



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

**PROPUESTA PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE  
VULNERABILIDAD EN UN PROYECTO DE CARRETERAS**

**Carlos Humberto Castillo Gómez**

Asesorado por el Ing. Carlos Humberto Castillo Mancilla

Guatemala, marzo de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE  
VULNERABILIDAD EN UN PROYECTO DE CARRETERAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**CARLOS HUMBERTO CASTILLO GÓMEZ**

ASESORADO POR EL ING. CARLOS HUMBERTO CASTILLO MANCILLA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, MARZO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Juan Ramón Ordóñez Hernández
EXAMINADOR	Ing. Luis Estuardo Saravia Ramírez
EXAMINADOR	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
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:

### **PROPUESTA PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD EN UN PROYECTO DE CARRETERAS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 11 de abril de 2013.

**Carlos Humberto Castillo Gómez**

Guatemala, enero de 2,015.

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 **PROPUESTA PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD EN UN PROYECTO DE CARRETERAS**, desarrollado por el estudiante universitario de la carrera de Ingeniería Civil, Carlos Humberto Castillo Gómez, 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.

  
CARLOS H. CASTILLO MANCILLA  
INGENIERO CIVIL  
COLEGIADO 2705  
Ing. Carlos Humberto Castillo Mancilla  
Asesor



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,  
27 de febrero de 2015

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

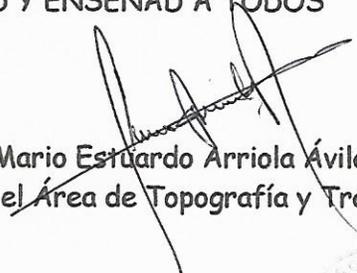
Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **PROPUESTA PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD EN UN PROYECTO DE CARRETERAS**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Carlos Humberto Castillo Gómez, 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 ENSEÑAN A TODOS

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

bbdeb.



FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO  
DE  
TRANSPORTES  
USAC

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



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 Pablo Carlos Humberto Castillo Gómez, titulado PROPUESTA PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD EN UN PROYECTO DE CARRETERAS, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, marzo 2015

/bbdeb.

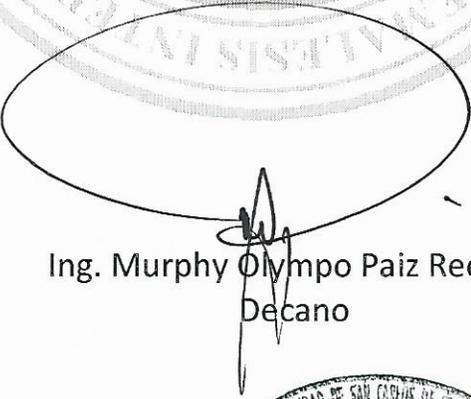
Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





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: **PROPUESTA PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD EN UN PROYECTO DE CARRETERAS**, presentado por el estudiante universitario: **Carlos Humberto Castillo Gómez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 23 de marzo de 2015

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por su inmenso amor y sabiduría al ayudarme a alcanzar este objetivo.
- Virgen María** Por la iluminación y guía en todo momento de mi vida.
- Mis padres** Carlos Humberto Castillo Mancilla y María Mercedes Gómez de Castillo, por su ejemplo, amor, formación, apoyo, consejos y comprensión en mi vida y educación.
- Mis hermanos** María Lourdes y Pedro Andrés Castillo Gómez, por su apoyo incondicional en todo momento.
- Mi abuela** Tomasa Miriam Nora Mansilla Borrayo, por su amor, comprensión, ejemplo y consejos en todo momento.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por ayudarme a alcanzar la meta de finalizar la carrera profesional. Por siempre instruirme, brindarme su apoyo incondicional, su sabiduría y su amor infinito en toda mi vida.
<b>Mis padres</b>	Por siempre apoyarme, mostrarme el camino correcto e instruirme en todos los aspectos de mi vida.
<b>Ing. Carlos Humberto Castillo Mancilla</b>	Por su apoyo y comprensión en la elaboración del presente trabajo, guiándome con sus conocimientos y experiencia, adquiridos durante su vida profesional.
<b>Mis familiares</b>	Por su apoyo en todo momento.
<b>Mis amigos</b>	De estudio y vida, muchas gracias.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por ser mi casa de estudios.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SIMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación .....	2
1.3. Planteamiento del problema .....	2
1.4. Definición de riesgo .....	3
1.5. Riesgos en carreteras en Guatemala .....	3
1.6. Definición de gestión de riesgo.....	4
1.7. Definición de amenaza .....	5
1.8. Revisión documental de antecedentes sobre amenazas.....	5
1.9. Metodología.....	6
1.10. Identificación de amenazas a considerar en proyectos de carreteras .....	7
1.11. Análisis nivel de frecuencia e intensidad de las amenazas .....	9
1.12. Síntesis interpretativa del análisis de amenazas en la zona.....	12
2. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD .....	13
2.1. Definición de vulnerabilidad.....	13
2.2. Determinación de las zonas de vulnerabilidad .....	13

2.3.	Explicación del análisis de vulnerabilidad .....	14
2.4.	Procedimiento de evaluación del análisis de vulnerabilidad.....	14
2.4.1.	Análisis de vulnerabilidad por exposición.....	15
2.4.2.	Análisis de vulnerabilidad por fragilidad .....	15
2.4.3.	Análisis de vulnerabilidad por falta de resiliencia .....	15
2.5.	Matriz para la evaluación de los componentes de los análisis de vulnerabilidad .....	15
2.5.1.	Análisis de la información.....	16
2.5.2.	Análisis de vulnerabilidad por exposición.....	16
2.5.2.1.	Componente bioclimático .....	17
2.5.2.2.	Componente de geología .....	17
2.5.2.3.	Componente de hidrología. ....	19
2.5.2.4.	Componente antrópico .....	20
2.5.3.	Análisis de vulnerabilidad por fragilidad .....	21
2.5.3.1.	Componente pavimento.....	21
2.5.3.2.	Componente material de construcción ...	22
2.5.3.3.	Componente elementos estructurales en la carretera .....	23
2.5.4.	Análisis de vulnerabilidad por resiliencia.....	24
2.5.4.1.	Componente mantenimiento de carreteras .....	25
2.5.4.2.	Componente de organización para la emergencia.....	25
2.5.4.3.	Componente de capacitación e investigación .....	26
3.	ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DEL PROYECTO.....	29
3.1.	Estructura del análisis de vulnerabilidad .....	29

3.2.	Procedimiento para calcular el índice de vulnerabilidad. ....	32
3.3.	Asignación de valores.....	32
3.4.	Determinación de la mediana .....	33
3.4.1.	Determinación de la mediana de una cantidad impar de números.....	33
3.4.2.	Determinación de la mediana de una cantidad par de números.....	34
3.5.	Estimación de los pesos relativos.....	35
3.6.	Calificación de los análisis de vulnerabilidad.....	38
3.7.	Parámetro de escalas de ponderación del nivel de vulnerabilidad.....	39
3.8.	Cálculo del índice de vulnerabilidad. ....	40
4.	APLICACIÓN PRÁCTICA .....	43
4.1.	Desarrollo de la visita técnica para la obtención de datos en la RN 10 entrada Antigua Guatemala km. 39 a finca Florencia Km. 33. ....	43
4.2.	Características del proyecto y zonas de vulnerabilidad .....	47
4.3.	Proposición de medidas de mitigación para una gestión de riesgo.....	48
4.3.1.	Medidas de mitigación ante deslizamiento. ....	49
4.3.2.	Medidas de mitigación ante acción volcánica.....	49
4.3.3.	Medidas de mitigación ante inundación.....	50
4.3.4.	Medidas de mitigación ante viento .....	50
4.3.5.	Medidas de mitigación ante amenazas antrópicas ....	50

CONCLUSIONES.....51  
RECOMENDACIONES .....53  
BIBLIOGRAFÍA.....55  
APÉNDICES.....57

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Tramo en estudio .....	43
2.	Entrada de cuneta .....	44
3.	Canal de cuneta .....	45
4.	Taludes .....	46
5.	Punto de mayor vulnerabilidad.....	47

### TABLAS

I.	Análisis de antecedentes y pronósticos de amenazas .....	8
II.	Escalas de ponderación de frecuencia e intensidad de amenazas .....	10
III.	Nivel de frecuencia e intensidad de amenazas de la zona que afectan al proyecto propuesto .....	11
IV.	Componente bioclimático .....	17
V.	Componente de geología .....	18
VI.	Componente de hidrología .....	19
VII.	Componente antrópico .....	20
VIII.	Componente pavimento .....	22
IX.	Componente material de construcción .....	23
X.	Componente elementos estructurales en la carretera .....	24
XI.	Componente mantenimiento de carreteras .....	25
XII.	Componente de organización para la emergencia .....	26
XIII.	Componente de capacitación e investigación .....	27
XIV.	Estructura de análisis de vulnerabilidad por exposición .....	30

XV.	Estructura de análisis de vulnerabilidad por fragilidad .....	30
XVI.	Estructura de análisis de vulnerabilidad por falta de resiliencia .....	31
XVII.	Matriz de jerarquización para la estimación de los pesos relativos de los componentes de la vulnerabilidad por exposición .....	36
XVIII.	Matriz de jerarquización para la estimación de los pesos relativos de los componentes de la vulnerabilidad por fragilidad .....	37
XIX.	Matriz de jerarquización para la estimación de los pesos relativos de los componentes de la vulnerabilidad por falta de resiliencia .....	37
XX.	Parámetro de escalas de ponderación del nivel de vulnerabilidad .....	40

## LISTA DE SIMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Km</b>	Kilómetros



## GLOSARIO

<b>Amenaza</b>	Fenómeno natural o provocado por la actividad humana, cuya ocurrencia es peligrosa para las personas, propiedades, instalaciones y ambiente.
<b>Análisis de vulnerabilidad</b>	Proceso mediante el cual se determina el nivel de exposición y la posibilidad de pérdida de un elemento o grupo de elementos ante una amenaza o amenazas específicas.
<b>Calificación</b>	Grado de una escala establecida, expresado mediante una denominación o una puntuación.
<b>Componente</b>	Parte discreta de un sistema capaz de operar independientemente, pero diseñado, construido y operado como parte integral del sistema.
<b>Confiabilidad</b>	Seguridad de un componente o sistema para resistir amenazas.
<b>CONRED</b>	Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres.

<b>Desastre antrópico</b>	Provocados por el ser humano, específicamente relacionados con el inadecuado manejo de la tecnología.
<b>Desastre natural</b>	Ocurrencia de un fenómeno en un espacio y tiempo limitados, que causa trastorno en los patrones normales de funcionamiento sobre poblaciones, propiedades instalaciones y en el ambiente.
<b>Emergencia</b>	Situación fuera de control que se presenta por el impacto de un desastre.
<b>Exposición</b>	Condición de desventaja debido a la ubicación, posición o localización de un sujeto, objeto o sistema expuesto al riesgo.
<b>Fenómeno</b>	Actividad que se produce en la naturaleza y se percibe a través de los sentidos.
<b>Fenómenos naturales</b>	Procesos permanentes de movimientos y de transformaciones que sufre la naturaleza.
<b>Fragilidad</b>	Susceptibilidad interna de un sujeto, objeto o sistema para enfrentar una amenaza y recibir un posible impacto debido a la ocurrencia de un evento adverso.

