



Ciencia en su PC

ISSN: 1027-2887

manuela@megacen.ciges.inf.cu

Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago
de Cuba

Cuba

Vidaud-Quintana, Ingrid Noelia; Duharte-González, Aurora; Yero-Ramírez, Ernesto Oscar
CONSIDERACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS EN una ZONA SÍSMICA
Ciencia en su PC, vol. 1, núm. 4, 2019, Enero-Marzo 2020, pp. 86-96
Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba
Cuba

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181358738017>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEM redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

CONSIDERACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS EN UNA ZONA SÍSMICA

HIGHWAYS CONSTRUCTION REVIEW IN SEISMIC HAZARD ZONE

Autores:

Ingrid Noelia Vidaud-Quintana, ingrid@uo.edu.cu¹

Aurora Duharte-González, aurora@uo.edu.cu¹

Ernesto Oscar Yero-Ramírez, ernestooscar.yero@nauta.cu¹

¹Universidad de Oriente, Facultad de Construcciones. Santiago de Cuba, Cuba.

RESUMEN

Los viales han experimentado una evolución significativa en el transcurso de la historia, con un incuestionable desarrollo económico y consecuentemente social. Diversas tendencias se presentan hoy para su construcción, sin descartar que, durante su vida útil, estas estructuras se encuentran sometidas a procesos y fenómenos que limitan su seguridad y durabilidad. Cuba, debido a su ubicación geográfica, se encuentra influenciada por una importante actividad sísmica, cuyas amenazas inducidas pueden tener un impacto negativo importante en las carreteras. En esta investigación se proponen consideraciones para la ejecución de estas obras lineales ante la incidencia del desastre de origen geológico, considerando amenazas como sismos, fenómenos de licuación de suelos y deslizamientos de terreno. Se soportan los principales resultados de este trabajo en la revisión bibliográfica y el análisis documental en torno a experiencias internacionales.

Palabras clave: ejecución de carreteras, peligro sísmico, carreteras.

ABSTRACT

The roads have notoriously significant development throughout the history, bringing with it an unquestionable economic and consequently social development. During its development there have been different trends for its construction, without ruling out that during its useful life, these structures are subject to different processes and phenomena that limit their safety and durability. Cuba, due to its geographical location, is threatened by an important seismic activity, whose induced threats can have catastrophic effects on the roads. In this research, considerations are proposed for the execution of these roads before the occurrence of disasters of geological origin; considering the earthquake, the phenomena of liquefaction of soils and landslides. The main results of this work are supported in international experiences and an exhaustive bibliographical search.

Key words: highways construction, seismic hazard, highways.

INTRODUCCIÓN

La técnica de construcción de carreteras aparece en Cuba desde hace ya varias décadas. Numerosos ejemplos ilustran esta afirmación, entre los que se destaca la construcción de la Carretera Central, cuya construcción se remonta a más de 50 años atrás. Esta obra aún presta servicios como resultado de las intervenciones de reparación o reconstrucción que se le han realizado.

Uno de los principales agravantes de una red vial es la ocurrencia de desastres de origen natural, en ascenso a nivel global. Toda la geografía del planeta es azotada con cierta frecuencia y con diferentes grados de severidad por algún tipo de desastre. Entre estos los sismos constituyen una de las peores amenazas (Figura 1).



a) Sismo en Honduras

b) Efecto de la licuefacción en carretera

Figura 1. Impacto de los sismos en carreteras en los últimos años

Por su ubicación geográfica, Cuba tiene características geológicas, tectónicas y topográficas que la hacen vulnerable a desastres de origen geológico en gran parte de su territorio (Figura 2).



a) Daños producidos en la zona de La Alameda b) Deslizamiento que compromete la red vial

Figura 2. Impacto de los sismos en carreteras en Cuba

La provincia de Santiago de Cuba está situada en la microplaca cubana, al borde de los límites sur de la placa de Norteamérica y norte de la placa Caribe. Se destaca en esta zona el tipo de sismicidad, conocida como de entre placas, vinculada a la estructura Bartlett-Caimán (zona sismogénica oriente), que se caracteriza por ser un sistema de fallas transformantes abierto con una fosa en su centro (Fosa de Bartlett) (Figura 3).



