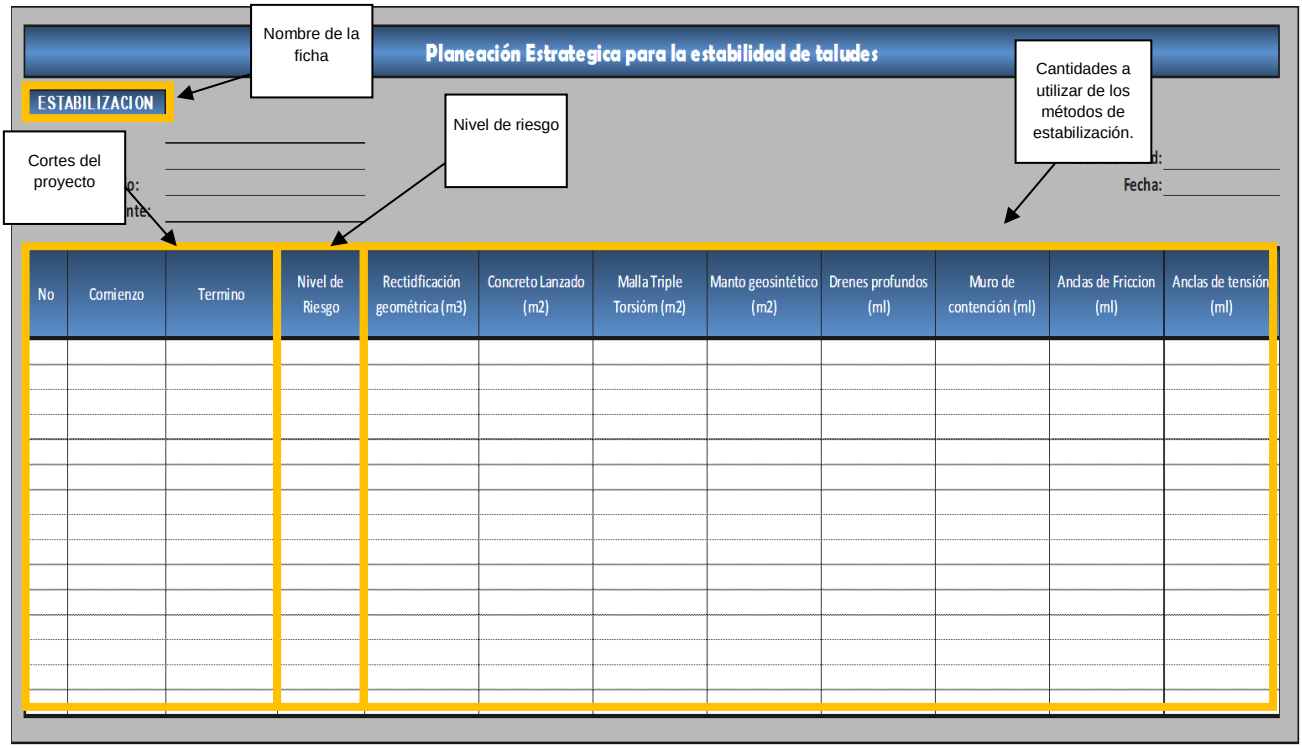


Figura No 32. Ficha “Estabilización” con las cantidades de estabilización para los cortes de mayor riesgo.

3.5.2 Indicadores de la Planeación Estratégica

De acuerdo a las estrategias establecidas en la planeación, se revisará el porcentaje de éxito alcanzado en la integración de la metodología, para ello se evalúan los indicadores establecidos en la tabla dos del primer capítulo.

En el caso de la estrategia uno, el indicador para evaluar el éxito alcanzado es el porcentaje completado de la información, para ello se calcula la cantidad de datos registrados en cada ficha de la Metodología. En la tabla 33 se muestra el listado de las fichas que deberán ser rellenadas, así como la comparación que se deberá realizar entre la cantidad de datos requeridos y cantidad de datos registrados realmente.

Tabla 33. Listado de cantidad de datos registrados en cada ficha

Nombre de la ficha	Cantidad de datos requeridos	Cantidad de datos registrados
Geometría	100%	-
Geología	100%	-
Geotecnia	100%	-
Clima	100%	-
Sísmica	100%	-
Total	**100%**	**-**

Para la evaluación del indicador de la estrategia dos, se tomará el nivel de riesgo obtenido a partir de la ficha “Nivel de riesgo”, el resultado de esta estrategia, se encuentra implícito en el proceso de la Metodología, ya que al conocer el resultado del Análisis de Riesgo, alcanzamos el objetivo de establecer el nivel de riesgo original del tramo carretero, que va desde una categoría muy baja a una muy alta.

Finalmente la tercera estrategia planteada, consiste en mitigar el riesgo a deslizamientos de nuestros taludes, para ello se han planteado métodos de estabilización y protección de taludes, que al ser implementados permiten disminuir los niveles de riesgo en aquellos taludes que se consideren de prioridad alta, de esta manera, el Nivel de Riesgo del tramo carretero será bajo.

Capítulo 4. Aplicación de la Metodología en un caso real

A continuación, se presenta un ejemplo de la aplicación de la Metodología propuesta, a un tramo carretera ubicada en el estado de Oaxaca, perteneciente a la Autopista Mitla-Tehuantepec, este proyecto contempla el desarrollo de 169 kilómetros de camino, y como parte de la logística de construcción, se ha dividido el proyecto en 14 subtramos. El ejemplo se aplicara en el Subtramo 7 de este proyecto que comprende la construcción del km 98+800 al km 106+000.

4.1 Información de entrada

La primera etapa consiste en reunir la información Geométrica, Geológica, Geotécnica, Climatológica y Sísmica del tramo carretera en cuestión. En la figura 33 se muestra la información Geométrica de los taludes del subtramo 7 de la carretera.

