



## RIESGOS POTENCIALES EN LA INFRAESTRUCTURA DE CARRETERAS

### Análisis de riesgo en tramo de carretera rural

Potencial Risk in the Highway Infrastructure

RENÉ A. GARCÍA DEPESTRE, LUIS A. ALONSO QUESADA

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba

---

#### KEY WORDS

*Analysis  
Risk  
Infrastructure  
Highways  
Mitigation  
Safety road*

---

#### ABSTRACT

*In Cuba the analysis of the risks in the infrastructure of highways is carried out by means of individual analysis of the elements of the safety road. In the work the risks are analyzed using like base international Marco for the adaptation of the infrastructure of highways in the face of the climatic change, developed by the World Association of the Highway in the 2015, incorporating the state of the elements of the highway and the characteristic superficial, determining the potential risks. Starting from the results a proposal of measures is made for the mitigation of the identified problems.*

---

#### PALABRAS CLAVE

*Análisis  
Riesgo  
Infraestructura  
Carreteras  
Mitigación  
Seguridad vial*

---

#### RESUMEN

*En Cuba el análisis de los riesgos en la infraestructura de carreteras se realiza mediante análisis individual de los elementos de la seguridad vial. En el trabajo se analizan los riesgos utilizando como base el Marco internacional para la adaptación de la infraestructura de carreteras ante el cambio climático, desarrollado por la Asociación Mundial de la Carretera en el 2015, incorporando el estado de los elementos de la carretera y las características superficiales, determinando los riesgos potenciales. A partir de los resultados se efectúa una propuesta de medidas para la mitigación de los problemas identificados.*

Recibido: 10/12/2018

Aceptado: 24/09/2019

## 1. Introducción

Según la Asociación Mundial de la Carretera (PIARC, por sus siglas en inglés) 2015, riesgo es un evento posible, resultado de una circunstancia particular, que tiene consecuencias indeseables; de aquí su influencia directa en la seguridad vial, con la posibilidad de ocasionar accidentes de tránsito.

A nivel mundial los accidentes de tránsito ocupan actualmente el noveno lugar entre las principales causas de muerte, con 1,3 millones de vidas y traumatismos no mortales cerca de 50 millones de personas cada año. Se estima que el costo total para los países puede alcanzar el 3% del PIB (Galaz, 2017). De ese total de vidas perdidas, aproximadamente el 49% son en usuarios vulnerables de la carretera (peatones, ciclistas y motociclistas) según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017).

Las causas de la accidentalidad vehicular están relacionadas con factores humanos, vehiculares y los vinculados a las vías y su entorno, así como la interrelación entre ellos; las cifras de accidentalidad indican prestar la correcta atención a los elementos de riesgos potenciales dedicando el presente trabajo a los vinculados con la infraestructura de carreteras.

En Cuba los análisis de riesgos relativos a la infraestructura de carreteras se realizan sin una visión integrada, dividiendo estos en riesgos ambientales, propios del estado de la carretera y de los parámetros de explotación, ellos son los causantes del 5,9% del total de fallecidos en el país, con una cifra de accidentes registrados en el 2017 de 11 187 (aumento en 300 con respecto al 2016), con 750 fallecidos y 7 999 lesionados, los que se mantienen con valores similares a los dos años que anteceden, ocupando el quinto lugar de las principales causas de muerte en el país. Entre los territorios que se destacan con mayor número de accidentes, fallecidos y lesionados está la provincia de Villa Clara (Oficina Nacional de Estadísticas e Información (ONEI), 2016).

Las condiciones climáticas no favorables, el mal estado de las carreteras, indicadores ineficiente de las características superficiales de las carreteras, unido a dificultades con la educación vial, falta de planeación, estudio de los factores de riesgo y de preparación para

enfrentar los mismos, son algunos de los muchos factores que contribuyen a exhibir las cifras de accidentalidad comentadas con anterioridad.

Debido a ello, es de vital importancia un correcto análisis de los riesgos potenciales en la infraestructura de carreteras, ello sin dudas permitiría interactuar y poder corregirlos para así evitar accidentes por causa de la infraestructura de carreteras y en caso de que se produzcan, disminuir los traumatismos graves, defunciones y daños materiales.

Como respuesta a la problemática descrita con anterioridad se propone como objetivo, proponer un procedimiento para el análisis de riesgos en la infraestructura de carreteras que contenga elementos del medio y la infraestructura.

## 2. Gestión de riesgos

Las amenazas y vulnerabilidades son elementos fundamentales para trabajar la gestión de riesgos, ello implica un proceso de búsqueda, reconocimiento y descripción; la identificación de las fuentes o factores de riesgos (internos o externos), los eventos, sus causas y sus potenciales consecuencias (PIARC, 2015).

Amenaza es un fenómeno externo causado por una fuerza natural y por acciones de personas sobre la naturaleza *Natural Disasters and Vulnerability Analysis* (Cannon, 1979), estas se clasifican en natural, socio-natural y social o antrópica.

