



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

ANÁLISIS DE RIESGO Y VULNERABILIDAD EN PROYECTOS DE CARRETERAS

José Antonio Palma Colindres

Asesorado por el Ing. Carlos Humberto Castillo Mancilla

Guatemala, noviembre de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE RIESGO Y VULNERABILIDAD EN
PROYECTOS DE CARRETERAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSÉ ANTONIO PALMA COLINDRES

ASESORADO POR EL ING. CARLOS HUMBERTO CASTILLO MANCILLA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Walter Rolando Salazar González
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Días
EXAMINADOR	Ing. Alejandro Castañón López
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ANÁLISIS DE RIESGO Y VULNERABILIDAD EN PROYECTOS DE CARRETERAS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha abril de 2011.



Handwritten signature of José Antonio Palma Colindres, enclosed in an oval shape.

José Antonio Palma Colindres

Guatemala, 13 de Noviembre de 2012

Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila
Coordinador del Área de Topografía y Transportes
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Guatemala

Estimado Ingeniero:

Atentamente me permito presentar ante usted el trabajo de graduación titulado **ANÁLISIS DE RIESGO Y VULNERABILIDAD EN PROYECTOS DE CARRETERAS**, desarrollado por el estudiante universitario de la carrera de Ingeniería Civil, José Antonio Palma Colindres, trabajo que demuestra importancia para el área de Ingeniería Vial, manifestando que el mismo cumple satisfactoriamente con los propósitos planteados en el programa, por lo que doy por aprobado el presente trabajo de graduación.

Sin otro particular, me suscribo de usted atentamente,


Ing. Carlos Humberto Castillo Mancilla
Asesor de Tesis

CARLOS H. CASTILLO MANCILLA
INGENIERO CIVIL
COLEGIADO 2705



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
23 de noviembre de 2012

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **ANÁLISIS DE RIESGO Y VULNERABILIDAD EN PROYECTOS DE CARRETERAS**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil José Antonio Palma Colindres, quien contó con la asesoría del Ing. Carlos Humberto Castillo Mancilla.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila
Coordinador del Área de Topografía y Transportes

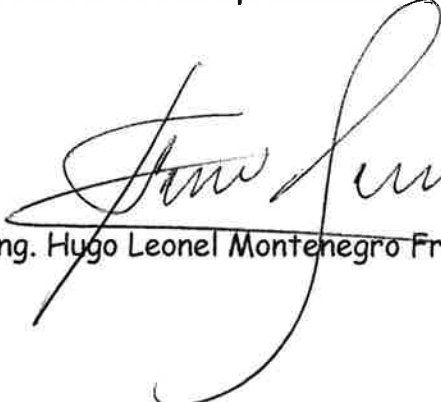



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
TRANSPORTES
USAC

bbdeb.



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Carlos Humberto Castillo Mancilla y del Coordinador del Área de Topografía y Transportes, Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila, al trabajo de graduación del estudiante José Antonio Palma Colindres, titulado **ANÁLISIS DE RIESGO Y VULNERABILIDAD EN PROYECTOS DE CARRETERAS**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, noviembre de 2012.

/bbdeb.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS DE RIESGO Y VULNERABILIDAD EN PROYECTOS DE CARRETERAS**, presentado por el estudiante universitario **José Antonio Palma Colindres**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, 27 de noviembre de 2012

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Fuente de toda sabiduría, por su infinita fidelidad al permitirme alcanzar esta meta.
La Virgen María	Por enseñarme siempre a ver hacia delante, y dar siempre lo mejor de mí.
Mis padres	Delmira Colindres Montoya de Palma y José Antonio Palma Romero, por su amor, comprensión y esmero en mi educación.
Mi abuela	Herminia Montoya Molina de Colindres (q.e.p.d.) por su amor, comprensión y consejos incomparables, bendita seas.
Mis abuelos	Héctor Ovidio Colindres Paz y Juan Antonio Palma Villagrán (q.e.p.d.), a ambos por sus consejos tan sabios, y a inspirarme a seguir esta carrera.
Mis hermanos	José, Claudia y Leslie Palma Colindres, por su apoyo incondicional.
Mi novia	Sofía Santiago, por su amor y apoyo rotundo en todo el trayecto de mi carrera.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por haberme dado la oportunidad de culminar mi carrera profesional, y enseñado todo lo que sé y a comprender que siempre seré un aprendiz.
Mis padres	Por todo el apoyo que incondicionalmente me han aportado.
Ing. Carlos Humberto Castillo Mancilla	Por su amistad y valiosa ayuda y sus conocimientos que sin envidia ni recelo fueron compartidos y sin los cuales no hubiese sido posible la elaboración del presente trabajo.
Ing. José Wilfredo García Barrientos	Por su gran apoyo en mi área laboral.
Licda. Angélica María Gálvez López	Por su valioso apoyo en el transcurso de mi carrera.
Mis amigos	De trabajo, y de promoción, gracias a todos.
La Facultad de Ingeniería	Por ser mí casa de estudios y cuna de todas mis enseñanzas.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. LA REDUCCIÓN DE RIESGO EN LOS PROYECTOS DE CARRETERAS.....	1
1.1. Contenido	1
1.2. Marco conceptual	2
1.3. Importancia del análisis del riesgo en los proyectos de carreteras.	3
1.4. Procedimiento para evaluar el riesgo en las carreteras.....	4
2. ANÁLISIS DE AMENAZAS.....	7
2.1. Análisis del historial de las amenazas	7
2.2. Análisis de estudios de pronóstico de amenazas	10
2.3. Grado de recurrencia de las amenazas.....	12
2.4. Amenazas a considerar en los proyectos de carreteras	12
2.4.1. Sismo.....	12
2.4.2. Inundación	18
2.4.3. Viento.....	22
2.4.4. Deslizamiento	27

2.4.5.	Erupciones volcánicas.....	29
2.4.6.	Antrópicas.....	32
3.	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD	35
3.1.	Análisis de vulnerabilidad por exposición.....	35
3.1.1.	Zonas de localización	35
3.2.	Análisis de vulnerabilidad por fragilidad	38
3.2.1.	Elementos estructurales de la carretera	38
3.3.	Análisis de vulnerabilidad por falta de resiliencia	53
3.3.1.	Mantenimiento en carreteras	54
4.	ANÁLISIS DE RIESGOS.....	57
4.1.	Identificación de medidas de reducción de riesgo.....	59
4.2.	Identificación de medidas de reducción de riesgo por exposición.	62
4.2.1.	Estrategias para amenazas específicas	62
4.3.	Identificación de medidas de reducción de riesgo por fragilidad.....	63
4.3.1.	Tipos de desastres en carreteras	63
4.3.2.	Efectos de los desastres naturales sobre la infraestructura	64
4.3.2.1.	Efectos sobre la infraestructura por los terremotos.....	64
4.3.2.2.	Efectos sobre la infraestructura por los huracanes	65
4.3.2.3	Efectos sobre la infraestructura por las erupciones volcánicas.....	65
4.4.	Identificación de medidas de reducción de riesgo por	

resiliencia.....	66
4.4.1. Aspectos prácticos en la etapa de preparación	66
4.4.2. Aspectos prácticos en la etapa de alerta	66
4.4.3 Análisis de aspectos técnicos a evaluar en prevención de desastres naturales en carreteras	67
5. APLICACIÓN PRACTICA.....	69
5.1. Desarrollo	70
5.2. Características de la zona	71
5.3. Análisis de resultados.....	74
CONCLUSIONES	81
RECOMENDACIONES.....	83
BIBLIOGRAFÍA.....	85
APÉNDICES	87
ANEXOS	91

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Sismo por movimiento por placas tectónicas	14
2.	Sismo por acción volcánica	16
3.	Sismo por falla local	18
4.	Inundación en carretera	21
5.	Precipitación del aire	23
6.	Tipos de Erupciones volcánicas	32
7.	Derecho de vía en una carretera	37
8.	Esquema del comportamiento del pavimento flexible y rígido	39
9.	Pasos a desnivel	44
10.	Terraplén	47
11.	Principales tipos de muros de contención	48
12.	Tipos de bordillos	51
13.	Sección típica de una carretera	53
14.	Tramo de estudio	70
15.	Mapa geológico del área del proyecto	73

TABLAS

I.	Información a obtener en el Mapa Parlante	9
II.	Fuentes y proveedores de información para el Mapa Parlante	11
III.	Taludes en carreteras	41
IV.	Matriz de medida de mitigación	61
V.	Matriz de medida de mitigación área de estudio	74

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
CA-01 OCC	Carretera Centro Americana – 01 Occidente
km	Kilómetros
km/h	Kilómetros por hora
msnm	Metros sobre el nivel del mar
TPDA	Tráfico promedio diario anual

GLOSARIO

Amenaza	Probabilidad de que un evento de escala y categoría determinada cause algún daño en particular.
Análisis de Vulnerabilidad	Cuantificación y determinación de la capacidad de respuesta o resistencia de un sistema.
CEPREDENAC	Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central.
Confiabilidad	Grado de resistencia ante un daño específico.
CONRED	Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres.
COVIAL	Unidad de Conservación Vial.
Desastre	Fenómeno natural o actividad humana que afecta los intereses de la sociedad, ya que éste causa caos o pérdidas en cualquier área, incluyendo la comunicación y el transporte terrestre.
Desastre inducido	Es un desastre, pero producido por influencia humana.
Desastre natural	Desastres ocasionados por un fenómeno producto de la naturaleza.

DGC	Dirección General de Caminos.
Emergencia	Situación fuera de control que se presenta por el impacto de un desastre.
Evento natural	Es la manifestación de todos los procesos de la naturaleza, sin afectar al ser humano.
Fenómeno natural	Procesos permanentes de movimientos y de transformaciones que sufre la naturaleza.
IGN	Instituto Geográfico Nacional.
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología, e Hidrología.
Medidas de mitigación	Conjunto de acciones y obras a implementar antes del impacto de amenazas para disminuir la vulnerabilidad de los dispositivos y sistemas.
Prevención	Acciones de preparación para disminuir el efecto del impacto de los desastres.
Riesgo	Es una probabilidad de ocurrencia de un evento natural dado de determinada magnitud, duración, localización y frecuencia.
SEGEPLAN	Secretaría General de Planificación.

SIECA	Secretaría de Integración Económica de Centroamérica.
SIME	Sistema Integrado del Manejo de Emergencias.
Tramo	Porción de camino existente que se define para realizar un estudio.
Vulnerabilidad	Capacidad de respuesta de un dispositivo o sistema, ante la presencia de un evento. En otras palabras es el grado de daño susceptible que experimentan las personas, dispositivos o sistemas ante la presencia de un fenómeno natural.

RESUMEN

Los fenómenos naturales o inducidos por el hombre representan una amenaza y pueden alcanzar la escala de desastre cuando produce daños y/o pérdidas, un desastre no es un proceso puramente natural, sino que es un evento natural o inducido que ocurre donde hay actividades humanas, la probabilidad de ocurrencia de un desastre (riesgo) puede ser clasificada como baja, media o alta, se debe conocer el grado de respuesta ante el mismo (análisis de vulnerabilidad), y para cada una de ellas deben existir dispositivos que aumenten esta capacidad de respuesta (medidas de mitigación). Estas medidas de mitigación pueden ser estructurales, las cuales dan protección ante un peligro.

Los desastres en carreteras pueden ser de origen natural, antrópicos o inducidas por alteraciones al estado natural, cada uno de éstos tiene efectos sobre la infraestructura, los cuales deben ser clasificados según su origen y evaluados los daños, para diseñar medidas de mitigación que sean económicamente factibles.

En el contexto de carreteras, los desastres causan daños a los taludes de corte o de relleno, drenaje menor, drenaje mayor, carpeta asfáltica y a los apoyos de los puentes. Sobre cada uno de ellos se realizará un estudio determinando cuáles son sus características, sus puntos vulnerables y cuáles son las posibles soluciones según la o las amenazas que afecten los dispositivos en estudio. Mencionando una serie de medidas de mitigación, sus consideraciones a tomar y sus aplicaciones.

OBJETIVOS

Generales

Presentar al profesional y al estudiante de la carrera de Ingeniería Civil, un documento de apoyo que facilite y oriente la inclusión del análisis de riesgo y vulnerabilidad en proyectos nuevos y existentes de ingeniería de carreteras.

Orientar a los planificadores de proyectos de carreteras a diseñar obras de ingeniería que disminuyan el riesgo a desastres empleando para su construcción, especificaciones que estén normados por estándares internacionales como son las Normas ISO 9001, y las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes, edición 2001.

Específicos

1. Identificar los sitios críticos donde hay signos de amenaza en el tramo a estudiar, tanto en taludes, muros de contención, amenazas por: deslizamientos, desbordamiento de ríos, etc.
2. Conceptualizar y desarrollar instrumentos de soporte para el análisis de riesgos como una contribución a los instrumentos de planificación en el marco del análisis de riesgos y vulnerabilidad en proyectos de carreteras.
3. Establecer criterios estándar para evaluar las amenazas y recomendar medidas de mitigación, a fin de seleccionar las alternativas más adecuadas al proyecto de carretera (tramo de estudio).

INTRODUCCIÓN

Un estudio de análisis de riesgo es un instrumento dirigido a incorporarse a la planificación de los proyectos de carreteras. Este estudio pretende responder a una determinada realidad y a un contexto específico. Por lo tanto, lo que se pretende describir son las características para el análisis, el cual puede ser utilizado como base para estudios similares.

Un análisis de riesgo asociado a un tramo de carretera se realiza partiendo de dos etapas fundamentales previas: la evaluación de amenazas y la evaluación de vulnerabilidad respectivamente.

Para realizar la evaluación de amenazas, el paso fundamental es conocer la fuente potencial de desastres (inundaciones, deslizamientos, huracanes, erupciones volcánicas, sismos, etc.)

Para la evaluación de la vulnerabilidad, lo fundamental consiste en conocer el grado de exposición de la carretera, a la fuente potencial de amenazas, así como la capacidad de respuesta de ésta, durante y después de la presencia de un fenómeno natural.

1. LA REDUCCIÓN DE RIESGO EN LOS PROYECTOS DE CARRETERAS

1.1. Contenido

El estudio inicia con el planteamiento de un marco teórico y metodológico, que facilitará la comprensión del contenido del análisis de riesgo y vulnerabilidad en proyectos de carreteras.

Este trabajo inicia con el análisis de las amenazas, el cual consiste en la identificación de las amenazas naturales o antrópicas que podrían afectar los proyectos de carreteras. Estas amenazas identificadas son priorizadas y agrupadas con base en un índice que, entre otros, toma en cuenta su probabilidad de ocurrencia así como su magnitud o alcance, la existencia de antecedentes y la información con que se cuenta para valorarlas.

La siguiente parte es el análisis de las vulnerabilidades, el cual consiste en identificar las vulnerabilidades asociadas a las diferentes amenazas identificadas, priorizadas y agrupadas en la etapa anterior, de acuerdo con el proyecto de carretera que se trate.

En el análisis de riesgo, se aplican medidas orientadas a reducir los efectos adversos producidos por las amenazas para el proyecto, a fin de salvaguardar la carretera, así como la vida del personal y de los usuarios que lo utilizarán.

1.2. Marco conceptual

El creciente interés por integrar la reducción de riesgo en las actividades de desarrollo se ha visto alimentado por el aumento gradual de pérdidas de vidas humanas, medios de subsistencia, activos económicos, sociales y pérdidas del bienestar de las poblaciones, como resultado de la mayor vulnerabilidad frente a los fenómenos naturales o antrópicas. Hay que tener claro que las condiciones de riesgo son resultado de un desarrollo que no considera en su proceso de planificación las amenazas potenciales y las vulnerabilidades de su territorio.

El desarrollo expresado como la interacción de procesos territoriales (uso, ocupación y transformación) y procesos sectoriales (flujos de bienes y servicios, aprovechamiento de recursos) tiene una profunda relación con la generación y acumulación del riesgo y por ende, con los desastres. Sus efectos están relacionados con las amenazas naturales o antrópicas como con las vulnerabilidades de los diferentes elementos o componentes expuestos.

La prevención, atención, rehabilitación y reconstrucción de los efectos causados por un desastre, demanda no solo la voluntad política para su realización, sino también la disposición de recursos técnicos y financieros a veces inexistentes, para encarar acciones que permitan en el corto y mediano plazo, reencauzar los procesos de desarrollo.

La gestión de riesgos, prevención y atención de desastres que se pretende impulsar en esta investigación, orienta hacia un aseguramiento del desarrollo sostenible, a través de fortalecer la capacidad de resiliencia de los

proyectos de carreteras ante los efectos provocados por fenómenos naturales o antrópicos.

1.3. Importancia del análisis de riesgo en los proyectos de carreteras

El propósito de este estudio es servir de guía para mejorar la calidad de la inversión propiciando la asignación de recursos a los proyectos de mayor rentabilidad social acordes a las prioridades nacionales. Para ello se contempla de manera integral el ciclo de vida de los proyectos de carreteras, sobre todo en la etapa de preinversión, pues ésta implica la elaboración de estudios de perfil, pre-factibilidad y factibilidad hasta que los proyectos son ejecutados y entran en operación.

En este caso, se entiende por proyectos de carreteras a los recursos que destina el sector público para crear, incrementar, modernizar, reponer, reconstruir y mejorar la capacidad del país para producir bienes y servicios, con el propósito de incrementar el bienestar de la sociedad, a través de la comunicación.

De esta manera, los proyectos de carreteras son los que forman capital fijo y se define capital fijo como: Los que generan o modifican bienes que permiten la formación bruta de capital fijo y que se materializan en una obra física, por ejemplo: carreteras, escuelas, hospitales, puentes.

