EXPEDIENTE PARA OPTAR POR EL PREMIO ACADEMIA DE CIENCIAS DE CUBA 2017

Autor principal:

Dario Candebat Sánchez.

Entidad ejecutora principal:

Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAIS)

Procedimiento de análisis del riesgo para la rehabilitación estructural sismorresistente de puentes de hormigón, de vigas, de carreteras

Índice

	Página
Presentación	1
Aporte científico personal de cada autor del resultado	3
Descripción del resultado	4
Descripción científico-técnica detallada del resultado	10
Acreditación de la introducción del resultado y su impacto	33
Trabajos de Diploma, Maestría y Doctorado	33
Investigaciones y Servicios Científico-Técnicos (SCT) relacionados con el resultado.	33
Eventos	34
Avales presentados	34
Premios y reconocimientos	35
Publicaciones científicas	36
Dictamen del Consejo Científico del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas	37

Presentación

Título del resultado: "Procedimiento de análisis del riesgo para la rehabilitación estructural sismorresistente de puentes de hormigón, de vigas, de carreteras".

Entidad ejecutora principal: [1]Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas.

Autor principal:

MSc. Ing. Dario Candebat Sánchez[1]

Otros autores:

Dr.C. Ing. Guillermo Godínez Melgares[†2]

Dr.C. Ing. Braulio Lima González[3]

Dr.C. Lic. O´Leary Fernando González Matos[1]

MSc. Ing. Luis Felipe Caballero Cornier[1]

Colaboradores:

MSc. Ing. Zulima Caridad Rivera Álvarez[1]

Dr.C. Ing. Eduardo Rafael Diéz Saldivar[1]

Ing. Viana Poveda Brossard[1]

Dr.C. Lic. Tomás Jacinto Chuy Rodríguez[1]

Dr.C. Ing. José Alejandro Zapata Balanqué[1]

Otra u otras entidades participantes:

[2]Facultad de Construcciones. Universidad de Oriente.

[3] Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Tecnológica de la Habana.

Autor para la correspondencia: Dario Candebat Sánchez. San Gerónimo # 558, entre San Agustín y Reloj. Santiago de Cuba. Cuba. CP: 90 100. dario@cenais.cu

Resumen

La elevada vulnerabilidad ante acciones sísmicas en países afectados por terremotos moderados y fuertes, manifestada en los puentes de hormigón, ha demostrado la necesidad de ejecutar su rehabilitación estructural sismorresistente.

Teniendo en cuenta la elevada peligrosidad sísmica de la región suroriental de Cuba y las características de diseño de las tipologías utilizadas en la construcción de puentes de hormigón en la isla, que conjuntamente con un mal estado técnico propician un inadecuado comportamiento de estas estructuras ante sismos fuertes, se definió como objetivo general de este resultado elaborar un procedimiento de análisis del riesgo para la rehabilitación estructural sismorresistente de puentes de hormigón, de vigas, de carreteras.

El procedimiento involucra tres etapas básicas: análisis para selección y priorización, evaluación detallada de la vulnerabilidad y selección de las estrategias de rehabilitación; así también permite organizar el proceso de rehabilitación, que como se define en esta investigación, es integrador, dirigido a incrementar el tiempo de vida útil de la estructura, para un nivel controlado de daños en relación con el nivel definido de cargas actuantes; proceso que exige además retroalimentación constante.

Para lograrlo se elabora y valida, mediante criterio de expertos, una metodología para la evaluación preliminar de la vulnerabilidad sísmica estructural, que incluye parámetros que no han sido evaluados en los métodos y procedimientos existentes y que hace énfasis en el control del período de vibración fundamental, medido instrumentalmente, como indicador del comportamiento global de la estructura. Para garantizar el chequeo de dicho período se obtuvieron ecuaciones empíricas que se logran con la ejecución de mediciones instrumentales, utilizando como fuente de excitación las vibraciones ambientales.

Igualmente, como un elemento imprescindible en la evaluación detallada de la seguridad sísmica, se presenta un método para la obtención de señales de terremotos fuertes, a partir del escalado de acelerogramas de sismos moderados ocurridos en el sistema de Fallas Oriente, garantizando la consideración en las señales obtenidas, de las características de la fuente sísmica, del medio de propagación de la onda y los efectos de sitio.

Se valida el procedimiento elaborado mediante su aplicación a cinco puentes de la Autopista Nacional, vía ésta de mayor categoría de la provincia Santiago de Cuba, demostrando la necesidad de su generalización pues constituye una herramienta que permite no solo analizar aspectos técnicos, sino también la incidencia de la rehabilitación estructural en otros campos (económico, social, medioambiental e histórico).

Aporte científico personal de cada autor del resultado

2) Aporte científico de cada autor del resultado

MSc. Ing. Dario Candebat Sánchez (63%): Procedimiento de análisis del riesgo para la rehabilitación estructural sismorresistente de puentes de hormigón, de vigas, de carreteras. Mediciones instrumentales de período. Escalado de terremotos fuertes para el análisis no lineal.

Dr.C. Ing. Guillermo Godínez Melgares (15%): Procedimiento de análisis del riesgo para la rehabilitación estructural sismorresistente de puentes de hormigón, de vigas, de carreteras.

Dr.C. Ing. Braulio Lima González (15%): Procedimiento de análisis del riesgo para la rehabilitación estructural sismorresistente de puentes de hormigón, de vigas, de carreteras.

Dr.C. Ing. O´Leary Fernando González Matos (4%): Escalado de terremotos fuertes a partir de terremotos moderados para el análisis no lineal de puentes.

MSc. Ing. Luis Felipe Caballero Cornier (3%): Ensayos geofísicos de sísmica de refracción y resistividad eléctrica para caracterizar el suelo del área de emplazamiento de los puentes estudiados.

Descripción del resultado

3) **Descripción del resultado: "**Procedimiento de análisis del riesgo para la rehabilitación estructural sismorresistente de puentes de hormigón, de vigas, de carreteras".

Autor principal: MSc. Ing. Dario Candebat Sánchez

Otros autores: Dr.C. Ing. Guillermo Godínez Melgares†, Dr.C. Ing. Braulio Lima González, Dr.C. Lic. O´Leary Fernando González Matos, MSc. Ing. Luis Felipe Caballero Cornier.

Antecedentes

Los puentes, en particular aquellos construidos con hormigón armado o pretensado, no han manifestado un comportamiento adecuado ante acciones sísmicas. En sismos ocurridos en California, Japón y América Central y Sur, modernos puentes, diseñados específicamente para resistir terremotos, han colapsado o han sido severamente dañados (Pristley *et al.,* 1996). Los problemas mostrados por estas obras de fábrica luego de eventos fuertes, como los terremotos de Northridge, Estados Unidos (1994) y Hyogo – Ken - Nanbu, Japón (1995), marcaron la pauta para el desarrollo de nuevos estudios, encaminados a perfeccionar los métodos de diseño existentes.

Kawashima (1990), Priestley *et al.* (1996), Keever (2008), Kawashima *et al.* (2010) y Aguiar (2011) han señalado las principales deficiencias que propiciaron la ocurrencia de daños y hasta el colapso de puentes en varios países; lo cual ha demostrado la necesidad de estudiar detalladamente su comportamiento. Estas estructuras son componentes vitales de la red vial y como tal, tienen que ser suficientemente seguras frente a sismos, de manera que el funcionamiento de las vías se mantenga.

Lo anterior significa que tienen que ser protegidas, sin la pérdida de ninguna función estructural frente a sismos de ligeros a moderados, los de mayor probabilidad de ocurrencia. Los fallos críticos que causen el colapso total de estas obras de ingeniería deben ser evitados, incluso durante sismos muy fuertes (Gómez *et al.*, 2002).

En Cuba, a partir del triunfo de la Revolución, se llevaron a cabo trabajos encaminados a garantizar las estructuras viales adecuadas para la comunicación de todas las zonas del país. En la década de 1970 se manifiesta el mayor crecimiento en esta actividad; por consiguiente, se construyeron, numerosos puentes con diversas técnicas constructivas y materiales (González, 1999).

Esta prioridad dio lugar al surgimiento de variadas tipologías, en lo fundamental mediante la utilización de la prefabricación, técnica que permite el incremento de la producción a partir de la disminución de los tiempos de ejecución. Así, se inicia una etapa importante en la construcción de puentes en el país, con el surgimiento de tipificaciones ampliamente conocidas y utilizadas, tales como la cubano–soviética y la cubano–italiana (González, 1999); esta última diseñada en 1973 para dar respuesta a las necesidades de construcción de la Autopista Nacional en la región sur oriental, ubicada en la zona de mayor peligrosidad sísmica del país.

Como parte de los estudios dirigidos a la mitigación de desastres a nivel internacional, han surgido numerosas metodologías y procedimientos encaminados a verificar el comportamiento de los puentes ante terremotos moderados y fuertes.

En Cuba, específicamente en Santiago de Cuba, se han realizado investigaciones para evaluar la vulnerabilidad sísmica estructural de puentes de carretera. Leyva (2004), en el análisis del comportamiento de dos puentes prefabricados emplazados en la carretera ¨Circunvalación¨, aplica la metodología adaptada por Godínez y Muñoz en el año 2001, evidenciando la alta vulnerabilidad que poseen estas estructuras.

Por otra parte, Morejón *et al.* (2006), utilizan el método diseñado por Kawashima (1990) para la evaluación del comportamiento ante sismos de los puentes de las carreteras de interés nacional de Santiago de Cuba, mostrando que el 64.0 % de estas estructuras poseen una vulnerabilidad entre moderada y alta.

Torres (2009), en su estudio de los puentes de la autopista nacional confirma que la tipología cubano–italiana, tiene características asociadas a su diseño, que la hacen vulnerable ante la acción sísmica.

Asimismo, Candebat *et al.* (2011) llevan a cabo un proyecto de investigación que incluyó el análisis de la vulnerabilidad sísmica de todos los puentes de interés nacional de la provincia. Los resultados confirmaron que las tipologías utilizadas en la construcción de puentes prefabricados de hormigón, de vigas, poseen particularidades, asociadas al diseño, que favorecen un alto nivel de vulnerabilidad sísmica estructural.

Posteriormente, Orduñez (2013) y Candebat *et al.* (2014), a través de un análisis estático no lineal y un análisis modal espectral respectivamente, demuestran la baja ductilidad y resistencia que presentan las columnas de pilas de dichas estructuras prefabricadas.

En general los problemas detectados en los puentes prefabricados construidos en las carreteras de interés nacional de Santiago de Cuba se refieren a:

- Poca redundancia debido a la presencia de gran cantidad de juntas en los tableros isostáticos, aspecto que impide la transmisión y distribución adecuada de las cargas entre elementos.
- Longitud de apoyo insuficiente de las vigas sobre cabezales de pilas y estribos, en puentes con esviaje o ubicado en curvas.
- Ausencia de trabas o topes sísmicos para evitar la caída de los tramos.
- Baja ductilidad e insuficiente resistencia al cortante asociado al poco confinamiento del hormigón del núcleo de las columnas de pilas y estribos debido al insuficiente refuerzo transversal y a su espaciamiento excesivo.

Estos problemas no se deben al uso de la técnica de prefabricación, sino a la no consideración en el diseño de requisitos que en la actualidad han demostrado su efectividad para garantizar estructuras sismorresistentes. Por otra parte, estas tipologías son similares a las utilizadas en países cuyos puentes han sido muy afectados por terremotos fuertes. Kawashima and Unjoh (2004) exponen que uno de los daños observados en el terremoto de Kobe (1995) consistió en la caída de tramos

simplemente apoyados. Asimismo Kawashima *et al.* (2010) y Aguiar (2011) han manifestado que algunas de las evidencias del mal comportamiento de los puentes durante el terremoto de Chile, 2010, fueron precisamente la ausencia o el mal diseño de las trabas sísmicas y la ausencia de diafragmas; lo que propició la caída de los tramos de la superestructura.

Las investigaciones realizadas en Cuba demuestran además que no existen metodologías propias que, de acuerdo con las condiciones de la isla, permitan caracterizar la vulnerabilidad sísmica de los puentes. Estos estudios se basan fundamentalmente en la aplicación de métodos y procedimientos internacionales adaptados, lo que implica la adopción de suposiciones que incrementan las incertidumbres en el análisis (Leyva, 2004; Morejón *et al.*, 2006 y Orduñez, 2013).

En entrevistas realizadas a especialistas del Centro Provincial de Vialidad de Santiago de Cuba, entidad administradora de la red vial de interés nacional de la provincia, se comprueba que el presupuesto aprobado para la ejecución de los trabajos de mantenimiento de los puentes de carreteras no abarca las tareas de conservación que son necesarias para mantener un estado técnico óptimo. Solo se garantiza la ejecución de actividades de mantenimiento rutinario: pinturas, repellos y reparaciones menores; situación que ha propiciado la existencia de los problemas que se mencionan a continuación:

- Socavación local avanzada al pie de pilas y estribos.
- Pérdida de capacidad para soportar cargas de las losas prefabricadas del tablero. Rotura del hormigón.
- Juntas entre tramos isostáticos en muy mal estado.
- Ausencia de aparatos de apoyo o utilización de materiales inadecuados para sustituir los indicados en el proyecto.
- Hundimiento del aproche como consecuencia de la socavación y la erosión del material de relleno.
- Ausencia del recubrimiento, acero expuesto y oxidado en elementos del pretil.
- Ausencia de recubrimiento, acero expuesto, altamente corroído, con pérdida de sección y partido en columnas de pilas.

Estos problemas se observan con significativa frecuencia en las carreteras de interés nacional de la provincia. En el diagnóstico realizado por Candebat *et al.* (2011) se ha constatado como aspecto importante que el 57 % de las estructuras con estado técnico de regular a muy malo corresponde a los puentes prefabricados de hormigón; además, se ha observado el fallo estructural de cuatro de ellos (sobre los ríos La Magdalena, Avispero y Peladero en la carretera Granma, y sobre el río San Juan en la Circunvalación).

Por tanto, se demuestra la existencia de un escenario desfavorable; por un lado, puentes prefabricados de hormigón, de vigas, construidos con tipologías que fueron diseñadas con criterios que favorecen un inadecuado comportamiento ante acciones sísmicas y que además poseen semejanzas estructurales con puentes dañados o

colapsados en países que han sufrido la acción de sismos fuertes; por otro lado, un deterioro del estado técnico, visible y en ascenso, que afecta las estructuras y que se ha manifestado en el fallo de cuatro de ellas, incluso sin la ocurrencia de un evento sísmico.

Estas realidades, que convergen en una zona de elevada sismicidad donde se han generado 20 de los 28 terremotos fuertes ocurridos en Cuba, confirman la necesidad de diseñar y aplicar un procedimiento que, garantice un análisis adecuado de los puentes para realizarles una rehabilitación estructural sismorresistente y que por tanto, permita identificar las deficiencias que afectan su comportamiento y seleccionar las intervenciones necesarias que garanticen su supervivencia ante un terremoto en la zona de emplazamiento.

Es precisamente la inexistencia en Cuba de una herramienta con este propósito lo que conlleva a elaborar un procedimiento de análisis del riesgo para la rehabilitación estructural sismorresistente de puentes de hormigón, de vigas, de carreteras, ubicados en zonas de peligro sísmico de Cuba; lo cual constituye el **objetivo general** que sustenta el resultado presentado.

El **aporte práctico** lo constituye el procedimiento de análisis de riesgo para la rehabilitación estructural sismorresistente de puentes de hormigón, de vigas, de carreteras, construidos en zonas de peligro sísmico de Cuba. El **aporte teórico** se sustenta en la definición de parámetros no utilizados usualmente para la evaluación preliminar de la vulnerabilidad sísmica estructural de puentes de hormigón, de vigas, de carreteras, particularizando el uso del período de vibración fundamental, como indicador del comportamiento global de la estructura; así como en la concepción teórica para la obtención de acelerogramas que representen el movimiento fuerte del terreno a partir de terremotos débiles y moderados, con el empleo de las curvas de Gusev para el escalado.

La **novedad científica** se sostiene en la fundamentación de las bases teóricas de la simulación, para el análisis de estructuras, del movimiento fuerte del terreno mediante el empleo de terremotos débiles o moderados, para garantizar la consideración de los efectos de sitio, las características del medio de propagación de la onda y de la fuente sismogeneradora. Se utilizan las curvas de escalado de Gusev para disminuir la incertidumbre en la modelación de la fuente sísmica en el proceso de obtención de los terremotos fuertes. Además, se obtiene una herramienta para el análisis preliminar de la vulnerabilidad sísmica estructural de puentes de hormigón, que considera parámetros no utilizados usualmente por las metodologías existentes en el mundo con este propósito, con énfasis en el monitoreo instrumental del período fundamental de vibración como indicador del comportamiento global de la estructura.

La actualidad está en la inserción de la investigación en la estrategia de mitigación de desastres en Cuba, de acuerdo con la Directiva 1 del Presidente del Consejo de Defensa Nacional y las prioridades del gobierno como parte de los Estudios de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico en el país.

Impacto social

- Contribuye a la mitigación del riesgo de desastres al propiciar el análisis de la seguridad de los puentes de hormigón y la obtención de resultados que garantizan su rehabilitación.
- Garantiza la priorización de las obras a estudiar detalladamente y que deben ser rehabilitadas, ponderando factores sociales relacionados con las comunidades afectadas por terremotos fuertes, el acceso a instalaciones esenciales, de seguridad y defensa y de importancia estratégica para el país.
- Contribuye al incremento del conocimiento en la sociedad en relación a la gestión del riesgo de desastres.

Impacto al medioambiente

- Establece la clasificación de los puentes según su importancia valorando aspectos medioambientales, a partir del análisis del efecto negativo que produciría el colapso de la estructura al recurso hidrológico que salva.
- Pondera la incidencia en el entorno tanto del colapso como de los trabajos de rehabilitación a realizar (escombros, ruido, gases, efecto de las excavaciones).

Impacto económico

- Introduce el análisis de la relación entre el costo de rehabilitación y el costo de construcción de una nueva estructura.
- Establece el análisis de la factibilidad técnico-económica de las medidas de rehabilitación adoptadas.

Las herramientas que brinda el procedimiento presentado han sido aplicadas a la evaluación de puentes en vías importantes como la Autopista Nacional, Carretera Granma, Circunvalación, Santiago Siboney, Santiago-Guantánamo, Palma Barajagua y Palma-San Luis-Dos Caminos-Boniato. Igualmente se estudiaron los puentes ubicados en todas las carreteras de interés nacional de La Habana.

Se ha aplicado el método para la obtención de las señales de terremotos fuertes en la ejecución de dos trabajos de diploma y dos tesis doctorales.

Varios proyectos de investigación realizados entre 2008 y 2014 han contribuido a la obtención de este resultado (Uno de carácter territorial y dos institucionales). Asimismo se han realizado cinco trabajos de diploma, una tesis de maestría y una tesis doctoral. Se han publicado 6 artículos en revistas de impacto desde el año 2012 (Ciencia en su PC-Redalyc, Revista de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela-scielo, Revista de Ingeniería de la CUJAE) y uno aceptado para publicación en la Revista Informes de la Construcción-Scopus. Se han presentado trabajos en eventos nacionales e internacionales. Este resultado tributa además a la asignatura Conservación de puentes en zonas sísmicas de la Maestría de Ingeniería Civil en zonas sísmicas.

La metodología de evaluación preliminar de la vulnerabilidad sísmica estructural de puentes de hormigón, que forma parte de la etapa de diagnóstico del procedimiento aquí expuesto, fue incluida en el resultado premiado en el 2014: Gestión del riesgo ante desastres naturales de las obras estructurales y viales de la provincia de Santiago de Cuba.

Descripción científico-técnica detallada del resultado

4) Descripción científico-técnica detallada del resultado

1. INTRODUCCIÓN

Pristley *et al.* (1996) y el Manual de la Administración Federal de Carreteras (FHWA , 2014), al evaluar los daños en puentes provocados por sismos ocurridos en el mundo, identificaron como las causas más comunes del colapso de la mayoría de estas estructuras las siguientes: fallos de tramos, amplificación de desplazamientos debido a efectos del suelo, golpeteo de estructuras del puente por la previsión de bajos valores de desplazamientos sísmicos, hundimiento del estribo por la respuesta de suelos suaves, fallo de pilas, fallas en cabezales, fallas en nudos debido a que el refuerzo utilizado es inadecuado y fallas en los cimientos.