<b>Frecuencia</b>	Cantidad de veces que se repite un determinado valor o evento de la variable.
<b>IGN</b>	Instituto Geográfico Nacional.
<b>Intensidad</b>	Actividad en un periodo de tiempo.
<b>INSIVUMEH</b>	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
<b>Lahar</b>	Flujo de sedimento y agua que se moviliza desde las laderas de volcanes.
<b>Medidas</b>	Conjunto de acciones y obras a implementar antes del impacto de amenazas para disminuir la vulnerabilidad de los dispositivos y sistemas.
<b>Medidas de mitigación</b>	Conjunto de acciones y obras a implementar antes del impacto de amenazas para disminuir la vulnerabilidad de los dispositivos y sistemas.
<b>Prevención</b>	Conjunto de medidas y acciones dispuestas con anticipación al fin de evitar la ocurrencia de un impacto ambiental desfavorable o de reducir sus consecuencias sobre la población, los bienes, servicios y el ambiente.

<b>Riesgo</b>	Resultado de una evaluación, generalmente probabilística, que supone que las consecuencias o efectos de una determinada amenaza exceden valores prefijados.
<b>RN 10</b>	Ruta Nacional 10.
<b>SEGEPLAN</b>	Secretaría General de Planificación.
<b>Tramo</b>	Parte comprendida entre dos puntos que forman parte de un camino o vía.
<b>Vulnerabilidad</b>	Factor de riesgo interno de un sujeto o sistema expuesto a una amenaza, correspondiente a su predisposición intrínseca a ser afectado o ser susceptible de sufrir pérdida.

## RESUMEN

El presente estudio es una propuesta para determinar el índice de vulnerabilidad en un proyecto de carreteras. Tiene por objetivo evaluar la magnitud de riesgo que puede presentar un proyecto a través del índice de vulnerabilidad, aportando una de las metodologías para la selección y calificación de proyectos.

Debido a la geografía montañosa, volcánica, de cuencas, entre otros aspectos que se encuentra en Guatemala, se presentan fenómenos naturales que crean amenazas y vulnerabilidades en la construcción de tramos carreteros, ya que continuamente en la construcción se presentan grandes cortes y rellenos de taludes; así como obras de drenaje pluvial y potable, por lo que es de gran ayuda hacer una evaluación para conocer la vulnerabilidad que el proyecto presenta en su fase de diseño o la fragilidad que puede presentar ya construido.

Se deberá hacer un estudio de amenazas, reseñas históricas sobre estas; diseño del trazo del tramo, tránsito al cual estará sometido el tramo, entre otros, para poder tener un conocimiento de las amenazas que pueden afectarlo y el índice de vulnerabilidad que presentaría.

Aplicando o conociendo este índice se pueden crear las medidas de mitigación en los puntos de mayor vulnerabilidad del tramo, para que con estas medidas el mismo presente el menor porcentaje de vulnerabilidad ante las amenazas que lo acechan.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Elaborar una propuesta para determinar el índice de vulnerabilidad en un proyecto de carreteras afectado por las diferentes amenazas a las cuales está expuesto.

### **Específicos**

1. Determinar las amenazas que pueden ser consideradas en un proyecto de carreteras sobre el tramo de estudio.
2. Establecer una escala de ponderación de frecuencia e intensidad de amenazas.
3. Determinar las zonas de vulnerabilidad en un proyecto de carreteras sobre el tramo en estudio.
4. Realizar el cálculo de los análisis de vulnerabilidad por exposición, fragilidad y resiliencia, para obtener la calificación y peso relativo de cada uno de ellos.
5. Determinar el índice de vulnerabilidad que podría presentar un tramo o un proyecto de carreteras en función del grado de exposición, fragilidad y falta de resiliencia.

6. Establecer un parámetro de escalas de ponderación del nivel de vulnerabilidad total del proyecto.

## INTRODUCCIÓN

Un desastre puede ser un hecho natural o bien, provocado por el ser humano. No obstante a su origen, su materialización o resultado es un cambio permanente en la sociedad e infraestructura de tipo vial, de ecosistema y medio ambiente.

En la infraestructura vial, un desastre se puede presentar debido al riesgo al cual está sometido un tramo carretero. Este riesgo puede ser provocado por inundaciones, sismos, deslizamientos u otros fenómenos. Por lo tanto, es importante tener el conocimiento sobre el impacto que generan estos, determinándolo a través del índice de vulnerabilidad que este tipo de obra presenta, el índice se puede presentar en función de su grado de exposición, fragilidad y falta de resiliencia, ante las amenazas que podrían afectarlo.

Para determinar el índice de vulnerabilidad de los mismos, se realiza un cálculo de los pesos relativos de los componentes o temas y una asignación de calificaciones de las variables, la cual se realiza mediante los análisis de vulnerabilidad por exposición, fragilidad y falta de resiliencia. Llegando así, a obtener un valor que se utiliza para establecer un orden de mayor a menor vulnerabilidad de un tramo carretero o un proyecto de carreteras.

En ese sentido, este estudio es una propuesta para determinar un índice (valor) de vulnerabilidad en diferentes tramos de carretera de un proyecto determinado, que permitirán establecer y priorizar las acciones que se deben llevar a cabo para asegurar una correcta gestión de riesgo carretero.



# 1. GENERALIDADES

## 1.1. Antecedentes

En las últimas décadas, la vulnerabilidad a los impactos causados por las amenazas naturales ha aumentado dramáticamente en el mundo, por consecuencia del cambio climático y la expansión urbana rápida. Guatemala es una región con alta exposición a fenómenos naturales con potencial destructivo. Estos han impactado el país, con mayor frecuencia en los últimos años, con pruebas fehacientes en la red vial del país. Asimismo, las lluvias torrenciales, tormentas tropicales y huracanes han devastado regiones en cuestión de días; los terremotos, también han azotado la región, lo que ha significado pérdidas millonarias.

En algunos casos no han sido tomadas en cuenta las medidas preventivas adecuadas en el diseño de la infraestructura vial, así como en su ubicación y en el control de la calidad de la construcción o en su mantenimiento.

Debido a la falta de conocimientos sobre el riesgo, se realizan inversiones en áreas peligrosas y sin aplicar las prácticas adecuadas de prevención y mitigación. Anticiparse a que ocurra una catástrofe debido a fenómenos naturales y/o acciones humanas es una tarea ardua, en algunos casos impredecibles y en buena medida el grado de vulnerabilidad de las carreteras, impacta sobre la sociedad y sus medios de vida. Aunque no se pueda evitar que los fenómenos naturales ocurran, si es posible actuar sobre algunos factores que hacen vulnerable la infraestructura vial frente a estos eventos.

Es evidente que las catástrofes interrumpen los procesos de desarrollo de la sociedad, pero también es cierto que estos mismos procesos de desarrollo hacen que existan más vulnerabilidades de desastres. La conducción inadecuada de estos ha generado un círculo vicioso, por el cual, luego de ocurrir un desastre se realiza un proceso de reconstrucción, que al no tomar en cuenta las causas que lo originaron desencadenan nuevos desastres. Por lo tanto, es necesario romper este círculo vicioso con la implementación de procesos de desarrollo sostenibles.

## **1.2. Justificación**

La infraestructura vial es de vital importancia en la comunicación, transporte y comercio dentro de un país. Debido a ello, es importante conocer los diferentes riesgos que se pueden presentar en un tramo carretero o en un proyecto de carreteras. Esto se logra determinando el índice de vulnerabilidad de dicha infraestructura/obra ante fenómenos naturales y humanos.

Determinando un índice de vulnerabilidad para un proyecto de carreteras, se pueden calificar el grado de las amenazas que afectan a este, con lo cual se podría establecer y priorizar las acciones a llevar a cabo para asegurar una buena gestión de mitigación de riesgo.

## **1.3. Planteamiento del problema**

El problema central son los riesgos que se presentan en un tramo carretero o en un proyecto de carreteras, estos se ven reflejados en amenazas y vulnerabilidades de tipo naturales y humanas. Asimismo, estos riesgos, como: deslizamientos, erupciones volcánicas, deforestaciones y desbordamiento de ríos se ven manifestados en pérdidas económicas proporcionales a la

envergadura e importancia de la vía, llegando a ser una pérdida parcial o total de la infraestructura.

Determinando el índice de vulnerabilidad en un proyecto de carreteras, se puede representar el nivel de riesgo del tramo, el grado de amenazas al que este pueda ser expuesto a lo largo de su vida útil, el tipo de riesgo al que se puede enfrentar y como este debe ser diseñado y ejecutado, para obtener una mejor respuesta ante las amenazas.

#### **1.4. Definición de riesgo**

Es la probabilidad de que ocurra de un evento natural de determinada magnitud, duración, localización y frecuencia.

Es la probabilidad de consecuencias dañinas o pérdidas esperadas (muertes, lesiones, propiedades, infraestructuras, interrupción actividad económica o daño ambiental) resultante de la interacción de las amenazas (naturales o inducidas o hechas por el hombre) y condiciones de vulnerabilidad.

#### **1.5. Riesgos en carreteras en Guatemala**

Pueden ser producidos por los diferentes tipos de desastres a los que están propensos las carreteras, tales como:

- Desastres naturales inducidos por alteraciones en el ciclo natural
  - Deforestaciones
  - Uso del suelo

- Desastres antrópicos
  - Mal diseño de la obra (geometría, obras de protección)
  - Mala calidad en la construcción
  - Falta de educación vial del usuario
  - Daño a los taludes (desestabilizar)
  - Mal manejo de agua potable y residual
  
- Desastres naturales
  - Inundaciones
  - Huracanes y ciclones
  - Terremotos
  - Erupciones volcánicas
  - Deslizamientos de suelo

## **1.6. Definición de gestión de riesgo**

Es un enfoque estructurado para manejar la incertidumbre relativa a una amenaza, a través de una secuencia de actividades humanas que incluyen evaluación de riesgo, estrategias de desarrollo para manejarlo y mitigación del riesgo. Las estrategias incluyen transferir el riesgo a otra parte, evadir el riesgo, reducir los efectos negativos del riesgo y aceptar algunas o todas las consecuencias de un riesgo particular.

El objetivo de la evolución del índice de riesgo es reducir diferentes riesgos relativos a un ámbito preseleccionado a un nivel aceptado por la sociedad. Puede referirse a numerosos tipos de amenazas causadas por el medio ambiente, la tecnología, los seres humanos, las organizaciones y la política. Por otro lado, involucra todos los recursos disponibles por los seres humanos o, en particular, por una entidad de manejo de riesgos (persona, *staff*, organización).

## **1.7. Definición de amenaza**

Probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural, tecnológico o provocado por el hombre, potencialmente nocivo para las personas, bienes, infraestructura y el medio ambiente, dentro de un período específico y en un área delimitada.

Probabilidad de que un evento de escala y categoría determinada cause algún daño en particular a una carretera.

## **1.8. Revisión documental de antecedentes sobre amenazas**

Esta actividad consiste en recolectar información básica de la zona en donde se encuentre el proyecto de carreteras, así como de su entorno inmediato, tratando de identificar estudios, evaluaciones y cualquier información que se ha generado respecto a las amenazas, vulnerabilidad y riesgos existentes en la zona referida.