Planeación Estrategica para la estabilidad de taludes

GEOMETRÍA

Proyecto: Carretera Mitla-Tehuantepec, Oax. **Lado del talud:** Izquierdo
Frente de Trabajo: Subtramo 7 **Fecha:** 26-mar-14
Longitud del Frente: 7,213.92 m

No	Comienzo	Termino	Longitud	Altura Maxima	Pendiente	Sección crítica
1	98+880	99+000	120.00	13.32	0.75	98+940
2	99+200	99+280	80.00	6.84	0.75	99+229
3	99+400	99+512	111.60	8.45	0.75	99+460
4	99+700	99+720	20.00	3.45	0.75	99+711
5	99+820	99+940	120.26	30.15	0.75	99+892
6	100+060	100+140	80.00	10.52	0.75	100+120
7	100+260	100+400	140.00	24.13	0.75	100+340
8	100+720	100+758	37.65	6.84	0.55	100+740
9	100+815	100+980	165.41	13.22	0.52	100+850
10	101+180	101+440	260.00	26.78	0.52	101+247
11	101+660	101+720	60.00	17.78	0.52	101+675
12	101+900	102+100	200.00	43.64	0.00	101+964
13	102+400	102+640	240.00	25.03	0.75	102+540
14	102+734	102+740	5.90	2.15	0.75	102+740
15	102+880	103+200	320.00	26.36	0.75	103+100
16	103+352	103+380	27.80	7.82	0.75	103+380
17	103+420	103+426	5.70	1.14	0.75	103+426
18	103+460	103+860	400.00	24.96	1.00	103+520
19	104+040	104+080	40.00	3.39	1.00	104+070
20	104+160	104+360	200.00	19.99	0.25	104+260
21	104+410	104+760	350.39	25.59	0.25	104+583
22	105+020	105+080	60.00	10.03	0.25	105+040
23	105+160	105+500	340.00	20.98	0.25	105+400
24	105+620	105+961	340.76	39.65	0.25	105+905
25	106+060	106+094	33.92	44.71	0.75	106+094

Figura No 33. Ejemplo de la ficha Geometría para el Subtramo 7 de la Carretera Mitla-Tehuantepec, Oaxaca.

En la ficha Geología, se utiliza el mismo número de talud, para identificar su ubicación y descripción en la Metodología, y de acuerdo a los criterios establecidos en el capítulo dos, en la figura 34 se muestra la información geológica de cada uno de los taludes del Subtramo 7, como puede observarse, las resistencias a la compresión simple dan como resultado en la mayoría de los casos una clasificación “Dura”, con una clasificación “baja” de discontinuidades y grado de meteorización “bajo”, por lo que se puede esperar que desde el punto de vista geológico, la incidencia en la inestabilidad de taludes sea poca.

Planeación Estratégica para la estabilidad de taludes

GEOLOGÍA

Proyecto:	Carretera Mitla-Tehuantepec, Oax.	**Lado del talud:**	Izquierdo
Frente de Trabajo:	Subtramo 7	**Fecha:**	26-mar-14
Longitud del Frente:	7,213.92		

No	Comienzo	Termino	Resistencia a la compresión simple	Discontinuidades	Grado de Meteorización
1	98+880	99+000	DURA	BAJO	BAJO
2	99+200	99+280	DURA	BAJO	BAJO
3	99+400	99+512	DURA	BAJO	BAJO
4	99+700	99+720	DURA	BAJO	BAJO
5	99+820	99+940	DURA	BAJO	BAJO
6	100+060	100+140	DURA	BAJO	BAJO
7	100+260	100+400	DURA	BAJO	BAJO
8	100+720	100+758	DURA	BAJO	BAJO
9	100+815	100+980	DURA	BAJO	BAJO
10	101+180	101+440	DURA	BAJO	BAJO
11	101+660	101+720	DURA	BAJO	BAJO
12	101+900	102+100	DURA	BAJO	BAJO
13	102+400	102+640	SUAVE	MODERADO	ALTO
14	102+734	102+740	SUAVE	MODERADO	ALTO
15	102+880	103+200	SUAVE	MODERADO	ALTO
16	103+352	103+380	SUAVE	MODERADO	ALTO
17	103+420	103+426	SUAVE	ALTO	ALTO
18	103+460	103+860	SUAVE	ALTO	ALTO
19	104+040	104+080	SUAVE	ALTO	ALTO
20	104+160	104+360	DURA	BAJO	BAJO
21	104+410	104+760	DURA	BAJO	BAJO
22	105+020	105+080	DURA	BAJO	BAJO
23	105+160	105+500	DURA	BAJO	BAJO
24	105+620	105+961	MEDIA	BAJO	BAJO
25	106+060	106+094	MEDIA	BAJO	BAJO

No 34. Ejemplo de la ficha Geología para el Subtramo 7 de la Carretera Mitla-Tehuantepec, Oaxaca.

En la ficha Geotecnia (figura 35), se colocan los valores de Ángulo de Fricción, Cohesión y Peso Específico, para cada uno de los cortes, de igual manera que en las demás fichas, el número que identifica cada corte se mantiene.

Planeación Estratégica para la estabilidad de taludes

GEOTECNIA

Proyecto:	Carretera Mitla-Tehuantepec, Oax.	**Lado del talud:**	Izquierdo
Frente de Trabajo:	Subtramo 7	**Fecha:**	26-mar-14
Longitud del Frente:	7,213.92		

No	Comienzo	Termino	Ángulo de Fricción (Grados)	Cohesión (kg/cm2)	Peso especifico (ton/m3)
1	98+880	99+000	25.00	2.00	1.90
2	99+200	99+280	25.00	2.00	1.90
3	99+400	99+512	25.00	2.00	1.90
4	99+700	99+720	25.00	2.00	1.90
5	99+820	99+940	25.00	2.00	2.60
6	100+060	100+140	25.00	2.00	2.60
7	100+260	100+400	20.00	2.00	1.90
8	100+720	100+758	20.00	2.00	1.90
9	100+815	100+980	20.00	2.00	1.90
10	101+180	101+440	20.00	2.00	1.90
11	101+660	101+720	20.00	2.00	1.90
12	101+900	102+100	20.00	2.00	1.90
13	102+400	102+640	30.00	2.50	1.90
14	102+734	102+740	30.00	2.50	1.90
15	102+880	103+200	30.00	2.50	1.90
16	103+352	103+380	30.00	2.50	1.90
17	103+420	103+426	30.00	2.50	1.90
18	103+460	103+860	30.00	2.50	1.90
19	104+040	104+080	30.00	2.50	1.90
20	104+160	104+360	30.00	2.50	1.90
21	104+410	104+760	30.00	2.50	1.90
22	105+020	105+080	30.00	2.50	1.90
23	105+160	105+500	30.00	2.50	1.90
24	105+620	105+961	30.00	2.50	1.90
25	106+060	106+094	30.00	2.50	1.90

Figura No 35. Ejemplo de la ficha Geotecnia para el Subtramo 7 de la Carretera Mitla-Tehuantepec, Oaxaca.