Vulnerabilidad existente es el grado de exposición y fragilidad en que una comunidad, ambiente, infraestructura, servicio o área geográfica con o sin capacidad de intervención está afectada por el impacto de una amenaza.

La identificación de los riesgos potenciales que pueden existir en la infraestructura de carretera y en el entorno natural basándose en un análisis realizado por PIARC, 2016; se enfocan hacia los factores climáticos que incluyen cambios en la temperatura máxima extrema, cambios en la precipitación general, incremento de precipitaciones intensas, subida del nivel de mar y mayor intensidad de huracanes.

La gestión de riesgo es de gran importancia para cualquier tipo de proyecto, por ello distintas organizaciones y empresas han creado procedimientos para asegurar la correcta ejecución de sus inversiones. Uno de los procedimientos empleados en el continente

americano con éxito relacionado con la gestión de riesgo es el Manual de Usuario: Orientaciones para emprender análisis de riesgo del Consejo Suramericano de Infraestructura y Planeamiento (COSIPLAN) y la Iniciativa para la Integración de la Infraestructura Regional Suramericana (IIRSA), (COSIPLAN/IIRSA, 2015), desarrollado con el fin de que sus miembros puedan incorporar el proceso de gestión de riesgo de desastres en la planificación y desarrollo de la infraestructura regional de integración.

Este manual está adaptado para las condiciones de sudamericanas, Cuba no dispone de un procedimiento para la gestión de riesgo, y el referido aunque está adaptado para las condiciones de Sudamérica en muchos aspectos son similares a las condiciones de Cuba por lo que solo será necesario modificar o adecuar elementos tales como la caracterización de las amenazas y la identificación de la infraestructura.

La caracterización de las amenazas, se trata adecuadamente en los estudios realizados por el PIARC en el Marco internacional para la adaptación de la infraestructura de carreteras ante el cambio climático (PIARC, 2015), donde se realiza una metodología, centrada en el impacto ambiental, con un análisis profundo en la clasificación de las amenazas mediante una matriz de exposición, para luego ser evaluada según por la escala de sensibilidad y por una matriz de vulnerabilidad.

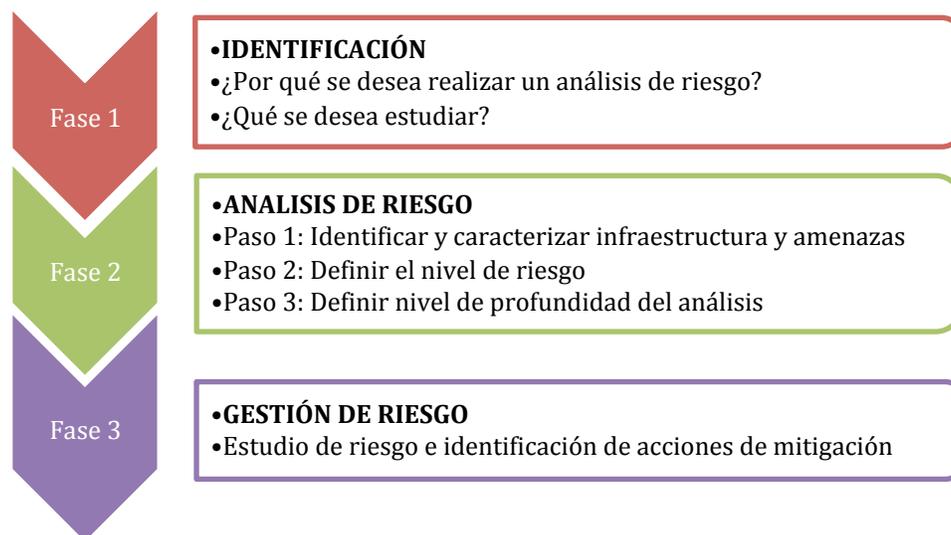
La caracterización de la infraestructura de carreteras se ha abordado por diversos autores en Cuba, resultando la más abarcadora la propuesta de procedimiento elaborada por el ingeniero Guillermo Rodríguez Díaz en el trabajo Procedimiento general para evaluar el estado de los elementos y las características superficiales de mayor incidencia en la accidentalidad (Rodríguez, 2011), enfocada en las condiciones de Cuba, aplicado en la provincia de Villa Clara, el trabajo está dirigido a la infraestructura de la carretera, mediante la determinación de coeficientes de fricción, textura superficial, regularidad superficial, estado de señalización planteados por Díaz, 1992 y 1999, los cuales se utilizan posteriormente para llevar a cabo un análisis del estado de la infraestructura de carretera.

La adaptación de estas metodologías específicas, a las condiciones cubanas, permitirá tener un mayor horizonte en los análisis de riesgos, y por ende una mayor disminución de la accidentalidad si se llevan a cabo las acciones necesarias para la reducción de los riesgos identificados.