Algunos ejemplos de material documental existente son:

- Atlas Nacional del Riesgo, en el cual se encuentra información sobre las principales amenazas para cada departamento y municipio de Guatemala. Este puede consultarse en SEGEPLAN.
- Mapas de amenaza sísmica, volcánica, deslizamiento, inundación, flujo de lava y otros, los cuales se pueden solicitar en el INSIVUMEH o CONRED.
- Planes de ordenamiento territorial, estudios de microzonificación, estudios de uso del suelo y similares, que se pueden obtener en SEGEPLAN o IGN.

- Inventarios históricos de desastres, información sobre incidentes atendidos, pronósticos meteorológicos, etc., que pueden consultarse en CONRED e INSIVUMEH u otras fuentes.
- Mapas cartográficos y fotografías aéreas satelitales que permitan la ubicación de la comunidad, asimismo, una visión muy general de las curvas de nivel, la estructura del suelo y subsuelo, la hidrografía y vegetación, entre otros. Estos mapas y fotografías se pueden adquirir en el IGN.
- Información sobre temperatura, olas de calor, vientos, pluviosidad, humedad y otras, la cual se puede obtener en INSIVUMEH.
- Cualquier otro documento o información existente en el territorio relacionado con amenazas.

### **1.9. Metodología**

La actividad de identificación y priorización de amenazas debe considerar lo siguiente:

- El análisis de antecedentes y pronóstico de amenazas, (llenando la tabla I), deberá realizarse con el apoyo de un grupo de residentes conocedores de la zona donde se tiene previsto realizar el proyecto.
- Para el llenado de las tablas I y II se debe considerar la información documental analizada, y revisar respecto a amenazas y vulnerabilidades de la zona.
- El llenado de estas tablas se realizará con la información obtenida en las visitas de campo al proyecto de la RN 10 entrada Antigua Guatemala km 39, finca Florencia km 33.

#### **1.10. Identificación de amenazas a considerar en proyectos de carreteras**

Consiste en hacer un análisis de las amenazas en la zona del proyecto, tomando en cuenta la información documentada analizada. Análisis de antecedentes y pronósticos de las amenazas que puedan afectar al proyecto propuesto. Para obtener estos datos se deberán aplicar a continuación las tablas I y II.

Tabla I. **Análisis de antecedentes y pronósticos de amenazas**

ANTECEDENTES Y PRONÓSTICOS DE LAS AMENAZAS QUE PODRÍAN AFECTAR AL PROYECTO					
NOMBRE DEL PROYECTO: PROPUESTA PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD					
DEPARTAMENTO:	SACATEPÉQUEZ		MUNICIPIO:	ANTIGUA GUATEMALA	
RUTA:	RN -10		COORDENADAS	INICIO:	FINAL:
DE ESTACIÓN (INICIO):	A ESTACIÓN (FINAL):			1609801.93 N	1611063.30 N
39 + 000	33 + 000		476808.71 O	481166.55 O	
NOMBRE DE LA INSTITUCIÓN RESPONSABLE DEL PROYECTO:					
NOMBRE DEL FORMULADOR:		Carlos Humberto Castillo Gómez	FECHA:	Enero 2015	
Instrucciones:					
1. Llenar la tabla I, completando lo solicitado desde el numeral 1 al 4.					
2. Marque con una X aquellas amenazas que se han presentado (antecedentes), así como aquellas que aun cuando no se han presentado, se podrían manifestar en un futuro (pronóstico), en el área de influencia del proyecto. En el espacio de comentarios, agregar información que considere oportuna para aclarar la respectiva selección de la amenaza.					
3. Marque con una X aquellas amenazas que, por antecedentes o pronósticos pueden afectar la vida útil del proyecto					
Amenazas		1. Antecedentes y pronósticos de amenazas del área de influencia del proyecto			2. Amenazas que afectan al proyecto propuesto
		Antecedentes	Pronósticos	Comentarios	
Naturales	Terremotos (sismos)	x			x
	Erupciones volcánicas (ceniza, piroclásticos, lahares, lava, gases, etc.)	x			x
	Deslizamientos	x			x
	Hundimientos	x			x
	Inundaciones				
	Precipitación (huracanes, depresiones tropicales, tormentas tropicales.)	x			x
Otra:					
Amenazas		1. Antecedentes y pronósticos de amenazas del área de influencia del proyecto			2. Amenazas que afectan al proyecto propuesto
		Antecedentes	Pronósticos	Comentarios	
Antrópicas	Red de distribución de agua potable			x	
	Hundimientos por colapso de drenajes y/o acción del hombre.	x			x
	Canalización telefónica			x	
	Otra:				
3	¿Se conoce la recurrencia de amenazas que afectan la zona en general y/o específica del proyecto propuesto?			Con base a información histórica se puede tener una idea de la recurrencia de amenazas.	
4	¿Se dispone de suficiente información para continuar con el análisis de amenazas que pueden afectar al proyecto propuesto? Tales como: información histórica, técnica y científica, mapas de amenazas y otras fuentes.			Se consultaron diferentes fuentes de información para poder proceder con el llenado de la tabla.	

Fuente: elaboración propia.

### **1.11. Análisis nivel de frecuencia e intensidad de las amenazas**

Con la información generada en el inciso 2 de la tabla I, se procede al análisis de frecuencia e intensidad. En este trabajo de graduación, la frecuencia e intensidad de una amenaza se estimarán de forma cuantitativa, en escala de 1 a 5. La mediana de ambas permitirá conocer el nivel de amenaza para la zona en estudio. La frecuencia se relaciona con el periodo de recurrencia de cada una de las amenazas identificadas, la cual puede estimarse con base en información historia o en estudios de prospectiva. La intensidad se define como el grado de impacto de una amenaza específica.

Para calificar el nivel de amenazas (frecuencia e intensidad) se debe utilizar las escalas de ponderación que se muestran en la tabla II.

Tabla II. Escalas de ponderación de frecuencia e intensidad de amenazas

PONDERACIÓN DEL FACTOR DE FRECUENCIA		
OCURRENCIA DE LA AMENAZA	EXPLICACIÓN	VALORACIÓN
Corto plazo	El evento se presenta 2 o más veces al año.	5
	El evento se presenta 1 vez cada año.	4
Mediano plazo	El evento se presentó, por lo menos 1 vez en los últimos 3 años.	3
	El evento se presentó, por lo menos 1 vez en los últimos 7 años.	2
Largo plazo		1
	El evento se presentó hace más de 20 años.	
PONDERACIÓN DEL FACTOR DE INTENSIDAD		
OCURRENCIA DE LA AMENAZA	EXPLICACIÓN	VALORACIÓN
Alta (catastrófica)	Destrucción total del tramo, que representa grandes pérdidas económicas, y/o efectos ambientales secundarios.	5
	Destrucción parcial del tramo, que representa fuertes pérdidas económicas, y/o daños al ambiente.	4
Mediana (seria)	Generación de daños a miembros del tramo (taludes, obras de arte, drenajes), y daños económicos y ambientales considerables.	3
	Generación de algunos daños a miembros del tramo (taludes, obras de arte, drenajes), y daños económicos y ambientales considerables.	2
Baja (leve)	Generación de pequeños daños a miembros del tramo (taludes, obras de arte, drenajes), sin daños económicos y ambientales.	1

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. Nivel de frecuencia e intensidad de amenazas de la zona que afectan al proyecto propuesto

NOMBRE DEL PROYECTO: PROPUESTA PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD.					
DEPARTAMENTO:		SACATEPÉQUEZ		MUNICIPIO:	
RUTA:		RN - 10		ANTIGUA GUATEMALA	
DE ESTACIÓN (INICIO):		A ESTACIÓN (FINAL):		COORDENADAS GTM	
39 + 000		33 + 000		INICIO: FINAL:	
				1609801,93 N 1611063,30 N	
				476808,71 O 481166,55 O	
NOMBRE DE LA INSTITUCIÓN RESPONSABLE DEL					
NOMBRE DEL			Carlos Humberto Castillo Gómez		FECHA: ene-15
Instrucciones:					
1. Para llenar la tabla se toman en cuenta únicamente las amenazas que fueron identificadas en el numeral 2 (amenazas que afectan al proyecto propuesto), de la tabla I y que aparecerán automáticamente en esta tabla en la columna que indica: "amenazas que afectan al proyecto propuesto" (tabla I).					
2. Otorgarle un valor de 5 a 1 a cada factor según su nivel de frecuencia e intensidad, siguiendo las escalas de ponderación de la zona propuesta para el proyecto.					
3. Una vez obtenido los valores (frecuencia e intensidad), se calcula automáticamente el nivel de amenaza utilizando la mediana.					
Amenazas	Amenazas que afectan al proyecto propuesto (tabla I)	Frecuencia	Intensidad	Nivel de amenaza	Comentarios
		(Recurrencia, según ponderación DE 1 a 5)	(Efecto más probable, según ponderación del factor de intensidad) DE 1 a 5		
Naturales	Terremotos (sismos)	xx	1	4	2,5
	Erupciones Volcánicas (ceniza, piroclásticos,	xx	3	2	2,5
	Deslizamientos	xx	2	3	2,5
	Hundimientos	xx	1	3	2
	Inundaciones				
	Huracanes y/o depresiones tropicales	xx	3	4	3,5
Amenazas	Amenazas que afectan al proyecto propuesto (tabla I)	Frecuencia	Intensidad	Nivel de amenaza	Comentarios
		(Recurrencia, según ponderación De 1 a 5)	(Efecto más probable, según ponderación del factor de intensidad) De 1 a 5		
Otra (especifique)		--		--	
Antropicas	Red de distribución de	--		--	
	Hundimientos por colapso de drenajes y/o acción del	xx	2	4	3
	Canalización telefónica	--		--	
Otras (especifique)		--		--	

Fuente: elaboración propia.

## **1.12. Síntesis interpretativa del análisis de amenazas en la zona**

Para la interpretación del análisis de amenazas se ordenan y priorizan las amenazas que están presentes en la zona y que afectan al proyecto propuesto (de acuerdo a su nivel de frecuencia e intensidad). Para ello se utilizan los criterios siguientes:

- Las amenazas con nivel muy crítico (5), crítico (4) y nivel muy alto (3) representan un peligro inminente (refiere a la mediana de frecuencia e intensidad).
- Las amenazas, que en su relación de mediana (frecuencia e intensidad) no tienen un nivel muy crítico, crítico y muy alto, pero pueden representar un peligro inminente para el proyecto se considerará su inclusión posteriormente a un análisis lógico.

Como producto de este estudio se tendrá la lista de prioridades de las amenazas identificadas en la zona que podrían afectar la vida útil del proyecto. Asimismo, esta lista posteriormente podrá ser un insumo para los análisis de exposición, frecuencia e intensidad.

Las amenazas seleccionadas deben ser tomadas en cuenta en todo el proceso posterior que conlleva el análisis de vulnerabilidad por exposición, fragilidad y resiliencia. Con esto se podrá considerar las medidas de mitigación que se aplicaran a las diferentes zonas del proyecto de carreteras.

## **2. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD**

### **2.1. Definición de 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 o antrópico.

### **2.2. Determinación de las zonas de vulnerabilidad**

Se determinarán las zonas de vulnerabilidad con base a los siguientes criterios:

- Identificar, preferentemente de manera participativa, las condiciones que afectan al sitio en su exposición a nivel de microlocalización, con respecto al proyecto de carreteras propuesto y los componentes y variables que definen la exposición.
- Identificar criterios técnicos a considerar en el diseño y propuesta del proyecto de carreteras, para reducir la fragilidad y aumentar la resiliencia ante las amenazas a las que está expuesta el sitio.
- Obtener elementos técnicos de juicio para tomar decisiones, si procede o no la ejecución del proyecto con criterios seguros.