Ello se debe a que se busca la asignación de recursos a los proyectos de mayor rentabilidad social, pero resulta que cuando los proyectos de carreteras son afectados por una amenaza, no sólo se interrumpe parcial o totalmente la entrega de los servicios, sino también se requieren gastos para su rehabilitación

o reconstrucción, además de que se generan pérdidas económicas, físicas y humanas.

Como consecuencia de lo anterior, los beneficios son menores a los previstos y los costos mayores a los inicialmente planificados, lo cual afecta negativamente la rentabilidad social de los proyectos. Esa es la razón principal por la que se hace necesaria la incorporación del análisis de riesgo y vulnerabilidad en los proyectos de carreteras, pues se requiere realizar asignaciones eficientes de los recursos públicos.

En este sentido, hablar de planificación y gestión de riesgo, es además de evaluar y proponer mecanismos de articulación entre los procesos sociales, con los administrativos, financieros, técnicos y políticos, es identificar inversiones seguras, en el más amplio sentido, es decir, programas, proyectos y acciones que contribuyan a reducir los efectos de las amenazas naturales y antrópicas.

1.4. Procedimiento para evaluar el riesgo en las carreteras

De acuerdo al criterio que se adoptó en este estudio para evaluar el riesgo existente en la infraestructura vial, es necesario seguir un procedimiento que cumpla con los siguientes parámetros:

- Establecer las características de la estructura y sus componentes.
- Determinar cuáles fenómenos naturales representan amenazas potenciales para el tramo vial bajo estudio.

- Evaluar las amenazas más significativas dentro del área geográfica bajo estudio.
- Estimar la vulnerabilidad global del tramo vial bajo estudio.

Estos parámetros definen un procedimiento analítico con los tres pasos generales siguientes:

- Evaluación de las amenazas: determinación de la ubicación, la severidad y la frecuencia de las amenazas naturales significativas, así como también las descripciones de los impactos esperados.
- Evaluación de vulnerabilidad: determinación del nivel de exposición del corredor vial a fenómenos naturales potencialmente peligrosos y estimación del grado de pérdidas o el daño que resultaría de la ocurrencia de un acontecimiento natural de una severidad dada.
- Evaluación de riesgo: determinaciones de los niveles de riesgo ante la vulnerabilidad de las amenazas en el corredor vial de estudio y sus componentes.

Estos tres pasos se pueden usar para evaluar la vulnerabilidad en los corredores viales ante el riesgo.

2. ANÁLISIS DE AMENAZAS

Este análisis consiste en identificar las amenazas naturales y antrópicas que podrían darse en un espacio y en un período de tiempo determinados, con suficiente magnitud para producir daños físicos, económicos y ambientales en los proyectos de carreteras que se están formulando. Para ello será necesario saber qué tipos de amenazas puedan existir en la zona en la que se localice el proyecto.

Los parámetros que se consideran en este trabajo para el análisis de las amenazas son las siguientes:

- Análisis del historial de las amenazas
- Análisis de los estudios de pronóstico de amenazas
- Grado de recurrencia de las amenazas
- Amenazas a considerar en los proyectos de carreteras

2.1. Análisis del historial de las amenazas

Comprende la elaboración de un mapa que identifique las amenazas que podrían afectar la zona en la que se localizará el proyecto, el cual puede realizarse durante la visita de campo, que generalmente, se lleva a cabo en la etapa de diagnóstico, con el fin de incorporar el conocimiento local de la población. Se debe de aprovechar la información escrita existente.

Para ello se utilizará la metodología del Mapa Parlante, cuyos objetivos, participantes e información a obtener son los siguientes:

- Objetivos del Mapa Parlante
 - Identificar en un mapa la ubicación espacial de la carretera, sus amenazas naturales y/o antrópicas.
 - Identificar las zonas de riesgo actuales, por la presencia de amenazas y factores de vulnerabilidad.
- Información a obtener

El mapa es el punto de partida para el estudio de las amenazas en la carretera y en este trabajo resulta útil para determinar las amenazas existentes en la zona, a las cuales puede estar expuesto el proyecto. Para lograr un nivel de información apropiado se debe consultar sobre los temas mencionados en la tabla I.

Tabla I. Información a obtener con el Mapa Parlante

TEMA	INFORMACIÓN
Ubicación del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> ° Tipo de suelos ° Uso del suelo
Hidrología	<ul style="list-style-type: none"> ° Cuencas ° Acueductos ° Obras de drenajes ° Mantos freaticos
Geología	<ul style="list-style-type: none"> ° Estabilidad de taludes de corte ° Estabilidad de taludes de relleno ° Mapas de fallas geológicas
Tipo de sección construida	<ul style="list-style-type: none"> ° Terraplen o relleno ° Corte en balcon ° Corte en trinchera ° Puente
Identificación de zonas que han sido afectadas por distintos peligros, indicando fechas aproximadas de ocurrencia.	<ul style="list-style-type: none"> ° Inundaciones ° Lluvias intensas ° Deslizamientos ° Sismos ° Estructuras (puentes, bóveda, tuberías)

Fuente: elaboración propia, adaptado de Dirección General de Programación Multianual del Sector Público.

2.2. Análisis de estudios de pronóstico de amenazas

Recolectar información básica sobre el terreno donde se ubicará el proyecto, así como de su entorno inmediato, en cuanto a:

- Atlas sobre las principales amenazas identificadas en el análisis y estimación de riesgo a nivel departamental, municipal, correspondientes al alineamiento del proyecto, el cual puede consultarse en CONRED.
- Mapas de amenaza sísmica, volcánica, deslizamientos, inundaciones, flujos de lava y otros, los cuales pueden consultarse en CONRED y en el INSIVUMEH.
- Planes de ordenamiento territorial, planes de gestión, estudios de micro zonificación, estudios de uso del suelo y similares, que pueden consultarse en SEGEPLAN y en el IGN.
- Inventarios históricos de desastres, información sobre incidentes atendidos, pronósticos meteorológicos, etc., que pueden consultarse en las municipalidades aledañas al proyecto, CONRED y en el INSIMUNEH.
- Mapas cartográficos y fotografías aéreas o satelitales que permitan la ubicación del proyecto, así como una visión muy general de las curvas de nivel, la estructura del suelo y subsuelo, la hidrografía y vegetación, etc. Estos mapas y fotografías se pueden obtener en el IGN.

- Información sobre temperatura, soleamiento, vientos, pluviosidad, humedad y otras, la cual se puede obtener en el INSIVUMEH.

En la tabla II se presenta un resumen de las fuentes de información, así como de los agentes proveedores.

Tabla II. **Fuentes y proveedores de información para el Mapa Parlante**

FUENTES DE INFORMACIÓN	AGENTES PROVEEDORES
1. Mapas de amenazas existentes	1. SEGEPLAN, INSIVUMEH, CONRED, IGN, INE, etc.
2. Planes de ordenamiento territorial, planes de gestión	2. Consejos de desarrollo local, municipal, departamental regional o gobiernos locales
3. Estudios de micro zonificación	3. Organizaciones no gubernamentales
4. Estudios de uso de suelo	4. Centros de estudios e investigación: universidades, centros de investigación aplicada
5. Inventario histórico de desastres	5. Otros proyectos en la zona.
6. Fotos aéreas	6, 7. IGN, consulta a informantes calificados.
7. Cartografía existente	8. INSIVUMEH
8. Información climática	9. Dirección General de Caminos
9. Normativas y reglamentos (de construcción) existentes	

Fuente: elaboración propia, adaptado de Dirección General de Programación Multianual del Sector Público.

2.3. Grado de recurrencia de las amenazas

La probabilidad de ocurrencia de una amenaza depende de su período de retorno, el cual es el tiempo esperado o tiempo medio entre dos sucesos improbables y con posibles efectos catastróficos. Así, en Ingeniería Sísmica, el período de retorno es el tiempo medio entre dos terremotos de intensidad mayor que un cierto umbral. En Guatemala, por ejemplo, el período de retorno de eventos sísmicos está en promedio entre 30 y 50 años, aunque hay fallas que han estado activas todo el tiempo.

La frecuencia se define de acuerdo con el período de recurrencia de cada una de las amenazas identificadas, el cual puede estimarse con base en información histórica o en estudios de prospectiva. La intensidad se define como el grado de impacto de una amenaza específica.

2.4. Amenazas a considerar en los proyectos de carreteras

Dentro de las amenazas a considerar que en su mayoría son naturales, es importante mencionar que también existen por la influencia del ser humano, que muchas veces actual inconscientemente. Dichas amenazas naturales y antrópicas se describen a continuación.

2.4.1. Sismo

Un sismo es una vibración de las diferentes capas de la tierra, que se produce por la liberación de energía que se da al rozarse o quebrarse un bloque de la corteza terrestre. Según las investigaciones científicas modernas, hoy se pueden identificar distintos procesos que causan sismicidad.

- Por movimiento de placas tectónicas

Las placas tectónicas son gigantescos fragmentos que abarcan tanto superficies continentales (donde se ubican los continentes), como en el fondo oceánico. Se dividen en fragmentos menores llamados subplacas; y a manera de un gran rompecabezas esférico, componen el planeta.

Estas placas que tienen de 1 a 60 kilómetros de grosor, flotan sobre una capa que oscila entre el estado líquido y sólido a altísimas temperaturas.

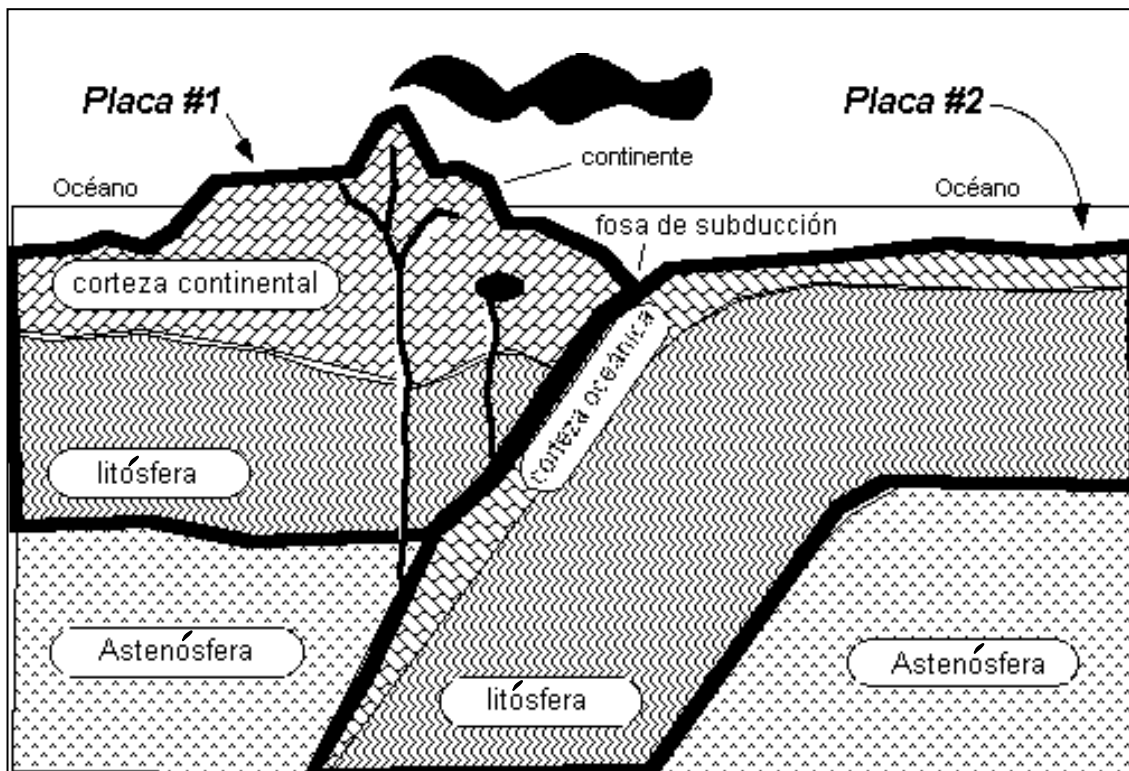
Esta capa, que tiene aproximadamente 100 kilómetros de grosor, recibe el nombre de astenósfera y a su vez constituye la parte superior de otra estructura terrestre de aproximadamente 2 700 kilómetros de grosor que se llama manto y que cubre lo que se denomina Núcleo Externo e Interno.

En la astenósfera se producen corrientes de convección (desplazamiento de masas en estado líquido, en este caso es circular), que hacen que las placas se muevan y estos movimientos son los que provocan sismos debido a que se da una brusca liberación de energía. Esta liberación de energía se produce por tres tipos distintos de movimiento de las placas:

- Movimiento divergente o por distensión: En este tipo de movimiento las placas tienden a separarse.
- Movimiento convergente o de compresión: (choque): en esta clase de movimientos, las placas chocan y una de ellas se hunde (subduce). Generalmente, este movimiento origina el levantamiento de las montañas o la aparición de nuevas, así como la generación de actividad volcánica.

- Movimiento de contacto lateral o roce entre placas: el movimiento de contacto lateral, se da porque ambas placas se mueven en direcciones laterales opuestas y las partes donde se dividen ambas, es decir, sus bordes, hacen contacto, se produce un roce, como se observa en la figura 1.

Figura 1. Sismo por movimiento de placas tectónicas



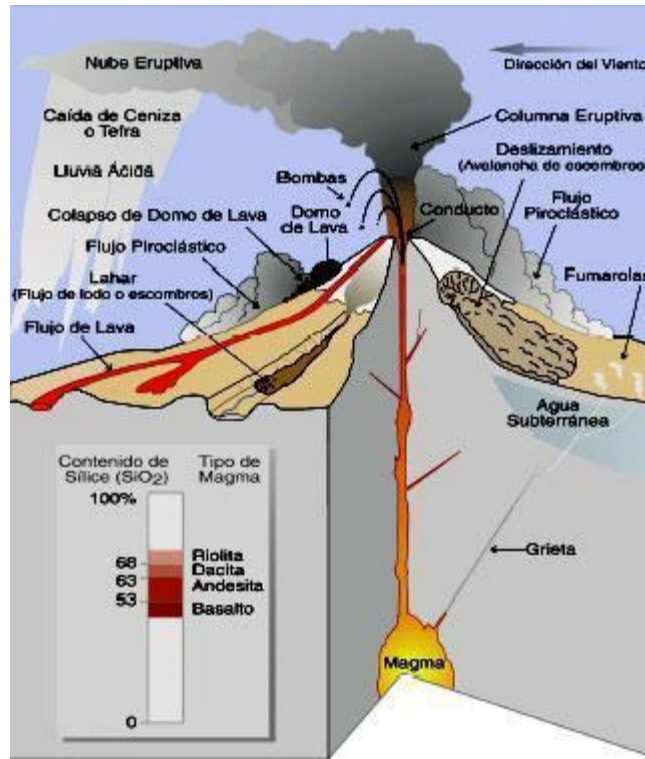
Fuente: <http://www.respuestario.com/como/como-se-originan-los-terremotos-guia-explicativa-sencilla>. Consulta: 21 de noviembre de 2012.

- Por acción volcánica

Todo volcán, aunque esté inactivo, tiene su cráter en la cúspide del macizo y una chimenea que es el conducto que va desde la cámara magmática, hasta el cráter en la superficie.

El magma cuando tiende a subir por la chimenea, ejerce una gran presión sobre los estratos superficiales y sobre las paredes internas de la chimenea, presión que al llegar a su máximo nivel, se libera en forma de energía y produce sismos, que generalmente pueden afectar las zonas aledañas al macizo, incluso la temperatura del magma, ejerce presión que al liberarse, se traduce en energía y produce sismos, como se observa en la figura 2.

Figura 2. Sismo por acción volcánica



Fuente: <http://www.respuestario.com/como/como-se-originan-los-terremotos-guia-explicativa-sencilla>. Consulta: 21 de noviembre de 2012.

- Por ruptura de la corteza terrestre (falla local)

Se conoce como falla local, el proceso de ruptura de la corteza terrestre causado por la acción de los movimientos de placas que se mencionaron.

La falla actúa como un espacio de liberación de energía al interior de las placas y su peligrosidad, se encuentra en el hecho de ser superficial, es decir, por encontrarse próximo a las construcciones humanas, como se observa en la figura 3

La falla local es el resultado de la interacción entre las placas y generalmente se localizan en zonas donde la corteza terrestre es débil y a lo largo de ellas se encuentran estructuras geológicas fracturadas o rotas.

Las fallas son poco visibles en la superficie, ya sea por su profundidad o por estar cubiertas de suelo o vegetación. Entre las características especiales de la falla, está que su actividad no es continua en el tiempo. Esto dificulta el trabajo de comprobación de su existencia, actividad o inactividad.

Otra característica es que a lo largo de la falla, pueden surgir manantiales profundos o aguas termales. Además se puede decir que presenta un rasgo tectónico visible y son las cuencas, depresiones o valles intermontanos.

Se conocen tres tipos de movimientos de las fallas locales:

- Normal: movimiento que sigue el plano en que se encuentra la falla.
- Inverso: movimiento que se da al contrario del plano de la falla.
- Lateral: movimiento de roce, que se da siguiendo direcciones distintas en las secciones que componen el plano de la falla.

Figura 3. **Sismo por falla local**



Fuente: <http://bibliotecadeinvestigaciones.wordpress.com/ciencias-de-la-tierra/terremotos-tsunamis-y-fallas-geologicas/>. Consulta: 21 de noviembre de 2012.