### 3. Materiales y método

Con vista a realizar el análisis de los riesgos en la infraestructura de carreteras adaptado a las condiciones cubanas se propone el siguiente procedimiento, que se divide en tres etapas o fases de trabajo, identificación, análisis de riesgo, y la gestión, divididos en pasos (figura 1).

Figura 1. Esquema de procedimiento para el análisis de riesgo en infraestructura de carreteras.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

### 3.1. Fase 1: Identificación

Esta fase aborda la(s) razón(es) de porqué se desea o requiere realizar un análisis de riesgo en una determinada infraestructura de carreteras, lo cual llevará consigo definir qué es lo que se desea analizar.

Es fundamental el alcance del análisis de riesgo, por lo tanto, se debe seleccionar la infraestructura de carretera objeto del análisis de riesgo, definir las amenazas de interés (inundación, deslizamiento, sismo, etc.) o bien un territorio delimitado sobre el cual se centrará el estudio.

### 3.2. Fase 2: Análisis de riesgo

Las acciones consideradas en esta fase pueden ser desarrolladas con el apoyo y participación de empresas consultoras, administradoras, instituciones académicas u otras, en coordinación y diálogo permanente con la institución que encomienda el análisis, haciendo uso de resultados obtenidos para otros fines. A lo largo de los diferentes pasos que se plantean, la institución interesada deberá validar y tomar decisiones sobre los resultados preliminares que se obtengan.

**Paso 1: Identificar y caracterizar infraestructura y amenazas.** En este paso efectúa la identificación y caracterización de los componentes de la infraestructura de carreteras y de las amenazas, a partir de la información que se encuentre disponible, con el fin de realizar una matriz de exposición a estas amenazas, para a partir de un análisis de sensibilidad del tramo de carretera analizado.

La caracterización de la infraestructura de carretera valora aspectos tales como las características geométricas y de operación, las características superficiales, y otros.

La caracterización de las amenazas e infraestructura de interés puede ser realizada por la institución interesada, así como ser delegada a empresa consultora o experto que facilite la recopilación y análisis de información disponible.

Si además fuera de interés, o por limitaciones técnicas o financieras, realizar el análisis de

riesgo solo en algunos de los componentes de la infraestructura de interés, es posible hacerlo.

En el análisis de riesgo, se trata de recopilar información existente que permitan caracterizar las amenazas que serán objeto de estudio, la cual habitualmente está disponible en instituciones técnicas y científicas encargadas del estudio y monitoreo de amenazas naturales a nivel nacional, ya sea en forma de mapas de peligro o informes narrativos.

La tabla 1 se utiliza para identificar la exposición de los lugares específicos ante las variables climáticas presentes que afectan la infraestructura de carreteras.

Tabla 1. Matriz de exposición

	1*	2*	3*	4*	5*
<b>Activos/ Ubicación/ Operación A</b>					
<b>Activos/ Ubicación/ Operación B</b>					

Fuente: PIARC, 2015

1\* Temperatura máxima extrema

2\* Precipitación general

3\* Precipitaciones intensas

4\* Subida del nivel del mar

5\* Intensidad de huracanes

La exposición se califica de la siguiente manera:

-Nula o insignificante ahora y/o en el futuro

-1= Baja exposición ahora y/o en el futuro

-2= Mediana exposición ahora y/o en el futuro

-3= Alta exposición ahora y/o en el futuro

La sensibilidad se define como el grado en que un sistema se ve afectado, ya sea adversa o benéficamente, por estímulos relacionados con el clima (PIARC, 2015), puede ser evaluada usando la experiencia de eventos recientes e históricos, localización geográfica, condiciones y vida útil de diseño de la vía. La tabla 2 proporciona una escala para ayudar a asignar niveles de sensibilidad.

Tabla 2. Escala de sensibilidad

Nivel de sensibilidad		Descripción del nivel de sensibilidad para la infraestructura
3	Alta	Daño permanente o extensivo que requiere grandes reparaciones.
2	Media	Daños a la infraestructura generalizada y la interrupción del servicio que requiere reparaciones moderadas. Daños parciales en la infraestructura local.
1	Baja	Interrupción localizada del servicio en la infraestructura. No hay daño permanente. Requiere algún trabajo de restauración menor.
0	Nula	Sin interrupciones de servicios o daños en la infraestructura

Fuente: PIARC, 2015

A través de la combinación de las calificaciones de exposición y sensibilidad, es posible identificar si la carretera es vulnerable a las variables climáticas, y en qué medida. Las carreteras que tienen una alta exposición y sensibilidad tendrán una mayor vulnerabilidad a las variables climáticas, que aquellos con una baja exposición y una baja sensibilidad la tabla 3 puede ser utilizadas para determinar el nivel general de vulnerabilidad.