Kawashima y Unjoh (2004) demuestran que los daños más frecuentes observados en muchos de los puentes afectados en Japón durante el terremoto de Hyogo–Ken–Nanbu (Kobe), en 1995, coinciden con los descritos por Pristley *et al.* (1996) y FHWA (2014). Estos escenarios corroboran la alta vulnerabilidad que poseen los puentes ante las acciones sísmicas.

Por otra parte**,** el análisis de códigos, regulaciones, manuales e investigaciones destinados al diseño sismorresistente de puentes en el mundo: Consejo Tecnológico Aplicado (ATC, 1996), Asociación Japonesa de Carreteras (JRA, 2002 y 2012), Norma Española de Construcción Sismorresistente: puentes (NCSP, 2007), Asociación Americana de Transportación y Carreteras Oficiales del Estado (AASHTO, 2012), Eurocódigo 8-2 (2009), Departamento de Transporte de California (Caltrans, 2013), Agencia de Transporte de Nueva Zelanda (NZTA, 2014) y FHWA (2014) permitió al autor definir las principales aportaciones realizadas a partir de la década de 1970:

- La introducción de la filosofía de diseño basada en el desempeño sísmico estructural.
- La inserción del diseño dúctil y la comprensión de la importancia del análisis dinámico para evaluar el comportamiento estructural.
- La implementación de sistemas de aislamiento de las estructuras, como medida para disminuir el efecto sísmico sobre ellas, y la consideración de la interacción suelo–estructura.
- La clasificación de las estructuras según aspectos técnicos, económicos y sociales.
- Adquiere significación el análisis de las características del tablero de puentes isostáticos.
- Crece el interés acerca del desarrollo del diseño sísmico basado en desplazamientos.

Se constató, además, que el código cubano de diseño de estructuras sismorresistentes (NC 46, 1999) no considera entre sus requisitos aspectos importantes relacionados con el diseño por desempeño, la consideración de los efectos del sitio, las acciones sísmicas verticales y la valoración de curvas y esviajes en el cálculo de la longitud de apoyo.

1.1. La rehabilitación estructural sismorresistente de puentes en el mundo

A partir del estudio de algunas de las consideraciones aportadas por la comunidad científica para definir el término rehabilitación, entre ellas ATC- 40 (1996), Agencia Federal de Emergencias (FEMA 273 y 274, 1997), FEMA 356 (2000); Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC, 2011), AASHTO (2012), Asociación Americana de Ingenieros Civiles (ASCE 41, 2013) y FHWA (2014), se asumió como definición, a los efectos de esta investigación, que la rehabilitación estructural sismorresistente es un proceso integrador dirigido a incrementar el tiempo de vida útil de la estructura, para un nivel controlado de daños en relación con un nivel definido de cargas actuantes. Proceso que exige además una retroalimentación constante.

Igualmente, el análisis bibliográfico permitió establecer que el proceso de rehabilitación sismorresistente se sustenta en tres etapas: el análisis para la selección y priorización de las estructuras que se van a rehabilitar, la evaluación detallada de la vulnerabilidad sísmica estructural y la selección de la estrategia de rehabilitación; con énfasis en la retroalimentación a través de la evaluación posterior de la estrategia adoptada, para garantizar su factibilidad.

a) Etapa de análisis para la selección y priorización

Su objetivo consiste en identificar aquellas estructuras con mayor probabilidad de ser dañadas e incluso colapsar durante un sismo fuerte. A nivel internacional se han propuesto diferentes metodologías para la selección y priorización de las estructuras. En general, las estudiadas (ATC–6-2 (1983), Caltrans (1992), Basoz and Kiremidjian (1995), Duan and Li (2003), Wilson and Ryan (2009) y FHWA (2014)) refieren como aspectos decisivos que se deben considerar los siguientes:

- Categoría de importancia de la estructura y su impacto
- Nivel preliminar de su vulnerabilidad sísmica estructural
- Nivel de peligrosidad sísmica del sitio

En relación con la clasificación de la importancia de las estructuras, luego del análisis de los criterios de autores como Priestley *et al.* (1996), AASHTO (2012) y Eurocódigo 8–2 (2009), se confirmó que es necesario tener en cuenta aspectos sociales, técnicos, económicos, políticos, medioambientales e históricos.

Con respecto a la evaluación preliminar de la vulnerabilidad sísmica estructural, se identificaron los parámetros utilizados usualmente por metodologías existentes (Kawashima, 1990; Maldonado, 2001), así como los criterios de Lobo (2003) y Jara *et al.* (2010); lo cual permitió concluir que existen elementos que no son considerados y que intervienen directamente en el comportamiento de la estructura; dígase: calidad de los materiales, existencia de trabas o topes sísmicos y diafragmas, degradación de la rigidez, probabilidad de ocurrencia del fenómeno de resonancia entre la estructura y el suelo, falta de homogeneidad del suelo, precisión de la cercanía de fallas geológicas y análisis de la relación de la esbeltez de las columnas de pilas y estribos y no de la altura de estas.

b) Etapa de evaluación detallada de la vulnerabilidad sísmica

Luego del diagnóstico preliminar y la selección de aquellas estructuras que deben ser priorizadas, es necesario realizar una evaluación detallada de la vulnerabilidad sísmica, única vía para identificar los elementos estructurales de mal comportamiento y tomar las decisiones referidas a su reforzamiento. En esta etapa la determinación de la acción sísmica es fundamental, constatándose que la ejecución de análisis dinámicos es la forma más eficaz y que la utilización de terremotos débiles y moderados escalados a sismos fuertes es adecuada porque permite considerar las características de la fuente sísmica, del medio de propagación de la onda y el efecto de sitio.

c) Etapa de selección de la estrategia de rehabilitación

La etapa de selección de la estrategia de rehabilitación, al decir de FEMA 273 (1997), FEMA 356 (2000), NZSEE (2006), Wilson y Ryan (2009), Colegio Federal de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (CFIACR, 2013) y FHWA (2014), incluye el diseño de las medidas de rehabilitación, luego de determinar si las estructuras analizadas son vulnerables sísmicamente. La estrategia debe ser seleccionada en función de aspectos técnicos, sociales, políticos, históricos, patrimoniales y medioambientales.

1.2. El proceso de rehabilitación estructural sismorresistente de puentes y su intrínseca relación con el análisis del riesgo

El análisis teórico concerniente a las etapas, que según FEMA 273 y 274 (1997), FEMA 356 (2000), ASCE 41 (2013) y FHWA (2014) conforman el proceso de rehabilitación estructural sismorresistente, conlleva inexorablemente a relacionarlo con el análisis del riesgo sísmico de las estructuras que se van a rehabilitar.

Al conceptualizar el análisis de riesgo, según las definiciones dadas por Lavell *et al.* (2003) en CEPREDENAC (2010), la Ley N°. 29664 en Ministerio de Salud (2016) y UNDRO (1979) en Galván (2014), se constata que las etapas del proceso de rehabilitación se constituyen en sí mismas integrantes del análisis del riesgo, pues lo cumplimentan.

Por tanto, esta investigación asume que, con el propósito de obtener la información necesaria y adoptar las medidas para realizar la rehabilitación estructural sismorresistente por desempeño de obras de ingeniería, la elaboración de un procedimiento de análisis de riesgo, integrado por las tres etapas identificadas en el análisis teórico, es adecuada.

1.3. Tipologías y estado técnico de los puentes prefabricados de hormigón, de vigas, de las carreteras de interés nacional de Santiago de Cuba

Del análisis de la situación actual de los puentes prefabricados de hormigón, construidos en las carreteras de Santiago de Cuba, se constata que estos son afectados fundamentalmente por problemas relacionados con la socavación, asentamientos de aproches, juntas del tablero en mal estado, acero expuesto, oxidado y partido en columnas y longitudes de apoyo de vigas sobre cabezales inadecuadas. Se identificaron además los principales problemas, asociados a las características de diseño de las tipologías utilizadas para su construcción. Estos están referidos a gran

cantidad de juntas del tablero, ausencia de trabas sísmicas y diafragmas y uniones articuladas entre columnas y cabezales.

2. DESARROLLO

2.1. Elementos teóricos que sustentan el proceso de rehabilitación estructural sismorresistente de puentes de hormigón, de vigas, de carreteras en Cuba

La fundamentación teórica del procedimiento a elaborar se sustenta en la definición asumida como consecuencia del análisis realizado. Por tanto, constituyen principios teóricos del procedimiento para la rehabilitación estructural sismorresistente, los siguientes:

- La rehabilitación estructural sismorresistente está dirigida a incrementar la vida útil de la estructura; por consiguiente, se sustenta en el análisis integral de cargas actuantes y en la definición del nivel de desempeño requerido.
- Es un proceso integrador, ya que involucra actividades o tareas que por sí solas no constituyen garantía de una adecuada ejecución; además, deviene en un proceso dinámico, que varía en el tiempo y depende de factores antrópicos; de ahí que precise de análisis sistemáticos y retroalimentación.
- Es un proceso objetivo, directamente relacionado con la mitigación del riesgo sísmico; por lo que las estrategias de rehabilitación y las medidas propuestas deben ser factibles técnica y económicamente.

2.2. Fundamentos metodológicos del procedimiento de análisis del riesgo para la rehabilitación estructural sismorresistente de puentes

En este epígrafe se describen las etapas que conforman el procedimiento de análisis del riesgo para la rehabilitación estructural sismorresistente de puentes.

<u>Análisis para la selección y priorización</u>

Esta etapa se sustenta en el análisis de tres factores: peligrosidad sísmica del sitio, nivel preliminar de vulnerabilidad sísmica estructural y categoría de la estructura. Durante los estudios de diagnóstico, dirigidos a obtener la información necesaria para establecer el orden de prioridad entre las estructuras que se van a rehabilitar, debe realizarse el análisis del sitio, la estructura y su entorno.

- **Peligrosidad sísmica del sitio**

La caracterización de este aspecto se fundamenta en la obtención de los parámetros que definen la sismicidad del sitio, en términos de aceleración máxima del terreno e intensidad.

- **Evaluación preliminar de la vulnerabilidad sísmica estructural**

Se elaboró una metodología para la evaluación preliminar de la vulnerabilidad sísmica estructural de puentes de hormigón. Esta herramienta incluye los parámetros identificados en el análisis teórico y que han sido utilizados por los procedimientos estudiados, dígase: tipo, material y número de luces de la superestructura; tipo y condiciones de los dispositivos de apoyo, longitud de apoyo, existencia de curvas

horizontales y verticales; así como esviaje, tipo, material y estado técnico de la subestructura; características del suelo y la cimentación, aceleración máxima del terreno, susceptibilidad a la licuación y existencia de socavación y/o erosión.

Además, se incorporan los parámetros que a consideración del autor son imprescindibles en la evaluación:

1. Degradación de la rigidez de la estructura a partir del análisis de su período de vibración.

Para determinar dicho período fundamental de vibración se utiliza un método experimental que permite obtener fórmulas empíricas, cuyo aporte fundamental se basa en la consideración de los materiales utilizados en la construcción, la calidad de los suelos de las áreas de emplazamiento y su interacción con la estructura, así como las características de las tipologías constructivas empleadas, incluyendo el tipo de cimentación. Se asumió como fuente de excitación las vibraciones ambientales.

2. Esbeltez geométrica de las columnas de pilas y estribos.
3. La existencia de trabas o topes sísmicos y diafragmas.
4. Homogeneidad del suelo del sitio de emplazamiento.
5. La existencia de fallas geológicas en el área.
6. Resonancia suelo-estructura.

Constituye además un elemento novedoso, basado en los criterios de Kawashima (1990), la división del análisis en tres grupos: superestructura, subestructura y condiciones del sitio. Asimismo, se identificaron las variables que individualmente o combinadas propician una elevada vulnerabilidad sísmica estructural, a saber:

- La combinación del no cumplimiento de la longitud de apoyo con la ausencia de trabas sísmicas o diafragmas.
- Estado técnico de la subestructura malo y muy malo.
- Existencia de socavación, que afecta la estabilidad de la estructura.
- Resonancia suelo–estructura.
- Degradación de la rigidez, que constituye un parámetro significativo en esta nueva propuesta.

2.3. Validación de la herramienta para la evaluación preliminar de la vulnerabilidad sísmica estructural

Propuestas y fundamentadas las variables que componen la herramienta se procedió a su validación, para lo cual se aplicó el método Delphi de consulta de expertos, que consistió en una consulta a un panel de expertos, de forma individual, a través de la aplicación sucesiva de cuestionarios para generar convergencias de opiniones.

Se elaboró una encuesta inicial a partir del intercambio de un equipo técnico formado por especialistas que trabajan el tema. Esta se sometió a la opinión de seis expertos, seleccionados por su experiencia en el campo de la evaluación y el diseño de estructuras en zonas sísmicas. A partir de los resultados obtenidos de la consulta inicial, se estimó la cantidad de expertos necesaria para garantizar la fiabilidad del

proceso. Para lograr lo anterior, se evaluó la competencia de un conjunto de 17 especialistas, de los cuales fueron seleccionados los 14 con mejores resultados.

- **Importancia o categoría de la estructura**

En relación con la importancia, se asumió la clasificación establecida por AASHTO (2012): puentes críticos, esenciales y ordinarios. Teniendo en cuenta el análisis teórico realizado, se concretaron los parámetros a evaluar para definir dicha categoría. Se definió que un puente crítico es aquel que dadas sus características y ubicación, su destrucción de lugar a efectos catastróficos que provoquen afectaciones importantes al medioambiente y a la historia de la región. El colapso de puentes esenciales, por otra parte, no deberá implicar eventos catastróficos, pero involucrará afectaciones al medioambiente. Por último, los puentes ordinarios son aquellos cuya destrucción no propicia afectaciones más allá de su estructura.

- **Priorización**

Para establecer un orden de prioridad entre las estructuras a rehabilitar, se establecieron los criterios que permiten asignar una categoría de cumplimiento sísmico a cada puente (tabla 1). Para este fin se reconoce lo que establece la NC 46 (1999), la cual, a partir de la importancia del puente y el valor de aceleración (peligrosidad sísmica), define cuatro categorías. En este caso se modificó este criterio, teniendo en cuenta la clasificación adoptada y la definición de zonas sísmicas realizada por la propuesta de norma (NC 46, 2017). También se tienen en cuenta los criterios establecidos por CFIACR (2013) y FHWA (2014) en relación con la categorización de las estructuras.

Tabla 1. Categoría de cumplimiento sísmico

Zona de peligro	Clasificación de la importancia de la estructura		
	Críticas	**Esenciales**	**Ordinarias**
Muy bajo	A	A	A
Bajo	B	B	B
Moderado	C	C	B
Alto	D	C	B
Muy alto	D	C	B

Cada categoría se describe en función de los daños que puede manifestar la estructura para cada nivel de carga sísmica; además, se establecieron los análisis necesarios para determinar su comportamiento.

Conociendo la categoría de cada estructura, se comparan los valores obtenidos en la aplicación de la herramienta propuesta para la evaluación preliminar de la vulnerabilidad sísmica. Es importante respetar el hecho de que solo serán comparados los valores de estructuras con la misma categoría; para su rehabilitación se priorizarán aquellas de categoría D; luego, las que fueron clasificadas de C; finalmente, las de categoría de cumplimiento sísmico B.

2.4. Evaluación detallada de la vulnerabilidad sísmica

Las tareas en esta etapa parten de la definición del nivel de desempeño requerido para cada estructura. Cada puente, en función de su importancia, debe mantener un comportamiento, en el cual se limitarán los daños que deben manifestar para cada nivel de acción sísmica considerada. Las descripciones siguientes fueron tomadas de CFIACR (2013).

Nivel de desempeño 1: seguridad de la vida. El daño sufrido es significativo y el servicio queda interrumpido también de manera significativa, pero la seguridad de la vida está garantizada.

Nivel de desempeño 2: operacional. El daño sufrido es mínimo y el acceso a vehículos de emergencia debe estar disponible después de la inspección y limpieza de escombros.

Nivel de desempeño 3: completamente operacional. El daño sufrido es insignificante y el acceso al puente está disponible para todos los vehículos después de la inspección y limpieza de escombros.

Estos niveles de desempeño serán seleccionados para cada estructura según su importancia y respetando el criterio dado por ASHTO (2012), que establece:

Los puentes críticos deberán permanecer abiertos (completamente operacionales) al paso de todo tipo de vehículos luego de la ocurrencia del sismo de diseño. Estas estructuras deben poder ser utilizadas (operacionales) por vehículos de emergencia y/o defensa inmediatamente después de la ocurrencia del sismo extremo. Por otra parte, los puentes esenciales deben permanecer abiertos (operacionales) a vehículos de emergencia y/o defensa inmediatamente después del sismo de diseño. Finalmente, los puentes ordinarios deben garantizar su uso a vehículos de emergencia después de la ocurrencia de un sismo frecuente (operacionales).

Luego de determinado el nivel de desempeño requerido para cada obra, es posible realizar la evaluación detallada de la vulnerabilidad mediante la aplicación de un método de análisis estructural: análisis modal con espectro de respuesta, análisis estático no lineal (pushover) y análisis dinámico lineal y no lineal con historia en el tiempo. Para la ejecución de los análisis dinámicos se propuso un método para obtener señales de terremotos fuertes a partir del escalado de terremotos débiles y moderados.

2.5. Estrategias de rehabilitación

La etapa de ***Selección de las estrategias de rehabilitación*** incluye las decisiones que se deben tomar a partir del resultado obtenido en el análisis detallado de la vulnerabilidad sísmica estructural. Las consecuencias de la evaluación pueden conllevar a la determinación de que la estructura no necesita ser rehabilitada, o que solo debe ser reparada porque sus elementos poseen la capacidad resistente necesaria. Asimismo, la decisión puede ser que sea rehabilitada para garantizar el nivel de desempeño requerido o para un nivel menor, dada sus condiciones estructurales. Finalmente, también es una opción el abandono de la estructura por imposibilidad de su rehabilitación estructural. Esta etapa culmina con la propuesta de las medidas

necesarias para satisfacer la estrategia seleccionada, mediante la evaluación de su factibilidad técnico–económica.

2.6. Estructuración del procedimiento de análisis del riesgo para la rehabilitación estructural sismorresistente de puentes prefabricados de hormigón, de vigas, de carreteras en Cuba

Etapa 1. Análisis para la selección y priorización

Caracterización del área de ubicación de la estructura o estructuras objeto de análisis

- Características ingeniero–geológicas del sitio.
- Probabilidad de ocurrencia de fenómenos geológicos inducidos. Determinación del potencial de licuación y del peligro de socavación sísmica.
- Nivel de peligro sísmico en términos de aceleración máxima del terreno.

Caracterización estructural

- Determinación de la fecha de diseño y construcción.
- Caracterización de la tipología constructiva. Identificación de aspectos geométricos.
- Identificación del detallado constructivo especial.
- Evaluación de la calidad actual de los materiales.
- Evaluación del estado técnico. Identificación de daños estructurales.
- Análisis de la capacidad de carga de la estructura.

Priorización

- Determinación de la importancia de la estructura.
- Evaluación preliminar de la vulnerabilidad.
- Asignación de la categoría de cumplimiento sísmico.

Etapa 2. Evaluación detallada de la vulnerabilidad

- Definición del nivel de desempeño deseado.
- Definición de la demanda sísmica.
- Evaluación de la vulnerabilidad sísmica mediante la aplicación de métodos de análisis, en función de la categoría de cumplimiento sísmico.

Etapa 3. Selección de las estrategias de rehabilitación

- Selección de la actividad a ejecutar:
- No es necesaria la rehabilitación.
- Reparación para recuperar su capacidad resistente original.
- Rehabilitación para garantizar el nivel de desempeño requerido.
- Rehabilitación para un nivel de desempeño menor que el requerido.

- Abandono.
- Medidas para garantizar la estrategia de rehabilitación seleccionada.
- Evaluación de la factibilidad técnico–económica de las medidas propuestas.
  - Las medidas propuestas son viables integralmente, teniendo en cuenta los aspectos técnicos, sociales, económicos, medioambientales e históricos.
  - Las medidas implican un gasto excesivo no justificado.