Figura 3. Placas tectónicas adyacentes a la placa en la que se ubica el archipiélago cubano

Las investigaciones sismológicas cubanas sitúan a Santiago de Cuba como la zona de mayor peligro sísmico del territorio nacional. Más del 60 % de los sismos perceptibles y fuertes reportados en el país han tenido su epicentro en esta provincia. Estos han sido registrados en el sector comprendido entre las localidades de Chivirico y Baconao, sacudido por más de 1000 sismos perceptibles desde el año 1528 hasta la fecha.

Se ha estudiado a profundidad el efecto de esta amenaza en las obras estructurales; sin embargo, se presentan hoy vacíos importantes en relación con las obras viales, tomando en consideración que los sismos pueden inducir o servir de disparador de otros peligros geológicos de gran poder destructivo, como pueden ser la falla superficial o apertura del material en la superficie terrestre en forma de grietas gigantescas, las fallas en los taludes naturales o artificiales debido a las sacudidas del terreno en áreas inestables o con una topografía relativamente escarpada, la licuación del material no consolidado debido al

sacudimiento del suelo, la subsidencia o depresión de la superficie del terreno como resultado del asentamiento de los sedimentos blandos y los llamados tsunamis, generados por la actividad sísmica submarina (Centro Nacional de Investigaciones Sismológica (Cenais), 2010). Todas con marcada incidencia en las carreteras.

Se presentan entonces determinadas incertidumbres en el comportamiento de las carreteras ante la acción del sismo y otras amenazas inducidas, provocadas, con frecuencia, por inadecuadas soluciones en la construcción vial y, en general, responsables de limitar su durabilidad y seguridad.

Esta investigación profundiza en el tema para proponer consideraciones en la construcción de carreteras como alternativa para la reducción de riesgos. Se tuvo en cuenta el impacto negativo del desastre de origen geológico en estas obras lineales, a partir de la revisión bibliográfica y las experiencias internacionales de sismos fuertes en la región.

La experiencia hace dirigir la atención a que los daños ocasionados por sismos a todo tipo de estructuras tienen un elevado por ciento de fallas a consecuencia de los comportamientos desfavorables de los suelos y la baja calidad de algunos materiales, además del inadecuado control de calidad en los trabajos; sumado a ello, determinadas inconsistencias en la planeación vial. Estos comportamientos desfavorables tienden a amplificar las consecuencias nefastas de los sismos en las carreteras, razón que hace dirigir la atención a la construcción de carreteras en zonas de elevado peligro sísmico.

MÉTODO

A partir del análisis documental, una exhaustiva revisión bibliográfica y sobre la base de las experiencias internacionales, se realiza una caracterización de la construcción de carreteras en zonas de elevado peligro sísmico. En principio se valora el desarrollo de las redes viales y su influencia en el progreso de la humanidad, tanto desde el punto de vista social como económico. También se identifican las diferentes tendencias en la construcción de carreteras que hoy se verifican en la literatura especializada.

Con posterioridad se caracteriza la actividad sísmica en el territorio cubano, con énfasis en la región suroriental de la isla. Asimismo, se identifican los impactos del sismo en estas obras lineales; además, se hace referencia también a las amenazas inducidas.

Se identifican las etapas y actividades para la ejecución de carreteras. En cada una de ellas se determinan las consideraciones para su construcción con el fin de prevenir los desastres. A manera de buenas prácticas de construcción, se persigue rentabilidad a largo plazo, al prevenir fallas, eliminar necesidades de reparación y reducir el efecto de los desastres.

RESULTADOS

La construcción de carreteras requiere la creación de una superficie continua, que atraviese obstáculos geográficos y tome una pendiente suficiente que permita la circulación de vehículos y peatones. Este proceso transcurre desde la retirada de la capa vegetal para la construcción de la explanación, hasta la colocación de las señales del tránsito. Para ello es imprescindible el conocimiento de las etapas y actividades durante su proceso constructivo, lo cual permite valorar, además, la incidencia de los desastres geológicos en cada una.

Las etapas en las que se pueden agrupar las diferentes actividades del proceso constructivo de la carretera se definen de la siguiente manera: En la etapa 1, llamada preliminar, se incluyen como actividades el replanteo preliminar y definitivo, el desbroce y descortezado. En la etapa 2, construcción de obras de drenaje, está incluida la excavación, limpieza de cause, construcción de losa de asiento, recalce, muros y aletones, colocación de tubos, cajones y sellado de juntas; así como el rehincho manual y mecanizado. En la tercera etapa, llamada movimiento de tierra, se tiene la excavación en la explanación y en cunetas, extendido, nivelación, humectación y compactación del material de suelo. La pavimentación, como etapa 5, está formada por la preparación de la subrasante, construcción de sub-base y base, riego de imprimación y colocación de superficie. Por último, en la etapa 6 de terminación se tuvo en cuenta la colocación de señales y dispositivos de defensa.