Tabla 3. Matriz de vulnerabilidad

Exposición	Sensibilidad		
	Baja	Media	Alta
Alta	4 (Media)	5 (Alta)	6 (Extrema)
Media	3 (Baja)	4 (Media)	5 (Alta)
Baja	2 (Muy baja)	3 (Baja)	4 (Media)

Fuente: PIARC, 2015

**Caracterización de la infraestructura.** Una infraestructura por lo general está formada por diferentes componentes indispensables para su normal funcionamiento, los cuales deben ser identificados y caracterizados. Esta labor se hace más sencilla cuando se trata de una infraestructura puntual (puerto, aeropuerto, central hidroeléctrica, etc.), en cambio para infraestructura extensiva (carretera, sistema de transmisión eléctrica, redes de gas/oleoducto) se requiere de una mayor atención ya que las características de los componentes, así como de las amenazas por lo general varían a lo largo del territorio, por lo que se recomienda realizar los análisis de riesgo por tramos con similares características.

Las informaciones esenciales que se recopilan en este paso, entre otras son:

- Memorias o criterios de diseño y/o construcción de la infraestructura.
- Planos generales y detalle de las edificaciones, equipos, etc.
- Reportes y/o memorias de operación y funcionamiento de la infraestructura.
- Informes de mantenimiento, siniestros y/o daños.

A partir de la revisión bibliográfica, la experiencia existente en Cuba se propone para la caracterización de la infraestructura analizada la utilización de una metodología integral para evaluar el estado de los elementos y las características superficiales (Rodríguez, 2011), que toma además en consideración métodos utilizados en otras regiones, adecuados al entorno y condiciones del país.

Dicha metodología plantea como pasos los siguientes:

1. Determinación de las características generales de la carretera
2. Análisis de las características geométricas de los tramos y de operación
  - Consistencia del trazado
3. Evaluación de elementos mediante inspección visual
  - Índice de calificación visual (ICV)
  - Paseos y cunetas
  - Señalización vertical y horizontal
  - Barreras de seguridad o defensas
4. Evaluación de las características superficiales
  - Textura superficial
  - Fricción
  - Regularidad superficial
5. Evaluación del índice de seguridad vial (ISV)

Es criterio de los autores la posibilidad de utilizar otras técnicas de evaluación.

**Paso 2: Definir el nivel de riesgo.** En este paso se define el nivel del riesgo, para ello se determinará una matriz de riesgo la tabla 4, en la cual mediante la clasificación de vulnerabilidad debido a distintas amenazas y a la clasificación de la infraestructura dependiendo de la seguridad vial, se determina los daños y por ende la prioridad de los posteriores estudios de control de los riesgos.

Tabla 4. Matriz de nivel de riesgo

Amenaza	Nivel de vulnerabilidad	Estado infraestructura				
		E	B	R	M	C
		1	2	3	4	5
1*	2	3	4	5	6	7
2*	3	4	5	6	7	8
3*	4	5	6	7	8	9
4*	5	6	7	8	9	10
5*	6	7	8	9	10	11

Fuente: PIARC, 2015

- E Excelente
- B Bueno
- R Regular
- M Malo
- C Crítico

Para la determinación del nivel de riesgo se sumarán el valor del nivel vulnerabilidad frente a cada amenaza con el valor del ISV, finalmente se obtiene un valor que según él se clasifica el riesgo basándose en la tabla 5.

Tabla 5 Clasificación del riesgo

Estado	Rango de puntuación
Excelente	3----4
Bueno	5----6
Regular	7----8
Malo	9----10
Pésimo	11

Fuente: PIARC, 2015

**Paso 3: Definir nivel de profundidad del análisis.** En este paso se espera definir la profundidad requerida para el estudio de riesgo en los diferentes componentes de la infraestructura de interés, para los cuales se desarrollarán los términos de referencia y alcances del estudio de riesgo.

No siempre se requerirán análisis exhaustivos de riesgo para todos los componentes de una infraestructura. Por ejemplo, aquellos componentes poco relevantes para el funcionamiento de un sistema y de fácil reemplazo, o bien ubicadas en zonas seguras fuera del impacto de amenazas naturales, solamente sería necesario que las mismas fuesen inspeccionadas por profesionales expertos en la materia.

Por otra parte, si un sistema se ha visto afectado de manera reiterada por fenómenos

naturales generando alteraciones en el servicio, pérdidas económicas importantes y afectación a comunidades cercanas, seguramente se deseará realizar un análisis de riesgos que no sólo explique las razones y causas de los impactos, sino que también genere la información básica para reducir el riesgo. En este caso, será necesario desarrollar estudios exhaustivos que recopilen y/o generen información que permita entre otras cosas caracterizar las amenazas y elementos expuestos y así modelar el comportamiento del sistema frente a eventos adversos.

La metodología de gestión de riesgo de desastres en la infraestructura de COSIPLAN/IIRSA, 2015, propone tres niveles de profundidad.