En la figura 36 se muestran las fichas Clima y Sísmica, se considera solamente un parámetro a evaluar en cada una, se debe tener en cuenta que la incidencia en conjunto de estos dos factores de estabilidad de un talud, es menor que la de los demás factores, sin embargo contribuyen en la clasificación del Nivel de Riesgo.

Planeación Estrategica para la estabilidad de taludes

CLIMA Y SÍSMICA

Proyecto:	Carretera Mitla-Tehuantepec, Oax.	**Lado del talud:**	Izquierdo
Frente de Trabajo:	Subtramo 6	**Fecha:**	28-jul-15
Longitud del Frente:	6,460.00		

No	Comienzo	Termino	Zona sísmica	Precipitación media diaria (mm)
1	90+700	90+820	C	150.0
2	90+940	91+080	C	150.0
3	91+260	91+300	C	150.0
4	91+420	91+460	C	150.0
5	91+540	91+640	C	150.0
6	91+660	91+780	C	150.0
7	91+800	92+006	C	150.0
8	92+060	92+347	C	150.0
9	92+519	92+649	C	150.0
10	92+740	92+840	C	150.0
11	92+920	93+100	C	150.0
12	93+240	93+340	C	150.0
13	93+892	94+160	C	150.0
14	94+280	94+300	C	150.0
15	94+380	94+810	C	150.0
16	94+840	94+860	C	150.0
17	95+000	95+080	C	150.0
18	95+200	95+216	C	150.0
19	95+240	95+460	C	150.0
20	95+580	95+780	C	150.0
21	95+800	95+821	C	150.0
22	96+000	96+200	C	150.0
23	96+380	96+540	C	150.0
24	96+780	96+820	C	150.0
25	96+909	96+940	C	150.0
26	96+980	97+040	C	150.0
27	97+084	97+160	C	150.0

Figura No 36. Ejemplo de la ficha Clima y Sísmica para el Subtramo 7 de la Carretera Mitla-Tehuantepec, Oaxaca.

El inventario obtenido con la información recopilada se muestra en la figura 37, en el podemos identificar de manera objetiva el número de taludes, los que presentan mayor altura, condiciones geológicas desfavorables, etc., esto permite tener información relevante al momento de realizar un Análisis de Riesgos.

PLANEACIÓN ESTRATEGICA PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES

GEOMETRÍA	GEOLOGÌA	GEOTECNIA	CLIMA	SISMICA

Proyecto: Carretera Mitla-Tehuantepec, Oax.
Frente de Trabajo: Subtramo 7
Longitud del Frente: 7,213.92 m
Lado del talud: Izquierdo
Fecha: 26-mar-14

No	Comienzo	Termino	Longitud	Altura Maxima	Pendiente	Resistencia a la compresión simple	Discontinuidades	Grado de Meteorización	Ángulo de Fricción (Grados)	Cohesión (kg/cm2)	Peso especifico (ton/m3)	Precipitación media diaria (mm)	ZONA SISMICA
1	98+880	99+000	120.00	13.32	0.75	DURA	BAJO	BAJO	25.00	2.00	1.90	150.00	C
2	99+200	99+280	80.00	6.84	0.75	DURA	BAJO	BAJO	25.00	2.00	1.90	150.00	C
3	99+400	99+512	111.60	8.45	0.75	DURA	BAJO	BAJO	25.00	2.00	1.90	150.00	C
4	99+700	99+720	20.00	3.45	0.75	DURA	BAJO	BAJO	25.00	2.00	1.90	150.00	C
5	99+820	99+940	120.26	30.15	0.75	DURA	BAJO	BAJO	25.00	2.00	2.60	150.00	C
6	100+060	100+140	80.00	10.52	0.75	DURA	BAJO	BAJO	25.00	2.00	2.60	150.00	C
7	100+260	100+400	140.00	24.13	0.75	DURA	BAJO	BAJO	20.00	2.00	1.90	150.00	C
8	100+720	100+758	37.65	6.84	0.55	DURA	BAJO	BAJO	20.00	2.00	1.90	150.00	C
9	100+815	100+980	165.41	13.22	0.52	DURA	BAJO	BAJO	20.00	2.00	1.90	150.00	C
10	101+180	101+440	260.00	26.78	0.52	DURA	BAJO	BAJO	20.00	2.00	1.90	150.00	C
11	101+660	101+720	60.00	17.78	0.52	DURA	BAJO	BAJO	20.00	2.00	1.90	150.00	C
12	101+900	102+100	200.00	43.64	0.00	DURA	BAJO	BAJO	20.00	2.00	1.90	150.00	C
13	102+400	102+640	240.00	25.03	0.75	SUAVE	MODERADO	ALTO	30.00	2.50	1.90	150.00	C
14	102+734	102+740	5.90	2.15	0.75	SUAVE	MODERADO	ALTO	30.00	2.50	1.90	150.00	C
15	102+880	103+200	320.00	26.36	0.75	SUAVE	MODERADO	ALTO	30.00	2.50	1.90	150.00	C
16	103+352	103+380	27.80	7.82	0.75	SUAVE	MODERADO	ALTO	30.00	2.50	1.90	150.00	C
17	103+420	103+426	5.70	1.14	0.75	SUAVE	ALTO	ALTO	30.00	2.50	1.90	150.00	C
18	103+460	103+860	400.00	24.96	1.00	SUAVE	ALTO	ALTO	30.00	2.50	1.90	150.00	C
19	104+040	104+080	40.00	3.39	1.00	SUAVE	ALTO	ALTO	30.00	2.50	1.90	150.00	C
20	104+160	104+360	200.00	19.99	0.25	DURA	BAJO	BAJO	30.00	2.50	1.90	150.00	C
21	104+410	104+760	350.39	25.59	0.25	DURA	BAJO	BAJO	30.00	2.50	1.90	150.00	C
22	105+020	105+080	60.00	10.03	0.25	DURA	BAJO	BAJO	30.00	2.50	1.90	150.00	C
23	105+160	105+500	340.00	20.98	0.25	DURA	BAJO	BAJO	30.00	2.50	1.90	150.00	C
24	105+620	105+961	340.76	39.65	0.25	MEDIA	BAJO	BAJO	30.00	2.50	1.90	150.00	C
25	106+060	106+094	33.92	44.71	0.75	MEDIA	BAJO	BAJO	30.00	2.50	1.90	150.00	C

Figura No 37. Inventario de Factores de Estabilidad para los taludes del Subtramo 7 de la Carretera Mitla-Tehuantepec, Oaxaca.