2.4.2. Inundación

La inundación es el fenómeno por el cual una parte de la superficie terrestre queda cubierta temporalmente por el agua, ante una subida extraordinaria del nivel de ésta.

Varias son las causas que provocan y aceleran las inundaciones, en su gran mayoría originadas por razones de índole natural y en menor grado por motivos humanos, como destrucción de cuencas, deforestación, sobre

pastoreo, etc.; en ambas situaciones los desastres producidos son cuantiosos.

Las causas más frecuentes que ocasionan inundaciones en el medio son:

- Las fuertes lluvias en un período relativamente corto.
- La persistencia de precipitaciones que rápidamente provocan aumentos considerables en el nivel de los ríos y torrentes hasta causar el desbordamiento.
- El represamiento de un río por derrumbes que obstruyen la cuenca originados por fuertes lluvias o sismos.
- La repentina destrucción de una presa, por causas naturales, humanas o ambas.
- La expansión de un lago o laguna por fuertes o continuas precipitaciones o por represamiento del desagüe.
- El ascenso del nivel del mar causado por fenómenos meteorológicos como temporales, tormentas, marejadas o por tsunamis.

La inundación ocurre cuando la carga (agua y elementos sólidos) rebasa la capacidad normal del cauce, por lo que se vierte en los terrenos circundantes, sobre los que suelen crecer pastos, bosques y cultivos o la existencia de áreas urbanas.

Generalmente, todos los ríos y torrentes poseen en su curso inferior un lecho de inundación, es decir, un área baja a ambos lados del cauce que es cubierta por las aguas en una parte del año.

En la época lluviosa, la cantidad de agua precipitada provoca la saturación de los suelos y un ascenso en su nivel freático por lo cual, si se produce una cantidad adicional de precipitación, se generará un desbordamiento y la consiguiente inundación.

- Características

Los desbordamientos, por lo general tienen un carácter estacional. Es posible apreciar cómo los niveles del río van ascendiendo lentamente alcanzando la altura del desbordamiento.

En las inundaciones súbitas, la rapidez en el inicio y desarrollo del fenómeno son las constantes, manifestando su gran capacidad arrasadora.

En cuanto a las olas generadas por tormentas y otros fenómenos meteorológicos, es común observar que al llegar al borde del litoral entran anegando extensas zonas costeras.

No existe para el diseño de carreteras una normativa contra inundaciones, que sea específico, sino más bien otros aspectos sobre la amenaza y la vulnerabilidad dentro del trazo geométrico, como se observa en la figura 4.

Figura 4. **Inundación en carretera**



Fuente: <http://www.sarda.es/tag/inundaciones/>. Consulta: 21 de noviembre de 2012.

- **Localización**

Las carreteras deberán estar a una distancia mínima prudencial con relación a las crecidas máximas de los ríos; así como de los cauces más cercanos cuando sea en paralelo. Cuando se atraviese un accidente geográfico o una corriente de agua se debe observar la crecida máxima, y a partir de ella diseñar la subrasante para evitar que el agua dañe toda la estructura. Si la carretera está cerca de un área de inundación debe considerar la construcción de una obra de protección.

- Aspectos estructurales
 - Es recomendable realizar un estudio de la hidrología superficial y subterránea, el cual deberá tomar en cuenta la cota altimétrica de la crecida mayor histórica, para proveer de estructuras de prevención por inundación.
 - En terrenos que poseen una alta tasa de infiltración, es importante la realización de un análisis de aguas subterráneas para cerciorarse que el manto freático está cercano a la superficie (8,0 m aproximadamente). Cuando sea necesario se deberá ejecutar obras de protección contra hundimientos, agrietamientos o deslizamientos.

2.4.3. Viento

El aire es indispensable para la vida humana y la naturaleza. Aunque el aire no se puede ver, si se puede sentir, especialmente cuando se convierte en viento, como se observa en la figura 5.

El viento es el aire en movimiento, que se produce por las diferencias de temperatura y presión en la atmósfera. Cuando el aire se calienta asciende y al enfriarse desciende.

El aire caliente se dilata, ocupa más espacio, y tiende a subir y el espacio que queda libre es ocupado por el aire frío, más denso, y cuando baja produce una corriente llamada viento. Si el fenómeno es extremo, es decir, si la corriente es muy fuerte, se presenta el ventarrón o el vendaval. Si se origina y alcanza grandes velocidades se denomina, genéricamente, ciclón tropical.

Figura 5. Precipitación del aire



Fuente: <http://megaciencia.com.ar/2011/precipitaciones/>. Consulta: 21 de noviembre de 2012.

- Huracán

Son manifestaciones violentas del clima y cuyos síntomas son lluvias intensas, vientos de fuertes a fuertísimos y posteriormente problemas de precipitación lenta.

- Depresión tropical

Es el nacimiento del huracán, se caracteriza por los vientos máximos de 63 km/h.

- Tormenta tropical

En esta etapa los vientos alcanzan velocidades entre los 63 y 118 km/h, es aquí cuando se le asigna un nombre por orden de aparición y de forma alfabética.

Un huracán, éste se alcanza cuando la velocidad del viento supera los 119 km/h. Se origina de aire caliente y húmedo que viene del océano e interacciona con el aire frío; estas corrientes giran y se trasladan entre 10 y 50 km en una hora, con un área de influencia de aproximadamente 100 km de diámetro. Su trayectoria es totalmente errática y por ello impredecible. En el hemisferio sur los vientos giran en el mismo sentido de las manecillas del reloj y generalmente en dirección sudoeste; en el hemisferio norte los vientos giran en sentido contrario, con una dirección noroeste.

- Características

Se presentan vientos y lluvias fuertes, ocasionadas por diferencias importantes de presión atmosférica. Hay elevaciones del nivel del mar, con formación de enormes olas, particularmente en aquellas zonas donde disminuye la presión atmosférica. Cuando las tormentas tocan tierra, especialmente a nivel continental, pueden disminuir su velocidad, generando intensas y súbitas precipitaciones de lluvias.

- ¿Por qué son destructivos los huracanes?

Los mayores daños y pérdidas de vidas durante los huracanes se deben a las inundaciones de las zonas costeras y a la destrucción causada por los vientos y olas demasiadas fuertes.

El mar en ocasiones es el elemento más devastador. En un huracán el aire viaja a gran velocidad por grandes distancias arrastrando agua de la superficie y dando origen a grandes olas que pueden alcanzar los 15 metros de altura.

A medida que las olas se alejan del huracán disminuye su altura, pero en el mar se sigue presentando un oleaje fuerte que se llama mar de fondo, y cuando las olas se acercan a la costa pueden causar inundaciones, arrasar barcos y viviendas que se encuentren cerca de la playa. Además de estas olas, las lluvias y tormentas tropicales que acompañan el huracán pueden ocasionar inundaciones en áreas bajas con mal drenaje y en cuencas de ríos cercanos.

La velocidad de los vientos es suficiente para arrastrar techos, arrancar grandes árboles y devastar cultivos.

- Temporada de ocurrencia

Los vientos fuertes pueden aparecer en cualquier tiempo. Sin embargo, la temporada de huracanes va desde junio a noviembre, presentándose éstos con mayor frecuencia en agosto y septiembre.

- ¿Qué entidades informan sobre la llegada del huracán?

La institución encargada del monitoreo de las tormentas tropicales o huracanes, en el territorio nacional es el INSIVUMEH quien informa a la CONRED, para que coordine con las instituciones que conforman el SIME, los que deberán considerar lo establecido en los planes de respuesta a emergencias.

El INSIVUMEH tiene organizada una red de sistemas que permite monitorear el comportamiento de estos fenómenos. La información proporcionada por el satélite, el centro de huracanes de Miami y las estaciones meteorológicas es muy importante para saber la trayectoria y las características de las tormentas tropicales o huracanes.

- Aspectos a considerar:

En el diseño de la carretera ante la amenaza de vientos fuertes se deben considerar los siguientes aspectos:

- El análisis histórico que permita contar con una visión general de la incidencia del viento, lo cual permitirá realizar un mapeo general del área que afecte este factor.
- El análisis de la velocidad del viento para determinar la inclinación que deben tener los taludes o las laderas por las que la carretera se conduce, para evitar posibles remolinos en secciones tipo trincheras.

- El análisis de la duración del viento fuerte, el cual proporcionará un parámetro para el diseño de obras de protección. La incidencia prolongada del viento podría afectar la conservación del talud o ladera.
- Todas las carreteras deben contar con un derecho de vía, que las protege de la caída de árboles grandes, de rótulos de propaganda y de otras circunstancias causadas por el viento fuerte. Para este aspecto debe observarse el Código de Señalización de la SIECA, el cual es aceptado por toda la región centroamericana.
- Las medidas a tomar en caso de desastres se pueden clasificar en medidas preventivas fuertes y leves. Una medida preventiva fuerte puede ser la construcción de obras de arte de protección del talud, y una medida preventiva leve puede ser la restricción del ingreso y empleo de vías en áreas peligrosas.

2.4.4. Deslizamiento

Movimiento pendiente abajo, lento o súbito de una ladera, formada por materiales naturales, roca, suelo, vegetación o bien rellenos artificiales.

- Causas de los deslizamientos

Estos se producen debido a la interacción de los procesos naturales y la acción del hombre sobre la tierra. En el territorio nacional, estos se dan en diferentes zonas, principalmente en las áreas marginales, (en mayor porcentaje en barrancos y en menos porcentajes en laderas).

Por la manifestación de fuerzas naturales (actividad sísmica) provocando la inestabilidad de barrancos y laderas a través del agrietamiento del suelo agregando a este proceso geológico las intensas precipitaciones pluviales que se dan durante el invierno, haciendo mucho más inestables estos terrenos.

A partir de ese momento comienza la relación del hombre con las fuerzas naturales, acciones que inician con la deforestación hasta la mala canalización de las aguas servidas o simplemente no existen, estas causas humanas representan el 70% del origen de los deslizamientos.

- Causas naturales
 - Por actividad sísmica
 - Por composición del suelo y subsuelo
 - Por la orientación de las fracturas o grietas en la tierra
 - Por la cantidad de lluvia en el área
 - Erosión del suelo

- Causas humanas
 - Deforestación de laderas y barrancos.
 - Banqueos (cortes para abrir canteras, construcción de carreteras, edificaciones).
 - Falta de canalización de aguas negras y de lluvia (drenajes).

- Características de identificación
 - Agrietamientos del terreno.

- Grietas o fracturas muy anchas (indicador del desplazamiento de la masa del terreno).
- Si hay árboles, éstos muestran una inclinación anormal. (no poseen verticalidad).
- Cambio en coloración de agua clara a café de las corrientes de agua que descienden de las partes altas.
- Corrientes de agua cargadas con lodo y fragmentos sólidos.
- Desprendimientos de pequeñas cantidades de suelos o rocas.
- Hundimiento del suelo.
- Relación entre cantidad de precipitación y el tiempo.

2.4.5. Erupciones volcánicas

En el interior de la Tierra existe roca fundida conocida como magma que busca ascender hacia la superficie a través de grietas y fisuras, conformando los accidentes geográficos conocidos como volcanes.

La estructura de un volcán es producto del material expulsado durante las erupciones que se acumula alrededor del conducto que lleva el magma desde su reservorio situado a kilómetros de profundidad, hasta la superficie. Un volcán tiene varias capas intercaladas de ceniza, lava y escombros que fueron arrojados durante sus diversas erupciones.

Las partes principales de un volcán son: la cámara magmática, localizada a profundidad y comunicada con la superficie por medio de la chimenea y el cráter que es el orificio de salida. La acumulación de los materiales arrojados por el mismo volcán forma el cono volcánico.

- ¿Qué es una erupción volcánica?

Es la liberación violenta de energía desde el interior de la tierra. El magma en ascenso llega a la superficie por el conducto y se produce la erupción, que se inicia generalmente, con el escape de gases que acompaña al magma.

La intensidad de la explosión depende del tipo de magma; sin embargo, casi todas las erupciones forman nubes oscuras que suben 30 o más kilómetros y produce derrames de productos volcánicos o incandescentes como lavas y flujos piroclásticos y/o caídas de cenizas.

- Tipos de erupciones

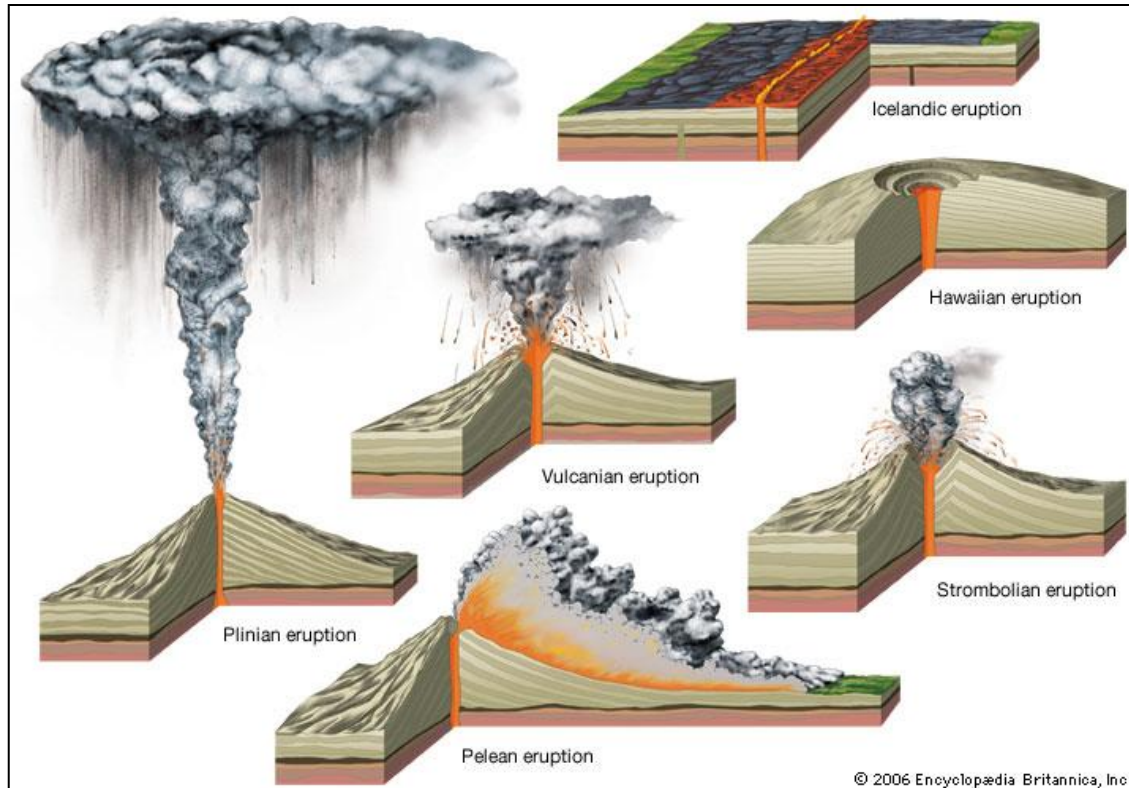
Se clasifican las erupciones por la intensidad y la naturaleza de la actividad explosiva del volcán. El grado de explosividad depende, en gran parte, de la viscosidad de la lava; los más viscosos producen erupciones más violentas que generan grandes nubes ardientes, mientras que otras erupciones con magma de baja viscosidad no son muy violentas.

- Tipo Hawaiano: es relativamente tranquilo, y generalmente se caracterizan por los lagos de lava y flujos lávicos extensos que se generan.
- Tipo estromboliano: erupciones que son de duración limitada en que los gases atrapados se acumulan debajo de la lava y periódicamente son expulsadas al aire masas de lava y cenizas.
- Tipo vulcaniano: este tipo de erupción es el más violento, porque la lava más viscosa se solidifica entre las erupciones, y los gases

atrapados, alcanzan una alta presión antes de que la lava superior sea expulsada del cráter.

- Tipo plineano: es muy violento; el magma saturado con gas es expulsado a una gran altura, generando grandes volúmenes de ceniza.
- Tipo peleano: está caracterizado por la generación de flujos incandescentes de piroclastos que bajan por las laderas del volcán a altas velocidades, como se observa en la figura 6.

Figura 6. Tipos de Erupciones volcánicas



Fuente: <http://ecologia412.blogspot.com/2012/05/tipo-de-erupciones-volcanicas-que-es.html>.

Consulta: 21 de noviembre de 2012.

2.4.6. Antrópicas

Se puede definir a las amenazas antrópicas como un peligro latente generado por la actividad humana en la producción, distribución, transporte y consumo de bienes y servicios y la construcción y uso de la infraestructura vial.

Comprende una gama amplia de peligros, como las distintas formas de contaminación de aguas, aire y suelos, los incendios, las explosiones, los

derrames de sustancias tóxicas, los accidentes en los sistemas de transporte, la ruptura de presas de retención de agua, entre otras.

3. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

Este análisis consiste en identificar las vulnerabilidades asociadas a la exposición, fragilidad y falta de resiliencia de los proyectos de carreteras. El análisis de vulnerabilidad será realizado conforme las actividades que se enumeran a continuación:

- Vulnerabilidad por exposición
- Vulnerabilidad por fragilidad
- Vulnerabilidad por falta de resiliencia

3.1. Análisis de vulnerabilidad por exposición

La exposición de los proyectos está estrechamente relacionada con su micro localización.

3.1.1. Zonas de localización

- Zona de dominio público

Comprende los terrenos ocupados por las carreteras y sus elementos funcionales. Los elementos funcionales son, entre otros, las áreas destinadas al descanso, estacionamiento, auxilio y atención médica de urgencia, peaje, parada de autobuses y otros fines auxiliares o complementarios.