**Nivel 1 Cualitativo:** Diseñado para entregar una estimación simplificada de la amenaza, vulnerabilidad y desempeño de la infraestructura analizada. Este nivel de análisis puede ser realizado en un periodo corto de tiempo por personal técnico con conocimiento en el tipo de componente bajo análisis.

**Nivel 2 Determinístico:** Se caracteriza por ser un análisis cuantitativo, en base a información histórica o estadística para caracterizar la amenaza, vulnerabilidad y desempeño del componente, e incluye la validación y obtención de información a nivel de terreno. Este nivel de análisis puede ser desarrollado por personal técnico con conocimiento en el tipo de infraestructura en análisis con la asistencia técnica y participación de especialistas en la caracterización de amenazas y modelación de sistemas.

**Nivel 3 Probabilístico:** Provee resultados detallados de manera cuantitativa, los cuales se basan en el uso de información precisa y herramientas de modelación y análisis probabilístico. Se espera en este nivel, el uso de metodologías avanzadas de análisis, por lo cual es necesaria la participación de expertos y especialistas.

Así mismo, lo exhaustivo que se pueda o quiera realizar un análisis de riesgo dependerá en gran medida de:

- Cantidad y calidad de información con que se cuente.

- Recursos disponibles (técnicos y financieros).
- Tiempo disponible.
- Usos que se darán a los resultados que se obtengan del análisis.

### **3.3. Fase 3: Gestión de riesgo**

Sin importar el nivel de profundidad del estudio de riesgo, entre los resultados se debe considerar la identificación de las medidas de reducción de riesgo (prevención y mitigación) frente al riesgo identificado, para su posterior análisis y toma de decisiones.

En algunas oportunidades se podrá incluir en los términos de referencia, las etapas de diseño y ejecución de las medidas de mitigación respectiva, sin embargo, habitualmente el diseño y ejecución de obras de mitigación sólo se hace una vez que se tiene certeza sobre el nivel de riesgo de la infraestructura de interés.

Una vez conocido el riesgo potencial en los componentes esenciales de la infraestructura, será necesario identificar posibles medidas de reducción de riesgo (prevención o mitigación) que permitirían asegurar la integridad de la infraestructura.

La reducción de riesgo potencial como proceso, significará la priorización de las opciones de reducción de riesgo según su importancia y/o recursos disponibles para su implementación. Por lo tanto, las diferentes opciones de reducción del riesgo se implementarán de manera progresiva y planificada junto con otras acciones de operación, mantenimiento y expansión de la infraestructura.

## **4. Análisis de los resultados**

Se aplica el procedimiento descrito anteriormente a un tramo de carretera rural, que vincula la capital de la provincia de Villa Clara en Cuba, con la costa Norte del territorio, por lo que es clasificada funcionalmente como una vía colectora, además de tener uno de los tramos con mayor peligrosidad dado por la accidentalidad vehicular y su severidad.

### **4.1. Fase 1: Identificación**

El caso de análisis está centrado en el tramo de carretera Santa Clara – Hatillo, de pavimento flexible con superficie de hormigón asfáltico caliente, con dos carriles de circulación, paseos a ambos lados, y cunetas laterales en las zonas en excavación. Esta es una carretera rural de categoría técnica III y velocidad de diseño 60 Km/h, emplazada en un terreno llano.

Por la cantidad de accidentes en distintos puntos del tramos de carretera y la preocupación de los habitantes del lugar, se decidió realizar un análisis de riesgo en la infraestructura de carretera, con el fin de entender cuál o cuales son las posibles causas de la accidentalidad y qué medidas se deben tomar para eliminarlos o reducir sus efectos.

Luego de una intensa búsqueda se determinó que las amenazas naturales a que está expuesta la infraestructura objeto de análisis son: cambio de la temperatura máxima y cambio en las precipitaciones generales.

Según Fonseca, et al., 2018; el año 2017 fue un año caluroso en Cuba con condiciones particularmente cálidas en el período lluvioso. Aunque la temperatura media anual fue la duodécima más alta desde 1951 al alcanzar 0,53°C por encima de la media del período de referencia 1961 – 1990, lo que acentuó la tendencia al incremento de la temperatura media anual de Cuba.

En julio y agosto ocurrieron las mayores anomalías de temperaturas extremas reportadas del año, las cuales estuvieron por encima de la norma en gran parte del país. A finales de año, durante septiembre, octubre y noviembre, las temperaturas máximas reportaron anomalías por debajo de la norma; en septiembre y octubre en el occidente, mientras que en noviembre ocurrieron en el centro y el oriente del país.

Hasta el mes de abril del 2018 la temperatura media registrada fue de 25,6°C, valor que estuvo ligeramente por encima de la norma con una anomalía de 0,8°C. Las temperaturas máximas y mínimas fueron de 30,7°C y 20,6°C respectivamente, estos valores representan una anomalía de 0,8°C en la máxima y 0,9°C en la mínima.