En la figura 1 se muestra el esquema que representa las etapas del procedimiento elaborado.

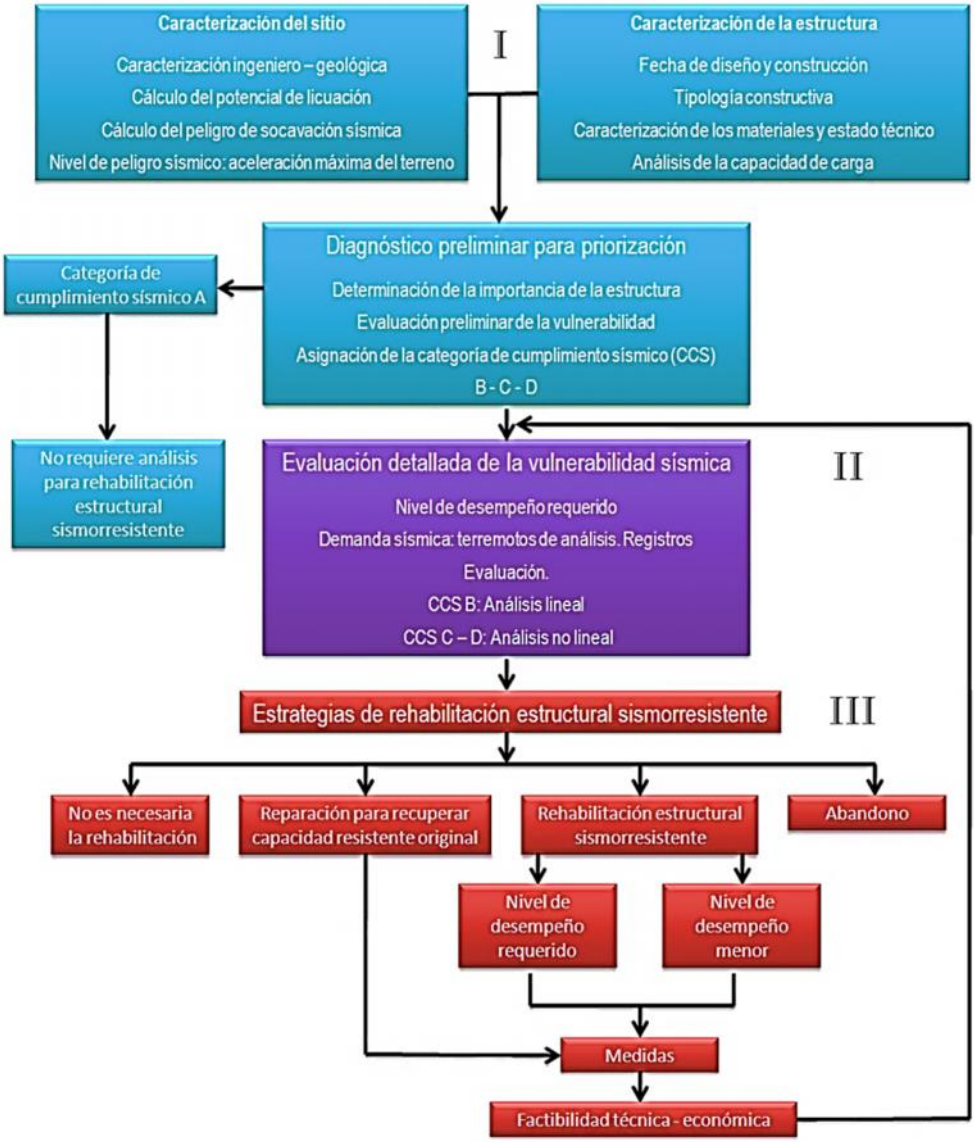


Figura 1. Procedimiento de análisis del riesgo para la rehabilitación estructural sismorresistente de puentes de hormigón, de vigas, de carreteras.

3.1. Aplicación del procedimiento. Etapa 1: Análisis para selección y priorización

A solicitud del Centro Provincial de Vialidad se seleccionaron cinco puentes para la aplicación del procedimiento elaborado. En la tabla 2 se exponen las principales características de estas estructuras.

Tabla 2. Principales características de las estructuras seleccionadas

Nombre del puente	Longitud total (m)	Ancho (m)	Luces (m)	Ángulo de esviaje (º)	Altura libre (m) (Gálibo vertical)
Sobre río Bagua	112.00	34.20	7 x 16.00	0	5.80
Sobre río La República	60.00	34.20	3 x 20.00	45	7.10
Sobre río Arroyito	80.00	34.20	4 x 20.00	0	6.30
Sobre río Boniatico	48.00	34.20	2 x 24.00	15	7.50
Sobre afluente del Cauto	60.00	34.20	3 x 20.00	30	8.40

Caracterización del sitio. Caracterización geológica del área de emplazamiento de las estructuras

En la tabla 3 se muestran los resultados del análisis de la peligrosidad sísmica puntual en los sitios de cada una de las estructuras. Para caracterizar dicho peligro se indican los valores de aceleración espectral (*a*), en función del tipo de suelo presente en el área de emplazamiento, y para el terremoto de diseño con 475 años de período de retorno. Igualmente se muestra la probabilidad de ocurrencia de la licuación del terreno, evaluada a partir de los criterios establecidos por Day (2002) y la ocurrencia de socavación.

Tabla 3. Características del área de ubicación de los puentes estudiados

Puente	Suelo	Aceleración espectral (%g)	Licuación	Socavación
Sobre río Bagua	B	0.31	No	No
Sobre río La República	C	0.37	No	Sí
Sobre río Arroyito	B	0.31	No	Sí
Sobre río Boniatico	D	0.43	No	Sí
Sobre afluente del Cauto	D	0.43	No	Sí

Caracterización estructural: tipología cubano–italiana

A partir del análisis del proyecto típico de la tipología objeto de estudio, se identificaron los aspectos que la caracterizan, que intervienen en el comportamiento ante acciones sísmicas de las estructuras construidas con dicha tipificación y que fueron incorporados en el análisis estructural realizado, a decir:

- Estructuras isostáticas con un apoyo móvil y uno fijo en cada luz. Los aparatos de apoyo utilizados son construidos de plomo o neopreno, según las dimensiones de las luces.
- Uniones articuladas entre columnas prefabricadas de pilas y estribos y cabezales.
- Uniones articuladas entre piezas prefabricadas que conforman el cabezal de pilas y estribos.
- Refuerzo transversal distribuido a 0.30 m en toda la longitud de las columnas de pilas y estribos.

Estas características de diseño provocan que las estructuras construidas con esta tipología sean poco redundantes, con gran cantidad de juntas en el tablero y sin monolitismo en las uniones entre los cabezales y columnas de pilas y estribos. Por tanto, propician un elevado nivel de vulnerabilidad sísmica estructural.

a) Caracterización de los materiales

La ejecución de ensayos no destructivos (ultrasonido y esclerómetro), según los requerimientos de NC–ISO 1920–7 (2013), permite concluir que el hormigón de los elementos estructurales posee una adecuada calidad. En el caso del acero de refuerzo, se realizaron ensayos de tracción a una muestra de barras de acero de calidad A-28, a partir de los requisitos establecidos en la norma cubana NC– 165 (2002), obteniéndose la relación esfuerzo-deformación.

b) Caracterización dinámica de la tipología cubana–italiana

Teniendo en cuenta que el período de vibración fundamental de la estructura determina su desempeño sísmico global y, por tanto, constituye un indicador importante en la evaluación de su vulnerabilidad sísmica estructural, se realiza una caracterización dinámica mediante métodos experimentales. Se obtienen ecuaciones en función de su gálibo vertical y de las dimensiones de la sección transversal de las columnas de pilas y estribos. Para este análisis se escoge una muestra de 25 puentes, que constituye el 61 % del total de las obras mayores construidas con esta tipificación.

<u>Puentes prefabricados con columnas de pilas de 0.70 m x 0.70 m con gálibo entre 5.8-12.00 m.</u>

Dirección longitudinal: $T_L = 0.040\, G_V^2 - 0.451\, G_V + 1.470$ $R^2 = 0.944$. (1)

Dirección transversal: $T_T = 0.033\, G_V^2 - 0.3426\, G_V + 1.022$ $R^2 = 0.963$ (2)

<u>Puentes prefabricados con columnas de pilas de 0.80 m x 0.80 m con gálibo entre 3.00-12.00 m.</u>

Dirección longitudinal: $T_L = 0.006\, G_V^2 - 0.047\, G_V + 0.231$ $R^2 = 0.863$ (3)

Dirección transversal: $T_T = 0.044\, G_V - 0.12$ $R^2 = 0.907$ (4)

c) Evaluación del estado técnico-constructivo

Para diagnosticar el estado técnico de los puentes estudiados se evalúan las patologías que presentan a partir de una inspección técnica, según los criterios establecidos por

NC 335 (2004). Los problemas fundamentales están relacionados con socavación al pie de pilas, juntas del tablero en mal estado y hundimiento de aproches debido a la erosión del material. En la tabla 4 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 4. Evaluación del estado técnico constructivo

Puente	Superestructura	Subestructura	Estado general
Sobre río Bagua	2 (mal)	4 (bien)	3 (regular)
Sobre río La República	3 (regular)	4 (bien)	4 (bien)
Sobre río Arroyito	3 (regular)	4 (bien)	4 (bien)
Sobre río Boniatico	3 (regular)	4 (bien)	4 (bien)
Sobre afluente del Cauto	3 (regular)	4 (bien)	4 (bien)

3.2. Diagnóstico preliminar para priorización.

a) Determinación de la importancia de la estructura

Los puentes objeto de estudio son clasificados como estructuras críticas. En este resultado fueron decisivos los siguientes aspectos: ubicación de las estructuras en una vía de primera categoría, estar ubicados en una línea principal de acceso a un gran núcleo urbano, conectar importantes núcleos de población y estar situados en el acceso a la ciudad donde se encuentra el puerto más importante de la zona. Además, el puente sobre el afluente del Cauto sobresale debido a la importancia de este río como sistema biótico natural.

b) Evaluación preliminar de la vulnerabilidad sísmica estructural

De la aplicación de la metodología para la evaluación preliminar de la vulnerabilidad sísmica a los puentes seleccionados se obtienen los resultados que se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Evaluación preliminar de la vulnerabilidad sísmica estructural

Puente	Vulnerabilidad sísmica estructural
Sobre río Bagua	Moderada
Sobre río La República	Alta
Sobre río Arroyito	Moderada
Sobre río Boniatico	Alta
Sobre afluente del Cauto	Alta

En estos resultados fueron decisivos los siguientes aspectos: el diseño y la construcción de todas las estructuras antes de la aprobación del código de diseño vigente, el funcionamiento estructural isostático (vigas simplemente apoyadas), la presencia de esviaje en las estructuras, el incumplimiento de la longitud de apoyo sobre cabezales de pilas de las estructuras esviadas y el tipo de suelo del área de emplazamiento. Todas las estructuras analizadas son clasificadas con categoría de cumplimiento sísmico D por su emplazamiento en una zona de peligro sísmico muy alto y por ser estructuras críticas. A partir de los resultados obtenidos en la aplicación de la

etapa uno, referida al análisis para la selección y priorización, se decide realizar la evaluación detallada de la vulnerabilidad sísmica estructural al puente sobre el afluente del río Cauto.

3.3. Etapa 2: Evaluación detallada de la vulnerabilidad sísmica estructural

a) Nivel de desempeño requerido

Teniendo en cuenta que el puente objeto de estudio es clasificado como crítico, el nivel de desempeño requerido se corresponde con *completamente operacional* para el sismo de diseño (475 años) y *operacional* para el sismo extremo (1642 años).

b) Modelación mecánica de la estructura

Se realizó un modelo a partir de la versión 14.1.0 del programa de análisis estructural SAP 2000. Se revisaron las solicitaciones derivadas de las combinaciones para el estado límite último, vehículo MS-32 (NC–733, 2009).

c) Análisis modal con espectro de respuesta para el sismo de diseño

El análisis de la estructura se realizó ante las acciones sísmicas representadas por espectros de respuesta horizontal y vertical. En el análisis se chequearon los parámetros de control que se describen a continuación.

Chequeo de rigidez

a) Período fundamental de vibración

Se evalúan los resultados de 7 modos, lo cual garantiza la participación de más del 99 % de las masas de la estructura en el análisis. El período fundamental de vibración de la estructura obtenido del análisis modal es 0.92 segundos. Este valor es menor que 1.25 segundos, período resultante del cálculo con la ecuación empírica utilizada, por tanto, se puede afirmar que la estructura posee una adecuada rigidez.

b) Desplazamientos permisibles

Se calcularon las longitudes de apoyo a partir de las ecuaciones establecidas en NC 46 (1999), obteniéndose un valor mínimo requerido de 0.463 m. La menor longitud de apoyo medida sobre el cabezal de estribos es de 0.45 m; por tanto, no se cumple la condición requerida. En el caso de las pilas, se miden longitudes de apoyo de hasta 0.35 m; entonces, la estructura no cumple los valores mínimos calculados.

c) Coeficiente sísmico. Relación entre el cortante basal y el peso de la estructura

Se revisaron los valores de coeficiente sísmico obtenidos del análisis modal espectral, teniendo en cuenta el peso de la estructura, y se compararon con los valores especificados por la propuesta de norma NC 46 (2017). Se demostró que el peso de la estructura que deviene en cortante basal es excesivo.

d) Incidencia de efectos de segundo orden. Efecto PΔ.

Se analizó la relación de esbeltez de columnas de pilas y estribos; se concluyó que, dadas sus características, los efectos de segundo orden (***PΔ***) deben ser considerados en el análisis estructural.

Chequeo de resistencia

a) Chequeo de resistencia a solicitaciones de cortante

El fallo por esfuerzo cortante es el más peligroso y el que usualmente puede resultar en el colapso de la estructura. El análisis en relación con este esfuerzo arrojó que tanto las columnas de pilas como de estribos no resisten las solicitaciones de cortante generadas. Esto se debe a la insuficiente cantidad de refuerzo transversal en la sección (cantidad de patas en cada dirección) y al excesivo espaciamiento de los cercos. En la figura 2 se muestran los valores nominales reducidos en relación con los valores mayorados para las columnas de pilas y estribos.

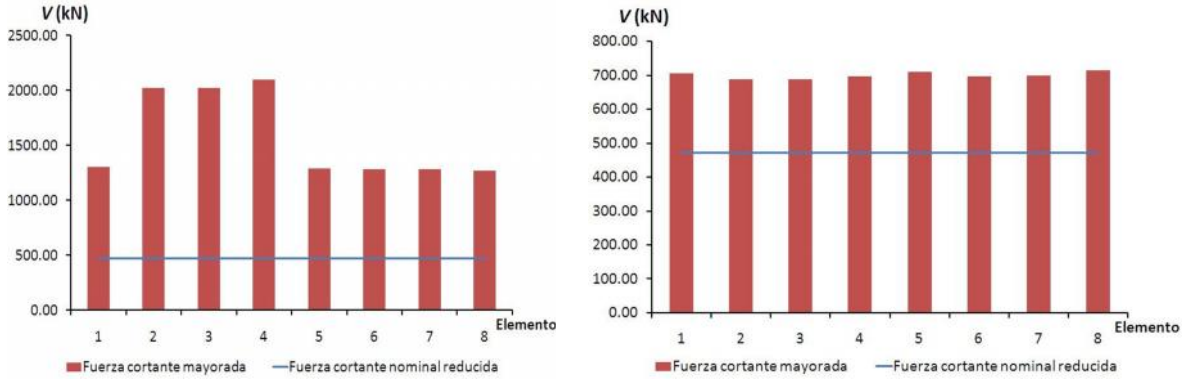


Figura 2. Relación fuerza cortante nominal reducida–fuerza cortante mayorada. a) Columnas de estribos. b) Columnas de pilas.

b) Chequeo de resistencia a solicitaciones de fuerza axial y momento flector

La evaluación de comportamiento a flexo-compresión de las columnas de pilas y estribos demostró que su capacidad es excedida por las solicitaciones generadas por el sismo de diseño. En la figura 3 se muestran las comparaciones realizadas con el diagrama de interacción Momento-Fuerza axial en el caso de las columnas de pilas, en la dirección longitudinal; y de estribos, en la dirección transversal.

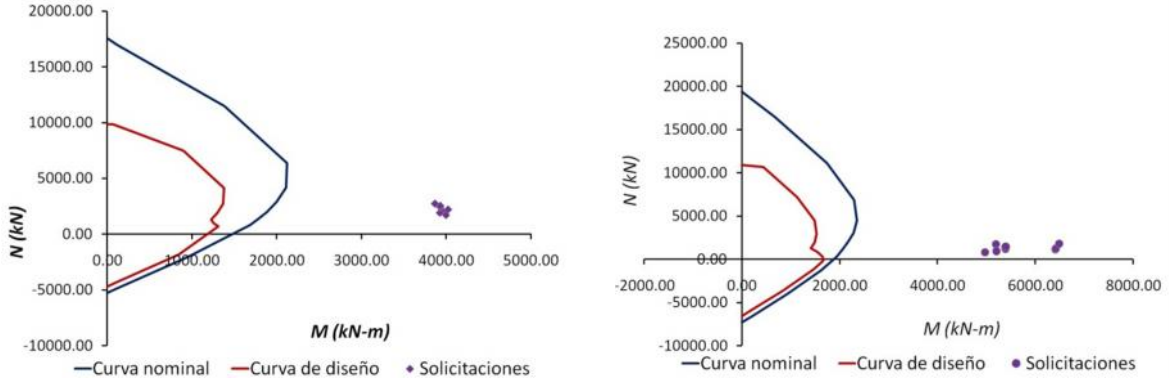


Figura 3. Diagramas de interacción columnas. a) Columnas de pilas. Dirección longitudinal. b) Columnas de estribos. Dirección transversal.

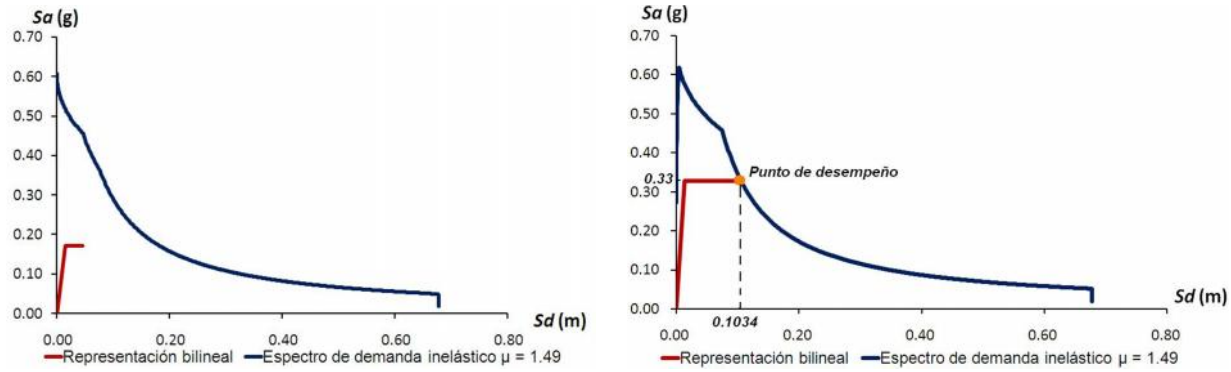
Análisis no lineal. Consideraciones utilizadas en el cálculo

Los gráficos esfuerzo–deformación de los materiales fueron elaborados con el programa de análisis no lineal de secciones transversales XTRACT, versión 3.5. Para representar el comportamiento del hormigón confinado y no confinado se utilizó el modelo de Mander y para el acero, el modelo trilineal con endurecimiento parabólico.

a) Análisis estático no lineal

Se obtuvieron los espectros de capacidad de la estructura y a partir de su representación bilineal se definieron los umbrales de daño, según los criterios de Lagomarsino *et al*. (2003), que permitieron identificar los desplazamientos para los cuales la estructura manifiesta daños ligeros, moderados, extensivos y totales.