- Zona de servidumbre

Consiste en dos franjas de terreno situadas a ambos lados de la misma, cuyo límite se encuentra a una distancia de veinticinco metros en autopistas, autovías y vías rápidas y de ocho metros en el resto de las carreteras, medidas desde el final de la zona de dominio público (derecho de vía), como se observa en la figura 7.

- Zona de afección

Las zonas de afección consisten en dos franjas de terreno a ambos lados de la carretera que llegan hasta cien metros en autopistas, autovías y vías rápidas y cincuenta metros en el resto de las carreteras, más allá del final de las zonas de servidumbre.

- Línea de edificación

A ambos lados de las carreteras se establece la línea límite de edificación, desde la cual queda prohibido cualquier tipo de obra de construcción, reconstrucción o ampliación, a excepción de las que sean imprescindibles para la conservación y mantenimiento de las construcciones existentes.

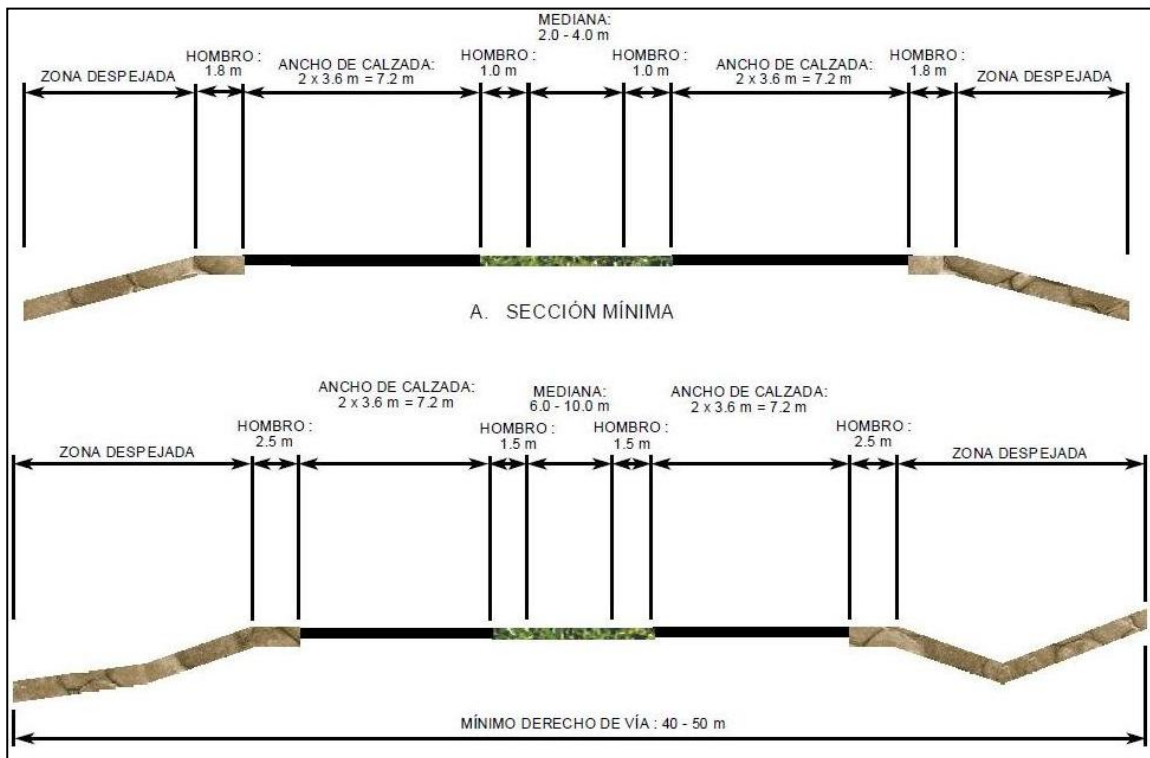
- Línea de servicios generales

A ambos lados de la carretera, y en una franja de terreno de cuatro metros de anchura situados con inmediación a la línea exterior de servidumbre hacia la carretera.

Se establece la denominada línea de servicios generales destinada a servir de alojamiento a los servicios públicos no directamente relacionados con el servicio de la carretera.

Los elementos de una carretera se pueden clasificar como estructurales, siendo aquellos en los cuales se desplazará el tránsito y que necesitan un diseño especializado.

Figura 7. Derecho de vía en una carretera



Fuente: <http://transpote1ujcv.blogspot.com/2010/05/derecho-de-via-y-secciones.html>. Consulta: 21 de noviembre de 2012.

3.2. Análisis de la vulnerabilidad por fragilidad

La fragilidad del proyecto a sufrir daños está estrechamente vinculada con vulnerabilidad física de las carreteras; es decir, con las deficiencias de las carreteras en poseer estructuras físicas para absorber los efectos de las amenazas: frente al riesgo de terremoto, por ejemplo, la fragilidad física se traduce en la ausencia de estructuras sismoresistentes en las carreteras.

3.2.1. Elementos estructurales de las carreteras

- Pavimento

Está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales las cuales son: subrasante, subbase, base y carpeta de rodadura, mismas que se diseñan y cumpliendo con las especificaciones de construcción.

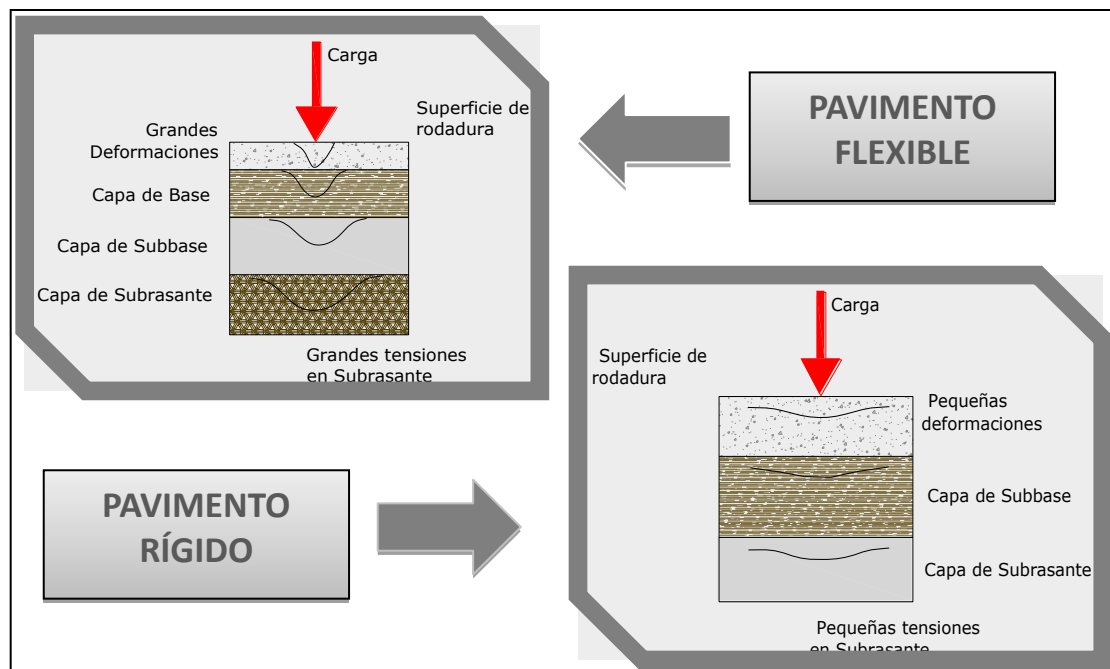
Los pavimentos se dividen en flexibles y rígidos, mismos que se comportan muy diferentes al aplicarles una carga, como se observa en la figura 8.

Consideraciones a tomar:

- Controlar o eliminar en lo posible, los cambios de volumen por elasticidad y plasticidad perjudiciales que pudiera tener el material de la sub-rasante.
- Si el terreno de fundación es malo, habrá que colocar una sub-base de material seleccionado antes de colocar la base.

- La graduación del material de la base debe estar dentro de los límites establecidos en las especificaciones técnicas.

Figura 8. **Esquema del comportamiento de pavimento flexible y rígido**



Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos. p. 78.

- Taludes de corte y rellenos en carreteras

Los taludes de corte y relleno han demostrado ser los puntos más vulnerables de la infraestructura vial. Estos puntos están expuestos a deslizamientos, a socavación y a erosión por ríos y malos manejos de aguas superficiales y subterráneas.

La evaluación de la amenaza al deslizamiento tiene la dificultad de no presentar períodos de retorno claros dado principalmente a que son ocasionados por múltiples variables por ejemplo: sismo, lluvia, viento, etc.

Por lo que se limita a evaluar la susceptibilidad, ejemplo: pendiente, geología y su magnitud ejemplo: volumen, velocidad.

Consideraciones a tomar:

- Tomar en cuenta según las características del suelo del talud la pendiente del talud, la cual se explica con mayor detalle en la tabla III.

Tabla III. Taludes en carreteras

TIPO DE MATERIAL	Hasta 5 m. H : V	De 5 - 10 m. H : V	De 10 - 15 m. H : V	RECOMENDACIONES
Cenizas volcánicas (tobas)	0.25 : 1	0.25 : 1	0.25 : 1	Si existe flujo de agua es importante construir berma de 2 m a la mitad de la altura, impermeabilizandola.
Rocas graníticas fracturadas	0.5 : 1	0.5 : 1	0.5 : 1	Remover del talud bloques sueltos, de acuerdo con su disposición.
Calizas intemperizadas y fracturadas	0.75 : 1 0.5 : 1	0.75 : 1 0.5 : 1	0.5 : 1 0.5 : 1	Taludes para ángulos de buzamiento no mayores de 30° Si el buzamiento es favorable.
Lutitas fusibles y fracturadas	0.5 : 1	0.5 : 1	0.5 : 1	No construir contracunetas si no son bien impermeables. La parte superior más impermeabilizada con talud 1 : 1
Conglomerados, arenas y arcillas	1 ; 1	1 ; 1	1 ; 1	Estabilizar ladera desde el pie, utilizar cubierta vegetal adecuada, encauzar el agua de lluvia y drenar agua subterránea.
Terraplenes	1.5 : 1	1.5 : 1	1.5 : 1	Hacer buena compactación, impermeabilizar las bermas, colocar cubierta vegetal en el terraplén.

Fuente: elaboración propia.

- Obras de drenaje menor

El objeto del drenaje en los caminos, es en primer término, el reducir al máximo posible la cantidad de agua que de una y otra forma llega al mismo, y en segundo término dar salida rápida al agua que llegue al camino.

Para que un camino tenga buen drenaje debe evitarse que el agua circule en cantidades excesivas por el mismo destruyendo el pavimento y originando la formación de baches, así como también que el agua que debe escurrir por las cunetas se estanque y reblandezca las terracerías originando pérdidas de estabilidad de las mismas con sus consiguientes asentamientos perjudiciales. Debe evitarse también que los cortes, formados por materiales de mala calidad, se saturen de agua con peligro de derrumbes o deslizamientos según el tipo de material del corte, y debe evitarse además, que el agua subterránea sature la subrasante con su consiguiente peligro.

Las obras de drenaje menor pueden ser: alcantarillas, cunetas, cajas, tragantes, bordillos, subdrenajes, disipadores de energía, contracunetas. Ver anexo 1.

Los objetivos primordiales de las obras de drenaje son:

- Dar salida al agua y evitar que se llegue a acumular en las carreteras.
- Reducir o eliminar la cantidad de agua que se dirija hacia la carretera.
- Evitar que el agua provoque daños estructurales a cualquier elemento que forma parte de la carretera.

- Un buen diseño y funcionamiento de las obras de drenaje, dependerá en gran parte la vida útil, facilidad de acceso y la vida útil de la carretera.
- Obras de drenaje mayor

Las obras de drenaje mayor requieren de conocimientos y estudios especiales, entre ellas se pueden mencionar los puentes, puentes vado y bóvedas.

Aunque los estudios estructurales de estas obras son diferentes para cada una, la primera etapa de selección e integración de datos preliminares es común. Estas obras no se mencionaran con mucho detalle, ya que se recomienda consultar el Manual Centroamericano de Gestión de Riesgo en Puentes, edición 2010 de la SIECA.

- Pasos a desnivel

Es el proceso de la adaptación de un cruce de dos o más carreteras a diferentes alturas para no interrumpir el flujo de tráfico entre otras rutas de tránsito cuando se cruzan entre sí, como se observa en la figura 9.

- Consideraciones a tomar:
 - Mantener en constante mantenimiento los drenajes de la superestructura.

- Tener un chequeo temporal del estado actual de los elementos estructurales como son las vigas, columnas, vigas de amarre, estribos, terraplenes, etc.
- Si es un paso a desnivel muy antiguo se recomienda hacer ensayos no destructivos como son: chequeo del estado actual de las barras longitudinales y transversales mediante un escáner, resistencia actual del concreto mediante la prueba del martillo Smith.

Figura 9. **Pasos a desnivel**



Fuente: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1040535&page=5>. Consulta: 22 de noviembre de 2012.

- Terraplén

Por definición, un terraplén se llama a la acumulación de tierra o sedimentos, ya sea de una excavación o de préstamo, con la cual se rellena un terreno para levantar el nivel de este mismo, como se observa en la figura 10.

Los terraplenes se pueden clasificar en:

- En zonas planas: se caracterizan por tener alturas pequeñas, longitudes grandes y ofrecen amplios espacios de trabajo.
- En zonas montañosas y escarpadas: se caracterizan por tener alturas muy grandes, longitudes pequeñas y no ofrecen espacios amplios para el trabajo.

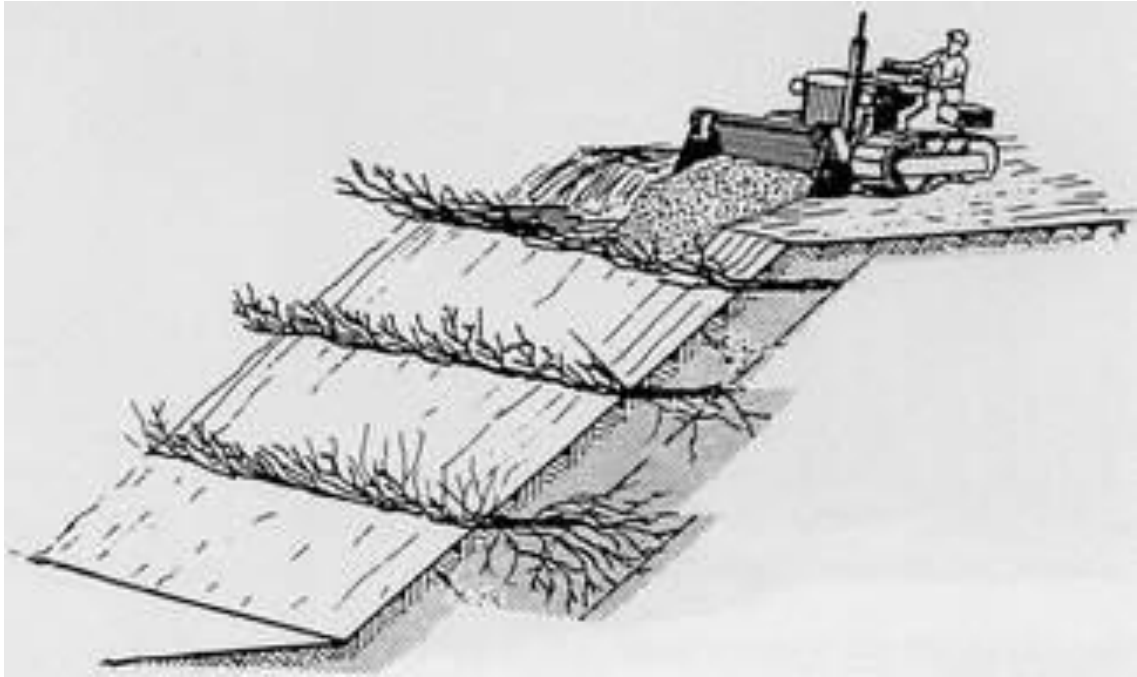
Consideraciones a tomar:

- En las laderas que tengan una pendiente igual o mayor de $1H : 0.5V$, deben construirse terrazas.
- El material que haya sido aflojado deber ser recompactado simultáneamente con el material de terraplén colocado a la misma elevación.
- Cuando los terraplenes deban de construirse adyacentes a, o sobre carreteras existentes, los taludes de dichas carreteras deben ser escarificados hasta una profundidad no menor de 15 centímetros

construyéndose en capas sucesivas hasta el nivel de carretera existente.

- Los terraplenes de roca deben construirse normalmente en capas sucesivas de 45 centímetros, o menos de espesor, y extenderse a todo el ancho de la sección típica.
- Cada capa debe construirse en tal forma que los vacíos entre las rocas grandes, se llenen con rocas pequeñas y fragmentos de la misma.
- Los terraplenes de tierra deben ser construidos en capas sucesivas, a todo lo ancho de la sección típica, y en longitudes tales que sea posible el riego de agua y compactación por medio de los métodos establecidos.

Figura 10. **Terraplén**



Fuente: <http://www.fao.org/docrep/006/ad081s/AD081s03.htm>. Consulta: 22 de noviembre de 2012.