En el 2017 los acumulados de lluvias estuvieron por encima de la norma en general en todo el país, constituyendo el quinto más lluvioso de los últimos 57 años, con un valor del índice de precipitación estandarizada superior a 1,5. Este comportamiento estuvo asociado a los acumulados de la lluvia reportados en la región central y oriental del país, en las que constituyó el sexto y quinto año más lluvioso desde 1961 hasta la fecha, respectivamente (Fonseca, et al. 2018).

#### 4.2. Fase 2: Análisis de riesgo

**Paso 1: Identificar y caracterizar infraestructura y amenazas.** A partir de los resultados analizados, visitas a la zona e interactuar con las poblaciones, se determina la matriz de **exposición** tomando en cuenta las amenazas definidas, incremento de la temperatura e incremento de las precipitaciones (Tabla 6).

Tabla 6. Exposición Santa Clara - Hatillo

	1*	2*	3*	4*	5*
<b>10 km/ Carretera Hatillo-Santa Clara/</b>	2	2	-	-	-

Fuente(s): Elaboración propia, 2018

1\* Temperatura máxima extrema

2\* Precipitación general

3\* Precipitaciones intensas

4\* Subida del nivel del mar

5\* Intensidad de huracanes

Se procede a evaluar la **sensibilidad** a partir de las afectaciones recientes de las amenazas. El aumento de la temperatura ha provocado a través del tiempo la aparición de diferentes patologías debidas su mayoría en la reducción de la vida útil de la misma. En el caso del aumento de las precipitaciones con el mal estado de los drenajes longitudinales, han provocado que aumente el nivel de humedad en el suelo y contribuyan al deterioro de la infraestructura de la vía. Según la tabla 2 se determina un nivel de sensibilidad asignada, en este caso categorizada de media (2).

Finalmente, en esta etapa se integran la sensibilidad y la exposición en la tabla 3, para determinar la **vulnerabilidad** ambiental que

presenta el tramo analizado asignándole un valor de vulnerabilidad de 4 (Media), por lo que será necesario tomar medidas de adaptación y/o mitigación.

**Caracterización de la infraestructura:** para este análisis fue necesario recopilar información, ensayos, evaluaciones y pruebas realizados en el tramos objeto de análisis en poder de la administración. Para esto se utilizó la metodología expresada en el epígrafe de materiales y métodos.

- Determinación de las características generales de la carretera y de operación.
  - Longitud del tramo 10,00 km
  - Ancho de carriles 3,00 m
  - Ancho paseos 1,50 m, en 6,00 km, el resto es menor a esa magnitud
  - Acceso 1 por km
  - Cunetas necesarias en longitud de 7,40 km
  - Señales verticales, 37 unidades
  - Señales horizontales, no existen
  - Barreras de seguridad, no necesarias
- Análisis de las características geométricas de los tramos.
  - Consistencia del trazado
  - Luego de evaluar la consistencia del trazado se detecta problemas en la diferencia entre velocidad de operación y diseño.
    - Sentido Santa Clara-Hatillo, mala 3,71 km, regular 6,39 km
    - Sentido Hatillo-Santa Clara, mala 1,16 km, regular 8,84 km
  - Similar comportamiento se obtiene con el criterio de diferencia de operación entre tramos consecutivos. El trazado existente no responde a la velocidad que los conductores transitan en el tramo.
- Evaluación de elementos mediante inspección visual.
  - Índice de calificación visual (ICV)
  - Se evaluó la calzada, dividiendo en secciones de 100 metros de longitud y se recorrió peatonalmente.
    - Evaluación 78,4/100 Regular, con grietas transversales, longitudinales, roturas de borde, baches y otros deterioros.
  - Paseos y cunetas

Las cunetas presentan un nivel de aterramiento en una cuantía muy pequeña, menor al 5 % por lo que obtiene calificación de excelente. Los paseos presentan un nivel de erosión mayor al 5 % y menor al 50 % constituyendo este deterioro un grave problema para la seguridad vial por el desnivel que presenta entre el pavimento y el paseo por lo que la calificación de regular.

Evaluación paseos de 8,35/10 Regular

Evaluación cunetas de 9,15/10 Excelente

-Señalización vertical y horizontal

La señalización vertical obtiene una calificación de regular debido a que los principales problemas que se presentan son suciedad, decoloración y visibilidad. El estudio realizado a la señalización vertical se efectuó a las señales existentes, aunque no están presente todas las que requieren los tramos analizados lo cual influye de forma negativa en la seguridad vial.

Las señales horizontales no están presentes en ningún lugar de este tramo. La evaluación general de la señalización del tramo es de mala por la inexistencia de la señalización horizontal.

-Barreras de seguridad o defensas

En el recorrido efectuado se pudo observar que no existen defensas en todo el trazado del tramo por lo que no recibe evaluación este elemento.