En las tablas que se muestran a continuación se resumen las consideraciones propuestas por etapas.

ETAPA I (PRELIMINAR)					
Actividades	Replanteo preliminar		Desbroce del terreno	Descortezado o eliminación de la capa de tierra vegetal	Replanteo definitivo
Descripción	Replanteo de los ángulos de inflexión. Replanteo del eje de la vía tanto en recta como en curva. Replanteo y marca de ejes de obras de fábricas. Revisión y colocación de puntos de cota fijas (PCF).		Limpieza del plano de falla del emplazamiento. Desbroce y extracción de tocones. Construcciones que hacen falta demoler. Traslado de las líneas de comunicación (gas, electricidad, agua, etc.)	Almacenamiento de suelo vegetal en camellones situados a ambos lados de la vía. Excavación y traslado transversal del suelo vegetal (a ambos lados de la vía y en camellones continuos.)	Replantar el eje de la carretera. Limitar el terraplén y desmonte.
CONSIDERACIONES ADECUADAS EN ZONA SÍSMICA					
Es necesario el levantamiento de la carretera o del sitio para identificar los rasgos topográficos tales como drenajes, afloramientos y pendientes del terreno, así como para agregar un cierto nivel de control geométrico a el proyecto. Un enlace clave entre el diseño y la construcción lo constituye el uso de planos y dibujos estandarizados que muestran la manera en que debería quedar el proyecto, así como las especificaciones en las que se describe cómo se debe hacer el trabajo. El método más adecuado para el replanteo sería determinar directamente en el terreno todas las distancias y cotas con el apoyo de tanteos para obtener la posición de un punto. Aplicar las mejores y más adecuadas tecnologías disponibles, tales como GPS (Global Positioning System) y programas de computadora personal que permitan un alto grado de exactitud en terrenos difíciles o para carreteras de altas especificaciones. Se debe retirar el desperdicio maderero, las copas y los troncos de los árboles así como los tocones, del derecho de vía al pie del talud del relleno, antes de proceder a la excavación para control de erosión.					
ETAPA II (CONSTRUCCION DE OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL. (ALCANTARILLAS))					
Actividades	Excavación	Limpieza de cause	Construcción de la losa de asiento, losa de recalce, muros y aletones	Colocación de tubos, cajones y sellado de juntas.	Rehíncho manual o mecanizado.
Descripción	Tierra Material Roca blanda	Limpieza de cause	Encofrado Colocación de acero Hormigonado	Colocar los tubos o cajones sobre la losa de asiento o el suelo preparado y luego sellado de la junta.	Tapado de los tubos con material necesario hasta llegar a la sub-rasante
CONSIDERACIONES ADECUADAS EN ZONA SÍSMICA					
1. Se deben evitar zonas de peligro de licuefacción, hundimiento, deslizamiento o ruptura de fallas. Si la alcantarilla no está en una de estas zonas, entonces el daño debido a la deformación permanente del terreno es poco probable. 2. Para zonas sísmicas el daño estructural no es significativo en pequeñas alcantarillas de 1 m o menos de diámetro, independientemente del tipo. 3. El efecto dañino de la sacudida del suelo en las alcantarillas aumenta con el tamaño y la longitud de esta. 4. Si el diámetro de la alcantarilla está entre 1.0 m y 2.0 m y la alcantarilla está construida a partir de tuberías de metal corrugado, de pared plástica o hormigón armado, la alcantarilla posee buen comportamiento ante sismos. 5. La resistencia al pandeo local de secciones de paredes delgadas y a la fatiga de secciones de pavimento sobre instalaciones que tienen cubiertas poco profundas en combinación con cargas pesadas en vivo se logra empleando materiales de relleno estables que rodean la circunferencia de la alcantarilla. 6. Tanto el tamaño de la envoltura de material estable, como su método y calidad de colocación, son factores que afectan el desempeño exitoso de alcantarillas flexibles. 7. Las secciones transversales circulares son más resistentes. 8. El tipo de alcantarilla puede contribuir a su falla durante un evento sísmico. En este caso existen dos grandes grupos de alcantarillas, las flexibles compuestas por materiales metálicos o termoplásticos y las rígidas de hormigón armado, hormigón no reforzado o mampostería. 9. Materiales como el hormigón plástico o reforzado, dúctiles como el metal, funciona mejor que los materiales no reforzados o frágiles. 10. Debido a su fragilidad, las alcantarillas de hormigón no reforzado no se recomiendan para su uso en regiones sísmicas. 11. La eficiencia del material se logra optimizando el espesor de la pared, la resistencia del hormigón y en el caso del hormigón armado, la colocación y la cantidad del acero reforzamiento. 12. Bajo casos de licuefacción de moderada a severa, las alcantarillas flexibles de pared delgada son más susceptibles al pandeo o colapso de la sección transversal que las alcantarillas rígidas. 13. Para zonas sísmicas debe evitarse el diseño de articulaciones rígidas. 14. Para alturas de terraplén superiores a 1,0 m se producen penetraciones significativas. Por lo tanto, si la altura del terraplén es inferior a 1,0 m la penetración no es un peligro importante. 15. Desde una perspectiva de rendimiento sísmico, las alcantarillas flexibles son resistente porque son muy dúctiles y resisten las fuerzas					