En este punto concluye la etapa uno de la Metodología, con la información obtenida se procede a realizar el Análisis de Riesgo a Deslizamiento.

4.2 Análisis de Riesgo a Deslizamiento

En la etapa de dos de la Metodología se propone realizar el Análisis de Riesgo a Deslizamiento para cada uno de los taludes, por tal motivo, en la figura 38 se muestra la ficha Amenaza, en la que aparecen los resultados obtenidos de la evaluar los factores de estabilidad con el criterio propuesto a lo largo del capítulo tres de la planeación, obteniendo el porcentaje de probabilidad de que ocurra un deslizamiento para cada talud del Subtramo 7, de acuerdo a sus factores de estabilidad.

PLANEACIÓN ESTRATEGICA PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES

VALORACIÓN DE PORCENTAJES DE AMENAZA

No	LONGITUD	ALTURA MAX	TALUD	ESTRUCTURA	GRADO DE FRACTURACIÓN	GRADO DE METEORIZACIÓN	ANGULO DE FRICCION	COHESION	PESO ESPECIFICO	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (mm)	REGION SISMICA	% AMENAZA
1	2.00	3.00	3.00	4.00	1.00	2.00	3.00	2.00	2.00	2.00	3.00	63.00
2	2.00	2.00	3.00	4.00	1.00	2.00	3.00	2.00	2.00	2.00	3.00	59.25
3	1.00	2.00	3.00	4.00	1.00	2.00	3.00	2.00	2.00	2.00	3.00	58.00
4	1.00	1.00	3.00	4.00	1.00	2.00	3.00	2.00	2.00	2.00	3.00	54.25
5	2.00	3.00	3.00	4.00	1.00	2.00	3.00	2.00	2.00	2.00	3.00	63.00
6	2.00	2.00	3.00	4.00	1.00	2.00	3.00	2.00	2.00	2.00	3.00	59.25
7	2.00	3.00	3.00	4.00	1.00	2.00	3.00	2.00	2.00	2.00	3.00	63.00
8	3.00	2.00	3.00	4.00	1.00	2.00	3.00	2.00	2.00	2.00	3.00	60.50
9	2.00	1.00	3.00	4.00	1.00	2.00	3.00	2.00	2.00	2.00	3.00	55.50
10	2.00	1.00	3.00	4.00	1.00	2.00	3.00	2.00	2.00	2.00	3.00	55.50
11	2.00	3.00	3.00	4.00	1.00	2.00	3.00	2.00	2.00	2.00	3.00	63.00
12	2.00	2.00	3.00	4.00	1.00	2.00	3.00	2.00	2.00	2.00	3.00	59.25
13	3.00	3.00	2.00	4.00	1.00	2.00	3.00	2.00	2.00	2.00	3.00	63.00
14	1.00	1.00	2.00	4.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	50.50
15	3.00	2.00	3.00	4.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	58.00
16	1.00	1.00	3.00	4.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	51.75
17	2.00	3.00	3.00	4.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	60.50
18	1.00	1.00	3.00	4.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	51.75
19	2.00	2.00	3.00	4.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	56.75
20	2.00	2.00	3.00	4.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	56.75
21	1.00	1.00	2.00	4.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	50.50
22	2.00	2.00	3.00	4.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	56.75
23	2.00	2.00	3.00	4.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	56.75
24	1.00	1.00	3.00	4.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	51.75
25	1.00	1.00	3.00	4.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	51.75
26	2.00	2.00	3.00	4.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	56.75
27	2.00	2.00	3.00	4.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	56.75

Figura No 38. Ficha “Amenaza” con valores obtenidos de la evaluación con el criterio propuesto en la metodología.

Como puede observarse, la amenaza a deslizamientos es alta, en la mayoría de los casos se encuentra arriba del cincuenta por ciento de probabilidad de ocurrencia. Aunque este dato puede parecer alarmante, es necesario evaluar los

elementos en riesgo que se tienen en caso de que ocurra el deslizamiento, para ello se emplean los criterios establecidos en el Capítulo Tres, considerando la mano de obra, el equipo, la superficie y los días de trabajo que son afectados. En la figura 39 se muestran los Elementos en Riesgo con sus respectivos valores de pérdida, así mismo la Vulnerabilidad de estos elementos, se calcula según la altura del talud, afectando directamente el valor de los elementos en riesgo.

Planeación estratégica para la estabilidad de taludes

ELEMENTOS EN RIESGO

Proyecto: Carretera Mitla-Tehuantepec, Oax.
Frente de Trabajo: Subtramo 7
Longitud del Frente 7,213.92 m