4. Evaluación de las características superficiales.

-Textura superficial

Se evaluó utilizando el marco de textura portátil (MTP), cada 100 metros 3 ensayos y en forma de trebolillo.

Textura muy fina, resultado pésimo

-Fricción

Este ensayo se realizó utilizando el péndulo portátil DIVA, en los mismos puntos en que se realizó el ensayo de textura portátil.

Fricción promedio de 0,25 resultado pésimo

-Regularidad superficial

Este ensayo se realizó recorriendo con el MERLIN todo el tramo y cambiando de registro cada 400 metros.

El tramo analizado presenta irregularidades las cuales están dadas en gran medida por el elevado número de deterioros superficiales que presenta la calzada y como resultado se obtiene un valor de calificación no deseable.

IRI de 4,04 mm/m no deseado

5. Evaluación del índice de seguridad vial (ISV)

Al considerar las evaluaciones anteriores se determina que el índice de seguridad vial es malo.

**Paso 2: Definir el nivel de riesgo.** En este paso se define el nivel del riesgo, para ello se determina la matriz de riesgo tabla 7, en la cual mediante la clasificación de vulnerabilidad debido a distintas amenazas y a la clasificación de la infraestructura como mala según las evaluaciones realizadas al estado que componen los diferentes elementos de la infraestructura y las características superficiales determinadas se califica de regular cuando se consulta con la tabla 5 que implica una evaluación de regular.

Tabla 7. Nivel de riesgo Santa Clara - Hatillo

Amenaza	Nivel de vulnerabilidad	Estado infraestructura				
		E	B	R	M	C
		1	2	3	4	5
1*	4	5	6	7	8	9
2*	4	5	6	7	8	9

Fuente(s): Elaboración propia, 2018

Este análisis unifica las amenazas ambientales y las características de la infraestructura, permite visualizar cual elemento es de mayor influencia en los riesgos potenciales. En este caso, si se toma en cuenta que el nivel de amenaza natural es difícil de modificar de forma inmediata y en los escenarios futuros puede ser incrementados, se llega a la conclusión de que corrigiendo las características de la infraestructura, la clasificación de riesgo potencial puede pasar a un estado de **bueno**, y a su vez al corregir el estado de la carretera y el entorno que rodea a esta se puede disminuir la vulnerabilidad, y con esto tener un menor nivel de amenaza, lo que colocaría la clasificación del riesgo entre **excelente y bueno**.

**Paso 3: Definir nivel de profundidad del análisis.** En este paso es necesario definir que componentes de la carretera se les debe prestar una mayor atención a la hora de gestionar los riesgos.

Componente priorizado. Pavimento

Nivel de profundidad: 2 o 3

Justificación: Mala evaluación de las características superficiales, y la clasificación de riesgo potencial como regular.

#### 4.3. Fase 3: Gestión de riesgo

Para identificar las acciones de mitigación es necesario realizar un análisis sobre cómo enfrentar las amenazas a las que está expuesta la infraestructura y seguidamente analizar como corregir los problemas descritos.

**Mitigación de las amenazas expuestas.**

**Precipitaciones:** Para corregir o mitigar esta amenaza es necesario realizar de forma periódica la chapea en la faja de la carretera, rectificación y/o reapertura de cunetas, en las obras de fábricas mayores y menores limpieza de los conductos, desobstrucción, chapea de los causes y reparación periódica.

**Temperatura:** El aumento y variación en los cambios de temperatura pueden provocar afectaciones en el pavimento, especial atención se le debe otorgar al fenómeno de la exudación ya que este produce ablandamiento del material bituminoso de la mezcla asfáltica y subida a la superficie de pavimento, formándose una película continua de ligante, creando una superficie brillante, reflectora y resbaladiza en combinación con el agua, generando condiciones de tránsito peligrosas por el riesgo de deslizamientos. Además de las deformaciones que pueden generar por ende el fallo estructural.

**Mitigación de los problemas de la infraestructura. Trazado:** Tras el análisis de la consistencia de trazado a través de los criterios de diferencia entre velocidad de operación y velocidad de diseño y el criterio de variación de la velocidad de operación en segmentos consecutivos, se detecta que existen dificultades en muchos tramos, esto es debido a que la velocidad de diseño es de 60 km/h y como se muestra en los registros, los vehículos transitan con una velocidad superior, entre 70 y 90 km/h, el tramo está señalizado a 80 km/h, por lo que

como medida de corrección se puede declarar la sustitución de las señales de velocidad permitida, por un valor inferior que permita disminuir esa velocidad de operación.

También dentro de los tramos analizados en el viaje de ida de Santa Clara hacia Hatillo es necesario prestarles atención ciertos tramos que en los dos criterios evaluados muestran clasificación de mal y regular, en estos casos es necesario realizar un estudio más profundo, ya que como medida de corrección en estos tramos sería la modificación del trazado de los mismos.