Con base a estos criterios los productos esperados pueden ser:

- Decisión de aceptar o rechazar el sitio propuesto para el proyecto de carreteras de acuerdo a su índice de vulnerabilidad.
- Criterios técnicos identificados que deben ser considerados en el diseño y propuesta del proyecto de carreteras.

### **2.3. Explicación del análisis de vulnerabilidad**

Este análisis consiste en calificar 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:

- Por exposición (microlocalización)
- Por fragilidad
- Por falta de resiliencia

Los resultados de estas actividades serán utilizados posteriormente por el evaluador, para verificar la incorporación de estos criterios en el diseño y propuesta del proyecto de carreteras.

### **2.4. Procedimiento de evaluación del análisis de vulnerabilidad**

A continuación se presenta el procedimiento de evaluación del análisis de vulnerabilidad, de acuerdo las actividades que se realizan.

#### **2.4.1. Análisis de vulnerabilidad por exposición**

Consiste en calificar la exposición del sitio donde se pretende instalar el proyecto. La exposición del proyecto está estrechamente relacionada con las amenazas en el territorio y el proyecto de carreteras (microlocalización).

#### **2.4.2. Análisis de vulnerabilidad por fragilidad**

La fragilidad del proyecto de carreteras a sufrir daños está estrechamente vinculada con el componente físico estructural. Es decir, con las deficiencias y debilidades de la carretera para absorber los efectos de las amenazas, por ejemplo, frente al riesgo de sismos y terremotos, la fragilidad física se traduce en la ausencia de estructuras sismoresistentes (muros de contención).

#### **2.4.3. Análisis de vulnerabilidad por falta de resiliencia**

La falta de resiliencia del proyecto de carreteras está estrechamente vinculada con el mantenimiento y recuperación del proyecto de carreteras con respecto a las amenazas que lo acechan.

### **2.5. Matriz para la evaluación de los componentes de los análisis de vulnerabilidad**

Para la realización de las matrices se determinan los componentes que afectan cada análisis, y posteriormente se diseñan las matrices. Los componentes a tomar en cuenta serán los que se obtuvieron con los datos de las visitas de campo de la RN 10 entrada Antigua Guatemala km 39 a finca Florencia km 33.

### **2.5.1. Análisis de la información**

- Las observaciones técnicas a recolectar y ordenar se realizan a través de criterios y se representan o se registran con número dentro de una escala.
- Para el análisis se utiliza la escala de medición ordinal, porque organiza los datos en orden de rangos. El cálculo estadístico descriptivo recomendado es la mediana, no permitiendo operaciones de medición aritméticas.
- La mediana es el valor que tiene la mitad del número de casos por encima de él y la mitad por debajo en la escala de valores, por lo tanto es una buena medida de tendencia central en general.
- El análisis del valor de la mediana, permite relacionar los criterios con valores que tienen comportamientos extremos, (superior e inferior) respecto a los puntos centrales (mediana).
- Los valores de 1 representan situaciones libres de todo tipo de riesgos.
- Los valores de 2 representan situaciones intermedias de riesgos y peligros aceptables con limitaciones, en relación al tipo de proyecto que se evalúa.
- Los valores de 3 representan las situaciones más riesgosas y peligrosas compatibles con el tipo de proyecto que se evalúa.

### **2.5.2. Análisis de vulnerabilidad por exposición**

En el análisis de sitio se evalúan los componentes: bioclimático, geología, hidrología y antrópico. Para ello es necesario apoyarse en las matrices (tablas) de cada componente mencionado. Luego se realiza la calificación de la exposición del sitio, y con este dato poder contribuir en la determinación del índice de vulnerabilidad.

### 2.5.2.1. Componente bioclimático

Las variables a considerar en este componente son en viento y la precipitación. En la figura 2 se observa la ponderación y descripción de cada variable para uso del evaluador del proyecto. Posteriormente en la tabla III, se realizará la calificación del componente en estudio del análisis de vulnerabilidad por exposición según el criterio del evaluador del proyecto.

Tabla IV. Componente bioclimático

COMPONENTE BIOCLIMÁTICO		
Evaluación	1. Viento	2. Precipitación
1	En el tramo de estudio se presentan durante el año vientos con velocidades inferiores o igual a 160 km/hr (huracán categoría 2).	En el tramo se presenta un régimen seco o de precipitaciones anuales promedio inferior a 1500 mm/año. Se deben consultar los mapas de precipitación promedio anual para determinar el rango para el tramo en estudio.
2	En el tramo de estudio prevalecen durante el año vientos con velocidades entre 160 a 250 km/hr (huracán categoría 3 y 4).	En el tramo se presenta un régimen riguroso de precipitaciones anuales promedio que varía de 1500-3500 mm/año. Se deben consultar los mapas de precipitación promedio anual para determinar el rango para el tramo en estudio.
3	En el tramo de estudio se presentan durante el año vientos con velocidades superiores a 250 km/hr (huracán categoría 5).	En el tramo se presenta un régimen severo de precipitaciones anuales promedio mayor a 3500 mm/año. Se deben consultar los mapas de precipitación promedio anual para determinar el rango para el sitio en estudio.

Fuente: elaboración propia.

### 2.5.2.2. Componente de geología

Las variables a considerar en este componente son: sismicidad, erosión-sedimentación y arrastre, los deslizamientos-derrumbes y vulcanismo. En la figura 3 se observa la ponderación y descripción de cada variable para el uso del formulador o evaluador del proyecto. Posteriormente, en la tabla III se realizará la calificación del componente en estudio del análisis de vulnerabilidad por exposición según el criterio del evaluador del proyecto.

Tabla V. Componente de geología

COMPONENTE GEOLOGÍA					
Evaluación	Sismicidad	Erosión-sedimentación y arrastre	Deslizamientos-derrumbes		Vulcanismo
			Material	Altura	
1	El sitio donde se emplazará la carretera no tiene o tiene muy poca actividad sísmica y los daños esperados podrían considerarse como poco significativos. Se presenta aceleración menor o igual a 0,20 g (gravedad). O se puede evidenciar por inspección visual y documental que la actividad sísmica es baja.	Cuando, durante la etapa de construcción u operación del proyecto se presenten variaciones moderadas de caudal, pendiente del lecho, descarga de sedimentos y variación del tamaño medio del sedimento no afecte el transporte del sedimento. O de acuerdo a los resultados de los estudios de hidrología y sedimentación.	En el tramo donde se realizará el proyecto puede ocurrir de forma aislada o casual, puntos que puedan ocasionar deslizamientos de poca importancia del talud, debido a los tipos de materiales que lo constituyen (arenas).	El rango de altura que presenta el talud es de 1,0 a 8,0 metros.	No existen volcanes activos donde se realizará el proyecto o la distancia entre los volcanes con actividad y el proyecto es tal, que no existe posibilidad de que el proyecto sufra las consecuencias de actividad volcánica. No existen volcanes activos o los que existen mantiene comportamiento estable. Definiéndose como un volcán activo (con fumarolas y sísmicidad de fondo) que puede registrar procesos menores a moderados de emisión de gases y diferentes manifestaciones de actividad en superficie que afecta fundamentalmente la zona más inmediata o próxima al cráter activo, pero no representa mayor peligro para el proyecto.
2	El sitio donde se ubicara la carretera es de mediana peligrosidad sísmica con aceleración entre 0.20g y 0.30g. (gravedad). O se puede evidenciar por inspección visual y documental, que la actividad sísmica no ha llegado a producir colapso de estructuras importantes o hundimientos, y grietas en los terraplenes debido a la actividad sísmica en los últimos 25 años.	Cuando durante la etapa de construcción u operación del proyecto se presenten variaciones moderadas de caudal, pendiente del lecho, descarga de sedimentos y variación del tamaño medio del sedimento que afecten el equilibrio del transporte de sedimentos o de acuerdo a los resultados de los estudios de hidrología. Y sedimentación. El proceso de recuperación del suelo puede ser muy costoso.	En el tramo donde se realizara el proyecto se presenta peligro de deslizamientos parciales de los taludes debido a los tipos de materiales que lo constituyen (limos).	El rango de altura que presenta el talud es de 8.0 a 12.0 metros.	Aunque se encuentran volcanes activos en el territorio donde se realizará el proyecto debido a la distancia entre estos, se considera que los efectos de la actividad volcánica con severidad media, podrían dañar el proyecto en forma excepcional. Si cada invierno se da moderado lahares que descienden de las quebradas de los volcanes activos y generan amenaza de la destrucción parcial de la carretera y que afectan medianamente sus miembros. Efectos negativos por encontrarse dentro del espacio entre 5 a 15 Km a la redonda de los conos activos, donde pueden haber generación de daños menores por efecto de los sismos volcánicos.
	El sitio donde se ubicará la carretera es de alta peligrosidad sísmica, ya sea de origen geológico o volcánico con aceleración esperada mayor de 0,30 g (gravedad). O se puede evidenciar por inspección visual o documental, que en el territorio donde se ubica el proyecto se han producido importantes daños (asentamientos, hundimientos, agrietamientos, etc.) debido a la actividad sísmica en los últimos 50 años.	Cuando durante la etapa de construcción u operación del proyecto pendiente del lecho, descarga de sedimentos y variación del tamaño medio del sedimento que afecte el equilibrio del transporte de sedimentos.	En el tramo donde se realizará el proyecto existe potencial peligro de deslizamientos parciales o en masa de los taludes debido a los tipos de materiales que lo constituyen (arcillas).	La altura que presenta el talud es mayor a 12,0 metros.	El sitio donde se realizará el proyecto se encuentra muy próximo a volcanes activos o con actividad volcánica muy frecuente y / o alta severidad. Se tiene la certeza por la proximidad del proyecto que este puede sufrir daños debido a la emanación de cenizas, piro plásticos, lavas o las consecuencias de los movimientos o sacudidas del suelo. Si cada invierno se da fuertes lahares que descienden de las quebradas de los volcanes activos y generan amenaza de destrucción de la carretera y/o sus miembros. Efectos negativos por encontrarse dentro del espacio de 5 Km. a la redonda de los conos activos, donde causan daño los sismos volcánicos.

Fuente: elaboración propia.

### 2.5.2.3. Componente hidrología

Las variables a considerar en este componente son hidrología superficial e hidrología subterránea. . En el cuadro 4, se observa la ponderación y descripción de cada variable para el uso del evaluador del proyecto. Posteriormente en la tabla III, se realizara la calificación del componente en estudio del análisis de vulnerabilidad por exposición según el criterio del evaluador del proyecto.