Se determinó el punto de desempeño, para el terremoto de diseño, en cada una de las direcciones horizontales de actuación de la carga sísmica. Este análisis demostró que la estructura no posee capacidad para soportar la demanda sísmica analizada, ya que esta última es mayor en ambas direcciones (figura 4). Esto significa que la estructura para la acción generada por el terremoto de análisis sufre daños totales, por lo que no cumple con el nivel de desempeño previsto según su categoría.



a) b)

Figura 4. Punto de desempeño para el terremoto ordinario con 475 años de período de recurrencia. Método N2. a) Dirección longitudinal. b) Dirección transversal.

b) Análisis dinámico no lineal de historia en el tiempo

- **Definición de la demanda sísmica. Escalado de terremotos**

Se seleccionaron terremotos moderados con magnitud mayor de 4, ocurridos en zonas aledañas a los epicentros de los terremotos históricos que han afectado la ciudad de Santiago de Cuba. Estos eventos fueron escalados con el empleo de las leyes de Gusev (1983). Se obtuvieron 45 acelerogramas de sismos fuertes en las tres direcciones (NS–EW–Z) para roca, los cuales permiten considerar en el análisis las características de la fuente sismogeneradora y del medio de propagación de la onda. Se seleccionaron tres tríos de señales para representar al sismo de diseño (Eurocódigo 8-2, 2009). Dichas señales fueron compatibilizadas con los espectros de suelo modelados, con el nivel de peligro sísmico puntual estimado en el área, y según el perfil litológico presente en el emplazamiento del puente, obtenido de calas realizadas en el

lugar; lo que garantiza la consideración del efecto de sitio. En la tabla 6 se muestra la denominación de cada evento y su magnitud.

Tabla 6. Grupo de terremotos seleccionados para el análisis

Grupo de terremotos		
Historia en el tiempo 1 (HT–1)	**Historia en el tiempo 2 (HT–2)**	**Historia en el tiempo 3 (HT–3)**
201007051906NS- M_w 6.0	201312220949NS- M_w 6.5	201601170830NS- M_w 7.5
201601170830EW- M_w 7.5	201007051906EW- M_w 6.5	201601170830EW- M_w 7.5
201007051906Z- M_w 6.0	201312220949Z- M_w 6.0	201601170830Z- M_w 7.5

Consideraciones teóricas adoptadas en el análisis dinámico no lineal

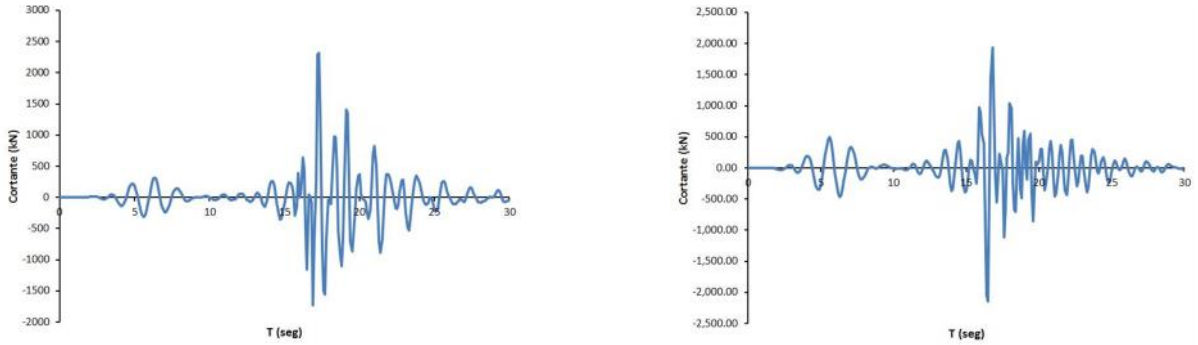
Para realizar el análisis dinámico no lineal se utilizó el método de integración paso a paso de Newmark para realizar la integración del tiempo, el cual, según FHWA (2014), es adecuado para resolver la ecuación de equilibrio para un sistema de múltiples grados de libertad. Se establece la consideración de los efectos *P*Δ y los componentes de cada grupo de terremotos son aplicados simultáneamente, lo cual cumplimenta lo indicado en Eurocódigo 8-2 (2009).

Análisis de esfuerzo cortante y coeficiente sísmico

A partir del análisis de los valores máximos de cortante basal para cada grupo de terremotos (Tabla 7), se constató que en todos los casos estos superan en al menos un 4 % el valor de cortante estático (1856.12 kN). En la figura 5 se muestra la historia en el tiempo, en ambas direcciones, del cortante basal para el grupo de terremotos HT-1.

Tabla 7. Valores máximos de cortante basal para cada grupo de terremotos

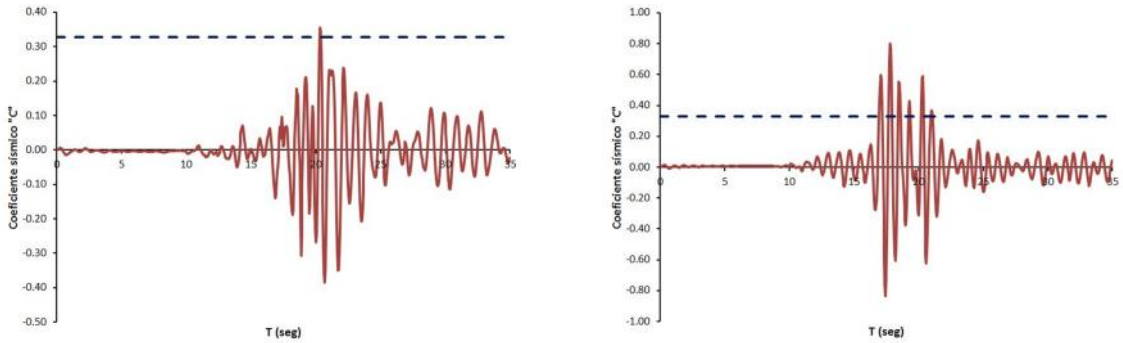
Grupo de terremotos	Cortante basal máximo	
	Dirección longitudinal	**Dirección transversal**
Historia en el tiempo 1	2316.31	1938.28
Historia en el tiempo 2	2671.28	2909.01
Historia en el tiempo 3	2006.48	4537.34



a) b)

Figura 5. Historias en el tiempo de cortante basal para el primer grupo de terremotos (HT-1). a) Dirección longitudinal. b) Dirección transversal

Por otra parte, el análisis del coeficiente sísmico en ambas direcciones denota que el peso de la estructura que se convierte en cortante basal es perjudicial cuando esta incursiona en el rango inelástico. En la figura 6 se observa que el valor del coeficiente sísmico para el grupo de terremotos HT-3 es excedido en ambas direcciones, situación que se acentúa en la dirección transversal, en la cual es superado en varios instantes de tiempo.

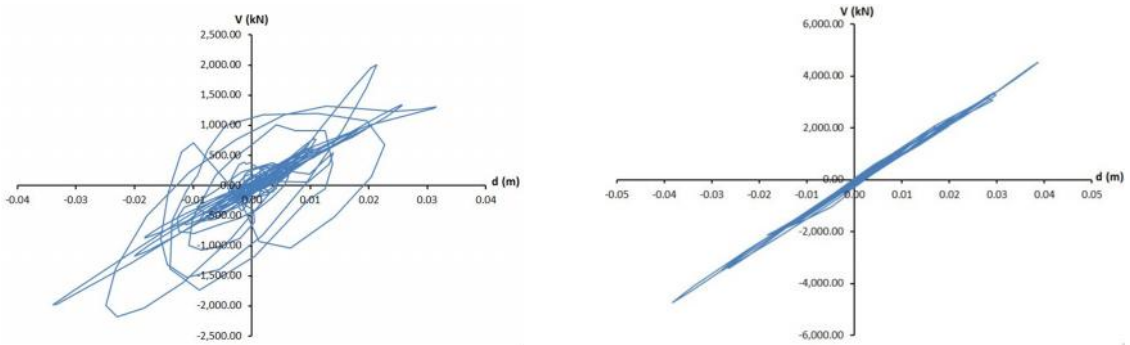


a) b)

Figura 6. Historias en el tiempo del coeficiente sísmico para el tercer grupo de terremotos (HT-3). a) Dirección longitudinal. b) Dirección transversal

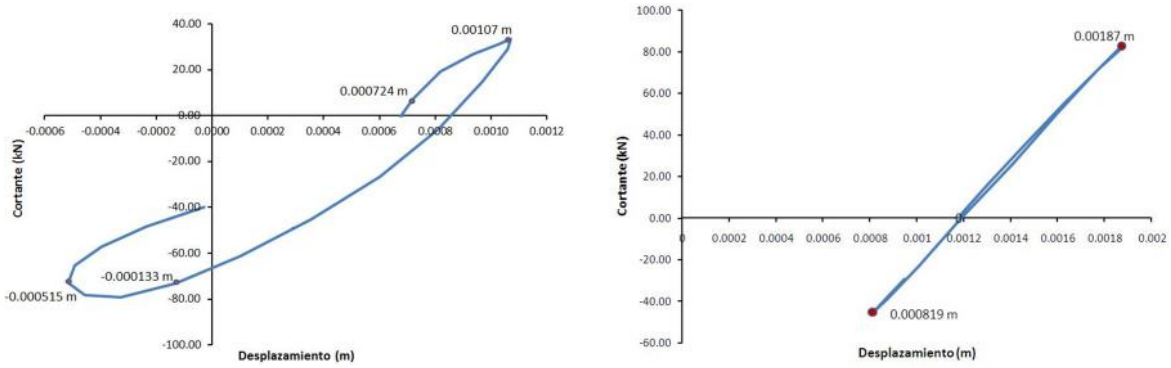
) Análisis de desplazamientos máximos y ductilidad

El análisis de los desplazamientos en ambas direcciones permite establecer las zonas de mayor demanda a la estructura y para qué valores ocurre la primera fluencia y la descarga. En la figura 7 se muestran los gráficos de histéresis desplazamiento (m) – cortante basal (kN) y en la figura 8 las ramas donde se ubican los desplazamientos de fluencia y último para el tercer grupo de terremotos (HT–3), a partir de los cuales se calcula la ductilidad en cada dirección de análisis.



a) b)

Figura 7. Gráficos de histéresis desplazamiento lateral–cortante basal para HT-3. a) Dirección longitudinal. b) dirección transversal.



a) b)

Figura 8. Ramas donde se localizan el desplazamiento de fluencia y último para HT–3. a) Dirección longitudinal. b) Dirección transversal.

En las figuras 7 y 8 se expone que en la dirección longitudinal la estructura manifiesta un marcado comportamiento no lineal, alcanzando la fluencia para un pequeño desplazamiento (0.000724 m). En esta dirección se identifica una ductilidad de 1.48, relacionada con el poco confinamiento que confiere la distribución del refuerzo transversal de las columnas de pilas y estribos. En la dirección transversal, por el contrario, el comportamiento se mantiene en el rango elástico. Este comportamiento es similar para los tres grupos de terremotos utilizados. Esta respuesta de la estructura se sustenta en sus características de diseño, pues al poseer pilas tipo pórticos en la dirección longitudinal la rigidez y resistencia del sistema son menores; por lo cual manifiestan menor capacidad para deformarse sin llegar al colapso y, por tanto, se alcanzan los puntos de fluencia y último a desplazamientos pequeños.

3.4. Etapa 3: Selección de las estrategias de rehabilitación

a) Selección de la actividad a ejecutar

Como consecuencia del estudio realizado se determina que la estructura debe ser rehabilitada para garantizar el desempeño requerido. Debe ser reforzada para soportar las acciones sísmicas que genera el sismo de diseño (475 años de período de retorno), con daños insignificantes que no impidan su uso para el paso de cualquier tipo de vehículo.

b) Recomendaciones para cumplimentar el nivel de desempeño requerido

De acuerdo con el comportamiento del puente sobre el afluente del Cauto, ante los esfuerzos de cortante generados por el sismo de diseño, es necesario reforzar las columnas de pilas y estribos en ambas direcciones. Sin embargo, el análisis del coeficiente sísmico arrojó que la estructura posee un peso considerable, que incide negativamente en el cortante basal. Por lo tanto, el reforzamiento debe ejecutarse con materiales ligeros, como fibra de carbono, que aportan gran resistencia ante este esfuerzo, pero no incrementan el peso de la estructura significativamente.

Un elemento decisivo en el comportamiento de esta estructura lo constituye la longitud de apoyo que posee sobre cabezales de pilas y estribos. En este caso se recomienda la

construcción de una losa de hormigón armado, de 0.05 m de espesor, que actúe como diafragma en todo el tablero.

Otra solución, que además puede ser aplicada a los elementos prefabricados que conforman el cabezal de pilas y estribos para mejorar las condiciones de unión entre ellos, es la colocación de cables de postensado.

CONCLUSIONES

1. El análisis teórico realizado permite definir entre los elementos fundamentales del proceso de rehabilitación los siguientes: la utilización de criterios de desempeño, el análisis de las condiciones ingeniero-geológicas del sitio, el diseño sísmico basado en desplazamientos y la clasificación integral de los puentes según su importancia.
2. Se elabora un procedimiento de análisis del riesgo para la rehabilitación estructural sismorresistente basado en el desempeño. El mismo se integra en tres etapas básicas: análisis para la selección y priorización, evaluación detallada de la vulnerabilidad y selección de la estrategia para la rehabilitación. Se establecen, además, los parámetros que, independientemente del análisis estructural, garantizan la integridad de los resultados (sociales, económicos, medioambientales e históricos).
3. Se valida mediante criterios de expertos una metodología para la evaluación preliminar de la vulnerabilidad sísmica estructural, que incluye parámetros no utilizados usualmente por las metodologías existentes, como son: posibilidad de resonancia suelo–estructura, degradación de la rigidez, fallas geológicas en el área y esbeltez de columnas. Además, se definen parámetros invalidantes que garantizan una evaluación adecuada de la vulnerabilidad.
4. Se obtienen señales de terremotos fuertes a partir de terremotos débiles y moderados, escalados mediante las leyes de Gusev, que responden a la sismicidad local y garantizan la consideración en el análisis sísmico de las características de la fuente sismogeneradora, del medio de propagación de la onda sísmica y el efecto de sitio.

RECOMENDACIONES

1. Basado en los elementos teóricos expuestos, elaborar metodologías de evaluación de la vulnerabilidad sísmica estructural que se ajusten a puentes de otras tipologías y materiales.
2. Perfeccionar el procedimiento elaborado con la incorporación al análisis de la interacción suelo-estructura.
3. En el nuevo código cubano de diseño sismorresistente de puentes, evaluar la factibilidad de la inclusión de los criterios de desempeño desarrollados en la investigación, así como de los parámetros propuestos para la clasificación de las estructuras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aguiar, R. (2011). *El mega sismo de Chile 2010 y lecciones para el Ecuador*. Quito, Ecuador: Sección Nacional del Ecuador del Instituto de Geografía e Historia.
2. Alberdi, E. (2011). *Métodos numéricos para ecuaciones diferenciales rígidas. Aplicación a la semidiscretización del método de elementos finitos* (Tesis de Doctorado). Universidad del País Vasco. País Vasco, España.
3. American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO]. (2012). *LRFD Bridges. Design specifications* (6th edition). Washington, DC, USA: autor.
4. American Concrete Institute [ACI] 318. (2011). *Building code requirements for structural concrete*. Farmington Hills, USA: autor.
5. American Society of Civil Engineers [ASCE] 41. (2013). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*. Reston, Virginia: autor.
6. American Society of Civil Engineers and Federal Emergency Management Agency [FEMA] 356. (2000). *Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings*.Washington, D.C: autor.
7. Applied Technology Council [ATC] – 32. (1996). *Improved Seismic design criteria for California bridges: provisional recommendations*. California, USA: autor.
8. Applied Technology Council [ATC] – 40 (1996). *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings* [California Seismic Safety Commission. Proposition 122. Seismic retrofit practices improvement program. Report sse 96-01] (Volume 1). California, USA: autor.
9. Applied Technology Council [ATC] – 6 – 2. (1983). *Seismic Retrofitting Guidelines for Highway Bridges, Report*. Redwood City, California: autor.
10. Applied Technology Council [ATC] and Federal Emergency Management Agency [FEMA] 273. (1997). *NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings*. Washington, D.C: autor.
11. Applied Technology Council [ATC] and Federal Emergency Management Agency [FEMA] 274. (1997). *NEHRP commentary on the Guidelines for the Seismic rehabilitation of buildings*. Washington, D.C: autor.
12. Basoz, N. and Kiremidjian, A. (1995). Prioritization of Bridges for Seismic Retrofitting [Technical Report NCEER-95-0007]. USA.
13. California Department of Transportation [Caltrans]. (1992). *Bridges Design Specifications*. Sacramento, California: autor.
14. California Department of Transportation [Caltrans]. (2013). *Seismic Design Criteria* [Version 1.7]. Sacramento, California: autor.
15. Candebat, D. (2011). *Informe de Proyecto de Investigación científica: Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de puentes de hormigón de las carreteras de interés nacional de Santiago de Cuba* (Fondos del Cenais). Santiago de Cuba.

16. Centro de coordinación para la prevención de los desastres naturales de América Central [CEPREDENAC]. (2010). *Manual centroamericano de gestión del riesgo en puentes*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: autor.

17. Centro Provincial de Vialidad [CPV]. (2014). *Inventario del patrimonio vial* [Fondos del CPV]. Santiago de Cuba.

18. Chuy, T. J. (1999). *Macrosísmica de Cuba y su aplicación en los estimados de peligrosidad y microzonación sísmica* (Tesis de Doctorado). Instituto de Geofísica y Astronomía. La Habana.

19. Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica [CFIACR]. (2013). *Comisión Permanente de Estudio y Revisión del Código Sísmico de Costa Rica. Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes* [Laboratorio de materiales, Lanmanme UCR]. San José, Costa Rica: autor.

20. Comité Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de Construcción. (2011). *Norma ecuatoriana de la construcción. NEC-11* (Capítulo 3. Riesgo sísmico, evaluación y rehabilitación de estructuras). Quito, Ecuador: autor.

21. Comité Europeén de Normalization [CEN]. (2009). *Eurocode 8, Design of structures for earthquake resistance. Part 2: Bridges.* Bruselas, Bélgica: autor.

22. Cuba. Oficina Nacional de Normalización NC. (1999). *Norma Cubana NC 46:1999: Construcciones Sismorresistentes. Requisitos Básicos para el Diseño y Construcción*. La Habana: autor.

23. Cuba. Oficina Nacional de Normalización NC. (2002). *Norma Cubana NC 165:2002. Barras de acero para refuerzo de hormigón. Ensayos de tracción y doblado*. La Habana: autor.

24. Cuba. Oficina Nacional de Normalización NC. (2004). *Norma Cubana. NC 335:2004. Inspección y Conservación de puentes. Códigos de buenas prácticas*. La Habana: autor.

25. Cuba. Oficina Nacional de Normalización NC. (2009). *Norma Cubana NC 733:2009. Carreteras—puentes y alcantarillas—requisitos de diseño y método de cálculo. ICS: 91.140.80; 93.040*. La Habana: autor.

26. Cuba. Oficina Nacional de Normalización NC. (2013). *Norma Cubana NC ISO 1920-7:2013. Ensayos al hormigón–parte 7: Ensayos no destructivos sobre hormigón endurecido (ISO 1920-7:2004, IDT).* La Habana: autor.

27. Cuba. Oficina Nacional de Normalización NC. (2017). *Propuesta de Norma Cubana NC 46:2017: Construcciones Sismorresistentes. Requisitos Básicos para el Diseño y Construcción*. La Habana: autor.

28. Federal Highway Administration [FHWA]. (2014). *LRFD Seismic analysis and design of bridges* [Reference manual. Publication No. FHWA-NHI-15-004]. Washington, D.C.

29. Galbán, L. (2014). *Procedimiento para la gestión y reducción de riesgos geológicos en la provincia Santiago de Cuba*. (Tesis de Doctorado). Instituto Superior Minero Metalúrgico "Dr. Antonio Núñez Jiménez". Moa, Holguín, Cuba.

30. Godínez, G. y Muñoz, S. (2001). *Determinación de la vulnerabilidad sísmica de los puentes* (Fondos de la Universidad de Oriente). Santiago de Cuba.

31. Gómez, C., Oller, S. y Barbat, A. (2002). Análisis de la vulnerabilidad sísmica del Puente WARTH mediante un método simplificado de estimación de daño. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, *7*(1), 21-46.