No	Comienzo	Termino	Mano de obra (Personas)	Maquinaria (costo)	Volumen de deslizamiento (m3)	Superficie afectada (m2)	Duración de reparación (Dias)	Vulnerabilidad	Otros
1	98+880	99+000	4.00	$ 2,500,000.00	2,781.36	675.39	2.00	0.50	0.00
2	99+200	99+280	4.00	$ 2,500,000.00	264.39	109.80	0.00	0.25	0.00
3	99+400	99+512	4.00	$ 2,500,000.00	809.04	331.34	1.00	0.25	0.00
4	99+700	99+720	4.00	$ 2,500,000.00	60.11	64.27	0.00	0.25	0.00
5	99+820	99+940	4.00	$ 2,500,000.00	10,214.70	1,033.80	7.00	0.75	0.00
6	100+060	100+140	4.00	$ 2,500,000.00	1,035.18	261.59	1.00	0.50	0.00
7	100+260	100+400	4.00	$ 2,500,000.00	6,197.68	798.83	4.00	0.50	0.00
8	100+720	100+758	4.00	$ 2,500,000.00	294.48	113.02	0.00	0.25	0.00
9	100+815	100+980	4.00	$ 2,500,000.00	2,041.44	560.21	1.00	0.50	0.00
10	101+180	101+440	4.00	$ 2,500,000.00	17,769.62	2,184.53	12.00	0.75	0.00
11	101+660	101+720	4.00	$ 2,500,000.00	2,788.53	637.18	2.00	0.50	0.00
12	101+900	102+100	4.00	$ 2,500,000.00	41,472.02	3,007.72	28.00	0.75	0.00
13	102+400	102+640	4.00	$ 2,500,000.00	13,798.98	1,389.37	9.00	0.75	0.00
14	102+734	102+740	4.00	$ 2,500,000.00	103.94	97.32	0.00	0.25	0.00
15	102+880	103+200	4.00	$ 2,500,000.00	18,963.12	2,016.46	13.00	0.75	0.00
16	103+352	103+380	4.00	$ 2,500,000.00	475.19	137.64	0.00	0.25	0.00
17	103+420	103+426	4.00	$ 2,500,000.00	7.58	13.69	0.00	0.25	0.00
18	103+460	103+860	4.00	$ 2,500,000.00	11,053.50	1,492.68	7.00	0.50	1.00
19	104+040	104+080	4.00	$ 2,500,000.00	80.20	66.79	0.00	0.25	0.00
20	104+160	104+360	4.00	$ 2,500,000.00	11,822.10	1,426.96	8.00	0.50	0.00
21	104+410	104+760	4.00	$ 2,500,000.00	18,367.52	2,658.38	12.00	0.75	0.00
22	105+020	105+080	4.00	$ 2,500,000.00	1,499.33	414.37	1.00	0.50	0.00
23	105+160	105+500	4.00	$ 2,500,000.00	12,040.91	1,785.55	8.00	0.50	0.00
24	105+620	105+961	4.00	$ 2,500,000.00	39,358.15	3,463.59	26.00	0.75	0.00
25	106+060	106+094	4.00	$ 2,500,000.00	2,171.13	194.96	1.00	0.75	0.00

Figura No 39. Ficha “Elementos en riesgo” con valores obtenidos de la evaluación con el criterio propuesto en la metodología.

En la figura 40, aparecen los valores asignados a cada elemento en riesgo y el porcentaje de pedidas esperadas en cada talud, como puede observarse en este

caso, el porcentaje de perdidas esperadas es variable de acuerdo a cada talud, en la cual se va identificando aquellos casos que representan una mayor pérdida.

Planeación estratégica para la estabilidad de taludes

PERDIDAS ESPERADAS

Proyecto: Carretera Mitla-Tehuantepec, Oax.
Frente de Trabajo: Subtramo 7
Longitud del Frente: 7,213.92
Lado del talud: Izquierdo
Fecha: 26-mar-14

No	Comienzo	Termino	Mano de obra (Personas)	Maquinaria (costo)	Volumen de deslizamiento (m3)	Superficie afectada (m2)	Duración de reparación (Dias)	Otros	% Perdidas esperadas
1	98+880	99+000	1.00	1.00	0.25	0.25	0.25	0.00	0.46
2	99+200	99+280	1.00	0.75	0.10	0.10	0.10	0.00	0.34
3	99+400	99+512	1.00	0.75	0.10	0.10	0.10	0.00	0.34
4	99+700	99+720	1.00	0.75	0.10	0.10	0.10	0.00	0.34
5	99+820	99+940	1.00	1.00	0.50	0.50	0.50	0.00	0.58
6	100+060	100+140	1.00	1.00	0.10	0.25	0.10	0.00	0.41
7	100+260	100+400	1.00	1.00	0.25	0.25	0.25	0.00	0.46
8	100+720	100+758	1.00	0.75	0.10	0.10	0.10	0.00	0.34
9	100+815	100+980	1.00	1.00	0.25	0.25	0.10	0.00	0.43
10	101+180	101+440	1.00	1.00	0.75	0.75	0.50	0.00	0.67
11	101+660	101+720	1.00	1.00	0.25	0.25	0.25	0.00	0.46
12	101+900	102+100	1.00	1.00	1.00	0.75	0.75	0.00	0.75
13	102+400	102+640	1.00	1.00	0.75	0.75	0.50	0.00	0.67
14	102+734	102+740	1.00	0.75	0.10	0.10	0.10	0.00	0.34
15	102+880	103+200	1.00	1.00	0.75	0.75	0.50	0.00	0.67
16	103+352	103+380	1.00	0.75	0.10	0.10	0.10	0.00	0.34
17	103+420	103+426	1.00	0.75	0.10	0.10	0.10	0.00	0.34
18	103+460	103+860	1.00	1.00	0.50	0.50	0.25	0.00	0.54
19	104+040	104+080	1.00	0.75	0.10	0.10	0.10	0.00	0.34
20	104+160	104+360	1.00	1.00	0.50	0.50	0.25	0.00	0.54
21	104+410	104+760	1.00	1.00	0.75	0.75	0.50	0.00	0.67
22	105+020	105+080	1.00	1.00	0.10	0.25	0.10	0.00	0.41
23	105+160	105+500	1.00	1.00	0.50	0.50	0.25	0.00	0.54
24	105+620	105+961	1.00	1.00	0.75	0.75	0.75	0.00	0.71
25	106+060	106+094	1.00	1.00	0.25	0.25	0.10	0.00	0.43

Figura No 40. Ficha “Perdidas Esperadas” para cada talud del Subtramo 7, carretera Mitla-Tehuantepec, Oaxaca.

El Riesgo a Deslizamientos para cada talud se presenta en la figura 41, se obtiene multiplicado los datos obtenidos de la Amenaza y las Perdidas Esperadas, en la

columna Nivel de Riesgo se aprecia el valor y la clasificación obtenida para cada talud, obteniendo como resultado niveles de riesgo que van desde muy bajo hasta niveles medios.