Tabla VI. Componente hidrología

COMPONENTE HIDROLOGÍA		
Evaluación	Hidrología superficial (inundación)	Hidrología subterránea
1	Cuando la carretera no se encuentre próxima de ríos, arroyos, cauces de forma temporal o permanente.	No existen flujos de agua subterráneos en el sitio o si existen se sitúan a profundidades mayores de 50 metros y con terrenos muy permeables.
2	Existen fuentes de agua superficial con rangos de pendientes entre el 1 y 2 % que ante grandes lluvias pudiera tener dificultad de drenaje y excepcionalmente alcanzar el sitio sin causar daños.	En el sitio o a distancias menores de 20 metros se localizan fuentes de agua subterráneas a profundidades entre 10 y 40 metros con terrenos que alcanzan una baja tasa de infiltración y pudiendo la constitución del relieve causar daños eventuales a las aguas subterráneas y/o no existen fuentes de agua subterráneas que abastezcan a comunidades en un radio de 300 metros aguas abajo o en zonas medianamente vulnerable de los acuíferos.
	Se deberán de tomar en cuenta las recomendaciones del hidrólogo para estos casos.	Que se encuentre en zonas donde el nivel freático sea moderadamente superficial, lo que puede generar condiciones alta humedad por periodos cortos durante los inviernos de suelos o basamento geológico, especialmente si se encuentra sobre terrenos arcillosos.
3	Existen fuentes de agua superficiales próximas al sitio, con pendientes inferiores al 1 % y hacen latente el peligro de inundación.	En el sitio o a distancias menores de 20 metros se ubican importantes flujos de agua subterráneas a profundidades menores de 10m con terrenos que poseen una alta tasa de infiltración y/o tiene la certeza técnica para considerar que la ubicación del proyecto, el relieve y la posición en el lugar afectará de forma irreversible las fuentes de agua subterráneas que abastecen a comunidades situadas en un radio de 300 metros aguas abajo. O en zonas declaradas de alta vulnerabilidad al acuífero.
	Se deberán de tomar en cuenta las recomendaciones del hidrólogo para estos casos.	Que se encuentre en zonas donde el nivel freático sea muy superficial, lo que puede generar condiciones de ablandamiento de suelos o basamento geológico, especialmente si se encuentra sobre terrenos arcillosos.
	Cuando la carretera esté próxima de ríos, arroyos, cauces de forma temporal o permanente presenten alto potencial de inundación, se deberá verificar el modelo de crecidas de 50, 100 y 500 años.	Es necesario asegurarse del comportamiento del agua subterránea, por medio de estudios de hidrogeología

Fuente: elaboración propia.

### 2.5.2.4. Componente antrópico

Las variables a considerar en este componente son los suelos agrícolas y construcciones urbanas. En la figura 5 se observa la ponderación y descripción de cada variable para el uso del evaluador del proyecto. Posteriormente en la tabla III, se realizará la calificación del componente en estudio del análisis de vulnerabilidad por exposición según el criterio del evaluador del proyecto.

Tabla VII. Componente antrópico

COMPONENTE ANTRÓPICO		
Evaluación	Técnicas agrícolas	Construcciones urbanas
1	Existen terrenos agrícolas próximos al sitio pero las técnicas de cultivo no afectan a los usuarios de la vía. O no existen terrenos agrícolas en un radio de 400 metros.  Si menos del 20 % de la población aledaña del proyecto se dedica a las prácticas agrícolas, pero no hacen uso de agroquímicos, quemas o deforestación.	El sitio donde se realizará el proyecto, no presenta en los alrededores y cercanías de la construcción del tramo, tuberías de agua potable y sistemas de drenajes de áreas urbanas.
2	Aunque en el territorio donde se ubica el sitio se utilizan prácticas agrícolas basada en la quema o la fumigación de aerosoles de plaguicidas, sin embargo las afectaciones al sitio se pueden considerar aisladas o pocos significativas.  Si entre el 20 y 49 % de la población aledaña del proyecto se dedica a las prácticas agrícolas haciendo uso de agroquímicos para la producción, pero no realiza quemas o deforestación.	El sitio donde se realizará el proyecto, presenta en los alrededores de la construcción del tramo, tuberías de agua potable y sistemas de drenajes de áreas urbanas.
3	El sitio donde se ubica el proyecto se encuentra de 20 metros de suelos cultivables, por ejemplo con caña de azúcar u otros tipos de suelos agrícolas, donde la técnica de cultivo conlleva al uso de la quema o aerosoles en forma de plaguicidas de forma frecuente, pudiendo con estas acciones afectar a los usuarios de la vía.  Si más del 50 % de la población aledaña del proyecto se dedica a las prácticas agrícolas haciendo uso de agroquímicos para la producción y aplican mecanismos de quemas o deforestación para la eliminación de residuos o desechos.	El sitio donde se realizará el proyecto, presenta en el trazo del tramo tuberías de agua potable y sistemas de drenajes de áreas urbanas.

Fuente: elaboración propia.

### **2.5.3. Análisis de vulnerabilidad por fragilidad**

La fragilidad de un proyecto de carreteras a sufrir daños, está estrictamente apegada con las debilidades y deficiencias de las carreteras para absorber los efectos de las amenazas: por ejemplo, frente al riesgo de deslizamientos, hundimientos o inundaciones. La fragilidad física para estos casos se puede traducir en la mala compactación de las capas que forman la carretera, por lo que causa hundimientos, la mala colocación de drenajes para el manejo de agua pluvial, deslizamientos de taludes por actividades sísmicas o de fuertes precipitaciones, así como la calidad de los materiales de construcción que se emplearán. Para el análisis se incluyen los componentes y variables siguientes:

#### **2.5.3.1. Componente pavimento**

Las variables a considerar en este componente son la subrasante, subbase, base, carpeta de rodadura flexible o rígida. En la figura 6 se observa la ponderación y descripción de cada variable para el uso del evaluador del proyecto. Posteriormente, en la tabla IV se realizará la calificación del componente en estudio del análisis de vulnerabilidad por fragilidad según el criterio del evaluador del proyecto.

Tabla VIII. **Componente pavimento**

COMPONENTE PAVIMENTO					
Evaluación	1. Subrasante	2. Subbase	3. Base	4. Carpeta de rodadura flexible	5. Carpeta de rodadura rígida
1	Material en buen estado para uso de subrasante, sin necesidad de estabilización.	Compuesta, principalmente por agregados pétreos y finos naturales con buena capacidad para el drenaje.	Base granular compuesta por selecto y grava triturada extraída de cantera, con poco contenido de finos.	Carpeta asfáltica para un periodo de diseño de 15 años. Capaz de soportar cargas de tránsito pesado sin deformarse. Verificar espesor.	Losa de concreto para un periodo de diseño de 20 años. Capaz de soportar cargas de tránsito pesado sin deformarse. Verificar espesor.
2	Material en estado aceptable con particularidad de uso de otro material (cemento, cal), para estabilización del mismo.	Modificación de la capa, mediante la incorporación y mezcla de productos que generan cambios físicos y/o químicos del suelo aumentando su capacidad de	Base granular compuesta por material fino y grava triturada extraída de cantera, con mediano contenido de finos.	Carpeta asfáltica para un periodo de diseño para 10 años. Capaz de soportar cargas de transportes vehiculares como automóviles o buses sin deformarse. Verificar espesor.	Losa de concreto para un periodo de diseño de 15 años. Capaz de soportar cargas vehiculares pesadas como de autobuses, sin deformarse. Verificar espesor.
3	Material con alto contenido orgánico de mala calidad sin capacidad de uso para subrasante.	Materiales que no cumplen con las especificaciones corrientes para el uso vial, por lo que no deben de ser utilizados.	Base granular compuesta por material fino y grava triturada extraída de canto rodado, con alto contenido de finos.	Carpeta asfáltica para un periodo de diseño para 8 años. Capaz de soportar cargas ejercidas por tránsito liviano sin deformarse. Verificar espesor.	Losa de concreto para un periodo de diseño de 10 años. Capaz de soportar cargas vehiculares de autobuses como de automóviles sin deformarse. Verificar espesor.

Fuente: elaboración propia.

### 2.5.3.2. **Componente material de construcción**

Las variables a considerar en este componente son la disponibilidad, la calidad y durabilidad de materiales, y facilidad de sustitución o reparación. En la figura 7 se observa la ponderación y descripción de cada variable para el uso del evaluador del proyecto. Posteriormente, en la tabla IV se realizará la calificación del componente en estudio del análisis de vulnerabilidad por fragilidad según el criterio del evaluador del proyecto.

Tabla IX. **Componente material de construcción**

<b>COMPONENTE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN</b>			
<b>Evaluación</b>	<b>1. Disponibilidad de los materiales</b>	<b>2. Durabilidad de los materiales</b>	<b>4. Facilidad de sustitución o reparación</b>
1	Los materiales se encuentran a lo largo del tramo carretero, por lo que la accesibilidad hacia ellos es de mucha facilidad.	Los materiales utilizados cumplen con las normas de calidad así como también con una alta durabilidad.	Los materiales son de fácil sustitución y el impacto en el mantenimiento y reparación del tramo no presentará problemas.
2	Los materiales se encuentran en ciertos puntos del tramo carretero accesibles dentro del proyecto, pero que deben de ser transportados a los puntos donde serán utilizados.	Los materiales utilizados cumplen con las normas de calidad establecidas, pero con una moderada durabilidad.	Los materiales no presentan una sustitución simple, por lo que el impacto en el mantenimiento y reparación del tramo se verá afectado en cuestión de funcionalidad, tiempo y costos.
3	Los materiales no se encuentran cerca del proyecto o son muy escasos, por lo que es necesario transportar de bancos ajenos al proyecto.	Los materiales utilizados no cumplen con las normas de calidad establecidas, por lo que tampoco son de gran durabilidad.	Debido a la escasez del tipo de materiales que se emplean en el tramo, el impacto en el mantenimiento y reparación del mismo se verá afectado a gran escala, tanto en costo como en tiempo y funcionalidad del mismo.

Fuente: elaboración propia.

### **2.5.3.3. Componente elementos estructurales en la carretera**

Las variables a considerar en este componente son taludes de corte y relleno, obras de drenaje menor, terraplén y muros de contención. En la figura 8 se observa la ponderación y descripción de cada variable para el uso del evaluador del proyecto. Posteriormente, en la tabla IV se realizará la calificación del componente en estudio del análisis de vulnerabilidad por fragilidad según el criterio del evaluador del proyecto.

Tabla X. **Componente elementos estructurales en la carretera**

COMPONENTE ELEMENTOS ESTRUCTURALES EN LA CARRETERA				
Evaluación	1. Taludes de corte y relleno	2. Obras de drenaje menor	3. Terraplén	4. Muros de contención
1	Taludes contruidos con materiales de buena calidad como cenizas volcánicas o pómez, con los cuales se puede trabajar una relación de 0,25:1 (H:V), utilizando la misma relación para alturas de 1-25 m.	El tramo carretero presenta obras de drenaje menor como alcantarillas, cunetas, cajas, tragantes, bordillos, subdrenajes, disipadores de energía y contracunetas, los cuales ayudan al buen desempeño del tramo en temporada de invierno.	Terraplenes contruidos en el tramo carretero que presentan buena compactación entre sus capas, no mayores a 30 centímetros, no dejando espacio a los vacíos que se pueden generar entre las rocas grandes con las pequeñas y fragmentos de la misma.	Muro de contención apropiado para el tipo de suelo a contener elaborado con materiales de buena calidad, material de relleno drenado para evitar la erosión e impermeabilización.
2	Taludes contruidos con materiales de calidad media como calizas intemperizadas y fracturadas, con los cuales se puede trabajar una relación de 0,5:1 (H:V), utilizando la misma relación para las alturas de 1–25 m.	El tramo carretero presenta obras de drenaje menor como cunetas, cajas, tragantes, subdrenajes, disipadores de energía, los cuales cumplen su función cuando las precipitaciones no son de alto grado como tormentas tropicales.	Terraplenes contruidos en el tramo carretero que presentan buena compactación con capas no mayores a 45 centímetros, utilizando solamente suelo sin rocas presentes.	Muro de contención prefabricado utilizado para contener el suelo elaborado con materiales de buena calidad, que presenta drenaje e impermeabilización.
3	Taludes contruidos con materiales de mala calidad como, conglomerados, arenas y arcillas, con los que se deben de trabajar una relación 1:1 (H:V), utilizando la misma relación para las alturas de 1–25m.	El tramo carretero presenta obras de drenaje menor como cunetas, tragantes y subdrenajes, los cuales en tiempo de invierno se saturan y no son capaces de evitar que se acumule el agua en la carretera, en temporada de invierno.	Terraplenes contruidos en el tramo carretero que presentan deformidades en algunos puntos de este, debido a la mala compactación o mala calidad de los materiales, por lo que no son aptos para el funcionamiento dentro del proyecto de carreteras.	Muro de contención contruido con materiales de mala calidad, por lo que presenta una escasa o nula capacidad para soportar el empuje horizontal del suelo, como mal drenaje y/o impermeabilización.