**Evaluación de elementos mediante la inspección visual. ICV:** El análisis a la superficie del pavimento se detectaron deterioros sobre los que es necesario actuar.

Grietas transversales y longitudinales, realizar sellado de grietas, se valora la aplicación de riego asfáltico o recapado en caso crítico.

Rotura de borde, corrección del borde con hormigón asfáltico y recrecimiento de paseo.

Baches, realizar bacheo superficial o profundo en dependencia del nivel de afectación de la capa de rodadura, la base o la subbase de la estructura del pavimento.

Piel de cocodrilo, en este caso se procede de forma similar al caso de grietas, es necesario valorar si la presencia de este tipo de fallo es por un fallo estructural, en este caso se recomienda restituir la estructura del pavimento en el paño afectado.

**Paseos:** El paseo analizado de 20 km tuvo una calificación de regular por lo que más del 70% de los mismos necesita trabajos de conservación. Con el fin de corregir estos problemas es necesario realizar la rectificación y el recrecimiento de los mismos.

**Señalización:** Colocación de todas las señales necesarias en el tramo, tanto verticales como horizontales, con relación a las verticales existentes se requiere de acciones de conservación sobre ellas con el objetivo de que cumplan su función

**Evaluación de las características superficiales:** Se cataloga la textura del tramo como pésima, la fricción como muy mal y la regularidad superficial como no deseable, por lo que la medida de corrección más eficiente que se debe tomar con el fin de corregir estos tres problemas es la repavimentación de la carretera.

Las evaluaciones realizadas han detectado que está en peligro confiabilidad estructural y por ende la seguridad vial del vial analizado, y posibilita clasificar los trabajos que deben realizarse, siempre y cuando se cuente con el presupuesto necesario, como una reparación capital de la obra, ya que es necesario realizar una restitución del pavimento sin necesidad de cambiar la estructura de pavimento y un cambio en caso de ser necesario de los elementos en obras de fábrica menores y mayores.

### 5. Conclusiones

1. Se elabora un procedimiento para el análisis de riesgos potenciales en la infraestructura de carreteras que valora de conjunto riesgos naturales y de la infraestructura de carreteras, a partir de metodologías existentes de probada efectividad a nivel internacional.
2. Se aplica el procedimiento elaborado para el análisis de riesgos potenciales, a un tramo de carretera rural de la provincia de Villa Clara, con resultados acorde a la situación detectada.
3. Los resultados luego de aplicar el procedimiento propuesto para el análisis de los riesgos potenciales en la infraestructura de carreteras ha sido satisfactorio, al determinar los riesgos naturales, relacionados con la infraestructura y los parámetros de explotación y proponer las medidas o acciones necesarias para contribuir a la seguridad vial.
4. El análisis integrado de los riesgos presentes en la infraestructura de carreteras ha permitido demostrar la importancia de tiene en el caso de estudio el estado de los elementos y las características superficiales, de manera que si estos fueran buenos el riesgo potencial disminuiría.

## Referencias

- Cannon, T. (1979). *Natural Disasters and Vulnerability Analysis*, Londres: s.n.
- COSIPLAN/IIRSA (2015). *Gestión de riesgos de desastres en la infraestructura de integración de COSIPLAN/IIRSA. Manual de Usuario-Orientaciones para emprender análisis de riesgo*, s.l.: s.n.
- Díaz, E. (1992). *Índice de seguridad vial*. (Tesis de pregrado). ISPJAE, Ciudad de la Habana, Cuba
- Díaz, E. (1999). *Equipos y procedimientos sustentables para la inspección técnica de carreteras atendiendo a criterios de seguridad y comodidad del tránsito* (Tesis doctoral). ISPJAE, Ciudad de La Habana, Cuba.
- Fonseca, C. et al. (2018). Estado del clima en Cuba 2017. Resumen ampliado. *Revista cubana de meteorología*, 24(2), pp. 226-237.
- Galaz, O. (2017). *Instituto de Políticas Públicas en Salud. Universidad de Sebastian*. (n.d.), de <http://www.ipsuss.cl>.
- OMS (2017) *Salve VIDAS- Paquete de medidas técnicas sobre seguridad vial*. (ISBN 978-92-4-351170-2). Recuperado de <http://www.who.int.es>.
- ONEI (2016). *Anuario Estadístico de Cuba 2016. Accidentes del Tránsito*. Recuperado de <http://www.one.cu>.
- PIARC (2015). *Marco internacional para la adaptación de la infraestructura de carreteras ante el cambio climático* (2015R03ES). Recuperado de <http://www.piarc.org>.
- PIARC (2016). *Methodologies and tools for risk assessment and management applied to road operations*, s.l (2016R12EN). Recuperado de <http://www.piarc.org>.
- Rodriguez, G. (2011). *Procedimiento general para evaluar el estado de los elementos y los parámetros de explotación de mayor incidencia en la accidentalidad* (Tesis de maestría). Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Cuba.