Planeación Estrategica para la estabilidad de taludes

RIESGOS CONSTRUCCIÓN

Proyecto: Carretera Mitla-Tehuantepec, Oax.
Frente de Trabajo: Subtramo 7
Longitud del Frente: 7,213.92 m
Lado del talud: Izquierdo
Fecha: 26-mar-14

No	Comienzo	Termino	Amenaza	Perdidas esperadas	Nivel de riesgo	
					Valor	Claficiación
1	98+880	99+000	0.50	0.46	0.23	Medio
2	99+200	99+280	0.46	0.34	0.16	Bajo
3	99+400	99+512	0.45	0.34	0.15	Bajo
4	99+700	99+720	0.44	0.34	0.15	Bajo
5	99+820	99+940	0.54	0.58	0.31	Medio
6	100+060	100+140	0.46	0.41	0.19	Bajo
7	100+260	100+400	0.56	0.46	0.26	Medio
8	100+720	100+758	0.48	0.34	0.16	Bajo
9	100+815	100+980	0.53	0.43	0.23	Medio
10	101+180	101+440	0.58	0.67	0.38	Medio
11	101+660	101+720	0.53	0.46	0.24	Medio
12	101+900	102+100	0.61	0.75	0.46	Alto
13	102+400	102+640	0.64	0.67	0.43	Alto
14	102+734	102+740	0.56	0.34	0.19	Bajo
15	102+880	103+200	0.66	0.67	0.44	Alto
16	103+352	103+380	0.54	0.34	0.19	Bajo
17	103+420	103+426	0.56	0.34	0.19	Bajo
18	103+460	103+860	0.66	0.54	0.36	Medio
19	104+040	104+080	0.56	0.34	0.19	Bajo
20	104+160	104+360	0.50	0.54	0.27	Medio
21	104+410	104+760	0.55	0.67	0.37	Medio
22	105+020	105+080	0.46	0.41	0.19	Bajo
23	105+160	105+500	0.51	0.54	0.28	Medio
24	105+620	105+961	0.59	0.71	0.42	Alto
25	106+060	106+094	0.59	0.43	0.25	Medio
					0.00	

Figura No 41. Ficha “Riesgos de construcción”, para cada talud del Subtramo 7, carretera Mitla-Tehuantepec, Oaxaca.

Como resultado del Análisis de Riesgos, también se obtiene un mapa de riesgo a deslizamientos para el Subtramo 7 (figura 42), en el que se muestran las zonas de la carretera que de acuerdo a la clasificación propuesta, debe ser prioritarias en su atención.

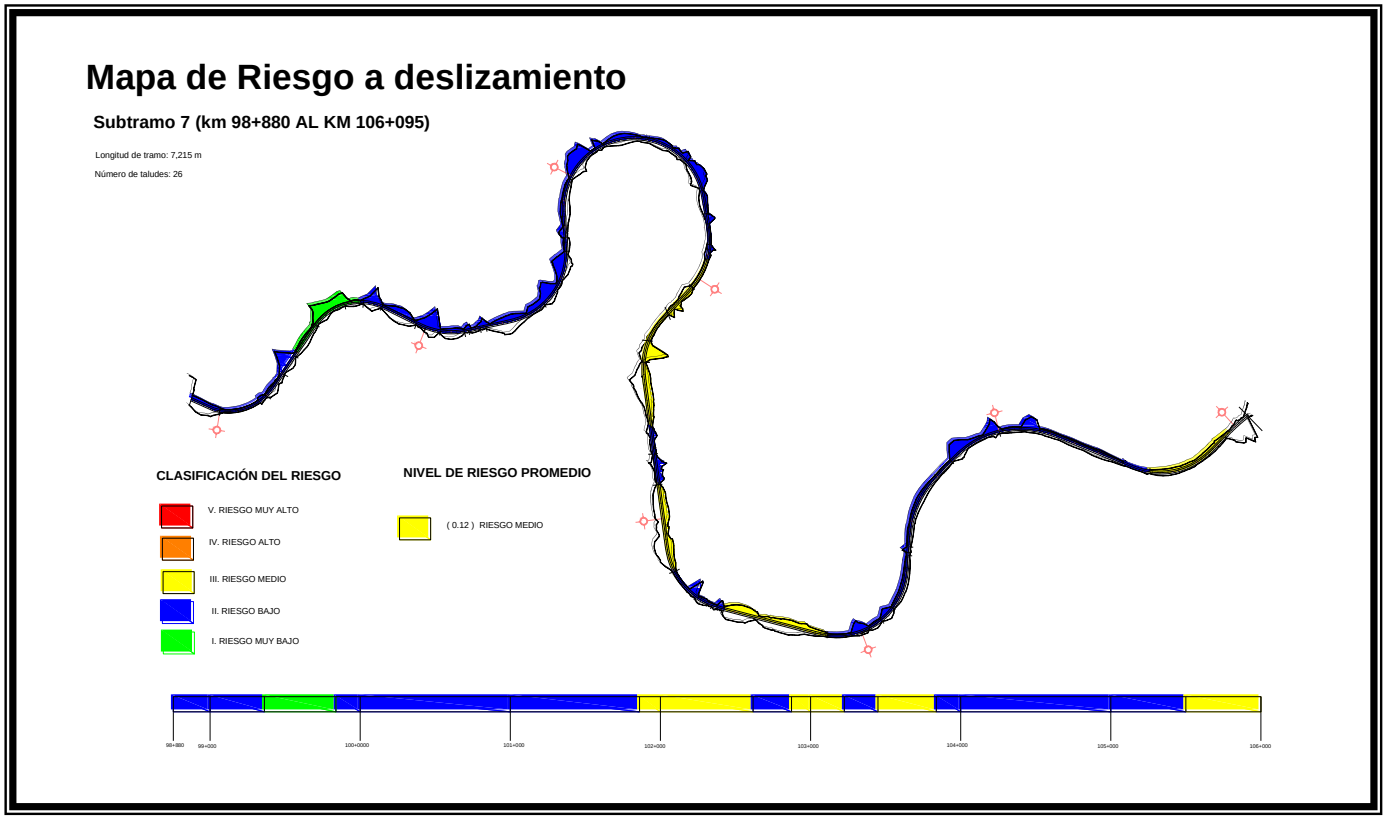


Figura No 42. Mapa de Riesgo a deslizamientos del Subtramo 7, carretera Mitla-Tehuantepec, Oaxaca.