Fuente: elaboración propia.

#### 2.5.4. **Análisis de vulnerabilidad por resiliencia**

Este análisis, que se pretende construir, está estrechamente vinculada con el mantenimiento y recuperación de la infraestructura, la organización social para las emergencias, y la capacitación e investigación. Para el análisis se incluyen los componentes y variables siguientes:

### 2.5.4.1. Componente mantenimiento de carreteras

Las variables a considerar en este componente son: derecho de vía, hombros, drenajes, cunetas, taludes. En la figura 9, se observa la ponderación y descripción de cada variable para el uso del evaluador del proyecto. Posteriormente, en la tabla V, se realizará la calificación del componente en estudio del análisis de vulnerabilidad por falta de resiliencia según el criterio del evaluador del proyecto.

Tabla XI. Componente mantenimiento de carreteras

COMPONENTE MANTENIMIENTO DE CARRETERAS					
Evaluación	1. Derecho de vía	2. Hombros	3. Drenajes	4. Cunetas	5. Taludes
1	El mantenimiento de esta área es de manera rutinaria para garantizar el buen estado de la misma, así como su correcto funcionamiento.	El mantenimiento de esta estructura es de manera rutinaria para garantizar el buen estado de la misma, así como su correcto funcionamiento.	El mantenimiento de esta estructura es de manera rutinaria para garantizar el buen estado de la misma, así como su correcto funcionamiento.	El mantenimiento de esta estructura es de manera rutinaria para garantizar el buen estado de la misma, así como su correcto funcionamiento.	El mantenimiento de esta estructura es de manera rutinaria para garantizar el buen estado de la misma, así como su correcto funcionamiento.
2	El mantenimiento de esta área es de manera periódica o preventiva, por lo que, en algunas temporadas puede no estar funcionando correctamente.	El mantenimiento de esta estructura es de manera periódica o preventiva, por lo que, en algunas temporadas puede no estar funcionando correctamente.	El mantenimiento de esta estructura es de manera periódica o preventiva, por lo que, en algunas temporadas puede no estar funcionando correctamente.	El mantenimiento de esta estructura es de manera periódica o preventiva, por lo que, en algunas temporadas puede no estar funcionando correctamente.	El mantenimiento de esta estructura es de manera periódica o preventiva, por lo que, en algunas temporadas puede no estar funcionando correctamente.
3	El mantenimiento de esta área es por administración o emergencia, por lo que, en la mayoría del tiempo no presenta un buen estado y su funcionamiento es incorrecto.	El mantenimiento de esta estructura es por administración o emergencia, por lo que, en la mayoría del tiempo no presenta un buen estado y su funcionamiento es incorrecto.	El mantenimiento de esta estructura es por administración o emergencia, por lo que, en la mayoría del tiempo no presenta un buen estado y su funcionamiento es incorrecto.	El mantenimiento de esta estructura es por administración o emergencia, por lo que, en la mayoría del tiempo no presenta un buen estado y su funcionamiento es incorrecto.	El mantenimiento de esta estructura es por administración o emergencia, por lo que, en la mayoría del tiempo no presenta un buen estado y su funcionamiento es incorrecto.

Fuente: elaboración propia.

### 2.5.4.2. Componente de organización para la emergencia

Las variables a considerar en este componente son: organización establecida para responder emergencias y procedimientos para la creación de

un plan de respuesta en casos de emergencia y/o desastres. En la figura 10, se observa la ponderación y descripción de cada variable para el uso del evaluador del proyecto. Posteriormente, en la tabla V, se realizará la calificación del componente en estudio del análisis de vulnerabilidad por falta de resiliencia según el criterio del evaluador del proyecto.

Tabla XII. **Componente de organización para la emergencia**

COMPONENTE DE ORGANIZACIÓN PARA LA EMERGENCIA		
Evaluación	1. Organización establecida para responder a las emergencias	2. Procedimientos para la creación de un plan de respuesta en casos de emergencia y/o desastres
1	El proyecto cuenta con acciones planificadas y presupuesto para organizar y mantener la existencia y operatividad de un grupo de respuesta inmediata ante emergencias.	El proyecto cuenta con un plan de respuesta a emergencias donde se especifique cómo, cuándo y quién será el responsable de atender la emergencia.
2	El proyecto cuenta con acciones planificadas y presupuesto para organizar un grupo de respuesta no inmediata ante emergencias.	El proyecto cuenta con acciones planificadas para la creación de un plan de respuesta a emergencias donde se especifique cómo, cuándo y quién será el responsable de atender la emergencia.
3	El proyecto no cuenta con acciones planificadas ni presupuesto para poder contar con un grupo de respuesta ante emergencias.	El proyecto no cuenta con acciones planificadas para la creación de un plan de respuesta a emergencias donde se especifique cómo, cuándo y quién será el responsable de atender la emergencia.

Fuente: elaboración propia.

### **2.5.4.3. Componente de capacitación e investigación**

Las variables a considerar en este componente son: programas de capacitación, programas de difusión, seguimiento e investigación sobre desastres. En el cuadro 11, se observa la ponderación y descripción de cada variable para el uso del evaluador del proyecto. Posteriormente, en la tabla V,

se realizara la calificación del componente en estudio del análisis de vulnerabilidad por falta de resiliencia según el criterio del evaluador del proyecto.

Tabla XIII. **Componente de capacitación e investigación**

<b>COMPONENTE DE CAPACITACIÓN E INVESTIGACIÓN</b>			
<b>Evaluación</b>	<b>1. Programas de capacitación</b>	<b>2. Programas de difusión</b>	<b>3. Seguimiento e investigación sobre desastres</b>
1	El proyecto cuenta con un plan de acciones y presupuesto para la capacitación del personal como del público que hará uso del proyecto.	El proyecto cuenta con un programa de difusión constante sobre cómo actuar ante las amenazas que pueden ocurrir en el proyecto.	El proyecto cuenta con un equipo de investigación y monitoreo sobre las amenazas que pueden o que afectan al proyecto.
2	El proyecto tiene en fase de planificación, un plan de acciones y presupuesto para la capacitación del personal como del público que hará uso del proyecto.	El proyecto tiene en fase de planificación un programa de difusión constante sobre cómo actuar ante las amenazas que pueden ocurrir en el proyecto.	El proyecto cuenta con una fase de planificación para la creación de un equipo de investigación y monitoreo sobre las amenazas que pueden o que afectan.
3	El proyecto no cuenta con un plan de acciones y presupuesto para la capacitación del personal como del público que hará uso del proyecto.	El proyecto no cuenta con ningún programa, tampoco en fase de planificación, sobre la difusión de cómo actuar ante las amenazas que pueden ocurrir en el proyecto.	El proyecto no cuenta con un equipo, tampoco en fase de planificación, para la investigación y monitoreo sobre las amenazas que lo pueden o que afectan al proyecto.

Fuente: elaboración propia.



### **3. ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DEL PROYECTO**

Este índice representa la vulnerabilidad de un proyecto en función de su grado de exposición, fragilidad y falta de resiliencia, ante las amenazas de podrían afectarlo. El índice puede variar entre uno y tres, correspondiendo el uno a menor vulnerabilidad y el tres a mayor vulnerabilidad. En este sentido, el índice puede utilizarse para ordenar los proyectos de mayor a menor, con base en lo cual podrán establecerse y priorizarse las acciones a llevar a cabo para asegurar su correcta gestión del riesgo.

#### **3.1. Estructura del análisis de vulnerabilidad**

Está integrado por los temas de exposición, fragilidad y falta de resiliencia. Cada uno de estos se subdivide, en componentes y cada componente en variables. De esta manera, el análisis de vulnerabilidad está estructurado de la manera como se muestra en la tabla III.

Tabla XIV. Estructura de análisis de vulnerabilidad por exposición

Tema/componente/variable		Calificación	Peso relativo
<b>2.5.2</b>	Vulnerabilidad por exposición	1,82	
<b>2.5.2.1</b>	Componente bioclimático	1,5	0,27
1	Viento	1	
2	Precipitación	2	
<b>2.5.2.2</b>	<b>Componente geología</b>	<b>2</b>	<b>0,36</b>
1	Sismicidad	2	
2	Erosión-sedimentación y arrastre	1	
3	Deslizamientos-derrumbes	3	
Tema/componente/variable		Calificación	Peso relativo
<b>2.5.2.2</b>	<b>Componente geología</b>		
4	Vulcanismo	2	
<b>2.5.2.3</b>	<b>Componente hidrología</b>	<b>2</b>	<b>0,27</b>
1	Hidrología superficial	2	
2	Hidrología subterránea	2	
<b>2.5.2.4</b>	<b>Componente antrópico</b>	<b>1,5</b>	<b>0,1</b>
1	Técnicas agrícolas	1	
2	Construcciones urbanas	2	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. Estructura de análisis de vulnerabilidad por fragilidad

Tema/componente/variable		Calificación	Peso relativo
<b>2.5.3</b>	<b>Vulnerabilidad por fragilidad</b>	<b>1,47</b>	
<b>2.5.3.1</b>	<b>Componente pavimento</b>	<b>1,5</b>	<b>0,27</b>
1	Sub-rasante	1	
2	Sub-base	1	
3	Base	2	
4	Carpeta de rodadura rígida (o flexible)	2	
<b>2.5.3.2</b>	<b>Componente materiales de construcción</b>	<b>2</b>	<b>0,33</b>

Continuación de la tabla XV.

1	Disponibilidad de los materiales	2	
2	Durabilidad de los materiales	1	
3	Facilidad de sustitución o reparación	2	
Tema/componente/variable		Calificación	Peso relativo
<b>2.5.3.3</b>	<b>Componente elementos estructurales en la carretera</b>	<b>1</b>	<b>0,4</b>
1	Taludes de corte y relleno	1	
2	Obras de drenaje menor	1	
3	Terraplén	2	
4	Muros de contención	1	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Estructura de análisis de vulnerabilidad por falta de resiliencia**

Tema/componente/variable	Calificación	Peso relativo	
<b>2.5.4</b>	<b>Vulnerabilidad por falta de resiliencia</b>	<b>1,34</b>	
<b>2.5.4.1</b>	<b>Componente mantenimiento de carreteras</b>	<b>1</b>	<b>0,53</b>
1	Derecho de vía	1	
2	Hombros	1	
3	Drenajes	1	
4	Cunetas	2	
5	Taludes	1	
<b>2.5.4.2</b>	<b>Componente organización para la emergencia</b>	<b>1,5</b>	<b>0,27</b>
1	Organización establecida para responder a las emergencias	1	
2	Procedimiento para la creación de un plan de respuesta en casos de emergencias y/o desastres	2	
<b>2.5.4.3</b>	<b>Componente capacitación e investigación</b>	<b>2</b>	<b>0,2</b>
1	Programas de capacitación	2	
2	Programas de difusión	1	
3	Seguimiento e investigación sobre desastres	2	

Fuente: elaboración propia.