32. González, L. (1999). *Experiencias y métodos para la conservación de puentes de carretera de la República de Cuba* (2 tomos). La Habana: Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería.

33. Gusev, A. A. (1983). Descriptive statistical model of earthquake source radiation and its application to an estimation of short-period strong motion. *Geophys. J. Int*., *74*(3), 787-808.

34. Imbsen Software Systems (2001). *Software XTRACT*. California: Universidad de Berkeley.

35. Computers and Structures, Inc. [CSI]. (2009*). SAP 2000 v.14*. California: Universidad de Berkeley.

36. Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (2005). *DEGTRA A4, v.5.1.0* [Manual de Ayuda desarrollado por M. Ordaz (1990-2002)]. México: autor.

37. Japan Road Association [JRA]. (2002). *Japanese Codes for Design of Highway Bridges. Design Specifications of Highway Bridges. Part V: Seismic Design*. Japón: autor.

38. Japan Road Association [JRA]. (2012). *Japanese Codes for Design of Highway Bridges. Design Specifications of Highway Bridges. Part V: Seismic Design*. Japón: autor.

39. Jara, J.M., Jara, M., Olmos, B. y López, J. (2010). Criterio de selección de estructuras tipo de puentes para su evaluación sísmica. En *Memorias del VI Congreso internacional sobre patología y recuperación* (pp. 1-21). Córdoba, Argentina.

40. Kawashima, K. (1990). *Present earthquake engineering efforts to mitigate earthquake hazards of road transportation facilities in Japan*. San Francisco, U.S.A: ASCE San Francisco 1990 annual Civil Engineering Convention and Exposition.

41. Kawashima, K. and Unjoh, S. (2004). Seismic design of highway bridges. *Journal of Japan Association for Earthquake Engineering*, *4(*3) (Special Issue), 174-183.

42. Kawashima, K., Unjoh, S., Hoshikuma, J. and Kosa, K. (2010). Damage of transportation facility due to 2010 Chile earthquake [Bridge team dispatched by Japan Society of Civil engineers] [Presentación de power point]. Japón.

43. Keever, M. (2008). Caltrans evolving seismic design practice. *24th US-Japan Bridge Engineering Workshop.* Recuperado de www.pwri.go.jp/.../24-5-2michaelkeever

44. Lagomarsino, S., Giovinazzi, S., Podestà, S. and Resemini, S. (2003). WP4-Vulnerability assesment of current buildings: I level methodology for the vulnerability assessment of current buildings and guidelines for the implementation. Bucharest: RISK-UE project: An advanced approach to earthquake risk scenarios with application to different European towns.

45. Leyva, K. M. (2004). *Estudio de vulnerabilidad sísmica de los puentes de la Circunvalación* (Tesis de Maestría). Universidad de Oriente. Santiago de Cuba.

46. Lobo, W. (2003). Diseño y Rehabilitación sismorresistente de puentes. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 8(1), 49-83.

47. Maldonado, E., Casas, J. R. y Canas, J. A. (2001). Modelo de evaluación del índice de vulnerabilidad sísmica de puentes basado en conjuntos difusos. *Revista Internacional de Ingeniería de estructural*, 6(1), 77-102.

48. Ministerio de Fomento. (2007). Norma de construcción sismorresistente: Puente [NCSP]. España: autor.

49. Morejón, G., Candebat, D., Ferrera, H., Márquez, P. I., Arango, E; Zapata J.A., Chuy T.J. y Bermúdez, L. (2006). *Evaluación de la vulnerabilidad ante la ocurrencia de eventos naturales de las carreteras de interés nacional de la provincia Santiago de Cuba: Autopista Nacional* [Fondos del Cenais y del Centro Provincial de Vialidad]. Santiago de Cuba.

50. New Zealand Society for Earthquake Engineering [NZSEE]. (2006). Assessment and improvement of the structural performance of buildings in earthquakes. New Zealand: autor.

51. New Zealand Transport Agency [NZTA] (2014). Bridge manual (3 ed.). New Zealand: autor. www.nzta.govt.nz

52. Orduñez, U., Candebat, D. y Godínez, G. (2013). *Análisis estático no lineal de puentes prefabricados de hormigón* (Fondos del Cenais). Santiago de Cuba.

53. Perú. Ministerio de Salud. Dirección general de gestión del riesgo de desastres y defensa nacional en salud. (2016). *Proyecto de documento técnico: Plan de prevención y reducción del riesgo de desastres del Ministerio de Salud ante las temporada de las bajas temperaturas, 2016-2017.* Lima, Perú: autor.

54. Priestley, M., F. Seible and Calvi, G. M. (1996).Seismic Design and retrofit of Bridges. USA: Editorial John Wiley and Songs.

55. Wilson, N. and Ryan, K. (2009). Seismic retrofit guidelines for UTAH highway bridges [Report No. UT-09.06]. Utah, USA: Utah Department of Transportation Research Division.

Acreditación de la introducción del resultado y su impacto

Trabajos de diplomas a los que ha tributado el resultado

- Estudio de vulnerabilidad de la carretera Granma. Tramo Rio Grande-Palma Mocha. Curso 2011-2012.
- Medidas para la rehabilitación sísmica de puentes prefabricados de hormigón. Puentes sobre el río San Juan. Curso 2011-2012.
- Evaluación del desempeño sísmico estructural de puente sobre el río Uvero utilizando análisis estático no lineal. Curso 2012 – 2013.
- Caracterización del comportamiento de secciones de columnas de pilas prefabricadas de puentes. Curso 2013 – 2014.
- Evaluación del desempeño sísmico estructural del puente sobre el afluente "Dos Bocas". Curso 2015-2016.

Tesis de maestría

- Implicaciones en el diseño sismorresistente de puentes de hormigón ante nuevos modelos de cargas verticales móviles. Defendida en 2017.

Tesis doctoral

- Procedimiento de análisis del riesgo para la rehabilitación estructural sismorresistente de puentes e hormigón, de vigas, de carreteras. Defendida en 2017.

Introducción del resultado. Investigaciones y Servicios Científico-Técnicos (SCT) relacionados

Nº	Investigación	Entidad introductora	Año
1	Proyecto territorial: Evaluación preliminar de la vulnerabilidad sísmica estructural de los puentes de hormigón armado de la red vial de interés nacional de la provincia Santiago de Cuba.	Centro Provincial de Vialidad Santiago de Cuba.	2011
2	Proyecto institucional: Procedimiento para la rehabilitación sísmica estructural de puentes prefabricados de vigas e carreteras de Santiago de Cuba: Tipología cubano-italiana.	Centro Provincial de Vialidad Santiago de Cuba.	2013
3	SCT: Evaluación de la vulnerabilidad sísmica estructural de las carreteras de interés nacional de la provincia La Habana.	Centro Provincial de Vialidad La Habana.	2013

4	Proyecto institucional: Caracterización de los materiales de construcción de puentes de hormigón y del suelo del área de emplazamiento.	Centro Provincial de Vialidad Santiago de Cuba.	2014
5	SCT: Diagnóstico del estado técnico y comportamiento estructural ante la acción de sismos de los puentes de la Autopista Nacional de Santiago de Cuba.	Centro Provincial de Vialidad Santiago de Cuba.	2016
6	SCT: Diagnóstico del comportamiento estructural de los puentes de la carretera Granma.	Centro Provincial de Vialidad Santiago de Cuba.	2017

Eventos

Nº	Evento	Año
1	XXXIII Convención Panamericana de Ingenierías. UPADI 2012.	2012
2	V Convención cubana de Ciencias de la Tierra.	2013
3	Foro internacional Arquitectura e Ingenierías.	2013
4	1er Convención Internacional de Ciencias Técnicas. V Conferencia Internacional Peligrosidad, Riesgo geológico e Ingeniería sísmica y de desastres. SISMOS 2014.	2014
5	VI Convención cubana de Ciencias de la Tierra.	2015
6	V Jornada Internacional de Ingeniería Civil.	2015
7	2da Convención Internacional de Ciencias Técnicas. VI Conferencia Internacional Peligrosidad, Riesgo geológico e Ingeniería sísmica y de desastres. SISMOS 2016.	2016
8	XXXV Convención Panamericana de Ingeniería. Panamá. XIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Panamá.	2016

Avales presentados

- Empresa de Proyectos # 15 de Santiago de Cuba.
- Facultad de Construcciones de la Universidad de Oriente de Santiago de Cuba.
- Oficina de Evaluación sísmica y vulnerabilidad de infraestructura y edificaciones de República Dominicana.
- Centro Provincial de Vialidad de Santiago de Cuba.
- Universidad Tecnológica de La Habana. PREMIDES.
- Subcomité de Sismo del CTN 38 CONCEH.

Premios y reconocimientos

- Metodología para la evaluación preliminar de la vulnerabilidad sísmica de puentes de carreteras de vigas de hormigón.

  Relevante. FORUM Nivel de Base. 2012.

  Relevante. FORUM Nivel Municipal. 2012.

  Relevante. FORUM Nivel Provincial. 2012.

  Trabajo Destacado del año 2012.
- Procedimiento para el análisis estático no lineal de puentes prefabricados de hormigón.

  Relevante. FORUM Nivel de Base. 2013.
- Expresiones prácticas para evaluar la rigidez de puentes prefabricados de hormigón a partir de métodos experimentales.

  Destacada. FORUM Nivel de Base. 2013.
- Procedimiento para la rehabilitación estructural sismorresistente de puentes prefabricados de hormigón, de vigas, de carreteras.

  Destacada. FORUM Nivel de Base. 2014.
- Premio colectivo especial del CITMA por su integración a: Gestión del riesgo ante desastres naturales de las obras estructurales y viales de la provincia Santiago de Cuba.
- Premio colectivo anual de la Academia de Ciencias de Cuba por resultados del 2014 a: Gestión del riesgo ante desastres naturales de las obras estructurales y viales de la provincia Santiago de Cuba.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE.SEDE MELLA
FACULTAD DE CONSTRUCCIONES.
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL.

TRABAJO DE DIPLOMA

ESTUDIO DE VULNERABILIDAD DE LA CARRETERA GRANMA. TRAMO RIO GRANDE - PALMA MOCHA.

AUTOR: José Antonio Bertot Borges.

TUTORES: Ing. Patricia Estrada Rey.
Ing. Hazel de la Caridad Ferrera Toujague.
MsC. Ing. Lennys Altarribas Mustelier.

Santiago de Cuba. 2012
"Año 54 de la Revolución"

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
FACULTAD DE CONSTRUCCIONES
SANTIAGO DE CUBA

Trabajo de Diploma

En opción al título de Ingeniero Civil

Título: Medidas para la rehabilitación sísmica de puentes prefabricados de hormigón. Puentes sobre el río San Juan.

Autor:

Osnier Álvarez Hernández

Tutores:

MsC. Ing. Darío Candebat Sánchez

Dr. Ing. Guillermo Godínez Melgares

Santiago de Cuba. Diciembre 2012.

Departamento de Ingeniería Civil

Trabajo de Diploma

Título: Evaluación del desempeño sísmico estructural del Puente sobre el río Uvero utilizando análisis estático no lineal.

Autor: Ulises Orduñez Reyna

Tutores: MSc. Ing. Darío Candebat Sánchez

Dr. Ing. Guillermo Godínez Melgares.

Santiago de Cuba

2013

FACULTAD DE CONSTRUCCIONES
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

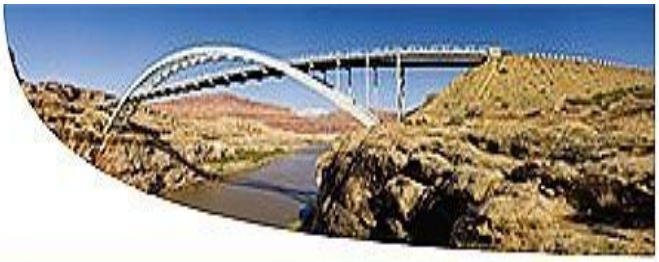
Trabajo de Diploma

Título: Caracterización del comportamiento de secciones de columnas de pilas prefabricadas de puentes.

Autor: ***Yordanys Fuerte Suárez***

Tutores: MsC Ing. Darío Candebat Sánchez
Dr. Ing. Guillermo Godínez Melgares.

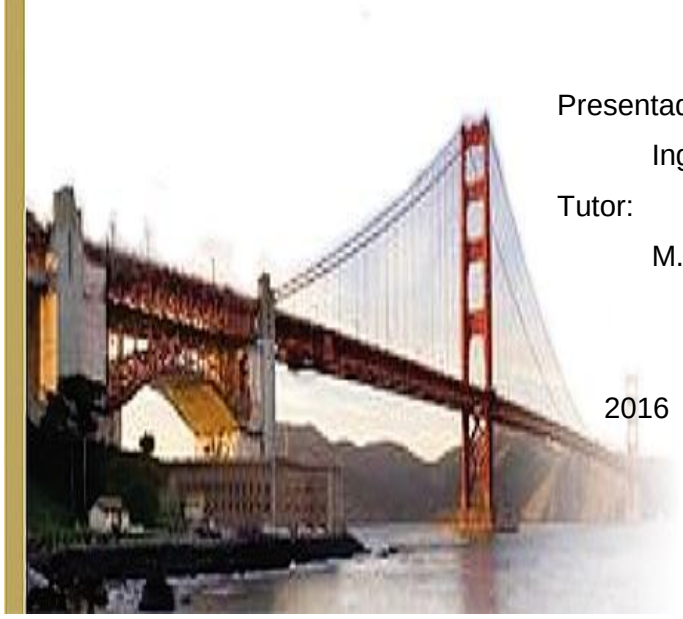
Santiago de Cuba, 2014
¨Año 56 de la Revolución



Universidad de Oriente
Santiago de Cuba
Facultad de Construcciones

Maestría Ingeniería Civil en Zona Sísmica

Implicaciones en el diseño sismorresistente de puentes de hormigón ante nuevos modelos de cargas verticales móviles



Presentado por:

Ing. Eddy Fernández Ochoa

Tutor:

M.Sc. Ing. Darío Candebat Sánchez

2016

Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas
Universidad de Oriente. Facultad de Construcciones

Universidad Tecnológica de La Habana
Facultad de Ingeniería Civil. Departamento de Ingeniería Civil

PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DEL RIESGO PARA LA REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL SISMORRESISTENTE DE PUENTES DE HORMIGÓN, DE VIGAS, DE CARRETERAS

Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas

Autor: MsC. Ing. Dario Candebat Sánchez

Tutores: Dr. Guillermo Godínez Melgares†
Dr. Braulio Lima González

La Habana
2017

CENAIS
Centro Nacional
Investigaciones Sismológicas

ANEXO 2

1. **Denominación del resultado:** Proyecto territorial. Evaluación preliminar de la vulnerabilidad sísmica estructural de los puentes de hormigón de la red vial de interés nacional de la provincia Santiago de Cuba

2. **Relación de autores del resultado y valoración de la participación del interesado en su obtención:**

Autores:
MsC. Ing. Darío Candebat Sánchez, Ing. Hazel Ferrera Toujague, Téc. Alexeis Artimes Numa, Ing. Ricardo Oliva Álvarez, Ing. Grisel Morejón Blanco, Ing. Yelena Berenguer Heredia, Ing. Pedro Pablo Torres Rodríguez, MsC. Ing. Kenia Leyva Chang.

Colaboradores:
Dr. José A. Zapata Balanqué, MsC. Zulima Rivera Álvarez, Ing. Eduardo Diez Zaldivar, Ing. Cándido Montenegro Moracén, Ing. Viana Poveda Brossard, Ing. Luis Felipe Caballero Cornier.

3. **Entidad que obtuvo el resultado:** Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas.

4. **Entidad introductora del resultado:** Centro Provincial de Vialidad.

5. **Aporte científico – técnico y actualidad del resultado:**

Estamos satisfechos con la investigación realizada y consideramos que los resultados son importantes para la gestión de la red vial de interés nacional debido a que muestran los factores que influyen en un inadecuado desempeño sísmico de las estructuras analizadas, así como se proponen medidas para mejorar su desempeño. Consideramos que el trabajo es novedoso y posee rigor científico.

6. **Fecha de la presente certificación:** Enero 2011.

Angel Borrero Especialista Prov

Funcionario autorizado del organismo u órgano introductor
(Nombre, cargo, firma y cuño de la entidad)

ABorrero

REPUBLICA DE CUBA
CENTRO NACIONAL DE VIALIDAD
INVERSIONISTA
MINISTERIO DEL TRANSPORTE

Calle 17 No. 61 e/ 4 y 6 Reparto Vista Alegre. Santiago de Cuba 90400
Teléfonos: 641112 - 641607 - 653949 Fax: 641623 email: director@cenais.cu

ANEXO 1

1. **Denominación del resultado**: Proyecto institucional. Procedimiento para la rehabilitación sísmica estructural de puentes prefabricados de vigas de carreteras de Santiago de Cuba: Tipología Cubano - italiana.
2. **Relación de autores del resultado y valoración de la participación del interesado en su obtención:**

Autor:
MsC. Ing. Darío Candebat Sánchez.

Colaboradores:
Dr. José A. Zapata Balanqué, Ing. Luis Felipe Caballero Corner e Ing. Viana Poveda Brossard.

El interesado se desempeñó como Jefe del proyecto institucional, organizó la ejecución de los trabajos, realizó la propuesta del modelo para la rehabilitación sísmica de los puentes objeto de estudio así como toda la fundamentación teórica. Elaboró el informe final.

3. **Entidad que obtuvo el resultado:** Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas.

4. **Entidad introductora del resultado:** Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas.

5. **Aporte científico – técnico y actualidad del resultado:**

Como resultado del proyecto se obtuvo un procedimiento para la rehabilitación sísmica de puentes de hormigón basado en los conocimientos más actuales sobre el desempeño de estas estructuras. Se fundamentó teóricamente el modelo presentado. Se inserta en las prioridades del país referidas a la mitigación de desastres.

Se obtuvieron aportes importantes relacionados con las metodologías incluidas en el procedimiento y los fundamentos teóricos del modelo. Además se presentaron los acelerogramas generados según el análisis de los terremotos históricos ocurridos en Santiago de Cuba.

6. **Fecha de la presente certificación:** Enero 2013.

MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE
CENAIS
DIRECCION
STMA

Dr. Bladimir Moreno Toirán.
Director CENAIS
Presidente del Consejo Científico CENAIS.
(Nombre, firma y cuño de la entidad)

CENAIS

EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL DE LAS CARRETERAS DE INTERÉS NACIONAL DE LA PROVINCIA LA HABANA.

Autores:

MsC. Ing. Darío Candebat Sánchez.

Ing. Yelena Berenguer Heredia.

Ing. Ricardo Oliva Álvarez

Técn. Alexeis Artimes Numa.

Revisado por: Ing. Grisel Morejón Blanco.

Vice directora Científica.

Aprobado por: Dr. Bladimir Moreno Toirán.

Director.

Santiago de Cuba

Septiembre 2013

Centro Provincial de Vialidad
Santiago de Cuba.

Santiago de Cuba", ___deseptiembre de 2016
"Año del 58 de la Revolución"

CERTIFICO DE CONFORMIDAD

A: UNAICC
Santiago de Cuba.

De: Centro Provincial de Vialidad.
Santiago de Cuba

Por medio de la presente certificamos que los trabajos realizados bajo el contrato **DIAGNOSTICODEL ESTADO TÉCNICO Y COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL ANTE LA ACCIÓN DE SISMOS, DE LOS PUENTES DE LA AUTOPISTA NACIONAL DE SANTIAGO DE CUBA**, se realizó según planificación y con la calidad requerida.

Sin otro asunto.

Nombre Jader González Boyat

Cargo Ure.- Dtor Técnico

ACTA DE CONFORMIDAD

Santiago de Cuba, 16 de mayo de 2017

A: UNAICC

Santiago de Cuba.

De: Centro Provincial de Vialidad

Santiago de Cuba

A través de la presente expresamos nuestra conformidad con el trabajo realizado, correspondiente al Diagnostico del comportamiento estructural de los puentes de la carretera Granma. El informe cumple con la información solicitada y fue entregado en la fecha conveniada.