Las propuestas de estabilización y protección deberán disminuir el nivel de riesgo en cada corte, es por ello, la tercera etapa de la Metodología contempla realizar la recomendación para estabilizar los taludes de mayor riesgo, basada en los criterios establecidos en el capítulo tres, en las tablas 31 y 32. En este caso se propone realizar medidas de estabilización y protección, en los taludes que tuvieron un nivel de riesgo Alto, que son los siguientes:

- Talud 12 del km 101+900 al 102+100
- Talud 13 del km 102+400 al 102+640
- Talud 15 del km 102+880 al 103+200
- Talud 24 del km 105+620 al 105+961

En la figura 43 se muestra la tabla con los métodos a emplear en la estabilización y protección de taludes de riesgo medio, así mismo se estiman las cantidades a emplear, en base a las características geométricas obtenidas en la etapa uno.

Planeación estratégica para la estabilidad de taludes

ESTABILIZACION

Proyecto: Carretera Mitla-Tehuantepec, Oax.
Frente de Trabajo: Subtramo 7
Longitenor a "MODERAD 7,213.92 m

Lado del talud: Izquierdo
Fecha: 26-mar-14

No	Comienzo	Termino	Nivel de Riesgo	Rectidficación geométrica	Concreto Lanzado	Malla Triple Torsiôm	Manto geosintético	Drenes profundos	Muro contención	Anclas de Friccion	Anclas de tensión
1	98+880	99+000	Medio	-	-	-	-	-	-	-	-
2	99+200	99+280	Bajo	-	-	-	-	-	-	-	-
3	99+400	99+512	Bajo	-	-	-	-	-	-	-	-
4	99+700	99+720	Bajo	-	-	-	-	-	-	-	-
5	99+820	99+940	Medio	-	-	-	-	-	-	-	-
6	100+060	100+140	Bajo	-	-	-	-	-	-	-	-
7	100+260	100+400	Medio	-	-	-	-	-	-	-	-
8	100+720	100+758	Bajo	-	-	-	-	-	-	-	-
9	100+815	100+980	Medio	-	-	-	-	-	-	-	-
10	101+180	101+440	Medio	-	-	-	-	-	-	-	-
11	101+660	101+720	Medio	-	-	-	-	-	-	-	-
12	101+900	102+100	Alto	-	-	-	-	1,325.00	-	-	1,250.00
13	102+400	102+640	Alto	-	-	-	4,579.54	-	-	-	-
14	102+734	102+740	Bajo	-	-	-	-	-	-	-	-
15	102+880	103+200	Alto	-	-	-	6,769.72	-	-	-	-
16	103+352	103+380	Bajo	-	-	-	-	-	-	-	-
17	103+420	103+426	Bajo	-	-	-	-	-	-	-	-
18	103+460	103+860	Medio	-	-	-	-	-	-	-	-
19	104+040	104+080	Bajo	-	-	-	-	-	-	-	-
20	104+160	104+360	Medio	-	-	-	-	-	-	-	-
21	104+410	104+760	Medio	-	-	-	-	-	-	-	-
22	105+020	105+080	Bajo	-	-	-	-	-	-	-	-
23	105+160	105+500	Medio	-	-	-	-	-	-	-	-
24	105+620	105+961	Alto	39,358.15	-	-	-	-	-	-	-
25	106+060	106+094	Medio	-	-	-	-	-	-	-	-

Figura No 43. Ficha “Estabilización” con las cantidades y métodos de protección de taludes recomendados para el Subtramo 7 de la Carretera Mitla-Tehuantepec, Oaxaca.

Los resultados obtenidos, generan una base de datos, con información que puede ser utilizada con fines estadísticos, tan grande que pueden ser divididos en diversas categorías, entre ellas se encuentran las siguientes:

- Número de taludes del proyecto
- Longitud promedio de cada corte
- Altura promedio de los taludes
- Nivel de riesgo a deslizamiento de los taludes
- Nivel de riesgo a deslizamiento de la carretera

En la tabla 34 se muestra un ejemplo de los datos más relevantes, obtenidos de la Metodología y que podrán ser comparados con otros proyectos carreteros.

Tabla 34. Resumen de datos estadísticos obtenidos en la planeación.

Longitud del tramo (km)	Número de taludes	Altura promedio de los taludes (m)	Longitud promedio de los taludes (m)	Riesgo a deslizamientos	
7.21	25.00	18.28	150.38	0.27	Medio

Para realizar la evaluación de la estrategia uno se compara la cantidad de datos registrados, obteniendo un cien por ciento de datos registrados en el ejemplo. (Tabla 35).

Tabla 35. Datos registrados en la fichas de la Metodología

Nombre de la ficha	Porcentaje de datos registrados
Geometría	100%
Geología	100%
Geotecnia	100%
Clima	100%
Sísmica	100%
Total	**100%**

El segundo indicador de la Metodología es el nivel de riesgo original del tramo carretero, en este caso el resultado del análisis de riesgo, determino que el nivel de riesgo del Subtramo 7 de la Carretera Mitla-Tehuantepec, en el estado de Oaxaca, corresponde a un nivel medio.

Así mismo una vez determinados los métodos de estabilización para los taludes de mayor riesgo, la implementación de los mismos cambiara automáticamente la clasificación del riesgo alto a una baja, lo que trae como resultado que los puntos críticos del tramo carretero hayan disminuido su Nivel de Riesgo hasta el nivel bajo.

En la tabla 36 se muestran la evaluación de los indicadores establecidos en la planeación para determinar el éxito alcanzado con la aplicación de la Metodología.

Tabla 36. Resumen de indicadores de la Metodología.

Estrategia	Indicador	Meta	Obtenido
Estabilidad de taludes	Porcentaje completado de la información	Mayor a 90%	100%
Análisis de riesgos	Nivel de riesgo original	Muy bajo a muy alto	Medio
Análisis de resultados	Nivel de riesgo actual	Bajo	Bajo

Los retos que hoy en día afrontamos para construir una carretera, deben ser estudiados a profundidad, para dominar y controlar las variables, que nos permitan obtener la perfección en la técnica de estabilizar taludes.