### **3.2. Procedimiento para calcular el índice de vulnerabilidad**

A continuación se describen el procedimiento que se debe de llevar a cabo para poder calcular el índice de vulnerabilidad del proyecto en estudio (RN 10 entrada Antigua Guatemala km. 39 a finca Florencia km. 33).

- Se asignan valores a cada variable de cada uno de los componentes de los análisis de vulnerabilidad (tablas 3-5), utilizando las matrices (cuadros 2-11) descritas en el capítulo 2.
- Se procede a encontrar la mediana de cada componente.
- Se procede con la estimación de los pesos relativos.
- Se procede con la calificación de cada análisis de vulnerabilidad.
- Se clasifica el índice de vulnerabilidad con respecto al parámetro de escalas de ponderación de nivel de vulnerabilidad.

### **3.3. Asignación de valores**

Los valores son asignados por el evaluador del proyecto, este utiliza las matrices para evaluar cada variable, como se puede observar en la tabla V, en el componente capacitación e investigación 2.5.4.3, a la variable programas de capacitación tiene un valor igual a 2, la variable programas de difusión tiene un valor igual a 1 y la variable seguimiento e investigación sobre desastres tiene un valor igual a 2. La misma metodología es utilizada para asignar los valores a las demás variables de cada análisis de vulnerabilidad.

### **3.4. Determinación de la mediana**

Con base en los datos obtenidos se procede a sumar todo y después dividir.

#### **3.4.1. Determinación de la mediana de una cantidad impar de números**

Para determinar la mediana, se tomará como ejemplo el componente mantenimiento de carreteras 2.5.4.1 del componente mantenimiento de carreteras.

A continuación se muestran las variables con sus respectivas evaluaciones:

- Derecho de vía (1)
- Hombros (1)
- Drenajes (1)
- Cunetas (2)
- Taludes (1)

Se observa que los números son:

1,1,1,2,1

Se procede a ordenar los números de menor a mayor:

1,1,1,1,2

Se observa que hay cinco números ( $n = 5$ ), por lo que hay un número en el medio, el cual determina el valor de la mediana.

1,1,1,1,2

Así que la mediana para el componente de mantenimiento de carreteras es 1.

### **3.4.2. Determinación de la mediana de una cantidad par de números**

Para determinar la mediana en caso *de una cantidad par de números*, se tomará como ejemplo el componente geología 2.5.2.2 del análisis de vulnerabilidad por exposición.

A continuación se muestran las variables con sus respectivas evaluaciones:

- Sismicidad (2)
- Erosión-sedimentación y arrastre (1)
- Deslizamientos-derrumbes (3)
- Vulcanismo (2)

Se observa que los números son:

2,1,3,2

Se procede a ordenar los números de menor a mayor:

1,2,2,3

Se observa que hay cuatro números ( $n = 4$ ), por lo que no hay un número en el medio, sino un par:

1,2,2,3

En este caso los números intermedios son 2 y 2.

Para calcular el valor en medio de ellos, se suma y se divide entre 2:

$$2+2=4$$

$$2/2=1$$

Así que la mediana para el componente geología es de 2.

### **3.5. Estimación de los pesos relativos**

Los pesos relativos de cada uno de los componentes o temas pueden estimarse utilizando metodologías como las de Comparaciones Pareadas, el Proceso Analítico Jerárquico, la Matriz de Jerarquización u otros. A continuación se describe la metodología de la Matriz de Jerarquización, que fue la utilizada para determinar los pesos relativos de cada componente. Se mostrará como se hizo el cálculo de los pesos para el análisis de vulnerabilidad por exposición. El procedimiento es el siguiente:

- Se elabora una matriz cuadrada con todos los componentes listados, tanto en filas como en columnas.
- El evaluador debe determinar si el componente indicado en la primera fila (bioclimático) es más o menos importante que los demás, asignando un punto en cada columna en la que la respuesta sea afirmativa. Terminando el trabajo para el primer componente, se deberá utilizar el mismo procedimiento para los demás componentes.
- Se suman todas las matrices, poniendo en cada celda los puntajes asignados por cada integrante del equipo y se calcula el subtotal de cada fila, sumando las celdas correspondientes.
- Se calcula el total de la tabla, que es la suma de todos los puntajes subtotales. Luego se calcula el porcentaje que representa cada fila sobre el total de puntajes, el que representara el peso relativo del componente

correspondiente. En todos los casos de la sumatoria de los pesos relativos debe ser igual a uno o el cien por ciento.

A continuación se muestra la matriz de jerarquización para el análisis de vulnerabilidad por exposición.

Tabla XVII. **Matriz de jerarquización para la estimación de los pesos relativos de los componentes de la vulnerabilidad por exposición**

Componente	Bioclimático	Geología	Hidrología	Antrópica	Totales	Pesos
Bioclimático		2	2	4	8	0,27
Geología	3		4	4	11	0,36
Hidrología	3	1		4	8	0,27
Antrópica	1	1	1		3	0,10
<b>Totales</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>12</b>	<b>30</b>	<b>1,00</b>

Fuente: elaboración propia.

El cuadro anterior contiene la estimación de los pesos relativos de los componentes de la vulnerabilidad por exposición, utilizando la Matriz de Jerarquización. Nótese que la suma de los números entre la comparación de dos componentes iguales siempre es cinco. Por ejemplo, en la fila de bioclimático tiene un valor de 2 en la columna de geología (con respecto al componente de la fila bioclimático) y la fila de geología tiene un valor de 3 en la columna de bioclimático (con respecto al componente de la fila geología), por lo tanto la suma de ambos da un valor de 5 y así sucesivamente para todos los valores, de los 3 análisis de vulnerabilidad.

A continuación se muestran los pesos relativos de los análisis de vulnerabilidad por fragilidad y por falta de resiliencia.

Tabla XVIII. **Matriz de jerarquización para la estimación de los pesos relativos de los componentes de la vulnerabilidad por fragilidad**

Componente	Pavimento	Materiales de construcción	Elementos estructurales en la carretera	Totales	Pesos
Pavimento		2	2	4	<b>0,27</b>
Materiales de construcción	3		2	5	<b>0,33</b>
Elementos estructurales en la carretera	3	3		6	<b>0,40</b>
<b>Totales</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>15</b>	<b>1,0</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Matriz de jerarquización para la estimación de los pesos relativos de los componentes de la vulnerabilidad por falta de resiliencia**

Componente	Mantenimiento de carreteras	Organización para la emergencia	Capacitación e investigación	Totales	Pesos
Mantenimiento de carreteras		4	4	8	<b>0,53</b>

Continuación de la tabla XIX.

Organización para la emergencia	1		3	4	0,27
Capacitación e investigación	1	2		3	0,20
<b>Totales</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>15</b>	<b>1,0</b>

Fuente: elaboración propia.

### 3.6. Calificación de los análisis de vulnerabilidad

Con los valores anteriores se procede a estimar la calificación para cada tema, el cual es igual a la sumatoria de los productos obtenidos de multiplicar la calificación de cada componente por su respectivo peso relativo. La expresión utilizada para el cálculo de la calificación de la vulnerabilidad por exposición es la siguiente:

$$C_{VE} = (C_{CB} \times PR_{CB}) + (C_{CG} \times PR_{CG}) + (C_{CH} \times PR_{CH}) + (C_{CA} \times PR_{CA})$$

Donde:

C = calificación

PR = peso relativo

VE = vulnerabilidad por exposición

CB = componente bioclimático

CG = componente geología

CH = componente hidrología

CA = componente antrópico

$C_{VE}$  = clasificación de la vulnerabilidad por exposición

$C_{VF}$  = clasificación de la vulnerabilidad por fragilidad

$C_{VR}$  = clasificación de la vulnerabilidad por falta de resiliencia

$$C_{VE} = (1,5 \times 0,27) + (2 \times 0,36) + (2 \times 0,27) + (1,5 \times 0,1)$$

$$C_{VE} = 1,82$$

$$C_{VF} = (1,5 \times 0,27) + (2 \times 0,33) + (1 \times 0,40)$$

$$C_{VF} = 1,47$$

$$C_{VR} = (1 \times 0,53) + (1,5 \times 0,27) + (2 \times 0,20)$$

$$C_{VR} = 1,34$$

Realizados los cálculos para cada análisis de vulnerabilidad las clasificaciones son las siguientes:

$$C_{VE} = 1,82$$

$$C_{VF} = 1,47$$

$$C_{VR} = 1,34$$

El análisis de los demás cuadros se trabaja de manera similar.

### **3.7. Parámetro de escalas de ponderación del nivel de vulnerabilidad**

El parámetro de escalas de ponderación del nivel o índice de vulnerabilidad puede variar entre uno y tres, correspondiendo el uno a menor vulnerabilidad y el tres a mayor vulnerabilidad. La escala de ponderación se muestra a continuación:

Tabla XX. **Parámetro de escalas de ponderación del nivel de vulnerabilidad**

Nivel	Escala	Criterio
Bajamente vulnerable	1,0 – 1,59	El proyecto requiere en su diseño y propuesta, aplicar medidas de reducción de la vulnerabilidad que no incrementan los costos, el proyecto puede ser viable. En caso de que el proyecto se encuentre construido es necesario aplicar las medidas de reducción de vulnerabilidad en las áreas requeridas.
Medianamente Vulnerable	1,6 – 2,09	El proyecto requiere en su diseño y propuesta, aplicar medidas de reducción de vulnerabilidad que incrementan los costos, el proyecto puede ser viable con gestión adicional para su construcción y operación. En caso de que el proyecto ya se encuentre construido en este sitio deberá de prestarse mayor atención a las zonas de mayor riesgo y construir las medidas de mitigación ante posibles desastres.
Nivel	Escala	Criterio
Altamente vulnerable	2,1 – 3,0	El proyecto requiere en su diseño y propuesta, aplicar medidas y/o acciones de reducción de vulnerabilidad que incrementan significativamente los costos, el proyecto debe ser considerado. En caso de que el proyecto se encuentre construido en este sitio deberán de buscarse rutas alternas para construcción de nuevos tramos que eviten pasar por las zonas de mayor riesgo y así poder conservar la calidad del tramo y la seguridad del usuario.

Fuente: elaboración propia.

### 3.8. Cálculo del índice de vulnerabilidad

A continuación se realizará el cálculo del índice de vulnerabilidad para un proyecto de carreteras, utilizando los valores de las clasificaciones de cada análisis de vulnerabilidad, del tramo en estudio RN 10 entrada Antigua Guatemala km. 39 a finca Florencia km. 33.

$$IV = \frac{C_{VE} + C_{VF} + C_{VR}}{3}$$

Donde:

IV = índice de vulnerabilidad

C<sub>VE</sub> = clasificación de la vulnerabilidad por exposición

C<sub>VF</sub> = clasificación de la vulnerabilidad por fragilidad

C<sub>VR</sub> = clasificación de la vulnerabilidad por falta de resiliencia

Entonces:

$$IV = \frac{1,82 + 1,47 + 1,34}{3}$$

$$IV = 1,54$$

El resultado, para el tramo en estudio RN 10 entrada Antigua Guatemala kilómetro 39 a finca Florencia kilómetro 33, del índice de vulnerabilidad es de 1,54 por lo que se encuentra dentro del parámetro bajamente vulnerable, presentando riesgos muy bajos o nulos para la carretera como para el usuario, por lo que el sitio donde se encuentra localizado funciona correctamente. Podemos concluir que el proyecto en estudio cuenta con las medidas de mitigación, necesarias para contrarrestar el efecto de los posibles riesgos que se pueden presentar debido a las amenazas que lo acechan.