Sin más,

Nombre Jose Glez R

Cargo V.D

Firma

UPADI

UNAICC
Unión Nacional
de Arquitectos e Ingenieros
de la Construcción de Cuba

XXXIII
CONVENCIÓN
PANAMERICANA
DE INGENIERÍAS

UPADI
2012

CERTIFICADO

Titulo: *Métodos experimentales para la estimación de la vulnerabilidad sísmica de puentes prefabricados de hormigón: "Puente Arroyito".*

Autor(es): *Darío Candebat Sánchez, G. Godínez Melgares, L. F. Caballero Cornier*

Evento: *Simposio de Ingeniería Civil y Estructura Sismorresistente*

Aprobada y publicada en las Memorias del Evento con el ISBN 978-959-247-094-1 de la Editorial Obras

La Habana, 9-13 de abril de 2012

Ing. Irene Campos Gómez
Presidenta de UPADI

Ing. Antonio Caparó Marichal
Presidente de Comité Organizador

Ing. Elena Téllez Girón
Coordinadora del Programa Científico

Presidente del Evento
Dr. Nelson Navarro

LA UNIÓN NACIONAL DE ARQUITECTOS E INGENIEROS DE LA CONSTRUCCIÓN DE CUBA
OTORGA

CERTIFICADO

A: MsC. Ing. Darío Candebat Sánchez

POR HABER PARTICIPADO EN

FORO INTERNACIONAL ARQUITECTURA E INGENIERÍAS

8va Asamblea General
Consejo Mundial de Ingenieros Civiles

Taller Turismo y Ciudad

Dado en la Ciudad de Santiago de Cuba a los 12 días del mes de Octubre del año 2013

MsC. Ing. Kyra Bueno Risco
Presidente Nacional de Ingeniería Civil
UNAICC

UNION NAC. DE ARQUITECTOS E ING. DE LA CONSTRUCCIÓN DE CUBA
VICEPRESIDENCIA

MsC. Arq. Ing. César Garrido Rodríguez
Presidente Nacional Sociedad Arquitectura
UNAICC

V CONVENCIÓN CUBANA DE CIENCIAS DE LA TIERRA

Exhibición de Productos, Nuevas Tecnologías y Servicios
Palacio de Convenciones, La Habana, Cuba
1 al 5 de abril de 2013

CERTIFICADO

La Sociedad Cubana de Geología le otorga a:

Darío Candebat Sánchez

Por su participación en:

- ☑ X Congreso Cubano de Geología (GEOLOGÍA´2013)
- ○ VII Congreso Cubano de Geofísica (GEOFÍSICA´ 2013)
- ○ V Congreso Cubano de Minería (MINERÍA´2013)
- ○ IV Congreso de Petróleo y Gas (PETROGAS´2013)
- ○ XI Congreso de Informática y Geociencias (GEOINFO´2013)
- ○ Feria/Exhibición GEOEXPO ´2013

en calidad de: ☑ Delegado ○ Expositor

Póster en Hidrogeología e Ingeniería Geológica

INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS INGENIERO-GEOLÓGICAS DEL SITIO EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS PUENTES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN.

Autores: Darío Candebat Sánchez, Guillermo Godínez Melgares y Felipe Caballero Cornier

Dr. Manuel A. Iturralde Vinent
Presidente del Comité Organizador de la Convención
Presidente de la Sociedad Cubana de Geología

Ing. Eric Escobar Pérez
Presidente del Comité Científico de la Convención

"Las Geociencias al servicio de la Sociedad y el Desarrollo"

El Comité Organizador de la Primera Convención Internacional de Ciencias Técnicas de la Universidad de Oriente otorga el presente

The Organizing Comittee of the First International Convention on Technical Sciences of the Universidad de Oriente grants this:

CERTIFICADO DE PARTICIPACIÓN
PARTICIPATION CERTIFICATE

A/To:

Darío Candebat Sánchez

Por el trabajo presentado

Metodología para la evaluación preliminar de la vulnerabilidad sísmica estructural de puentes de hormigón armado

CIDAD DE ORIENTE
Vicerrector
igaciones y Postgrado

Dra.C./PhD. Martha del Carmen Mesa Valenciano

Presidenta del Comité Organizador. Rectora de la Universidad de Oriente
President of the Organizing Committee. Rector of Universidad de Oriente

Santiago de Cuba
23 al 27 de junio del 2014
June 23rd to 27th, 2014

VI CONVENCIÓN CUBANA DE CIENCIAS DE LA TIERRA

Exhibición de Productos, Nuevas Tecnologías y Servicios

Palacio de Convenciones, La Habana, Cuba
4 al 8 de mayo de 2015

CERTIFICADO

La Sociedad Cubana de Geología le otorga a:

Darío Candebat Sánchez

Por su participación en:

- ✓ XI Congreso Cubano de Geología (GEOLOGÍA´2015)
- VIII Congreso Cubano de Geofísica (GEOFÍSICA´ 2015)
- VI Congreso Cubano de Minería (MINERÍA´2015)
- V Congreso de Petróleo y Gas (PETROGAS´2015)
- XII Congreso de Informática y Geociencias (GEOINFO´2015)
- Feria/Exhibición GEOEXPO´2015

en calidad de: ✓ Delegado ○ Expositor

Oral en Ingeniería Geológica

CONSIDERACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL SUELO EN LA RESPUESTA ESTRUCTURAL PARA EL DISEÑO DE PUENTES EN CUBA

Autores: Darío Candebat Sánchez, Guillermo Godínez Melgares, Luis Felipe Caballero Cornier, Zulima Rivera Álvarez y Rafael Oñate Verdeja

Dr. Manuel A. Iturralde Vinent
Presidente del Comité Organizador de la Convención
Presidente de la Sociedad Cubana de Geología

Ing. Eric Escobar Pérez
Presidente del Comité Científico de la Convención
Vice Presidente Primero de la Sociedad Cubana de Geología

"Las Geociencias al servicio de la Sociedad y el Desarrollo"

Convención Internacional de Ciencias Técnicas

El Comité Organizador de la Segunda Convención de Ciencias Técnicas otorga:
The Organizing Comittee of the Second International Convention on Technical Sciences grants:

CERTIFICADO

CERTIFICATE

A/To:

D. CANDEBAT SÁNCHEZ / G. GODÍNEZ MELGARES

Por haber participado en calidad de:

___Participante ___Invitado X Ponente

En modalidad de:

___Póster ___Tema Libre ___Conferencia

Título de la ponencia:

EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE PUENTES DE HORMIGÓN. PROPUESTA METODOLÓGICA

Dra.C./PhD. Martha del Carmen Mesa Valenciano
Presidenta del Comité Organizador. Rectora de la Universidad de Oriente
President of the Organizing Committee. Rector of Universidad de Oriente

Santiago de Cuba
21 al 24 de junio del 2016
June 21st to 24th, 2016

El Colegio de Ingenieros Civiles (COICI)
de la Sociedad Panameña de Ingenieros y Arquitectos
(SPIA)

Confiere este Certificado a:

Dario Candebat

Por haber participado en:

XXXV Convención Panamericana de Ingeniería
XIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil

Duración 40.0 horas

Dado en el Hotel Westin Playa Bonita del 24 al 28 de Octubre de 2016
Ciudad de Panamá, Rep. de Panamá|

Ing. José A. Tuñón M.
Presidente SPIA

Ing. Rolando Lay
Director COICI

Santiago de Cuba, 11 de Octubre de 2017
"Año 59 de la Revolución"

AVAL

Titulo: "Procedimiento de análisis del riesgo para la rehabilitación estructural sismorresistente de puentes de hormigón, de vigas, de carreteras."

Autor: MSc. Ing. Darío Candebat Sánchez

El resultado "Procedimiento de análisis del riesgo para la rehabilitación estructural sismorresistente de puentes de hormigón, de vigas, de carreteras." obtenido por el MSc. Ing. Dario Candebat Sánchez establece un procedimiento novedoso para la rehabilitación sísmica de puentes de vigas que han sido comúnmente usados en el país, constituyéndose en herramienta de consulta básica para nuestros ingenieros que aborden la temática.

Sirve como una guía de trabajo para la evaluación de puentes prefabricados, permite referenciar el alcance de las reparaciones totales o parciales de los puentes y diferenciar la actividad de reparación del comportamiento como estructura ante la acción de un evento sísmico de alta intensidad.

Los estudios realizados a estas estructuras en nuestro país, han demostrado la gran vulnerabilidad que presentan y el peligro que implica un fallo de los mismos ante un evento sísmico como el esperado en la región sur oriental, además de las implicaciones que generarían a las comunicaciones terrestres postsismo, de ahí la importancia de asumir rehabilitaciones sismoresistentes de los puentes existentes en zonas de alto riesgo sísmico.

Fraternalmente:

EMPRESA DE PROYECTOS No. 15
MICONS SANTIAGO DE CUBA
EMPROY 15
DIRECCIÓN GENERAL

MSc. Ing. Camilo Velar Gutiérrez.
Especialista A de Proyecto e Ing.
EMPROY 15
Presidente Soc. Ing. Civil. UNAICC Santiago

Ing. María Teresa Rodes Dager
Especialista Principal Ingeniería
EMPROY 15

Aval

Sobre el resultado: Procedimiento de análisis del riesgo para la rehabilitación estructural sismorresistente de puentes e hormigón, de vigas, de carreteras.

Autor principal: MsC. Ing. Darío Candebat Sánchez.

Institución: Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas.

El resultado presentado se sustenta en un estudio teórico acerca del comportamiento ante sismos fuertes de los puentes de hormigón armado, así como de los conocimientos más actuales en relación a su diseño y rehabilitación estructural sismorresistente. Es un resultado científico novedoso cuyos aportes contribuyen al desarrollo de la ciencia no solo en Cuba, sino en países que sufren las acciones de terremotos fuertes y cuyos puentes han sido dañados por estos fenómenos naturales.

La herramienta elaborada ha sido aplicada en la evaluación de puentes ubicados en la Autopista Nacional de Santiago de Cuba, obteniéndose resultados que permiten gestionar adecuadamente el riesgo a partir de aspectos técnicos pero con énfasis en los elementos sociales, económicos y medioambientales que, como demuestra su autor, garantizan una rehabilitación estructural sismorresistente sostenible.

Asimismo, el método establecido para el escalado de terremotos fuertes ha sido empleado en investigaciones realizadas por estudiantes de la Facultad de Construcciones confirmando su efectividad.

El resultado presentado ha sustentado la ejecución de varias tesis de pregrado, una tesis de Maestría y la tesis doctoral de su autor principal e igualmente ha sido socializado en publicaciones en revistas de impacto y numerosos eventos nacionales e internacionales.

En relación a la docencia el resultado actualiza los conocimientos de la asignatura principal de Diseño de puentes y alcantarillas y de la asignatura de Conservación de puentes en zonas sísmicas que se imparte en la Maestría de Ingeniería Civil en Zonas Sísmicas, del cual se desempeña como profesor a

tiempo parcial, impartiendo con calidad asignaturas del curriculum base y del optativo y lectivo en la carrera de Ingeniería Civil.

Se destaca además que el principal resultado de este trabajo tributa directamente a la actualización del código de diseño sismorresistente de estructuras en Cuba (NC 46: 1999) favoreciendo la consideración tanto del diseño por desempeño de puentes de hormigón como a la rehabilitación por desempeño de estas estructuras, pues establece los lineamientos en función de la nueva microzonificación sísmica incluida en la propuesta de código NC 46 (2017) y de su importancia.

El profesor ha participado en investigaciones en vínculo con la Universidad que han recibido Premio de la Academia de Ciencias de Cuba y además investigaciones relacionadas con su doctorado han tenido participación con los grupos científico estudiantil de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil y de Arquitectura

Decano Facultad de Construcciones

MSc. Tania Veranes Fernández
Decana Facultad de Construcciones
Universidad de Oriente

Dra. C. Ing. Zenaida Paulette Frómeta Salas
Jefa del Departamento de Ingeniería Civil
Universidad de Oriente

Universidad de Oriente, Sede Julio Antonio Mella. Avenida Las Américas y Calle L s/n, Reparto Ampliación de Terrazas, C.P. 90400, Santiago de Cuba, CUBA. Tel: 53-22- 642908 – 601255 – 601256 - FAX: 53 - 22 632689. Email: decanofco@consejo.uo.edu.cu url: http://www.fco.uo.edu.cu

PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA DOMINICANA
Consejo Nacional de Prevención, Mitigación y Respuesta ante Desastres
Oficina Nacional de Evaluación Sísmica y Vulnerabilidad de Infraestructura y Edificaciones
ONESVIE

12 de septiembre del 2017

AVAL

A quien corresponda:

Por este medio quiero hacer constar que el resultado referido al "Procedimiento de análisis del riesgo para la rehabilitación estructural sismorresistente de puentes de hormigón, de vigas, de carreteras", presentado por el MsC. Ing. Dario Candebat Sánchez, constituye una herramienta que cuenta con el rigor técnico y la profundidad de análisis necesarios para lograr resultados científico- técnicos más precisos y concretos en la temática de rehabilitación de los puentes, por lo que considero que la misma es un aporte de gran interés en la mitigación del riesgo sísmico.

Las etapas que componen el procedimiento elaborado contribuyen al ahorro de tiempo, recursos financieros y al cuidado del medio ambiente, teniendo en cuenta que el colapso de un puente constituye un desastre de magnitudes considerables que pone en peligro el auxilio a las comunidades afectadas por terremotos.

El procedimiento involucra las etapas necesarias para garantizar una rehabilitación eficiente y eficaz permitiendo al especialista priorizar las estructuras más críticas a partir de aspectos no solo técnicos, sino también sociales, económicos y medioambientales, por lo que se corresponde con las políticas actuales en relación con la mitigación del riesgo sísmico a nivel global.

De gran importancia también es el método empleado para obtener señales de terremotos fuertes, ya que resuelve uno de los aspectos más críticos que se manifiesta en las zonas con ausencia de catálogos de sismos fuertes al momento de realizar estudios detallados, imprescindibles para caracterizar el comportamiento de estas estructuras. Es interés, como parte de la colaboración la generalización de este procedimiento en la evaluación de puentes en países del Caribe.

Atentamente

Ing. Pedro Iván Márquez Mercerón
Encargado Departamento de Ingeniería

OFICINA NACIONAL DE EVALUACIÓN SÍSMICA Y VULNERABILIDAD DE INFRAESTRUCTURA Y EDIFICACIONES
ONESVIE
DPTO. INGENIERIA

República de Cuba
Ministerio del Transporte
Centro Provincial de Vialidad

Carretera del Caney, entre 15 y 17 Reparto Vista Alegre
Municipio Santiago de Cuba

Email: cpvsc@scu.transnet.cu
Teléfonos: 642326 - 643505

AVAL

La metodología elaborada para la evaluación preliminar de la vulnerabilidad sísmica estructural de puentes de carreteras, de vigas, de hormigón, constituye un aporte significativo para la mitigación del riesgo sísmico en la República de Cuba. Esta herramienta permite determinar, a partir de inspecciones técnicas y mediciones instrumentales, el probable comportamiento que pueden manifestar estas estructuras ante acciones sísmicas.

Uno de los aportes más importante de esta metodología es la consideración, en sus parámetros de evaluación, de las características de los materiales cubanos, las condiciones del sitio de ubicación de las estructuras y el control del período natural de vibración, obtenido experimentalmente, como indicador del comportamiento global, permitiendo obtener resultados fiables y ajustados a las condiciones cubanas.

Desde el año 2012 a la fecha, la metodología ha sido aplicada en la evaluación de numerosos puentes ubicados en las carreteras de interés nacional de Santiago de Cuba, entre ellas:

- Autopista Nacional.
- Circunvalación Santiago.
- Santiago – Siboney.
- Carretera Granma.
- Santiago – Guantánamo.
- Palma – San Luis – Dos Caminos – Boniato.
- Palma - Barajagua

Su aplicación permite priorizar las estructuras que por sus condiciones deben ser intervenidas, así como proponer medidas dirigidas a mejorar su seguridad estructural, permitiendo además la ejecución de otros análisis de mayor profundidad. Hay que mencionar que posee además un elevado rigor científico, pues para su obtención se realizaron consultas con expertos de universidades, centros de investigación y entidades de proyectos de Cuba y otros países de gran experiencia en la ingeniería sísmica.

Ing. Javier González Brugal.
Vice-Director del CPV Stgo.

REPUBLICA DE CUBA
CENTRO NACIONAL DE VIALIDAD
INVERSIONISTA
MINISTERIO DEL TRANSPORTE

CUJAE
CECAT

Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", Calle:114 #11901 %119 y 127 CUJAE, Marianao, Ciudad Habana, Apartado Postal 19390,
☎(537) 7-266 3836
Email: llanes@civil.cujae.edu.cu

DIRECTOR de PREMIDES

Cujae, La Habana, 20 de octubre de 2017

Aval

El resultado referido al Procedimiento de análisis del riesgo para la rehabilitación estructural sismorresistente de puentes de hormigón, de vigas, de carreteras, presentado por el MsC. Ing. Dario Candebat Sánchez contribuye a la reducción de desastres en Cuba ya que brinda una herramienta que permite, a partir de un análisis teórico científicamente fundamentado, adoptar medidas para la rehabilitación de estas estructuras.

Los aportes científicos del resultado están relacionados con dos elementos fundamentales: la definición de parámetros no utilizados usualmente para la evaluación preliminar de la vulnerabilidad sísmica estructural de puentes de hormigón de vigas, de carreteras, particularizando el uso del periodo de vibración fundamental como indicador del comportamiento global de la estructura y la concepción teórica para la obtención de acelerogramas que representen el movimiento fuerte del terreno a partir de terremotos débiles y moderados, con el empleo de las curvas de Gusev para el escalado.

El primero de estos aportes propicia la evaluación del comportamiento estructural de los puentes y garantiza la priorización para la rehabilitación de las estructuras con mayor vulnerabilidad. El segundo permite obtener, en países sin catálogos de terremotos fuertes, señales necesarias para realizar los complejos análisis que se requieren.

Los resultados obtenidos en la investigación tributan además a la actualización de la norma cubana de Construcciones sismorresistentes — Requisitos básicos para el diseño y construcción (NC 46, 1999) en relación con:

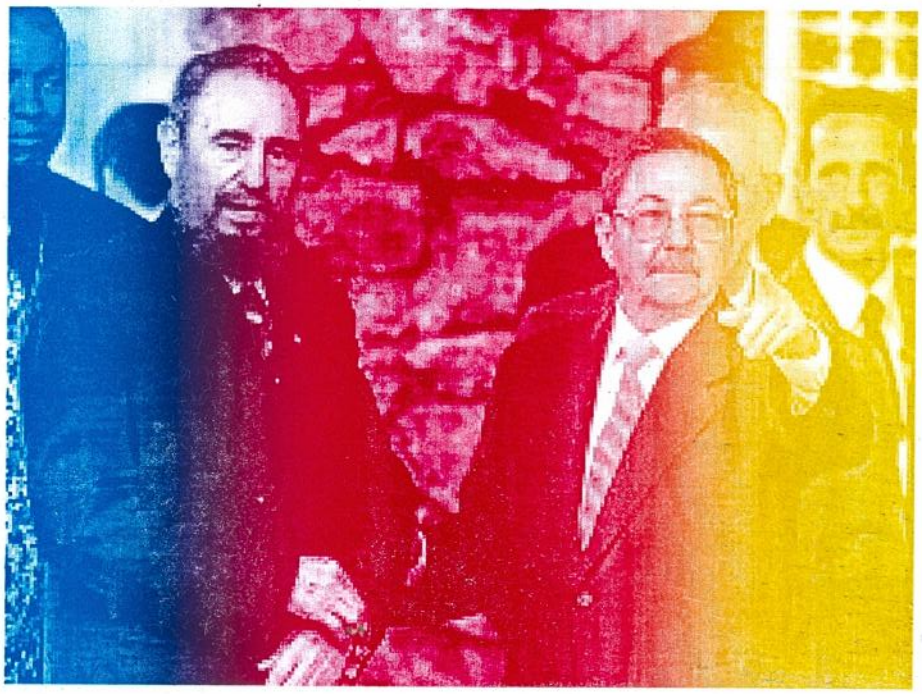
- Filosofía de diseño y rehabilitación de puentes por desempeño.
- Clasificación de la importancia de los puentes en función de parámetros técnicos, sociales, económicos, medioambientales e históricos.
- Consideración del suelo en la incidencia de la seguridad sísmica estructural.
- Determinación del periodo fundamental de vibración.
- Determinación de la vulnerabilidad sísmica estructural.
- Análisis estáticos y dinámicos no lineales.