Conclusiones

El estudio de la estabilidad de taludes no es tarea fácil, alcanzar el éxito de un proyecto, depende en gran medida de las decisiones tomadas en el proceso de construcción, por tal motivo se hace necesario apoyarse en diferentes herramientas de solución, como la Planeación Estratégica y el Análisis de Riesgos, que ayudan a resolver la amplia y compleja problemática de índole técnica, social, ambiental y económica, que presentan los taludes de los cortes de una carretera.

La planeación establecida, se basa en cuatro etapas principales, diseñadas de manera práctica y simplificada, para que pueda ser implementada en los proyectos, invirtiendo solo el tiempo requerido, que permita al constructor, consultar información relevante para la toma de decisiones y la ejecución del proyecto.

Al implementar una Metodología para la planeación de los tratamientos requeridos en los taludes en corte de una carretera, basada en el riesgo geológico, se obtienen parámetros medibles en todos los proyectos de su tipo, mismos que pueden ser utilizados para definir método constructivo de estabilización más eficiente, valorar los posibles costos de inversión en proyectos, así mismo, los resultados obtenidos en proyectos anteriores, quedan registrados y no se pierde la experiencia obtenida en la obra, ampliando el acervo técnico y cultural del tema.

Los resultados obtenidos al utilizar una metodología en la planeación de la estabilización y protección de taludes, son los siguientes:

1. El impacto social del proyecto, disminuye al considerar los elementos en riesgo que se tienen dentro y fuera del área de trabajo, tanto los trabajadores de la empresa, como los miembros de las comunidades, son alertados de posibles deslizamientos en la zona, y el conocimiento de los riesgos permite tomar medidas preventivas para evitar daños en el área circundante del talud, protegiendo de esta manera no sólo la infraestructura, sino las vidas humanas de la zona.

2. El impacto económico en la ejecución de los trabajos, se optimiza al tener definidas las alternativas de solución para los taludes que representen mayor peligro, de esta manera se destinan los recursos necesarios para que los riesgos de la carretera sean mitigados, y los costos de estas acciones se mantengan dentro del margen programado, de acuerdo a las necesidades del proyecto.

3. El impacto ambiental ocasionado por la falla de taludes, se ve disminuido al prevenir los casos de deslizamientos y evitar en la medida de lo posible que estos sucedan, de igual manera al conocer las superficies del terreno susceptibles de ser afectadas, se pueden incluir en los programas de remediación ambiental.

La Metodología obtenida, hace posible la comparación, medición y mejora de las soluciones implementadas en los proyectos carreteros de nuestro país, así mismo, al estar basada en el riesgo geológico de cada talud, los recursos son empleados de manera eficiente, atendiendo no solo aquellos taludes que son susceptibles a fallar, sino también, aquellos que tendrán el mayor impacto negativo en el resultado del proyecto.

Aún falta mucha investigación para el desarrollo de una metodología que pueda satisfacer todos los aspectos asociados a la estabilidad de taludes, existe una gran cantidad de variables, que difícilmente podrán ser modeladas mediante parámetros lineales, sin embargo, la búsqueda de alternativas para solucionar estas limitantes, es sin duda necesaria, y se requiere implementar nuevas propuestas de forma sistemática, para que cada día estemos más cerca de una solución satisfactoria en todos los aspectos de un proyecto.

Referencias Bibliográficas

- Suarez, J., 1998, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales; Instituto de Investigaciones Sobre Erosión y Deslizamientos, Ingeniería de Suelos Ltda., Bucaramanga, Colombia.
- Brand, E. W., 1985, Predicting the performance of residual soil slopes, Proc. 11th Int. Conf. on Soil Mechs. and Fundation Engrg., San Francisco, Balkema, Vol. 5.
- Hoek Evert. “Practical rock Engeeniring” apuntes
- Estudio Geológico- Geotécnico, del tramo Mitla-Tehuantepec,Oaxaca. Consutloria Betsco.
- Guevara Ortiz Enrique et. Al., 2004, Guía básica para la elaboración de Atlas estatales y municipales de peligros y riesgos, Ed. CENAPRED.
- Gonzales de Vallejo L., Ferrer M., Ortuño L., Oteo C., 2002, Ingeniería Geológica, Madrid, Ed. Prentice Hall.
- Dennis Bolles Et al, 2004, Guía de los fundamentos de la dirección de proyectos, Tercera edición, Project Management Institute.EE.UU.
- Normas SCT. “Drenes de penetración transversal” N-CTR-CAR-1-03-012/00
- Normativa SCT. 2004, Ejecución de estudios geológicos, N-PRY-CAR-1-03-001/00
- Normativa SCT. 2004, Abatimiento de taludes, N-CTR-CAR-1-01-014/00
- Normativa SCT. 2004, Concreto Lanzado, N-CTR-CAR-1-01-017/00
- Normativa SCT. 2004, Anclas, N-CTR-CAR-1-01-016/00
- Oscar Esquinas Sancho Et Al, 2012, Transferencia de riesgos en la colaboración Público-privadas en el mundo.
- Rius Gibert J.M. y Aguiló r., 2013, Aplicación del Índice RHRS para la Evaluación del Riesgo de Inestabilidad de Taludes en la Carretera MA-10 de la Sierra de Tramuntana de Mallorca, VIII Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables, Palma de Mallorca.
- Consultoría BETSCO, 2008, Estudio Geológico-Geotécnico del tramo Mitla-Tehuantepec, de la carretera Oaxaca-Tehuantepec, en el estado de Oaxaca, Dirección General de Carreteras. México D.F.
- Secretaria de Comunicaciones Y transporte, 2013. <http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGAF/EST_BASICA/EST_BASICA_2004/EST2004_12_Infraestructura.pdf> [Acceso el 15 marzo 2013]

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2014, <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/clima/> [Acceso el 17 de marzo 2014].
- Burgwal, Gerrit y Cuéllar, Juan Carlos, 1999, “Planificación Estratégica y Operativa aplicada a gobiernos locales. Manual de facilitación”. Abya Yala, Ecuador.
- Asian Technical Committee on Geoetchnology for natural Hazards in ISSMFE, 1997, “Manual for zonation on areas susceptible to rain induced slope failure”. Japanese Geotechnical Society.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2014, “Principales Estadísticas del Sector Comunicaciones y Transportes”. Mexico D.F.