## 4. APLICACIÓN PRÁCTICA

### 4.1. Desarrollo de la visita técnica para la obtención de datos en la RN 10 entrada Antigua Guatemala km. 39 a finca Florencia Km. 33

En Guatemala la mayoría de la red vial se ve afectada por amenazas naturales y antrópicas, lo cual hace que los tramos o proyectos sean vulnerables a hundimientos, deslizamientos e inundaciones entre otros, siendo así más propensos en temporada de invierno.

Por lo que con este trabajo se estudia como se ve afectado un tramo de carretera por las amenazas que lo afectan, qué índice de vulnerabilidad tiene con respecto a las propuestas de gradación que se han calculado en los capítulos anteriores y qué medidas se podrían tomar para reducir el riesgo de desastre ante estas amenazas.

Figura 1. Tramo en estudio



Fuente: Google Earth. Consulta: 15 de diciembre de 2014.

En el desarrollo de visitas de campo se observó el estado del tramo en estudio, las amenazas a las cuales se encuentra sujeto y las medidas de mitigación que posee, como se observa en las siguientes figuras.

En la figura 2 se observa la entrada de la cuneta hacia la tubería, la cual se encuentra en buen estado, garantizando el funcionamiento correcto de drenajes. La cuneta es revestida con un zampeado de piedra ligada con mortero, lo que evita la erosión del suelo y evita el desprendimiento de las paredes de la cuneta.

Figura 2. **Entrada de cuneta**



Fuente: entrada Antigua Guatemala km. 39 - finca Florencia Km. 33.

En la figura 3 se observa la obstrucción de la cuneta por parte de rocas, lo cual no representa un funcionamiento correcto de la misma. La cuneta está revestida, lo que la protege de la erosión al terreno existente ya que la pendiente del canal es pronunciada.

Figura 3. **Canal de cuneta**



Fuente: entrada Antigua Guatemala km. 39 – finca Florencia Km. 33.

En la figura 4 se observan los cortes realizados en los taludes (Bermas), así como sus respectivas contracunetas y cunetas. Esto con el fin de prevenir el derrumbe de los taludes, por ser talud de corte mayor a 12 metros, el material de este talud está formado por arena pómez.

Figura 4. **Taludes**



Fuente: entrada Antigua Guatemala km. 39 – finca Florencia Km. 33.

En la figura 5 se observa el punto más representativo de posible vulnerabilidad dentro del tramo en estudio. Se han construido bermas en los taludes de corte para la prevención de derrumbes, el material que conforma ese talud es arena pómez.

Figura 5. **Punto de mayor vulnerabilidad**



Fuente: entrada Antigua Guatemala km. 39 – finca Florencia Km. 33.

#### **4.2. Características del proyecto y zonas de vulnerabilidad**

En las visitas de campo se tuvo la oportunidad de observar el estado del tramo en estudio, así como las diferentes amenazas que lo afectan, observar y localizar las zonas de vulnerabilidad a lo largo del tramo dejando en evidencia lo siguiente:

- Características o amenazas
  - Precipitación
  - Sismo
  - Vulcanismo

- Deslizamientos-derrumbes
- Huracanes
- Antrópicas
  
- Zonas de vulnerabilidad:
  - Taludes
  - Pavimento
  - Drenajes
  - Cunetas

Se observaron las amenazas que pueden afectar al proyecto y como estas se manifiestan en las diferentes zonas de vulnerabilidad, para el proyecto en estudio no es necesario realizar cambios por las amenazas que lo afectan, ya que se encuentra dentro de los parámetros establecidos para determinar el índice de vulnerabilidad.

No se puede descartar el posible riesgo que el proyecto pueda sufrir con amenazas extremas tanto de terremotos, erupciones volcánicas severas, huracanes, etc., ya que estas no se pueden controlar y no se puede estimar su grado de intensidad. Dependiendo del grado de intensidad de las amenazas, el proyecto será capaz de reaccionar para poder seguir prestando el servicio sin interrupción.

#### **4.3. Proposición de medidas de mitigación para una gestión de riesgo**

Definición: medidas de intervención dirigidas a reducir o atenuar el riesgo.

Debido a que la mayoría de proyectos sino es que todos presentan o se ven afectados por distintas amenazas es necesario tener conocimiento sobre

las medidas de mitigación que pueden utilizarse en la presencia de dichas amenazas.

#### **4.3.1. Medidas de mitigación ante deslizamiento**

A continuación se describirán las estrategias principales sobre las medidas de mitigación, que se deben de tomar en cuenta.

- Planificación de los sitios para evitar el uso de áreas peligrosas.
- Estructuras que toleren los diferentes movimientos terrestres.
- Cimentación monolítica para evitar asentamientos diferenciales.
- Ampliación de la carretera utilizando el trazo actual y construcción de obras de protección como manejo de drenaje, estabilización de taludes y muros de contención.

#### **4.3.2. Medidas de mitigación ante acción volcánica**

A continuación se describirán las estrategias principales sobre las medidas de mitigación, que se deben de tomar en cuenta.

- Planificación de los sitios que se usaran para el desarrollo del proyecto, con objeto de evitar zonas cercanas a las laderas del volcán.
- Evitar los canales probables por donde circulara la lava.
- Diseño de los diferentes elementos estructurales capaces de soportar el peso que generaría la ceniza.

#### **4.3.3. Medidas de mitigación ante inundación**

A continuación se describirán las estrategias principales sobre las medidas de mitigación, que se deben de tomar en cuenta.

- Diseño de elementos estructurales resistentes a filtraciones.

#### **4.3.4. Medidas de mitigación ante viento**

A continuación se describirán las estrategias principales sobre las medidas de mitigación, que se deben de tomar en cuenta.

- Elementos estructurales capaces de tolerar la fuerza del viento
- Construcción con buenas prácticas de ingeniería
- Plantación de bosques en las planicies

#### **4.3.5. Medidas de mitigación ante amenazas antrópicas**

- Diseño de los diferentes elementos estructurales que componen el proyecto, elaborados por profesionales así como con el cumplimiento de las diferentes códigos.
- Ubicación de elementos de canalización telefónica de manera que no afecten la circulación de los vehículos dentro del tramo.
- Diseño de red de conducción de agua (potable y drenaje) de manera que esta no se vea afectada por el paso del tránsito, manteniéndola protegida y libre de percances por parte de elementos de tránsito.

## CONCLUSIONES

1. Las amenazas en un proyecto de carreteras siempre se presentarán, por lo que es importante conocerlas y saber cuáles medidas de mitigación tomar para poder tener una mejor respuesta ante estas, teniendo con esto un proyecto más seguro y de mayor duración.
2. El índice de vulnerabilidad no es una herramienta para rechazar proyectos. Es una herramienta que ayuda al evaluador a tener una idea clara del riesgo que posee el proyecto en el trazo donde será construido, las amenazas a las que se enfrentará y las precauciones que debe tomar.
3. El cálculo realizado en los análisis de vulnerabilidad demuestran que el índice de vulnerabilidad determinado del tramo estudiado se encuentra dentro del parámetro bajamente vulnerable, dejando claro que el proyecto es capaz de responder ante las amenazas que lo afectan sin dejar de funcionar correctamente.
4. El cálculo del índice de vulnerabilidad se debe determinar para tramos homogéneos de la carretera y esto representara el índice del todo el tramo.
5. Se pueden tener diferentes índices de vulnerabilidad dependiendo del tipo de construcción y de los taludes que presente la carretera.



## RECOMENDACIONES

1. Para poder hacer uso de esta herramienta de evaluación es importante que el evaluador del proyecto cuente con vasta experiencia en el campo, así como un criterio muy objetivo para que la realización del mismo sea viable.
2. En caso que el trazo de la carretera se encuentre en zonas altamente vulnerables y no sea posible cambiar su ruta, es de vital importancia tener en cuenta las medidas de mitigación que se deben construir correctamente, teniendo en cuenta que puede ser probable que estas puedan sufrir daños o no sean capaces de soportar la amenaza totalmente, por lo que sería imprescindible tenerlas con constante mantenimiento.
3. Dependiendo del tipo de proyecto que se trabajará podrá agregarse o eliminar componentes de las matrices de vulnerabilidad propuestas, para poder tener un estudio más amplio y certero del tramo en el que se trabajara.
4. Se recomienda tener un equipo que periódicamente este monitoreando el tramo, que pueda observar las zonas de mayor vulnerabilidad dentro del mismo para tener una mejor idea sobre las amenazas que lo estén afectando y poder prever un desastre.



## BIBLIOGRAFÍA

1. PALMA COLINDRES, José. *Análisis de vulnerabilidad en proyectos de carreteras*. Trabajo de graduación Ing. Civil, Universidad de San Carlos. Facultad de Ingeniería. 2012. 126 p.
2. Prevención de desastres y amenazas proyecto para Ecuador y países vecinos. Informe de proyecto, mayo de 1990.
3. Mitigación de desastres naturales. *Manual de la política de evaluación y planificación*. 1991.
4. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). Mitigación de desastres. *Programa de entrenamiento para el manejo de desastres 1991*, 63 p.
5. Secretaria 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.
6. Secretaria de Integración Económica de Centroamérica. *Manual centroamericano de gestión del riesgo en puentes*. 2010. Centroamérica: SIECA, 2010. 99 p.

7. Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, Dirección General de Caminos. *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*. Guatemala: CIV, 2001. 656 p.

## APÉNDICES

Apéndice 1. Km 39 + 700 RN 10.- Lado derecho. Obras de protección en los derramaderos de las bermas en un talud de corte.



Apéndice 2. Km 39 + 700 RN 10.- Lado derecho. Material de arenas de talud de corte.



Apéndice 3. Km 39 + 700 RN 10.- Lado derecho. Obra de protección de talud de relleno.



Apéndice 4. Km 39 + 700 RN 10.- Lado derecho. Obra de protección en talud de relleno y canalización de aguas de cunetas.



Apéndice 5. Km 39 + 700 RN 10.- Lado derecho. Obras de protección para proteger la erosión de los taludes.



INVENTARIO DE TALUDES EN EL TRAMO.			
ESTACIÓN	TALUD IZQUIERDO	TALUD DERECHO	OBSERVACIONES
33+000			
33+100	C	C	
33+200	C	C	
33+250	R	R	Localización de zanjón
33+500	C	C	
34+450	R	C	
34+500	R	R	Localización de zanjón
35+300	R	C	
35+400	R	R	Localización de zanjón
35+880	R	C	
35+950	R	R	Localización de zanjón
36+650	R	C	Lado derecho trabajos de bermas en talud de corte
36+700	R	R	Localización de zanjón
37+800	R	C	
37+950	R	R	Localización de zanjón
38+550	R	C	
38+600	R	R	Localización de zanjón
38+700	R	C	
38+900	R	R	Localización de zanjón
39+000	R	C	
NOTA: La inspección se realizó en el sentido del tránsito. (Hacia San Lucas).			

Fuente: elaboración propia.