Este trabajo de investigación estableció pautas para asignarle al Dr. Candebat, un nuevo proyecto por el MICONS con el Comité Nacional para el Cálculo de Estructuras de Hormigón (CONCEH) para la elaboración del capítulo 11 Puentes de la futura versión de la NC 46.

Prof. Dr. Ing. Carlos Llanes Burón
Director del PREMIDES
Presidente del Subcomité de Sismo del CTN 38 CONCEH

2012 FORUM

Ponencia Relevante



Autor: DARÍO CANDEBAT SÁNCHEZ

Título: METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA VSE.

Dado en Santiago de Cuba, a los 19 *del mes de* DICIEMBRE *del 2012.*
Año 54 de la Revolución"

FORUM PODER POPULAR

Dirección Provincial del Forum

2012
RUM

Reconocimiento

Hemos unido a todos los talentos, a todos los científicos, a todos los investigadores, a todos los técnicos, a todos los ingenieros, a todos los que tienen creatividad.

A: Dario Candebat Sánchez

Trabajo Destacado en el año 2012

Dado en Santiago de Cuba, a los 14días del mes de Diciembre del 2012.

Año 54 de la Revolución"

PODER POPULAR PROVINCIAL
Consejo de la Administración
Santiago de Cuba
VICEPRESIDENTE C. A. P.

Forum Provincial

CENAIS

FORUM CIENCIA Y TÉCNICA

se otorga

CERTIFICADO DE DESTACADO

A: Darío Candelat Sánchez

Por contribuir con su trabajo Expresiones prácticas para evaluar la rigidez de puentes prefabricados de hormigón a partir de métodos experimentales

al avance de la Ciencia y la Tecnica en el Centro.

Dado el 18 de Julio del 2013
Año 55 de la revolución.

Director del Cenais

Secretario de la S.Sindical

CENAIS

FORUM CIENCIA Y TÉCNICA

se otorga

CERTIFICADO DE RELEVANTE

A: Dario Candebat Sánchez

Por contribuir con su trabajo Procesamiento para los análisis estáticos de puentes prefabricados de hormigón

al avance de la Ciencia y la Tecnica en el Centro.

Dado el 18 de Julio del 2013
Año 55 de la revolución.

Director del Cenais

Secretario de la S.Sindical

CENAIS FORUM CIENCIA Y TÉCNICA

Se otorga

CERTIFICADO DE DESTACADO

A: MsC. Darío Candebat Sánchez

Por contribuir con su investigación al avance de la Ciencia y la Técnica en el Centro con el trabajo Procedimiento para la rehabilitación de puentes.

"Podrán morir las personas, pero jamás sus ideas."
Che

Dado en Santiago de Cuba, a los 10 días del mes de Julio del 2014.
"Año 56 de la Revolución"

Director CENAIS

Secretario de la S.Sindical

LA ACADEMIA DE CIENCIAS DE CUBA

Reconoce públicamente la elección como

PREMIO NACIONAL

al resultado de la investigación científica

Gestión del Riesgo ante Desastres Naturales de las Obras Estructurales y Viales de la Provincia de Santiago de Cuba

Autor principal: Eduardo Rafael Álvarez Deulofeu

Otros autores: Zenaida Paulette Frómeta Salas, Ingrid Noelia Vidaud Quintana, Guillermo Godínez Melgares, Francisco Calderín Mestre, Eduardo Beira Fontaine, Milene Soto Suárez, Coralina Vaz Suárez, José María Ruiz Ruiz, Mayra Mónica González Fernández, Alejandro Fajardo Segarra, Aurora Duharte Rodríguez, Rita Delia Safonts González, Rute Dalva Nema de Almeida, Estrella Roca Fernández, Darío Candebat Sánchez, Rómulo Bertot Pérez, Tania Aradas Herrera, Fidel Alejandro Lora Alonso, Ibia Vega Cuza, Liber Galbán Rodríguez, Roberto Maurelo Pérez, Julio A. Larrea Ramírez, José Raúl Villalón Tamayo

Colaboradores: 15

Entidad ejecutora principal: Facultad de Construcciones. Universidad de Oriente (UO)

Ismael Clark Arxer

Presidente

La Habana, 20 de marzo de 2015

El Pleno de la Academia de Ciencias de Cuba

en uso de las atribuciones que le confiere el Decreto-Ley 163 de 1986, y con el propósito de reconocer los resultados de las investigaciones que se destaquen en el país, adoptó el siguiente

ACUERDO

PRIMERO: Conceder uno de sus Premios Anuales del año 2014, al resultado de la investigación científica denominado:

Gestión del Riesgo ante Desastres Naturales de las Obras Estructurales y Viales de la Provincia de Santiago de Cuba

de la entidad ejecutora principal: Facultad de Construcciones. Universidad de Oriente (UO)

SEGUNDO: a todos los efectos de autoría del resultado premiado y acorde a la propuesta recibida, reconocer a las personas que se relacionan:

Autor principal: Eduardo Rafael Álvarez Deulofeu

Otros autores: Zenaida Paulette Frómeta Salas, Ingrid Noelia Vidaud Quintana, Guillermo Godínez Melgares, Francisco Calderín Mestre, Eduardo Beira Fontaine, Milene Soto Suárez, Coralina Vaz Suárez, José María Ruiz Ruiz, Mayra Mónica González Fernández, Alejandro Fajardo Segarra, Aurora Duharte Rodríguez, Rita Delia Safonts González, Rute Dalva Nema de Almeida, Estrella Roca Fernández, Darío Candebat Sánchez, Rómulo Bertot Pérez, Tania Aradas Herrera, Fidel Alejandro Lora Alonso, Ibia Vega Cuza, Liber Galbán Rodríguez, Roberto Maurelo Pérez, Julio A. Larrea Ramírez, José Raúl Villalón Tamayo

Colaboradores: 15

TERCERO: Otorgar en acto público el correspondiente diploma que certifica lo anterior a las autoridades de las entidades donde fue obtenido el resultado premiado, a través de sus autores a quienes entregamos este acuerdo.

Y para que así conste se emite el presente con fecha 20 de marzo de 2015 "Año 57 de la Revolución".

Dr. Ismael Clark Arxer
Presidente

La Academia de Ciencias de Cuba otorga el presente

Diploma

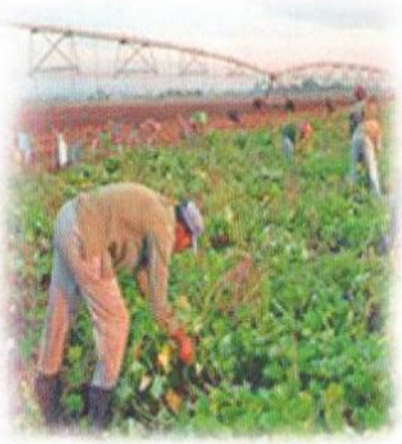
en reconocimiento al resultado de la investigación científica

Gestión del Riesgo ante Desastres Naturales de las Obras Estructurales y Viales de la Provincia de Santiago de Cuba

Entidad ejecutora principal: Facultad de Construcciones.
Universidad de Oriente (UO)

Dado en La Habana, el 20 de marzo de 2015
"Año 57 de la Revolución"

Dr. Ismael Clark Arxer
Presidente



CITMA

MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

PREMIO ESPECIAL

por su INTEGRACIÓN

Al Resultado

"Gestión del Riesgo ante Desastres Naturales de las Obras Estructurales y Viales de la Provincia de Santiago de Cuba".

Autor : **Eduardo Rafael Álvarez Deulofeu**

Entidad Ejecutora Principal: **Departamento de Ingeniería Civil. Facultad de Construcciones. Universidad de Oriente.**

Dado en La Habana, a los 20 días del mes de marzo de 2015.
"Año 57 de la Revolución"

MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE

MINISTRA

Elba Rosa Pérez Montoya
Ministra

Publicaciones científicas

6) Publicaciones

Las publicaciones científicas en revistas indexadas en bases de datos reconocidas (Web of Science, Scopus, Scielo y Redalyc) relacionadas con el resultado, en los últimos 5 años se relacionan a continuación:

Scielo

1. Candebat, D., Godínez, G. y Caballero, L.F. (2012). Métodos experimentales para la estimación de la vulnerabilidad sísmica de puentes prefabricados de hormigón: "Puente Arroyito". *Revista de la Facultad de Ingeniería UCV*, *27(2)*, 52-66. (Incluida en el premio del 2014)
2. Candebat, D., Godínez, G. y Caballero, F. (2016). Influencia del suelo en el diseño sismorresistente de puentes en cuba. *Revista Cubana de Ingeniería. 7(3),* 25-34. Recuperado de http://rci.cujae.edu.cu

Redalyc

3. Candebat, D., Godínez, G. y Artimes, A. (2012). Caracterización dinámica instrumental de puentes prefabricados de hormigón de carreteras en zonas sísmicas*. Revista Ciencia en su PC, 4,* 1-12. Recuperado de http://cienciapc.idict.cu. (Incluida en el premio del 2014)
4. Candebat, D. y Godínez, G (2013). Retos del diseño sísmico de puentes de hormigón en Cuba. *Revista Ciencia en su PC, 4*, 24-41. Recuperado de http://cienciapc.idict.cu. (Incluida en el premio del 2014)
5. Candebat, D. (2016). Algunas reflexiones acerca de la rehabilitación estructural sismorresistente de puentes. *Revista Ciencia en su PC, 3,* 22-41. Recuperado de http://cienciapc.idict.cu
6. Ochoa, E. Candebat, D y Vázquez Y. (2017). Obtención de un modelo de cargas vivas a partir de las acciones reales de los vehículos sobre el puente sobre el río Mayarí, Holguín. *Revista certificada Ciencia en su PC*, *1*, 1-14.Recuperado de http://cienciapc.idict.cu

Scopus

7. **Candebat, D** y Godínez, G. (2017). Metodología para la evaluación preliminar de la vulnerabilidad sísmica estructural de puentes de hormigón armado. Aceptada en: *Revista Informes de la Construcción*.informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN
REVISTA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

EdIT-21-2012-34

Caracas, 15 de octubre de 2012

Ciudadano
Profesor Darío Candebat Sánchez
Facultad de Construcciones
Universidad de Oriente
Santiago de Cuba. Cuba

Estimado Profesor Candebat:

Por medio de la presente se le informa que el artículo: **"MÉTODOS EXPERIMENTALES PARA LA ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE PUENTES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN: "PUENTE ARROYITO"** *del cual es autor, ha sido aceptado para su publicación en de la Revista de la Facultad de Ingeniería UCV.*

Agradeciéndole haber tomado en consideración nuestra Revista para publicar sus trabajos, le saluda.

Atentamente,

Prof. REBECA SANCHEZ
Editor Jefe, Revista de la
Facultad de Ingeniería, UCV

Revista de la Facultad de Ingeniería
Coordinación de Investigación
Facultad de Ingeniería, UCV.
Edificio de Física, 1er. piso, Caracas, 47885Teléfono: 6051645

MÉTODOS EXPERIMENTALES PARA LA ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE PUENTES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN: "PUENTE ARROYITO"

DARÍO CANDEBAT SÁNCHEZ [(1)], GUILLERMO GODÍNEZ MELGARES [(2)], LUÍS FELIPE CABALLERO CORNIER [(1)]
[(1)] Centro Nacional de Investigaciones sismológicas. dario@cenais.cu, felipe@cenais.cu
[(2)] Universidad de Oriente. Facultad de Construcciones. godinez@fco.uo.edu.cu

Recibido: agosto 2011 Recibido en forma final revisado: abril 2012

RESUMEN

En la actualidad los estudios de vulnerabilidad sísmica constituyen una herramienta imprescindible de la gestión integral del riesgo sísmico, pues propician la toma de decisiones oportunas que permiten mitigar la ocurrencia de desastres. En este trabajo se muestra la estimación de la vulnerabilidad sísmica del puente prefabricado de hormigón sobre el río Arroyito, ubicado en la Autopista Nacional de Santiago de Cuba, zona de alto peligro sísmico, a partir de las características de la tipología constructiva utilizada en su diseño y aplicando una metodología para la evaluación preliminar de su desempeño apoyada en mediciones instrumentales que permitieron determinar sus características dinámicas (período natural de vibración), comparando los resultados obtenidos con los valores calculados a partir de las ecuaciones correspondientes a la tipología; también se aplicó el método geofísico de la resistividad eléctrica con el cual se obtuvieron perfiles litológicos que permitieron valorar la heterogeneidad del suelo de emplazamiento. Finalmente se muestran los resultados obtenidos del análisis de la vulnerabilidad sísmica estructural en función de la rigidez de la estructura de acuerdo a los períodos instrumentales de vibración que manifiesta y de las características de su superestructura y subestructura, valorando los factores que incrementan la probabilidad de daños ante sismos significativos.

Palabras clave: Peligro sísmico, Puente, Vulnerabilidad sísmica, Período, Rigidez, Suelo.

EXPERIMENTAL METHODS FOR SEISMIC VULNERABILITY ASSESMENT OF PRECAST CONCRETE BRIDGES: "ARROYITO BRIDGE."

ABSTRACT

Currently seismic vulnerability studies are essential for integrated management of seismic risk, supporting making decision in order to mitigate disasters. This paper shows the estimation of the seismic vulnerability of precast concrete bridge Arroyito, located on National Highway in Santiago de Cuba, an area of high seismic hazard, based on its characteristics of design and applying a methodology for preliminary assessment of performance, supported by instrumental measurements for determining the dynamic characteristics (natural vibration period), comparing the results obtained with typical values of similar structures; besides the geophysical method of electrical resistivity was applied, with which lithological profiles were obtained, supporting the results of the seismic evaluation. Finally, the results of structural seismic vulnerability analysis in terms of the rigidity of the structure according to its instrumental periods of vibration and features of its superstructure and substructure, assessing the factors that increase the likelihood of damage face significant earthquakes are presented.

Keyswords: Seismic hazard, Bridge, Seismic vulnerability, Period, Rigidity, Ground.

CERTIFICADO DE PUBLICACIÓN

La revista electrónica **Ciencia en su PC**, editada por MEGACEN, Centro de Información y Gestión Tecnológica de la Delegación Provincial del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente de Santiago de Cuba, con ISSN 1027-2887, indizada en REDALYC Y LATINDEX, registrada en EBSCO y certificada como revista científico-tecnológica, código 0536307 por el CITMA.

Ha publicado en el número 4 del año 2012 el artículo titulado:

Caracterización dinámica instrumental de puentes prefabricados de hormigón de carreteras en zonas sísmicas

De los autores:

Darío Candebat Sánchez
Guillermo Fodine Melgares
Alexis Arlines Acuña

Dado en Santiago de Cuba a los 6 días del mes diciembre de 2012

Lic. Soe del Carmen Márquez Montoya
Directora Revista Electrónica **Ciencia en su PC**
Directora MEGACEN

MEGACEN
CIGET Santiago de Cuba
IDICT
DIRECCION

Carnicería #459 e/ Enramadas y San Gerónimo. Santiago de Cuba, CP 90100.
Teléfonos: (53 22) 628291 627402, 651308, Fax: (53 22) 627070, Email: cpc@megacen.ciges.inf.cu

CARACTERIZACIÓN DINÁMICA INSTRUMENTAL DE PUENTES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN DE CARRETERAS EN ZONAS SÍSMICAS

INSTRUMENTAL DYNAMIC CHARACTERIZATION OF PREFABRICATED CONCRETE ROAD BRIDGES IN SEISMIC ZONES

Autores:

Darío Candebat-Sánchez, dario@cenais.cu[1].

Guillermo Godínez-Melgares, godínez@fco.uo.edu.cu. Teléfono: 642908. Facultad de Construcciones. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba.

Alexeis Artimes-Numa, alexeis@cenais.cu[1].

[1]Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAIS). Teléfonos: 642583, 641607, 641613. Santiago de Cuba. Cuba.

RESUMEN

En este trabajo se proponen expresiones para determinar el período fundamental de vibración de puentes de carretera prefabricados de hormigón, que están ubicados en zonas de alta peligrosidad sísmica de Cuba. Este parámetro permite caracterizar la rigidez, obtenida mediante mediciones instrumentales, a partir de considerar como fuente de excitación las vibraciones ambientales. Para el análisis se seleccionó una muestra de las estructuras ubicadas en las carreteras de interés nacional de Santiago de Cuba. Los resultados mostrados permiten un análisis más específico de la vulnerabilidad sísmica de estas tipologías, ampliamente utilizadas en todo el territorio nacional.

***Palabras clave**: período, rigidez, puentes, vulnerabilidad sísmica.*

ABSTRACT

This paper proposes some expressions to determine the fundamental period of vibration of prefabricated concrete road bridges located in areas of high seismic hazard in Cuba. This parameter allows a characterization of stiffness, obtained from instrumental measurements, by considering ambient vibrations as excitation sources. For this analysis, a sample of structures located on the roads of national interest in Santiago de Cuba was selected. The results shown allow a more specific analysis of the seismic vulnerability of these typologies, widely used throughout the country.

***Key words**: Period, stiffness, bridges, seismic vulnerability.*

RETOS DEL DISEÑO SÍSMICO DE PUENTES DE HORMIGÓN EN CUBA

CHALLENGES ON SEISMIC DESIGNS OF CONCRETE BRIDGES IN CUBA

Autores:

Darío Candebat-Sánchez, dario@cenais.cu. Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. Teléfonos: 642583, 641607, 641613. Santiago de Cuba, Cuba.

Guillermo Godínez-Melgares, godinez@fco.uo.edu.cu. Universidad de Oriente.Teléfono 642908. Santiago de Cuba, Cuba.

RESUMEN

Aún cuando varios autores han caracterizado los daños sufridos por los puentes de hormigón en zonas azotadas por eventos símicos fuertes, se ha demostrado la incidencia de criterios de diseño obsoletos en el mal comportamiento de estas estructuras. En este trabajo se muestran algunas consideraciones que se deben tener en cuenta en la concepción y diseño de puentes de hormigón en Cuba, a partir de un análisis de lo que actualmente establece el código de diseño d e estructuras sismorresistentes, con énfasis en las estructuras isostáticas, sistema estructural que caracteriza a la mayoría de las obras de fábricas mayores ubicadas en las carreteras de interés nacional de las zonas de mayor peligrosidad sísmica del país.

***Palabras clave**: puentes de hormigón, criterios obsoletos, comportamiento, isostáticas, sismos.*

ABSTRACT

The influence of obsolete criteria on the design of concrete bridges has been proven, although some authors have also characterized the damage to these structures in areas stricken by strong seismic events. This paper shows some consideration to be taken into account in the conception and design of concrete bridges in Cuba, resulting from the analysis of the Code of Design for Earthquakes Resistant Structures, emphasizing on isostatic structures, a system that characterizes most bridges placed in roads of national interest and dangerous seismic zones of the country.

***Key words**: concrete bridges, obsolete criteria, isostatic structure, earthquakes.*

CERTIFICADO DE PUBLICACIÓN

La revista electrónica **Ciencia en su PC**, editada por MEGACEN, Centro de Información y Gestión Tecnológica de la Delegación Provincial del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente de Santiago de Cuba, con ISSN 1027-2887, indizada en REDALYC, DOAJ y LATINDEX-catálogo, registrada en EBSCO y certificada como revista científico-tecnológica, código 0536307, por el CITMA.