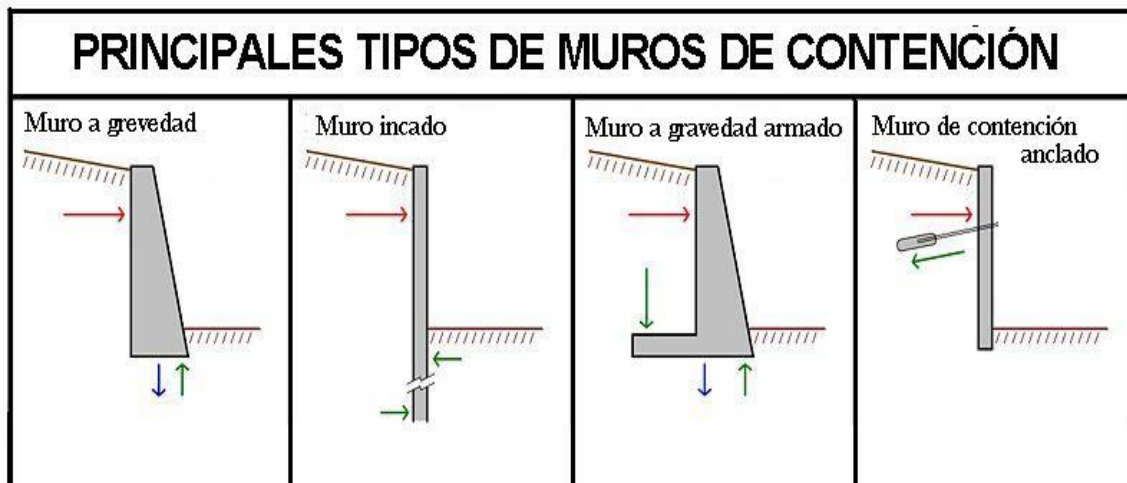
- Muros de contención

Un muro de contención es una estructura diseñada para soportar cargas laterales (la mayoría de las veces esta carga lateral es una masa de suelo) y que debe su estabilidad a su propio peso y al peso de la carga lateral (suelo la mayoría de veces) que soporta. Dependiendo de lo anterior se diseñan, como se observa en la figura 11.

Consideraciones a tomar:

- Tomar en cuenta el tipo de suelo en el cual se va a cimentar dicho muro, para evitar posibles deslizamientos.
- Deberá realizarse un estudio de suelos.
- Drenar el material de relleno, para evitar erosión.
- Utilizar materiales de buena calidad, como se indican en las Especificaciones Generales para la construcción de carreteras y puentes de la Dirección General de Caminos.

Figura 11. Principales tipos de muros de contención



Fuente: http://1122abarbaramagaly.blogspot.com/2011/04/muros_09.html. Consulta: 22 de noviembre de 2012

- Bordillos

Los bordillos se usan extensamente en las carreteras urbanas y suburbanas, siendo su uso muy limitado, más bien nulo, en las carreteras rurales. Esto tiene que ver con la función que desempeñan dichos dispositivos, como son el control del drenaje, la delimitación del borde del pavimento, la determinación del borde de las aceras o de la zona de protección de los peatones o, simplemente, por razones de estética.

Típicamente los bordillos se clasifican en montables y de barrera o no montables, según que tengan la altura y conformación apropiada para que los vehículos automotores puedan abordarlos o no, como se puede observar en la figura 12

Los bordillos de barrera son relativamente altos y con la cara relativamente vertical, redondeados en su parte superior para reducir las aristas cortantes.

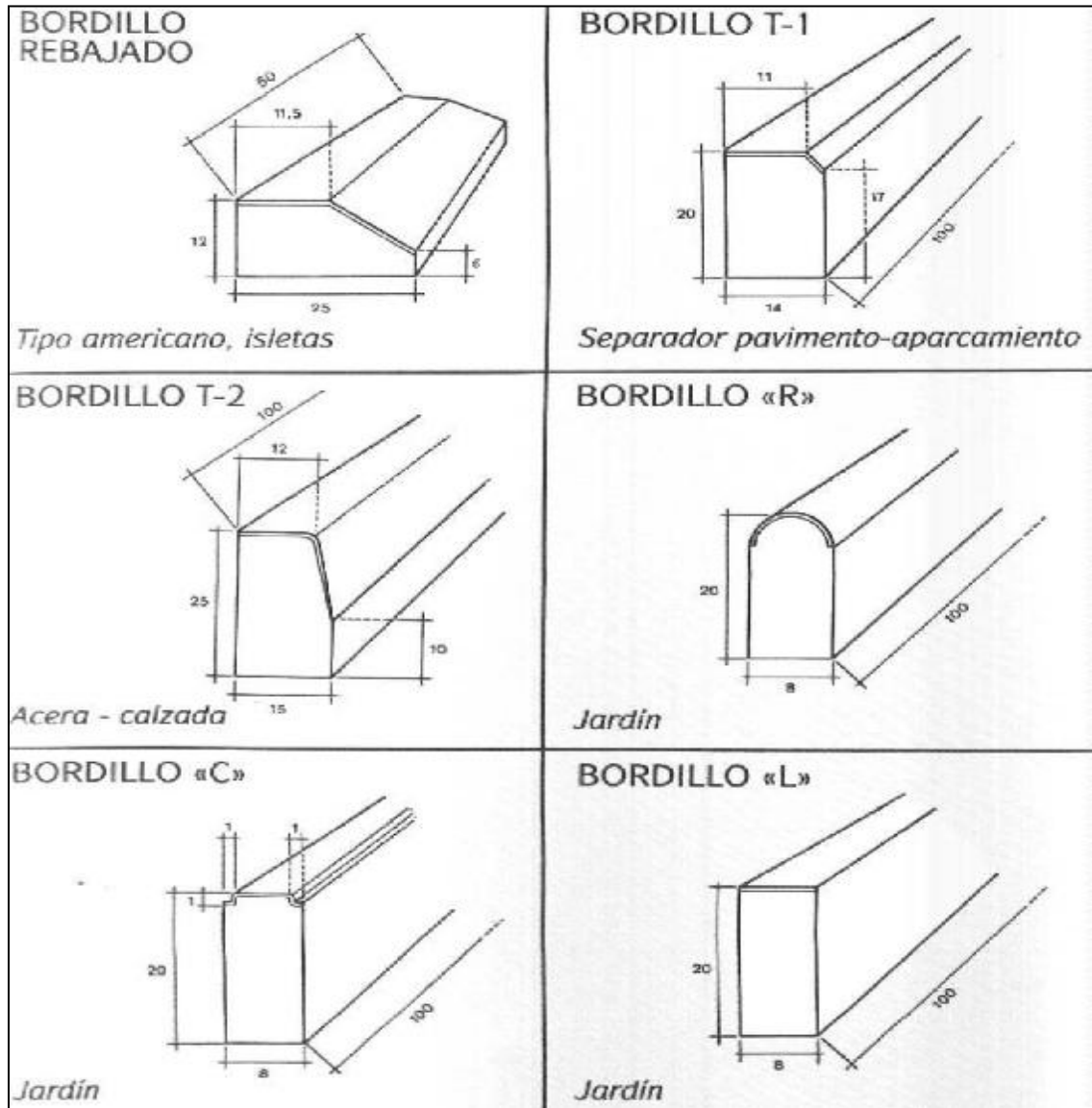
Los bordillos montables, por su parte, son diseñados para que los vehículos puedan cruzarlos cuando así se requiera y sea permisible o cuando accidentalmente haya que pasar sobre ellos.

Combinados con una sección de cuneta, los bordillos pueden formar parte integral del sistema de drenaje superficial longitudinal de la carretera.

Consideraciones a tomar:

- Cuando la cara del talud del bordillo es mayor de la relación, 1H : 1V, su altura debe limitarse a 10 centímetros o menos, pero si este talud se diseña entre relación, 1H : 1V a 1H : 0.5V, su altura puede ser incrementada a 15 centímetros.
- Los bordillos montables son usuales en los bordes de las carreteras y en las islas para canalización del tránsito en las intersecciones.
- El ancho del bordillo se considera como un elemento de la sección transversal fuera del ancho de los carriles. Podría decirse que más bien debe estar situado a unos 0,30 a 0,60 metros del borde del carril en vías urbanas, y en el borde exterior del hombro en carreteras rurales.
- El bordillocuneta se instala normalmente cuando la carretera discurre en un ambiente urbano y suburbano, para encauzar las aguas hacia los tragantes y tuberías de drenaje.

Figura 12. Tipos de bordillos



Fuente: http://1122abarbaramagaly.blogspot.com/2011/04bordillos_699.html. Consulta: 22 de noviembre de 2012.

Subrasante

La plataforma de la subrasante o subcorona es la superficie que delimitan el movimiento de tierras y sobre la cual se apoyan las distintas capas del pavimento. Incluye también el espacio destinado a los demás elementos de la corona como hombros, medianas, cunetas de drenaje, etc. El ancho de la plataforma de sub-rasante es la suma del ancho de la plataforma, más la proyección horizontal de los taludes de caída o derrame del pavimento y del ancho de la (o las) cuneta, como se observa en la figura 13.

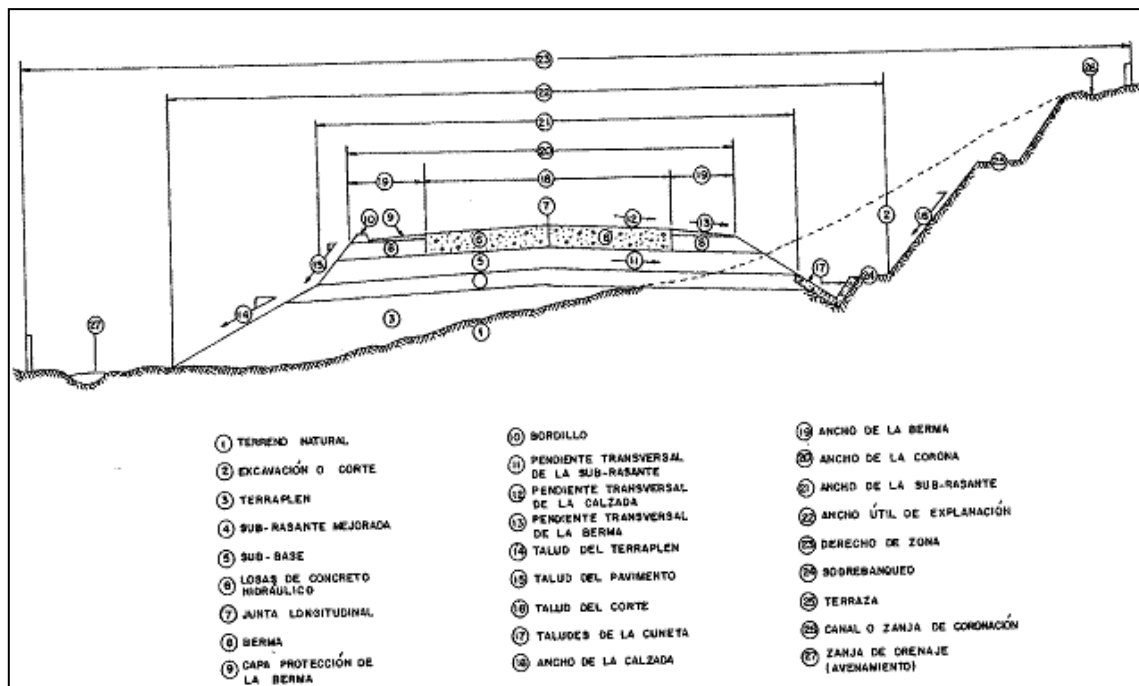
Debido a la conveniencia estructural de mantener el mismo espesor de las distintas capas del pavimento, la subrasante mantiene la misma pendiente transversal que la de la corona, prolongándola hasta los extremos sin considerar los quiebres que presenta la pendiente del hombro. A esta plataforma también se le conoce con el nombre de terracería.

Consideraciones a tomar:

- Conformar la subrasante hasta obtener una superficie lisa y con la sección transversal requerida.
- Al final de los cortes y en la intersección de cortes con terraplenes, se deben ajustar los taludes en los planos horizontal y vertical para que se empalmen uno con otro o al terreno natural.
- La subrasante expuesta, nueva o existente en todo el ancho de la sección, deberá ser conformada y compactada.

- La subrasante reacondicionada debe ser compactada en su totalidad con un contenido de humedad óptima, hasta lograr el 95 por ciento de compactación respecto a la densidad máxima.

Figura 13 Sección típica de una carretera



Fuente: http://notasdepavimentos.blogspot.com/2011/04/funciones-de-las-capas-de-un-pavimento_08.html. Consulta: 22 de noviembre de 2012.

3.3. Análisis de vulnerabilidad por falta de resiliencia

La falta de resiliencia del proyecto está estrechamente vinculada con el mantenimiento y recuperación de la infraestructura, la organización social para las emergencias, y la capacitación e investigación.

3.3.1. Mantenimiento en carreteras

Son los trabajos realizados en diferentes períodos de tiempo, en los diferentes elementos de una carretera: derecho de vía, hombros, drenajes, cunetas, taludes, etc., con el propósito de conservarlos en buenas condiciones con el fin de que presten el servicio para el cual fueron diseñados de una manera eficiente.

Una carretera, por mejor diseñada o construida que esté, necesita un mantenimiento adecuado, de lo contrario se deteriorará rápidamente. El mantenimiento vial nos permite conservar una vía inclusive más allá de su periodo de diseño, lo que significa, a la larga, un ahorro de recursos económicos.

Los trabajos de conservación vial, para fines de este trabajo, se dividen en cinco categorías generales que son:

- Mantenimiento rutinario
- Mantenimiento periódico
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento por administración
- Mantenimiento de emergencia

La vulnerabilidad estructural debe ser complementada con medidas estructurales. En el caso de áreas propensas a inundaciones, se puede proveer de reguladores, drenajes y subdrenajes que puedan eliminar los daños que amenazan a los dispositivos.

En el caso de las carreteras del país, además del mantenimiento de pavimentos como sellado de grietas y reparación de baches, deben darse algunas medidas de mitigación dentro de las cuales se pueden mencionar las siguientes:

- Diseño y construcción de drenajes pluviales con ocurrencias de precipitación para más de 40 años.
- Revisión constante y reconstrucción de estructuras de drenaje mayor y menor, y de la estructura de los pavimentos drenajes longitudinales y transversales.
- Cambiar estructuras de drenaje mayor y menor donde el área de descarga ya es insuficiente.
- Adecuado estudio de la hidráulica de los ríos, control y dragado de los mismos.
- Retiro de derrumbes, limpieza de drenajes y limpieza del derecho de vía.
- Reparación de deslizamientos y hundimientos de carreteras o en áreas dañadas.
- Supervisión de trabajos, ya sea privados o del estado en áreas aledañas a las carreteras con el propósito de prevenir desastres inducidos.

En la mayoría de países han creado códigos o reglamentos para las construcciones de ingeniería. Estos reglamentos generalmente sirven como

guía para la valoración de fuerzas, análisis, metodologías de diseño apropiadas y técnicas de construcción.

Además, deberían incluir un análisis de riesgo, el cual dictamine hasta qué punto debe reforzarse la probabilidad de sobre vivencia de una estructura ante condiciones cada vez más desfavorables.

Debe tenerse presente que la vida de cualquier estructura, depende del mantenimiento que ésta reciba, motivo por el cual éste se vuelve indispensable como medida de mitigación estructural. Dicho mantenimiento es recomendable que esté bajo la supervisión de profesionales con amplia experiencia en diseño, construcción y mantenimiento de carreteras con conocimiento en mitigación de desastres.

4. ANÁLISIS DE RIESGO

La gestión del riesgo consiste en la planificación y aplicación de medidas orientadas a impedir o reducir los efectos adversos de los fenómenos peligrosos sobre la población, los bienes, los servicios y el ambiente. Para el cumplimiento de este concepto serán realizadas las actividades que se enumeran a continuación:

- Identificación de medidas de reducción de riesgo por exposición
- Identificación de medidas de reducción de riesgo por fragilidad
- Identificación de medidas de reducción de riesgo por resiliencia

Sin embargo, previo a la identificación de las medidas de reducción de riesgos será necesario contar con los resultados del análisis de vulnerabilidad, de los cuales se catalogan de la siguiente manera:

- Proyectos con baja vulnerabilidad
- Proyectos con baja vulnerabilidad y que presenten las situaciones siguientes:
 - Proyectos cuya localización los exponga a situaciones de riesgo, pero que existan otras opciones de ubicación en zonas menos expuestas. Estos proyectos deberán de diseñarse de nuevo, luego deberá realizarse nuevamente el análisis de vulnerabilidad por exposición.

- Proyectos cuya localización los exponga a situaciones de riesgo y que no cuenten con otras opciones de ubicación en zonas menos expuestas. Para estos proyectos deberán identificarse medidas estructurales de reducción de riesgo.
- Proyectos que presenten características de fragilidad que los exponga a situaciones de riesgo, pero que puedan aplicarse las normas vigentes para evitar esta condición. Estos proyectos se les deberán hacer los cambios necesarios de acuerdo con la normativa vigente y se complementa la información necesaria (por ejemplo, firma de los planos por un profesional especializado, estudios de ingeniería de detalle completos, etc.).
- Proyectos que presenten características de fragilidad que los exponga a situaciones de riesgo y que no puedan aplicarse las normas vigentes para evitar esta condición. Para estos proyectos deberán identificarse medidas estructurales de reducción de riesgo.
- Proyectos que presenten condiciones de falta de resiliencia, que expongan al proyecto a situaciones de riesgo. Para estos proyectos deberán identificarse mecanismos estructurales de tipo técnico, organizativo, etc., para la mitigación del riesgo por falta de resiliencia.
- Proyectos con baja vulnerabilidad y que presenten las situaciones siguientes:

- Proyectos cuya localización los exponga a situaciones de riesgo y que no cuenten con otras opciones de ubicación en zonas menos expuestas, para los cuales no sea posible identificar medidas estructurales de reducción de riesgo.
- Proyectos que presenten características de fragilidad que los exponga a situaciones de riesgo y que no puedan aplicarse las normas vigentes para evitar esta condición, ni identificarse medidas estructurales para la reducción del riesgo.
- Proyectos que presenten condiciones de falta de resiliencia, que expongan al proyecto a situaciones de riesgo y para los cuales no sea posible identificar mecanismos estructurales de tipo técnico, organizativo, etc., para la mitigación del riesgo.