ETAPA III (MOVIMIENTOS DE TIERRA, CORTES Y RELLENO)							
Actividades	Excavación	Excavación para el sistema de drenaje (cunetas, canales, etc.)	Compensación transversal o longitudinal	Extendido (material de excavación o cantera)	Nivelación	Humectación	Compactación
Descripción	Excavación no clasificada Excavación no clasificada de desperdicio Excavación no clasificada de préstamo Sub-excavación Cortes en rocas		Carga del material Acarreo o transporte del material Descarga del material				

CONSIDERACIONES ADECUADAS EN ZONA SISMICA

1. Identificar las áreas subyacentes a terraplén grueso y mal compactado o suelos de cimientos sueltos para evitar la compactación sísmica.
2. Debe evitarse los materiales de terraplén pobremente compactado o materiales de cimentación susceptibles a desplazamientos.
3. Construya rellenos con una relación de talud de terraplén de 1-1/2:1 (horizontal a vertical) o más tendido. En la mayoría de los suelos un talud de terraplén de 2:1 o más tendido promoverá el crecimiento de vegetación. En suelos tropicales con alto contenido de arcilla dentro de zonas muy lluviosas, un talud de terraplén de 3:1 es recomendable.
4. Los materiales de cimentación más susceptibles a la compactación sísmica son los sedimentos granulares.
5. Remover el suelo blando o pobre y sustituirlo por un suelo de alta calidad o por material rocoso.
6. Los materiales que son más susceptibles a los deslizamientos de tierra inducidos por los terremotos son rocas débilmente cementadas, erosionadas o intensamente fracturadas, rocas más endurecidas en las que las discontinuidades predominantes descienden de las laderas, arenas sueltas no saturadas, suelos saturados que contienen capas de arena y grava que se alternan con arcilla sensible, rellenos hechos por el hombre sin compactar o pobremente compactos que contienen poca o nada de arcilla.
7. Los materiales en la sección de corte son usualmente más rígidos y menos compresibles que el material en el relleno. El contacto de corte y relleno puede impedir la maniobra de los equipos de compactación dejando una sección pobremente compactada.
8. Cuando las condiciones del subsuelo son uniformes, es probable que los asentamientos sean bastante uniformes y no perjudiciales.
9. Evitar en terraplenes una compactación relativa inferior al 90 por ciento.
10. Mejorar el drenaje de la cimentación e incrementar la fortaleza y la resistencia a la licuefacción con la utilización de geomallas y geotextiles.
11. Añadir berma a los terraplenes para mejorar la estabilidad de los taludes.