Ha publicado en el número 1 del año 2014 el artículo titulado:

Polígono de la ciudad de Santiago de Cuba para evaluar daños por terremoto

De los autores:

Yelena Berenguer Heredia
Erisel Morejón Blanco
Kenia Zegra Chang
Darío Landabat Sánchez
Ibia Vega Leza
Ricardo Oliva Alvarez

Dado en Santiago de Cuba a los 22 días del mes abril de 2014

MSc. Manuela Arias Miguel, editora de Ciencia en su PC

MEGACEN CICIET Santiago de Cuba IDICT DIRECCIÓN

Carnicería #459 e/ Enramadas y San Gerónimo. Santiago de Cuba, CP 90100.
Teléfonos: (53 22) 628291,627402, 651308. Fax: (53 22) 627070. Email: cpc@megacen.ciges.inf.cu

POLÍGONO DE LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CUBA PARA EVALUAR DAÑOS POR TERREMOTOS

POLYGON OF SANTIAGO DE CUBA CITY TO ASSESS EARTHQUAKE DAMAGES

Autores:

Yelena Berenguer-Heredia, yelena@cenais.ciges.inf.cu. Teléfonos: 642583, 641613, 641607.[1]

Grisel Morejón-Blanco, grisel@cenais.cu.[1]

Kenia Leyva-Chang, kenia@cenais.cu.[1]

Darío Candebat-Sánchez, dario@cenais.cu.[1]

Ibia Vega-Cuza, ibia@cenais.cu.[1]

Ricardo Oliva-Álvarez, oliva@cenais.cu. [1]

[1]Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas . Santiago de Cuba, Cuba.

RESUMEN

Se presenta una herramienta para realizar una estimación rápida de posibles daños en las edificaciones erigidas con las tipologías estructurales representativas de la ciudad de Santiago de Cuba y en los principales puentes, en caso de terremotos moderados o fuertes. A partir de inspecciones técnicas se confecciona un expediente de cada estructura seleccionada con datos de partida válidos para la estimación de daños producidos por terremotos en la ciudad, lo que podría generalizarse a otras ciudades de importancia en la región oriental del país. Se obtienen para cada evento sísmico significativo los daños en las tipologías estructurales representativas de la ciudad y en los principales puentes, lo que contribuye al perfeccionamiento de los planes de reducción de desastres y la atención en la emergencia.

***Palabras clave**: intensidad sísmica, polígono de ingeniería*

ABSTRACT

A tool is presented for a rapid estimation of possible damages to buildings erected following the representative structural typologies of Santiago de Cuba city, as well as in major bridges before moderate or strong earthquakes. Starting from technical inspection, file for each selected structure was made. It included valid data base for estimating earthquake damages in the city. Such study could be generalized to other major cities in the eastern region of Cuba. Damages in the representative structural typologies of the city and major bridges are obtained for each significant seismic event. This helps to improve the disaster reduction plans and the emergency care.

***Key words**: Seismic intensity, engineering polygon.*

ALGUNAS REFLEXIONES ACERCA DE LA REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL SISMORRESISTENTE DE PUENTES

SOME REFLECTIONS ABOUT THE STRUCTURAL SEISMIC BRIDGES RETROFIT

Autor:

Darío Candebat-Sánchez, dario@cenais.cu. Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (Cenais). Teléfonos: 641112. Santiago de Cuba, Cuba.

RESUMEN

Los puentes han sido afectados considerablemente por sismos fuertes ocurridos en diversas partes del mundo. Muchas de estas estructuras han tenido que ser rehabilitadas con el objetivo de mejorar su comportamiento ante acciones sísmicas. En este trabajo se presenta un análisis teórico de los aspectos que inciden directamente en la rehabilitación estructural sismorresistente de puentes. Se definen los parámetros que deben ser tenidos en cuenta para seleccionar y priorizar las estructuras que se van a rehabilitar, evaluar la vulnerabilidad sísmica estructural y seleccionar las estrategias de rehabilitación más adecuadas. En el análisis se parte de valorar la contribución realizada por diferentes autores y regulaciones internacionales, con el objetivo de sustentar teóricamente un procedimiento para la rehabilitación estructural sismorresistente en Cuba.
***Palabras clave**: puentes, vulnerabilidad, procedimiento, rehabilitación, sismorresistente.*

ABSTRACT

Bridges have been damaged by strong earthquakes in different parts over the world. Many structures have been retrofitted in order to improve its seismic behavior. A theoretical analysis of the aspects directly related with seismic retrofit of bridges is presented. Parameters useful for preliminary assessment and prioritizing the structures to be retrofitted, for assessing its seismic vulnerability and for selecting retrofit strategies are defined. This analysis is based in scientific contributions of different international authors and regulations and the main objective is to support theoretically a Cuban procedure for seismic retrofit of bridges.
***Key words**: bridges, vulnerability, procedure, rehabilitation, seismic.*

ciencia en su PC
REVISTA ESPECIALIZADA EN ESTUDIOS AMBIENTALES

MEGACEN
IDICT
INSTITUTO DE INFORMACION CIENTIFICA Y TECNOLOGICA

CERTIFICADO DE PUBLICACIÓN

La revista electrónica **Ciencia en su PC**, editada por MEGACEN, Centro de Información y Gestión Tecnológica de la Delegación Provincial del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente de Santiago de Cuba, con ISSN 1027-2887, indizada en REDALYC, DOAJ y LATINDEX-catálogo, registrada en EBSCO y certificada como revista científico-tecnológica, código 0536307, por el CITMA; ha publicado en el número 3 del año 2016 el artículo titulado:

ALGUNAS REFLEXIONES ACERCA DE LA REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL SISMORRESISTENTE DE PUENTES

Del autor:

Darío Candebat-Sánchez

Dado en Santiago de Cuba a los 30 días del mes septiembre de 2016.

MSc. Manuela Arias Miguel, editora de Ciencia en su PC

MEGACEN
CIGET. Santiago de Cuba
IDICT
DIRECCION

Carnicería #459 e/ Enramadas y San Gerónimo. Santiago de Cuba, CP 90100.
Teléfonos: (53 22) 628291,627402, 651308. Fax: (53 22) 627070. Email: cpc@megacen.ciges.inf.cu

Revista CUBANA INGENIERÍA

La Habana, 1 de noviembre de 2016

A: Comisión de Grado Científico
Universidad Tecnológica de La Habana

Con un fraternal saludo nos ponemos en contacto con UDs, para comunicarle que el artículo titulado:

"Influencia del suelo en el diseño sismorresistente de puentes en cuba"

Presentado a la Revista Cubana de Ingeniería por **Darío Candebat Sánchez** como autor principal, ha sido aceptado para publicar en el tercer número del año 2016 de la publicación.

Le saluda muy cordialmente,

Dr. Willian Daniel Cobelo Cristiá
Director y Editor Científico
Revista Cubana de Ingeniería
http://rci.cujae.edu.cu
ISSN 2223-1781

Revista Cubana de Ingeniería provee acceso libre inmediato a su contenido como publicación electrónica en Internet y se encuentra referida en: *Directory of Open Access Journals (DOAJ), Public Knowledge Project,* Open Access Library (OAL), *Academic Journals Database,* Directory of Open Access scholarly Resources (ROAD), *PERIODICA, Latindex (Catálogo), e-revistas, BibLat, Journals for free, CubaIndustria, San José State University-EUA, UNITA-Ecuador, Universidad de Salamanca-España, Universidad Nacional de Cuyo-Argentina, Universidad de Regensburg- Alemania, Universidad de Alicante-España* y otras universidades y centros de investigación.

REVISTA CUBANA DE INGENIERÍA.
Calle 114 e/ 119 y 127, # 11901, Cujae, Marianao 15, La Habana. Cuba.
Teléfono (537) – 2663277
http://rci.cujae.edu.cu
Email: revistaingenieria@tesla.cujae.edu.cu

Vol. VII, No. 3, septiembre - diciembre, 2016, pp. 25 - 34

Ingeniería Civil

Influencia del suelo en el diseño sismorresistente de puentes en Cuba

Artículo Original

Darío Candebat Sánchez
correo electrónico: dario@cenais.cu
Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Santiago de Cuba, Cuba

Guillermo Godínez Melgares
Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba

Luis Felipe Caballero Cornier
correo electrónico: felipe@cenais.cu
Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Santiago de Cuba, Cuba

Zulima Caridad Rivera Álvarez
correo electrónico: zuli@cenais.cu
Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Santiago de Cuba, Cuba

Resumen
Las características ingeniero-geológicas del suelo inciden directamente en el comportamiento sísmico estructural de los puentes. Este trabajo muestra la importancia de profundizar en la determinación del coeficiente de sitio, parámetro que el código de construcciones sismorresistentes cubano establece para la consideración de la influencia del suelo en la respuesta estructural. La investigación se realiza a partir de la aplicación del método geofísico de sísmica de refracción y se toma como caso de estudio un puente ubicado en la carretera Granma de Santiago de Cuba, mostrándose las variaciones presentes en la litología del área, encontrándose suelos de malas características como arcillas arenosas y arenas saturadas. El análisis de estos cambios en la litología superficial demuestra la pertinencia de utilizar la ponderación de las características de cada estrato, mostrándose como incide el resultado en el espectro de respuesta elástica y por ende en el cálculo del cortante para el diseño sísmico.

Palabras claves: suelo, puentes, estructural, sísmico, litología

Recibido: 10 de junio del 2016 Aprobado: 23 de septiembre del 2016

INTRODUCCIÓN

Los puentes son obras de ingeniería que interactúan de manera determinante con el medio ambiente circundante. Un diseño satisfactorio garantiza su supervivencia y evita afectaciones de consideración a la ecología de su zona de emplazamiento.

La actividad sísmica de las últimas décadas ha puesto de manifiesto que los puentes son altamente vulnerables ante la ocurrencia de eventos sísmicos de gran magnitud, motivando a investigadores de todo el mundo a sistematizar el análisis de los problemas existentes y mejorar las normas para garantizar diseños más seguros.

Investigaciones realizadas han permitido identificar los daños que han mostrado estas obras de fábrica debido a la ocurrencia de sismos fuertes como los acontecidos en Los Ángeles, Estados Unidos, en 1994 y en Kobe, Japón, en 1995, lo que evidencia los puntos más vulnerables y los aspectos que son imprescindibles valorar en el diseño sísmico para garantizar un adecuado comportamiento. En relación con la influencia del suelo del área de emplazamiento de las estructuras, en [1] se expone que algunas de las afectaciones observadas fueron:

Amplificación de desplazamientos debido a efectos del suelo. Cuando los puentes son construidos en suelos suaves o licuables, el problema se agrava. Los suelos con estas características propician la amplificación de la acción sísmica, incrementando la probabilidad de pérdida de apoyo del tablero.

ciencia en su PC
REVISTA ESPECIALIZADA EN ESTUDIOS AMBIENTALES
MEGACEN
IDICT
INSTITUTO DE INFORMACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

CENTRO DE INFORMACIÓN Y GESTIÓN TECNOLÓGICA

Para:Universidad de Oriente

De:MSc. Manuela Arias Miguel, editora de la revista Ciencia en su PC del Centro de Información y Gestión Tecnológica (Megacen).

Por este medio informamos que los trabajos relacionados al final de este documento fueron presentados a nuestra revista para su posible publicación durante el año 2016. Después de hecho el arbitraje editorial y la revisión por pares en ese mismo año, fueron aprobados para su publicación en los números 4 de 2016 y 1 de 2017.Para que así conste, firman la presente comunicación,

Dr. C. Tania Medina Barrientos, directora de Ciencia en su PC

MEGACEN
CITGT Santiago de Cuba
IDICT
DIRECCIÓN

MSc. Manuela Arias Miguel, editora de Ciencia en su PC

Relación de trabajos:

No. 4(octubre-diciembre) 2016

1. Demián Herrero-Hechavarría, Liliana González-Díaz, Taimí Castaño-Cardoza y Zenaida Paulette Frómeta-Salas: Evaluación de la factibilidad técnico-económica de la producción de áridos reciclados mixtos en Santiago de Cuba.
2. Yuliet García-Gracial, José María Ruiz-Ruiz y Mayra Mónica González-Fernández: Rehabilitación estructural del hotel imperial, Santiago de Cuba.
3. Kyra Bueno Risco, Rita Delia Safonst González y Ernesto Mustelier Cuba: Visión sostenible en la conservación de carreteras: vial La Farola.

No. 1(enero-marzo) 2017

1. Marbelis Hernández-Salomón, Lourdes Magalis Rizo-Aguilera y Zenaida Paulette Frómeta-Salas: Recomendaciones de diseño para cubiertas ligeras en edificaciones del Centro Histórico de Santiago de Cuba con un enfoque medio ambiental.

2. James Nebarara, Zenaida Paulette Frómeta-Salas e Ingrid Noelia Vidaud-Quintana: Comportamiento mecánico de hormigones de alta resistencia con fibras en zonas de alta sismicidad.

3. Eddy Fernández-Ochoa, Darío Candebat-Sánchez y Yanet Vázquez Ballester: Obtención de un modelo de cargasvivas a partir de las acciones reales de los vehículos sobre el puentedel río Mayarí, Holguín.

4. Virginia Navarro-Alemán y Raúl Ernesto Pérez-Ochoa: Procedimiento para evaluar la vulnerabilidad física ante impactos de eventos naturales extremos en calles del Centro Histórico Urbano de Santiago de Cuba.

5. YamilaSocarrás-Cordoví e Ingrid Noelia Vidaud-Quintana: Evolución de la tecnología del prefabricado actual hasta la prefabricación contra pedido.

6. Yanosky Pérez-Díaz, Nuria Nápoles-Sayous y Liliana González-Díaz: Diseño de túneles hidráulicos en zonas sísmicas.

7. Yanet M.Urquiza-López,LiberGalbán-Rodriguez, Nuria Nápoles-Sayous y Tomás J. Chuy Rodríguez: El impacto de fenómenos geoambientales en cortinas de presas, de tierra,en Cuba.

8. Lien González del Pino-González, Zenaida Paulette Frómeta-Salas y Ingrid Noelia Vidaud-Quintana: Plan Estratégico para la gestión de los residuos de la Empresa de Prefabricado de Santiago de Cuba.

DICT

OBTENCIÓN DE UN MODELO DE CARGAS VIVAS A PARTIR DE ACCIONES REALES DE VEHÍCULOS SOBRE PUENTE DEL RÍO MAYARÍ, HOLGUÍN

NEW MODEL OF LIVE LOADS OBTAINED FROM THE REAL ACTIONS OF THE VEHICLES ON THE BRIDGE OVER MAYARÍ RIVER, HOLGUÍN

Autores:

Eddy Fernández-Ochoa, efochoa@uho.edu.cu[1]

Darío Candebat-Sánchez, dario@cenais.cu. Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (Cenais). Santiago de Cuba, Cuba.

Yanet Vázquez-Ballester, yvazquezb@uho.edu.cu [1]

[1]Universidad Oscar Lucero Moya. Holguín, Cuba.

RESUMEN

Los puentes son estructuras de gran importancia y sus fallos traen consigo grandes pérdidas económicas y también daños al medioambiente, tanto por el gran volumen de escombros generados, como por las afectaciones debido a las labores de reconstrucción. Parte de los deterioros de estas estructuras es consecuencia del aumento del peso vehicular o carga viva que circula sobre ellas. El objetivo del presente trabajo fue obtener un modelo de cargas vivas que represente las acciones reales de los vehículos sobre los puentes de carreteras. Para ello se partió de los resultados de monitoreos de tráfico en la carretera Holguín–Moa y de la extrapolación de sus efectos para un periodo de 50 años de vida útil. Se obtuvo un modelo de carga viva que se ajusta a las condiciones reales, puesto que los establecidos en la NC 733:2009 son de origen foráneo y no se ajustan a la realidad cubana.
***Palabras clave**: puentes de carreteras, modelos de cargas vivas, peso vehicular.*

ABSTRACT

Bridges are structures of vital importance and their failures bring large economic losses and also damages to the environment due to the high volume of debris that are produced as well as the affectations product to the works of reconstruction. Part of the deteriorations in these structures is produced by the increase of the vehicular weight or live load that transit across them. The objective of the present work was to obtain a model of live loads that represents the real actions of the vehicles on the highway bridges. Results from vehicular surveying on Holguín-Moa highway were employed in this report. Through extrapolating his effects for a period of 50 years of service life, a model of live load that fits to the actual conditions was obtained, inasmuch as the ones established in the NC 733:2009 are of foreign origin and they do not fit up to the Cuban reality.
***Key words**: highway bridges, live load models, vehicular weight.*

informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/inde

Search

Inicio > Informes de la Construcción

Informes de la Construcción

f 23 in 1 G+

Último número

Fundada el año 1948 en el Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento, **Informes de la Construcción** es una publicación científica con periodicidad trimestral. Trata temas de arquitectura, ingeniería, obras públicas, medio ambiente, instalaciones, rehabilitación, sistemas constructivos, técnicas de ensayos, resultados de investigaciones de componentes y sistemas de la edificación, etc. La revista va dirigida a arquitectos, ingenieros, empresas constructoras, investigadores y profesionales relacionados con la construcción de edificios y obras civiles.

Los contenidos de **Informes de la Construcción** están indizados en Web of Science: Journal Citation Reports (JCR) y Science Citation Index Expanded (SCI) desde 2007; SCOPUS, CWTS Leiden Ranking (Journal indicators), REDIB y DOAJ.

Factor de Impacto 2015 (2 años): **0,227**
Factor de Impacto 2015 (5 años): **0,436**
Posición: **54**/61 (Q4, Construction and Building)
Fuente: Clarivate Analytics©, Journal Citation Reports®

Eigenfactor / Percentil 2014: **0,00031 / 10**
Influencia de artículo/ Percentil 2014: **0,085 / 7**
Categoría Eigenfactor: Construction & Building Technology
Fuente: University of Washington©, EigenFACTOR®

Informes de la Construcción facilita el acceso gratuito y sin restricciones a todos los contenidos de esta edición electrónica.

Estimado/a Dario Candebat Sánchez:

Por la presente, me es grato comunicarle que el artículo de Ref. 55418 titulado:

"METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL DE PUENTES DE HORMIGÓN ARMADO"

y recibido el día 2017-02-09, ha sido ACEPTADO por el Consejo de Redacción de la revista Informes de la Construcción con fecha 2017-06-26.

Está previsto que dicho artículo sea publicado en el próximo número 549 de la revista.

NOTA: La Dirección de Informes de la Construcción se reserva la posibilidad de cambiar el número final de publicación por motivos estrictamente editoriales, en cuyo caso será oportunamente informado.

La revista Informes de la Construcción, con ISSN 0020-08883, está dedicada a temas relacionados con la construcción y se publica trimestralmente en el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc), centro perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Desde el año 1958 hasta la actualidad, pueden consultarse todos los números publicados en la página web:

http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

Actualmente todas las revistas científicas del CSIC se distribuyen en formato on-line, por lo que podrá consultar su artículo en la mencionada página una vez se publique el número al que se ha asignado.

Le expreso mi más sincera enhorabuena por la publicación de su artículo agradeciéndole que haya elegido nuestra revista, y espero poder contar con su colaboración en futuros números.

Atentamente,

David Revuelta Crespo
Director
Revista Informes de la Construcción
Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja
Serrano Galvache, 4. 28033 Madrid
Tel.: +34 91 302 04 40
http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/

Dictamen del Consejo Científico del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas

CENAIS

Santiago de Cuba, 6 de octubre del 2017.
“Año 59 de la Revolución”

El Consejo Científico del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas

CERTIFICA

Que el resultado **“Procedimiento de análisis del riesgo para la rehabilitación estructural sismorresistente de puentes de hormigón, de vigas, de carreteras”** de los **autores** MSc. Ing. Darío Candebat Sánchez, Dr.C. Ing. Guillermo Godínez Melgares†, Dr.C. Ing. Braulio Lima González, Dr.C. Lic. O´Leary Fernando González Matos y MSc. Ing. Luis Felipe Caballero Cornier, con sus **colaboradores** MSc. Ing. Zulima Caridad Rivera Álvarez, Dr.C. Ing. Eduardo Rafael Diez Zaldívar, Ing. Viana Poveda Brossard, Dr.C. Lic. Tomás Jacinto Chuy Rodríguez y Dr.C. Ing. José Alejandro Zapata Balanqué; fue analizado y aprobado en nuestro Órgano Científico mediante el **Acuerdo No. CC-19-17,** para ser presentado este año como **Premio de la Academia de Ciencias.**

Todo lo cual informamos para sus efectos correspondientes.

Sin otro asunto,

Dr.C. Tomás J. Chuy Rodríguez
Secretario CC del CENAIS

Dr.C. Bladimir Moreno Toirán
Presidente CC del CENAS

MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE
CENAIS
DIRECCIÓN
CITMA