Los proyectos para los cuales sea necesario identificar medidas estructurales de reducción de riesgos, deberán pasar las tareas que se describen en las actividades que a continuación se muestran. Es importante mencionar que este tema fue desarrollado con base en los diferentes Manuales Centroamericanos de Normas de CEPREDENAC, documentos en los cuales todos los procedimientos incluidos se encuentran elaborados con mayor detalle.

4.1. Identificación de medidas de reducción de riesgo

Las medidas de mitigación pueden ser estructurales. Algunos ejemplos de medidas de mitigación estructurales son: muros de contención, terraplenes, bordillos, cunetas, estructura de pavimento, subrasante, drenaje menor, drenaje mayor, etc.

La identificación de las medidas de mitigación debe realizarse tomando en cuenta, al menos tres criterios:

- Identificar el nivel de incidencia que las medidas tienen en la solución del problema;
- Verificar la interdependencia de las medidas y agrupar las que consideren complementarias.
- Verificar la factibilidad técnica y física de su implementación.

Como resultado de este análisis deben encontrarse al menos dos opciones que, alternativamente, puedan resolver el problema de vulnerabilidad y así reducir el riesgo del proyecto.

Por ejemplo, en un proyecto de carretera entre dos puntos sometidos a amenazas de deslizamiento, las medidas de mitigación alternativas podrían ser las siguientes:

- Opción 1: ampliar la carretera utilizando un trazo de terracería alterno y construir obras de protección como reforestación en áreas críticas, manejo de drenajes, estabilización de taludes y muros de contención. Además, proporcionar el mantenimiento preventivo al menos dos veces al año.
- Opción 2: ampliar la carretera utilizando el trazo actual y construir obras de protección como estabilización de taludes y muros de contención, manejo de drenaje, en el tramo crítico.

Además, proporcionar el mantenimiento preventivo al menos dos veces al año.

Estas opciones se colocan en la tabla IV que se muestra a continuación.

Tabla IV. **Matriz de medida de mitigación**

No.	Tramo		Lado	Tipo de amenaza	Vulnerabilidad estructural	Estado actual	Medida de mitigación	Observaciones
	DE	A						
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
n								

Fuente: elaboración propia.

4.2. Identificación de las medidas de reducción de riesgo por exposición

Es muy importante conocer el grado de vulnerabilidad a la que están sujetos los elementos estructurales de la carretera, para ello se deben de conocer las estrategias para las amenazas específicas.

4.2.1. Estrategias para amenazas específicas

¿Cómo incorporar a los planificadores las amenazas naturales dentro de un estudio para el desarrollo integrado de un área?

Primero se deben determinar los fenómenos, si los hay, que imponen una mayor amenaza y luego se deben preparar evaluaciones de los mismos. Tradicionalmente, los planificadores se basaron en información existente, ya que evaluar los riesgos era económicamente muy costoso y consumía mucho tiempo como para poder formar parte de un estudio de planificación de desarrollo, se deben llevar a cabo estas evaluaciones e introducir medidas de mitigación de riesgos en el contexto de un estudio de desarrollo sostenible integrado.

Dentro de estas estrategias a incorporar es muy importante mencionar a que tipos de amenazas son vulnerables los elementos estructurales de las carreteras, mismas que dependiendo de la zona de ubicación a la que se encuentra el proyecto, se recomienda consultar mapas de diferentes tipos de riesgos a los que se podría ser vulnerable.

Pueden tomarse de ejemplo algunos mapas elaborados por la CONRED mismos que pueden verse en los anexos.

4.3. Identificación de las medidas de reducción de riesgo por fragilidad

Conociendo ya los elementos estructurales de la carretera que son vulnerables a una amenaza, se deben conocer los desastres ocasionados por las mismas, para tomar las medidas de mitigación adecuadas.

4.3.1. Tipos de desastres en carreteras

- Desastres naturales
 - Inundaciones
 - Huracanes y ciclones
 - Terremotos
 - Erupciones volcánicas
 - Deslizamientos de tierra

- Desastres antrópicos
 - Mal diseño geométrico
 - Mala construcción
 - Falta de educación vial del usuario
 - Daño a los taludes
 - Mal manejo de agua potable y residuales

- Desastres naturales inducidos por alteraciones en el ciclo natural
 - Deforestaciones
 - Uso del suelo
 - Contaminación de la atmósfera
 - Construcción de embalses
 - Contaminación de los cursos de agua
 - Cortes de tierra que afectan la isostasia (equilibrio de la corteza terrestre)

4.3.2. Efectos de los desastres naturales sobre la infraestructura

Los desastres naturales en la infraestructura vial generan costos muchas veces inexistentes para la recuperación. Por eso para evitar los mismos es importante conocer a que daños a los cuales es vulnerables la infraestructura vial.

4.3.2.1. Efectos sobre la infraestructura por los terremotos

- Daños a caminos, puentes, presas
- Deslizamientos que entierran estructuras
- Licuefacción de tierras con estructuras que se hundan

4.3.2.2. Efectos sobre la infraestructura por huracanes

- Vientos de gran fuerza
 - Provocación de erosión hacia los taludes trayendo con eso que caigan derrumbes sobre la cinta asfáltica.
 - Daños a la vegetación cercana logrando levantar ramas que podrían obstaculizar las cunetas, cajas, tuberías, etc. provocando con esto que se obstruyan las mismas y ocurran filtraciones e inundaciones en las cuencas.
- Inundaciones (por lluvia)
 - Erosiones en taludes
 - Socavación en la terraplenes
 - Socavación en puentes

4.3.2.3. Efectos sobre la infraestructura de las erupciones volcánicas

- Daño a puentes y estructuras.
- Enterramiento de caminos y estructuras, (aunque se ha descubierto que las cenizas volcánicas son buenos estabilizadores al mezclarse con la capa granular).

4.4. Identificación de las medidas de reducción de riesgo por resiliencia

En la etapa de preparación es importante tener un mantenimiento constante para reducir la vulnerabilidad y aumentar la capacidad de respuesta (resiliencia) de la infraestructura vial.

4.4.1. Aspectos prácticos en la etapa de preparación

- Adiestrar permanentemente al personal técnico designado.
- Efectuar ejercicios prácticos cuando sea factible.
- Determinar puntos críticos y prever soluciones oportunas y realistas.
- Efectuar catastros previos y periódicos de los medios disponibles en las distintas zonas del país.

4.4.2. Aspectos prácticos en la etapa de alerta

Ante la presencia o la posible ocurrencia de un evento destructivo se emite una señal de alerta que determina una acción determinada y conjunta que determina la amplitud y cobertura del área afectada.

- Actividades:
 - Identificación de causas que atraviesan las carreteras: puede ser por cartografía, (identificar sectores de riesgo de desborde o de erosión, y realizar una clasificación y caracterización de las cuencas aportantes, orientadas a medir la severidad de los eventos).

- Obras viales relacionadas y su vulnerabilidad: antecedentes de daños y vulnerabilidad, basados en datos históricos recopilados.
- Información hidrometeorológica necesaria: pluviométrica, fluviométrica por medio de estaciones situadas en la cuenca en estudio.
- Sistemas básicos de alerta temprana de crecidas: Para el sistema de alerta temprana es indispensable contar con datos de precipitaciones y/o caudales, con sistema de transmisión y acopio de datos, procesamiento de la información y toma de decisiones.

Por ejemplo, el INSIVUMEH cuenta con sistemas de alerta temprana, sistemas hidrometeorológicos en ríos Achíguate y María Linda, para medir cambios y crecidas de caudales.

4.4.3. Análisis de aspectos técnicos a evaluar en prevención de desastres naturales en carreteras

Los desastres naturales que más afectan una red vial son los terremotos y los huracanes, razón por la cual es tan importante que los proyectos de vías terrestres cuenten con los respectivos estudios geológicos e hidrológicos para su planeación, ejecución y mantenimiento.

De tal forma que es necesario contar con decisiones y criterios técnicos apropiados en el diseño y mantenimiento de los proyectos viales para obtener excelentes resultados y optimizar los recursos económicos, naturales y humanos.

Capacitación al personal que se dedique a redactar informes, evaluar los daños, trazar mapas de zonificación o diseñar medidas de mitigación estructural, debe conocer las generalidades del sistema en su totalidad y además debe ser un buen especialista dentro de su área de trabajo, que tenga un amplio conocimiento sobre los desastres naturales o por la acción humana, y también un amplio conocimiento sobre lo que es ingeniería de carreteras para que a su vez se logre integrar la relación que existe entre amenaza, vulnerabilidad y riesgo.

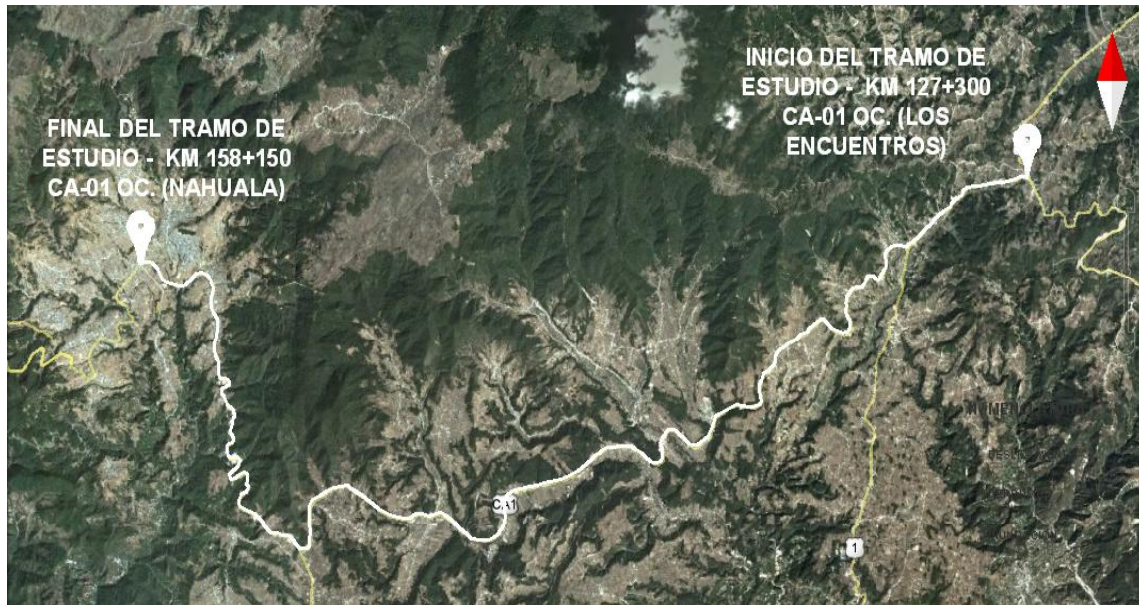
Todo esto, para formar de esta forma un equipo de profesionales que trabajen coordinadamente por un objetivo general, entendiendo y facilitando el trabajo de las anteriores y subsiguientes fases del proyecto.

5. APLICACIÓN PRÁCTICA

En este trabajo se desarrolla el análisis de un tramo carretero de un poco más de 30 km de la carretera CA-1 Occidente entre los puntos de Los Encuentros en el km 127+300 y Nahualá en el km 158+150, como se muestra en la figura 14.

La actual red vial, especialmente en la zona noroccidente de Guatemala, presenta vulnerabilidad muy alta a deslizamientos, flujos de lodo, y crecidas de ríos. Esto ocurre especialmente en época de lluvia; cuando las condiciones geológicas aumentan la fragilidad de las laderas, quebradas y suelo, afectando las carreteras (asfalto y terracería) y puentes principalmente.

Figura 14. Tramo de estudio



Fuente: elaboración propia.

5.1. Desarrollo

A lo largo del eje de la vía existen diferentes tipos de taludes que en su mayoría presentan diversos derrumbes y/o deslizamientos que, generalmente recorren paralelamente el pie del talud de la carretera, y en ciertos casos algunos deslizamientos generados por erosión, con la existencia de cárcavas que han hecho que la vía se vea afectada considerablemente.

Así mismo, cabe mencionar que en algunos tramos de la vía, algunas viviendas han invadido el derecho de vía de la carretera, lo cual hace que los pobladores siembre sus cosechas en las laderas paralelas a la carretera provocando constante humedad en el suelo, además que no cuentan con un sistema de saneamiento adecuado, provocando con esto que en algunos casos

desechen sus excretas y basura hacia las cunetas de la carretera, provocando con esto que las cunetas, cajas y tuberías se obstaculicen y entorpezcan el paso natural del agua, y también algunas viviendas se encuentran vulnerables a ser destruidas por deslizamientos.

Se observa también, que en algunos tramos de la carretera existen casas que atraviesan agua entubada de extremo a extremo de la vía, en la cual existen fugas en ciertas uniones ya que no cuentan con el mantenimiento adecuado, provocando con esto saturación de agua en el suelo misma que se desencadena una serie de micro derrumbes que en varias ocasiones el camino ha sido reducido a un ancho de espacio de solo un carril, la mayoría de veces por causa de esta invasión de terreno.

5.2 Características de la zona

- **Uso de suelo**

La aptitud de los suelos en el sector de Los Encuentros hasta Nahualá, es predominantemente de suelos agrícolas con mucha fertilidad, susceptibles a la erosión y de mucha productividad; con sembrados de maíz, frijol, diversidad de frutas y verduras y café de altura.

- **Clima**

La zona también se caracteriza por sus intensidades de precipitación de lluvia, que oscilan la máxima anual en 1668,8 mm para el período de 5 minutos según la estación El Tablón, ubicada en las coordenadas 14° 59,25' de latitud Norte y 91° 45,40' de longitud oeste y a 2598 msnm.

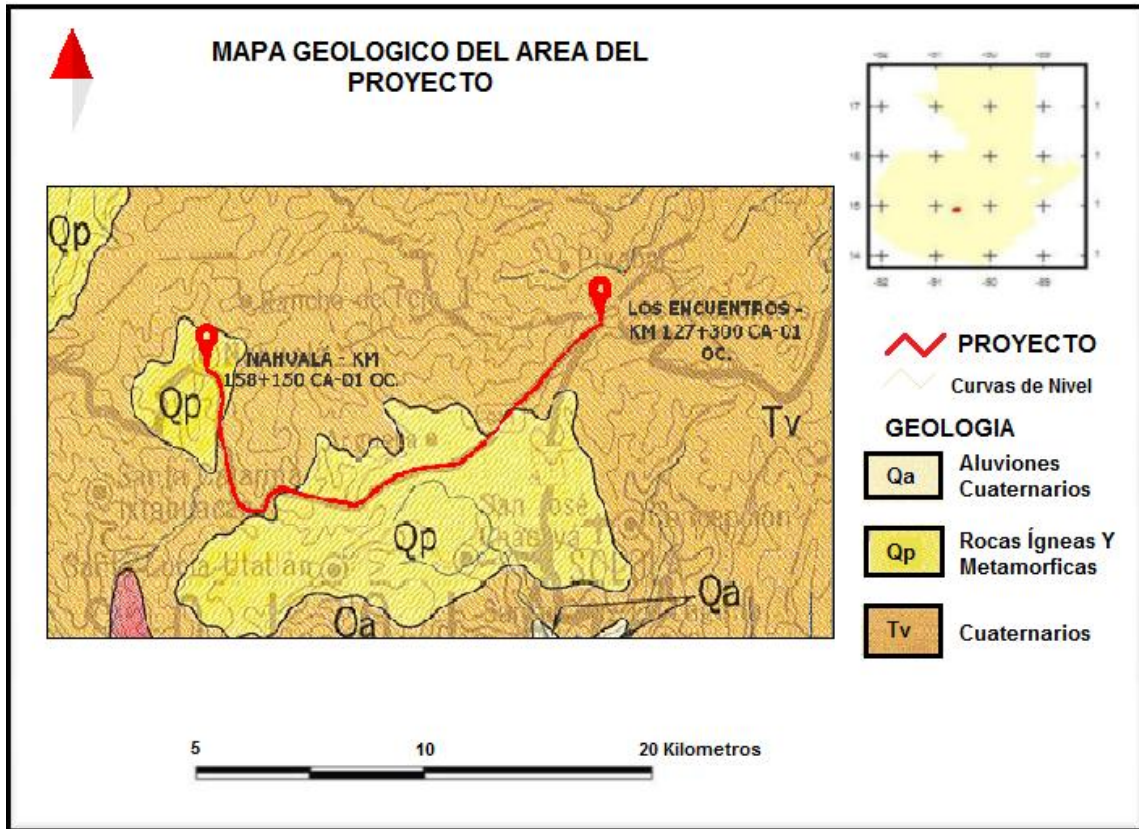
- Sismicidad

Los datos históricos sobre eventos sísmicos dañinos en esta región evidencian que existe poca actividad sísmica local, al menos con respecto a la localización del tramo, puesto que la sismicidad se concentra más en las zonas: centro, oriente, y sur oriente.

- Deslizamientos

Debido al tipo de geología del país que se caracteriza por ser en gran parte de origen volcánico combinado con las precipitaciones anuales en la zona noroccidente donde se ubica la carretera, influyen de tal manera que hacen que los taludes sean susceptibles a derrumbes y/o a deslizamientos, como se indica en la figura 15.

Figura 15. Mapa geológico del área del proyecto



Fuente: elaboración propia.