ETAPA IV(PAVIMENTACIÓN)

Actividades	Preparación de sub-rasante en caso de ser necesario	Construcción de base y sub-base (material de cantera)	Riego de imprimación (solo para bases)	Construcción de superficie	
				Pavimento flexible	Pavimento rígido
Descripción		Excavación en cantera Transportación del material Extendido del material Nivelación Humectación Compactación		Limpieza de la superficie (polvo, fango, basura, agua, etc.) Riego liga (emulsión asfáltica) Extensión del concreto asfáltico Compactación (inicial, intermedia y terminación.)	Encofrado Colocación de acero (elementos de juntas) Hormigonado Curado Acabado

CONSIDERACIONES ADECUADAS EN ZONA SISMICA

1. Las respuestas estructurales de un pavimento (esfuerzos, desplazamientos y agrietamientos) son afectadas significativamente por la sub-rasante, se le pueden atribuir gran porcentaje de las deflexiones.
2. Las propiedades requeridas de la sub-rasante incluyen la resistencia, el drenaje, la fácil compactación, la conservación de la compactación, la estabilidad volumétrica.
3. Los problemas de estabilidad volumétrica de sub-rasantes se relacionan con suelos licuables (ante cargas dinámicas), expansivos y colapsables.
4. Evitar colocar el pavimento en terraplenes de más de un metro o dos de espesor, materiales naturales sueltos como suelos colapsables o depósitos de arena del holoceno tardío, limo, o grava.
5. El tratamiento de sub-rasantes se puede lograr mediante el reemplazo o desplazamiento de esta, la estabilización con agentes químicos, el uso de insertos (fragmentos de roca, pilotines), pilotajes (madera, concreto, grava, cal), empalizadas, geomallas y geotextiles, mediante la precarga y el drenaje.
6. Donde se han producido grandes asentamientos diferenciales a través de zonas estrechas, los pavimentos rígidos y flexibles se han fracturado y separado.
7. El contacto de corte y relleno puede provocar desplazamiento entre losas del pavimento rígido.
8. Las secciones de pavimentos susceptibles a la compactación sísmica son las áreas subyacentes a terraplén grueso y mal compactado o suelos de cimientos sueltos.

ETAPA V (Terminación)		
ACTIVIDADES	Colocación de las señales verticales y horizontales.	Construcción de dispositivos de defensa
Descripción		
CONSIDERACIONES ADECUADAS EN ZONA SÍSMICA		
1. Deben colocarse señalizaciones en zonas donde puedan ocurrir peligros potenciales como deslizamientos. 2. Los postes de las señales de tráfico deben enterrarse al menos 0.50 m, para lo cual se debe hacer una excavación al menos de 0.30 x 0.30 x 0.50 m mientras que el espacio entre las paredes de la excavación y pie del poste se debe llenar con concreto bien compactado para un mejor anclaje. 3. Construir defensas las cuales pueden ser estructuras de madera, concreto reforzado pre-fundido, concreto pre-esforzado o de metal, formadas por postes y rieles, colocados a los lados de la carretera. 4. La distancia de la superficie del suelo hacia la parte inferior de la viga, no debe ser mayor de 0.45 m. 5. Los empalmes de los rieles, se deben hacer de tal manera que no presenten salientes en dirección contraria al tránsito y que, a la vez, proporcionen al riel la suficiente continuidad y rigidez estructural.		

El archipiélago cubano tiene una elevada peligrosidad sísmica y en especial la zona suroriental de la isla, hecho que demanda criterios sismorresistentes no solo en el diseño vial, sino también en la ejecución o construcción.

En Cuba los mayores efectos negativos de un sismo en carreteras no solo se deben a las aceleraciones en el terreno, sino también a la licuación de suelos y los movimientos de masas.

El desastre geológico en las obras viales, más que en el diseño, tiene una marcada significación en los trabajos de construcción o ejecución, fundamentalmente en lo relacionado con la calidad de los materiales y con las deficiencias en la planeación vial y el control de calidad en la ejecución.

En la actualidad, la construcción de carreteras se desarrolla con novedosos materiales y tecnologías a nivel mundial; entre estos destacan el empleo de aditivos, el uso de GPS, entre otros, que permite elevar la calidad en la ejecución de obras viales.

Las carreteras deben cumplir, debido a consideraciones de tipo económico, características del terreno y objetivos del proyecto: que su trazado sea tan directo entre los puntos extremos a enlazar como sea posible, cumplir en él todos los principios y normas de ingeniería que permitan obtener una obra vial resistente, segura, duradera, funcional, económica y de apariencia agradable ante los ojos del conductor.