Y si a esto se le suma el evento por sismo, como catalizador, genera una mayor probabilidad de ocurrencia de este evento.

En cada temporada de lluvia ocurren sucesos de este tipo, la mayoría de veces son de pequeñas magnitudes (como caída de rocas en la carretera, hundimientos de terraplén en la vía, entre otros), pero siempre crean dificultades. En el caso de eventos como el huracán Agatha, en el 2010, las precipitaciones provocaron un gran número de deslizamientos y

desprendimientos rocosos en las zonas montañosas donde se originaron derrumbes debido a las lluvias que destruyeron en algunos casos por completo las alcantarillas y socavaron la sección típica haciéndola intransitable.

5.3. Análisis de resultados

El inventario de riesgos y vulnerabilidades, fue obtenido por la realización de visitas de campo a la zona y de la interpretación de uso del suelo, como se muestra en tabla V.

Tabla V. **Matriz de medida de mitigación del área de estudio**

No.	Tramo		Lado	Tipo de amenaza	Vulnerabilidad estructural	Estado actual	Medida de mitigación	Obs.
	DE	A						
1	127+ 300							Los Encuentros
2	127+ 500	127+ 700	D	Inundación	Cuneta	Azolvadas	Limpieza	
3	127+ 600	127+ 900	I	Antrópica	Talud de relleno	Contaminación por basura	Limpieza y revestimiento de relleno	
4	127+ 700	128+ 150	D	Inundación	Talud de relleno	Contaminación por basura	Limpieza	
5	128+ 150	128+ 250	D	Derrumbe	Talud de corte	Derrumbe pequeño	Limpieza y construcción de obra de protección	
6	128+ 250		D	Inundación	Caja	Abandonada con basura	Limpieza	
7	128+ 250	128+ 290	I	Deslizamiento	Cuneta	Cuneta en mal estado	Revestimiento de cuneta	

Continuación de la tabla IV.

No.	Tramo		Lado	Tipo de amenaza	Vulnerabilidad estructural	Estado actual	Medida de mitigación	Obs.
	DE	A						
8	128+270		I	Antrópica	Desfogue de cuneta	Sin disipador	Reconfortamiento de talud y hacer disipador	Fuga en tubería entubada
9	128+270		I	Saturación de agua en la base	Bordillo central	Destruído	Revestimiento	
10	128+490		I	Deslizamiento	Tubería	Tubería oxidada	Cambio de tubería	
11	128+490	129+500	D	Derrumbe	Talud de corte	Derrumbe pequeño	Limpieza	
12	129+500	129+650	D	Deslizamiento	Talud de relleno	Sin protección	Diseñar medida de mitigación	
13	129+650	129+950	D	Derrumbe	Talud de corte	Sin protección	Diseñar medida de mitigación	
14	129+900	130+000	D	Deslizamiento	Talud de relleno	Sin protección	Diseñar medida de mitigación	
15	130+000	130+050	D	Derrumbe	Talud de corte	Sin protección	Diseñar medida de mitigación	
16	130+050	130+200	D	Deslizamiento	Talud de relleno	Sin protección	Diseñar medida de mitigación	
17	130+200	130+400	D	Derrumbe	Talud de corte	Sin protección	Diseñar medida de mitigación	
18	130+200	130+580	D	Inundación	Cuneta	Azolvadas	Limpieza	
19	130+580	131+200						Zona urbana

Continuación de la tabla IV.

No.	Tramo		Lado	Tipo de amenaza	Vulnerabilidad estructural	Estado actual	Medida de mitigación	Obs.
	DE	A						
20	131+200	131+300	D	Inundación	Cuneta	Azolvas	Limpieza	
21	131+700	131+850	D	Deslizamiento	Talud de relleno	Deslizamiento medio	Limpieza y construcción de obra de protección	
22	131+850	131+900	I	Deslizamiento	Talud de relleno	Sin protección	Diseñar medida de mitigación	
23	131+900	132+300	D	Derrumbe	Talud de corte	Sin protección	Diseñar medida de mitigación	
24	132+400	132+650						Zona urbana
25	132+650	132+800	I	Deslizamiento	Talud de relleno	Sin protección	Diseñar medida de mitigación	
26	134+200	134+300	D	Derrumbe	Talud de corte	Sin protección	Diseñar medida de mitigación	
27	134+600	135+900						Zona urbana
28	135+900	136+100	I	Derrumbe	Talud de corte	Sin protección	Diseñar medida de mitigación	
29	135+900	136+100	D	Deslizamiento	Talud de relleno	Sin protección	Diseñar medida de mitigación	
30	136+100	136+800	I	Derrumbe	Talud de corte	Sin protección	Diseñar medida de mitigación	
31	136+100	136+800	D	Deslizamiento	Talud de relleno	Sin protección	Diseñar medida de mitigación	

Continuación de la tabla IV.

No.	Tramo		Lado	Tipo de amenaza	Vulnerabilidad estructural	Estado actual	Medida de mitigación	Obs.
	DE	A						
32	136+800	137+700	D	Derrumbe	Talud de corte	Sin protección	Diseñar medida de mitigación	
33	136+800	137+700	I	Deslizamiento	Talud de relleno	Sin protección	Diseñar medida de mitigación	
34	137+700	137+900	Ambos	Derrumbe	Talud de corte	Sin protección	Diseñar medida de mitigación	
35	137+900	139+100	D	Derrumbe	Talud de corte	Sin protección	Diseñar medida de mitigación	
36	137+900	139+100	I	Deslizamiento	Talud de relleno	Sin protección	Diseñar medida de mitigación	
37	139+100	139+140	Ambos					Puente Argueta
38	139+200	140+500	D	Derrumbe	Talud de corte	Talud estable		Corte en roca
39	139+200	140+500	I	Deslizamiento	Talud de relleno	Sin protección	Diseñar medida de mitigación	
40	140+500	141+350						Zona urbana
41	141+350	142+300	D	Derrumbe	Talud de corte	Sin protección	Diseñar medida de mitigación	
42	141+350	142+300	I	Deslizamiento	Talud de relleno	Sin protección	Diseñar medida de mitigación	
43	142+300	144+400						Zona urbana

Continuación de la tabla IV.

No.	Tramo		Lado	Tipo de amenaza	Vulnerabilidad estructural	Estado actual	Medida de mitigación	Obs.
	DE	A						
44	144+400	145+600	D	Derrumbe	Talud de corte	Sin protección	Diseñar medida de mitigación	
45	144+400	145+600	I	Deslizamiento	Talud de relleno	Sin protección	Diseñar medida de mitigación	
46	145+800	145+830						Puente Novillero
47	146+000	147+200	D	Derrumbe	Talud de corte	Sin protección	Diseñar medida de mitigación	
48	146+000	147+200	I	Deslizamiento	Talud de relleno	Sin protección	Diseñar medida de mitigación	
49	147+500	147+650	D	Inundación	Caja	Tapada	Limpieza de caja y cuneta	
50	147+600	147+700	D	Derrumbe	Talud de corte	Sin protección	Diseñar medida de mitigación	
51	147+600	147+700	I	Deslizamiento	Talud de relleno	Sin protección	Diseñar medida de mitigación	
52	147+700	150+200						Zona urbana
53	150+200	151+300	D	Derrumbe	Talud de corte	Sin protección	Diseñar medida de mitigación	
54	150+200	151+300	I	Deslizamiento	Talud de relleno	Sin protección	Diseñar medida de mitigación	
55	157+300	151+340						Puente Stan 1

Continuación de la tabla IV.

No.	Tramo		Lado	Tipo de amenaza	Vulnerabilidad estructural	Estado actual	Medida de mitigación	Obs.
	DE	A						
56	151+ 500	152+ 200	Ambos	Derrumbe	Talud de corte	Sin protección	Diseñar medida de mitigación	
57	153+ 800	154+ 400	D	Derrumbe	Talud de corte	Talud estable		Corte en roca
58	155+ 850	155+ 950	I	Deslizamiento	Talud de relleno	Sin protección	Diseñar medida de mitigación	
59	155+ 950	156+ 100	D	Deslizamiento	Asfalto	Agua aflora del pavimento	Construcción de subdrenaje	
60	157+ 950	157+ 930						Puente Stan 2
61	158+ 150							Entrada Nahuala

Fuente: elaboración propia

La carretera en estudio está expuesta a amenazas naturales, producidas por la actividad hidrometeorológica y en una parte por la influencia humana (antrópica), esto causa la inestabilidad en taludes de corte y terraplenes, así como la posibilidad de ocurrencia de flujos de lodos y detritos. Ya que la zonificación obtenida identifica áreas que ya han presentado problemas de inestabilidad anteriormente, aunque cabe mencionar que esta evaluación es del tipo preliminar, ya que aunque permite identificar áreas con susceptibilidad alta y muy alta, deben realizarse estudios más detallados.

No se mencionan medidas de mitigación específicas como en el caso en donde existen amenazas de derrumbe o deslizamiento dado que para evaluar la mejor alternativa hay que hacer varios estudios como los de suelos, hidrológicos, geotécnicos, etc. Pero en este caso podrían ser muros de contención de piedra, mampostería, concreto ciclópeo, concreto armado, plantas geosintéticas, etc.

No se realizó el inventario de las alcantarillas existentes, pero en resumen de las medidas de mitigación se entiende que deben de tener una limpieza antes de que inicien las lluvias (abril – mayo) y otra limpieza en el periodo de canícula (agosto – septiembre). Se debe de realizar la limpieza en las cunetas, revisando que no exista material de arrastre.

Dado que es una carretera ya construida que cuenta con alcantarillas, puentes, y capa de pavimento, fue posible tomar criterios para verificar la vulnerabilidad de estos componentes.

CONCLUSIONES

1. Las medidas de mitigación aumentan la capacidad de respuesta de la carretera, reduciendo el desastre, pero su eficacia es medida en función de los costos necesarios para reducir la vulnerabilidad.
2. La omisión del análisis de riesgo en la planificación de la infraestructura vial, podría repetir un ciclo costoso de destrucción y reconstrucción. El planteamiento para mitigación de desastres y vulnerabilidad debe incorporarse en los esfuerzos de planificación regional más importantes.
3. Es de vital importancia considerar medidas de mitigación, que incentiven al usuario a colaborar y regirse por las indicaciones de las autoridades.
4. Las carreteras y toda la estructura vial debe contar con sus respectivas medidas de mitigación desde el momento que son planificadas, porque integrarle posteriormente estructuras adicionales para reducir su vulnerabilidad es exageradamente costoso.
5. Para corregir los taludes ya construidos, se debe realizar un estudio de suelos detallado, según el tipo de material, para poder de esta forma evaluar qué medida de mitigación es la más adecuada y viable.

RECOMENDACIONES

1. Los fenómenos naturales no son predecibles, por lo que es importante evaluar los efectos y si éstos causan daños severos a la infraestructura vial, entonces deben reducirse dichos efectos por medio de medidas de mitigación adecuadas, las cuales deben adoptarse antes del impacto de un evento, de esta manera se estará manejando las amenazas y no permitiéndoles que se conviertan en desastres.
2. Las medidas de mitigación que se implementen deben ser adecuadas para cada tipo de desastre y se deberán aplicar según sean el diagnóstico y al grado de daño que el fenómeno natural produzca.
3. Los taludes de corte o relleno deberán ser monitoreadas constantemente, haciéndose énfasis en los puntos donde el suelo sea propenso a erosión o donde existan fallas cercanas, para determinar su comportamiento y la medida de consolidación apropiada y como se comportan las medidas ya adoptadas para observar su eficiencia real y compararla con la teoría.
4. Un estudio de riesgo debe incluir la identificación de las obras de mitigación de desastres necesarias para la rehabilitación o reconstrucción de determinado tipo de infraestructura, y por lo tanto es necesario identificar también infraestructuras alternas que puedan ser usadas en el periodo de rehabilitación de la infraestructura.

5. Se recomienda que se adopten niveles aceptables de vulnerabilidad a los peligros naturales basados en los niveles de resiliencia que tienen las carreteras y el mantenimiento de las mismas.
6. Es necesario que las unidades de planificación vial fortalezcan la capacitación de su personal técnico y tomadores de decisiones en la gestión del riesgo y vulnerabilidad a peligros naturales.

BIBLIOGRAFÍA

1. CASTRO HERNÁNDEZ, Kattia. *Vulnerabilidad física de la infraestructura vial en las rutas 130, 712, 146, 120 y 126 tramo Alajuela – Fraijanes – Vara Blanca – San Miguel de Sarapiquí*. Trabajo de graduación Ing. Civil, Costa Rica: Universidad de Costa Rica, 2005. 156 p.
2. Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central. *Guía Amenaza por deslizamiento*. Guatemala: CEPREDENAC, 2005. 97 p.
3. CORDERO CARBALLO, Diego Alberto. *Metodologías de evaluación de la vulnerabilidad de la infraestructura vial nacional*. Costa Rica: s.e. 2010. 205 p.
4. MATAMOROS ALVARADO, Josué. *Perfil de vulnerabilidad ante amenazas naturales de la ruta 3, tramo Garita – Orotina*. Trabajo de graduación Ing. Civil, Costa Rica: Universidad de Costa Rica, 2003. 193 p.
5. Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, Dirección General de Caminos. *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*. Guatemala: CIV, 2001. 656 p.

6. RIVERA POMES, Carlos Humberto. *Teoría general de prevención de desastres*. Trabajo de graduación Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería 1998. 175 p.
7. Secretaría de Integración Económica de Centroamérica. *Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras, con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial*. 3ª ed. Guatemala: SIECA, 2010. 342 p.
8. Sistema de Integración Centroamericana, Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central. *Plan regional de reducción de desastres: Plan básico*. Costa Rica. SICA; CEPREDENAC, 2010. 387 p.
9. VALDEZ HERNÁNDEZ, Carlos Alberto. *Análisis y recomendaciones para prevención de desastres en carreteras*. Trabajo de graduación Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2003. 93 p.
10. VARGAS WILLIAMS, Yerrad Gerardo. *Gestión de riesgos naturales en infraestructura vial*. (LanammeUCR). (Informe Interno). Costa Rica Universidad de Costa Rica, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales 2003. 186 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Km 134+300 CA -01 Occ. – Lado Derecho, Tipo de amenaza: Derrumbe y cunetas azolvadas. Medida de Mitigación: Limpieza de cunetas y construcción de terrazas



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Km 147+500 CA -01 Occ. – Lado Izquierdo. Tipo de amenaza: Deslizamiento. Medida de Mitigación: Estabilización de talud de relleno y construcción de muro de contención



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Km 136+500 CA -01 Occ. – Lado Derecho. Tipo de amenaza: Antrópica extracción de material del talud de corte Medida de Mitigación: Construcción de terrazas.



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Km 127+500 CA -01 Occ. – Lado Izquierdo. Tipo de amenaza: Antrópica disipador saturado de basura y erosión en el talud de relleno Medida de Mitigación: Limpieza y revestimiento de talud de relleno.



Fuente: elaboración propia.

Apendice 5. Km 157+950 CA -01 Occ. – Lado Derecho: Tipo de amenaza: Afloramiento de agua en la carpeta asfáltica Medida de Mitigación: Construcción de Subdrenaje.



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. Km 159+900 CA -01 Occ. – Lado Izquierdo: Tipo de amenaza: Deslizamiento, dissipador destruido Medida de Mitigación: Reconstrucción de dissipador y estabilización de talud (Fecha de fotografía noviembre 2012)



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. Km 128+900 CA -01 Occ. – Lado Derecho: Ejemplo de Obra de mitigación (Fecha de fotografía noviembre 2012)



Fuente: elaboración propia.

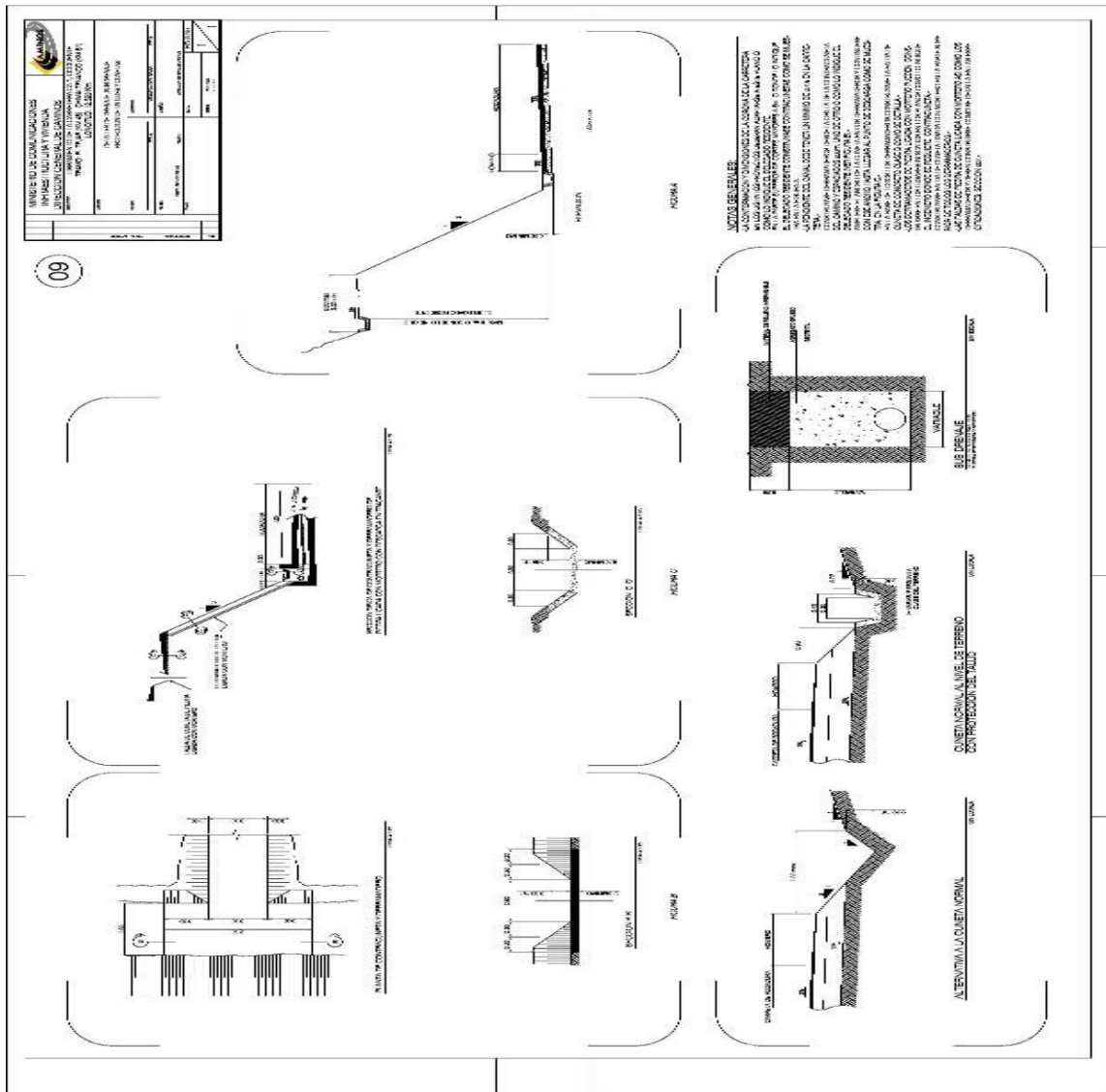
Apéndice 8. Km 121+500 CA -01 Occ. – Lado Derecho: Ejemplo de Obra de Mitigación (Fecha de fotografía noviembre 2012)



Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Detalle de Drenaje menor



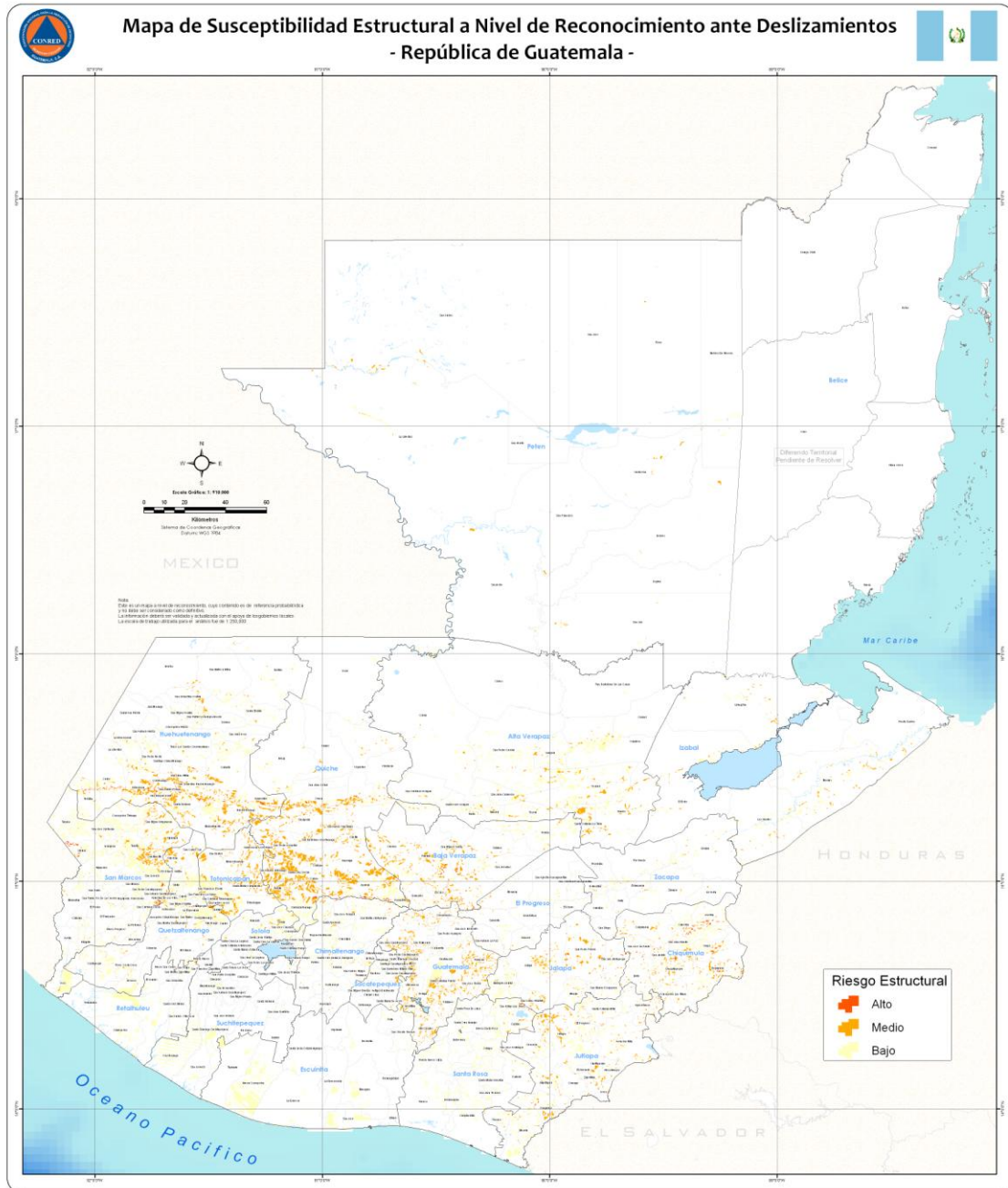
Fuente: Dirección General de Caminos

Anexo 2. Mapa de inundaciones



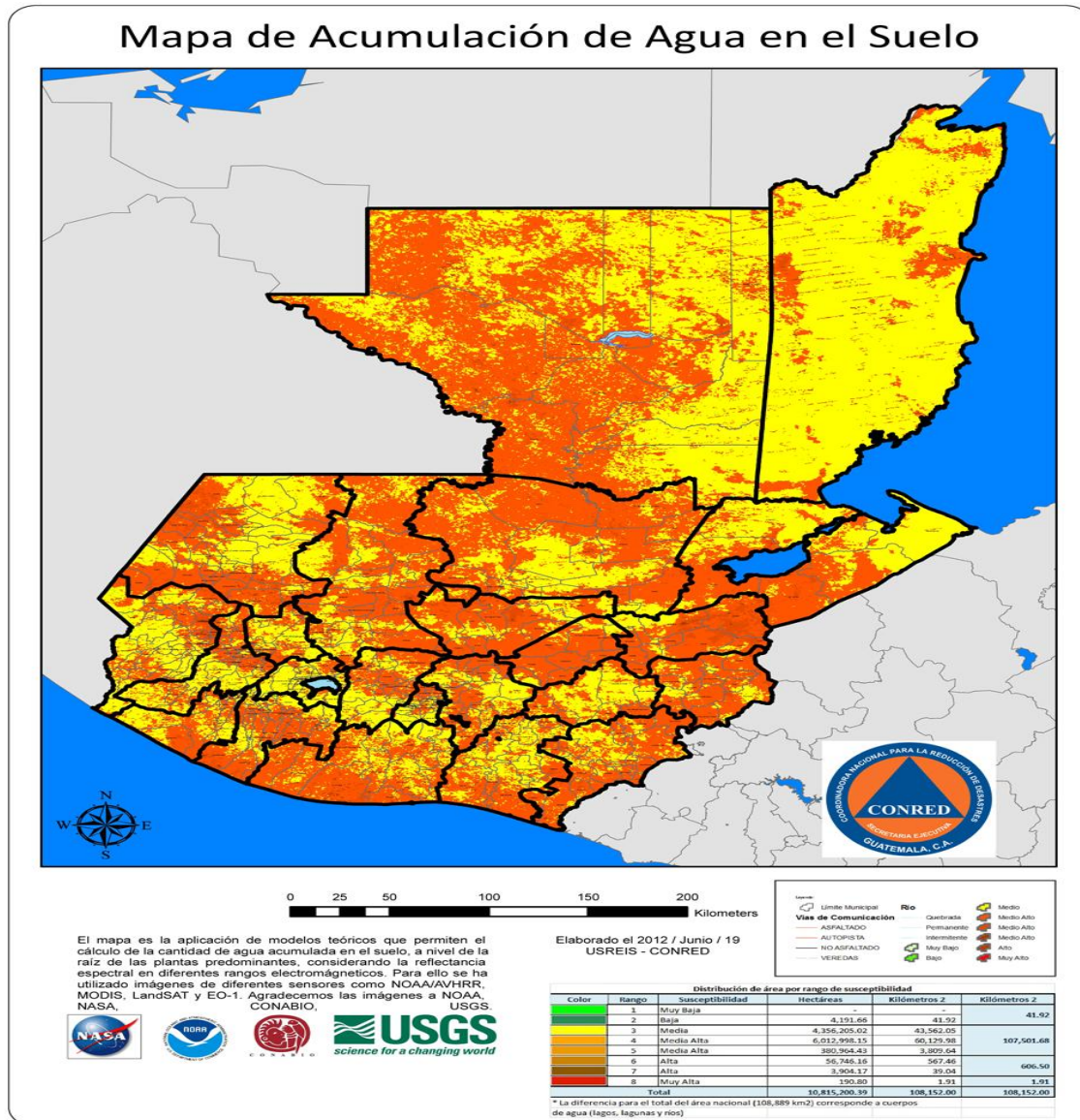
Fuente: CONRED

Anexo 3. Mapa de deslizamientos



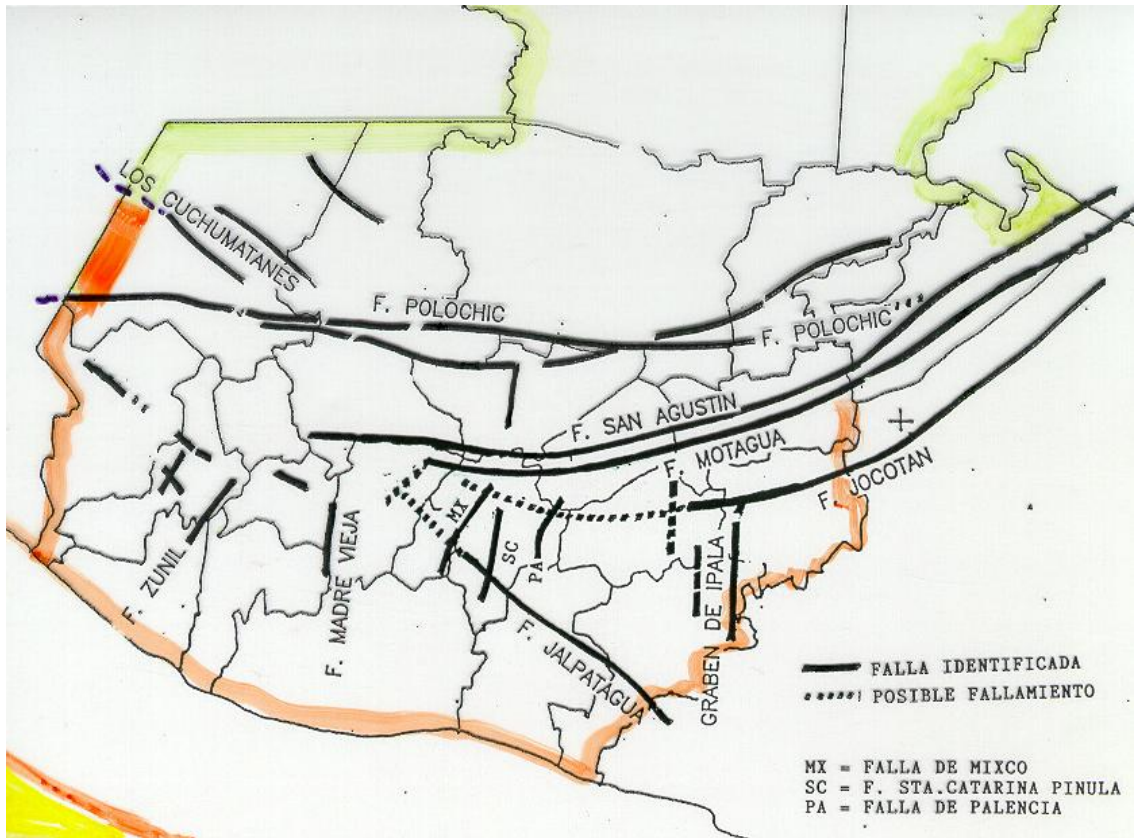
Fuente: CONRED

Anexo 4. Mapa de acumulación de agua en el suelo



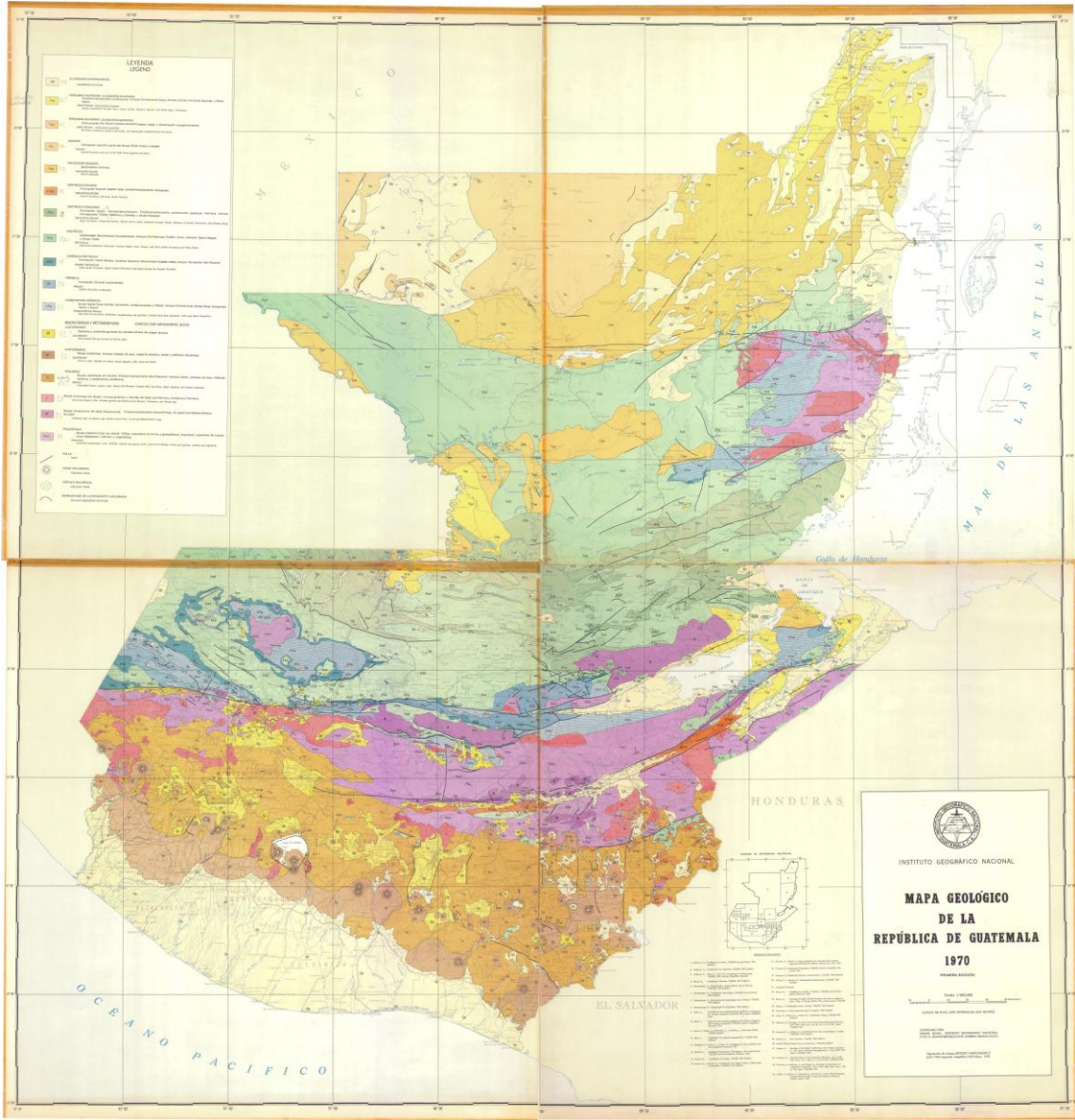
Fuente: CONRED

Anexo 5. Mapa de fallas en Guatemala



Fuente: CEPREDENAC

Anexo 6. Mapa geológico de la República de Guatemala



Fuente: Instituto Geográfico Nacional.

Anexo 7. Ejemplo de efecto del sismo en la carretera, grieta en el pavimento,
Sismo en Guatemala año 2012



Fuente: Prensa noviembre 2012

Anexo 8. Ejemplo de efecto del sismo en la carretera, desprendimiento de roca,
Sismo en Guatemala año 2012



Fuente: Prensa Libre noviembre 2012.

Anexo 9. Ejemplo de efecto del sismo en la carretera, derrumbe, Sismo en Guatemala 2012



Fuente: Prensa Libre noviembre 2012.

Anexo 10. Ejemplo de efecto erosión en la carretera, derrumbe, Tormenta Agatha Guatemala 2010



(Fotografía Prensa Libre junio 2010)