Para una adecuada planeación deben evitarse zonas problemáticas, como la ubicación de carreteras en zonas de alto riesgo de peligros geológicos, tales como deslizamientos de tierra, zonas con caídas de roca, taludes de fuerte pendiente (de más de 60-70 %), zonas inundadas o inestables, suelos saturados, etcétera; mantener una distancia o separación adecuada de riachuelos y minimizar el número de cruces de drenaje, así como el número de conexiones entre caminos y corrientes de agua (Keller y Sherar).

La construcción de la explanación es el proceso constructivo más importante en la construcción de carreteras, ya que se conforma el cuerpo de la misma, donde la evaluación correcta de los suelos, el régimen de humedad, la obtención en la obra de la compactación exigida, el aseguramiento del drenaje de las aguas superficiales y subterráneas, entre otros, son factores determinantes para lograr una adecuada resistencia y estabilidad de las carreteras.

Se deben construir las carreteras de tal manera que puedan desalojar el agua rápidamente fuera de la superficie de rodamiento, a fin de mantener drenada la superficie sin poner en riesgo su integridad.

Las alcantarillas comprenden un grupo diverso de productos con grandes variaciones en la disponibilidad de material, propiedades, secciones geométricas de pared, tamaños y formas.

Las alcantarillas en general se dividen en dos clases principales: flexibles y rígidas. Las alcantarillas flexibles típicamente están compuestas por materiales metálicos o termoplásticos y responden a las cargas de manera diferente que las alcantarillas rígidas. Las rígidas no son tan dependientes del soporte del suelo como las alcantarillas flexibles. Estas últimas pueden distorsionarse o colapsar debido a la pérdida de soporte proporcionado por el suelo circundante. Esto, a su vez, puede conducir a la pérdida de terraplén y daño a la superficie de la carretera, lo que es una amenaza para la vida humana (Power, Fishman, Richards, Makdisi, Musser & Youd, 2004).

El daño al pavimento ha ocurrido durante la mayoría de los grandes terremotos. Sin embargo, la deformación permanente del suelo o falla de tierra ha sido generalmente la causa directa del daño. En algunos casos, la alteración del

pavimento ha ocurrido debido a movimientos de tierra muy intensos, que levantan localmente secciones de este.

Las respuestas estructurales de un pavimento (esfuerzos, desplazamientos y agrietamientos) dependen significativamente de la subrasante. Las propiedades requeridas de la subrasante incluyen la resistencia, el drenaje, la fácil compactación y la estabilidad volumétrica.

Los problemas de estabilidad volumétrica de subrasantes se relacionan con suelos licuables (ante cargas dinámicas), expansivos y colapsables. Los suelos de estas características pueden ser removidos y remplazados, ya que son de difícil tratamiento (Power *et al.* 2004). Es de gran importancia conocer el tipo de material con el que se va a trabajar la pavimentación, ya que a partir de esto se elige el tipo de maquinaria y el personal suficiente para trabajar en forma adecuada.

Se prestará especial atención a la construcción de juntas longitudinales o transversales, ya sean frías o calientes.

CONCLUSIONES

1. Una planeación y construcción adecuadas del sistema de carreteras resultan esenciales para el desarrollo comunitario y para el flujo de bienes y servicios entre las comunidades.
2. Se destaca en esta investigación el efecto negativo de los sismos en las carreteras, cuyos daños repercuten con más fuerzas en la superestructura, sin descartar determinados efectos negativos en la subestructura y el entorno.
3. Resulta muy importante desde el principio localizar las carreteras sobre terreno estable, en taludes moderados, zonas secas alejadas de drenajes y apartadas de otras zonas complejas y de difícil acceso, para disminuir la vulnerabilidad ante los eventos sísmicos y los costos de mantenimiento y reparación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Centro Nacional de Investigaciones Sismológica (Cenais). (2010). *Tabloide de Universidad para Todos Curso Elemental de Sismología*. La Habana.

Keller, G. y Sherar, J. (2001). *Ingeniería de caminos rurales. Guía de Campo para las Mejores Prácticas de Administración de Caminos Rurales*. México: Instituto Mexicano del Transporte.

Power, M., Fishman, K., Richards, R., Makdisi, F., Musser, S., & Youd, T. L. (2004). *Seismic Retrofitting Manual for Highway Structures: Part 2- Retaining Structures, Slope, Tunnels, Culverts and Roadways*. Federal Highway Administration.

Recibido: 27 de junio de 2018

Aprobado: 21 de septiembre de 2018