



Universidad  
de Holguín

---

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES  
CARRERA INGENIERÍA CIVIL  
TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL

**GESTIÓN DEL RIESGO SÍSMICO EN PUENTES DE  
INTERÉS NACIONAL EN LA PROVINCIA DE HOLGUÍN**

**Laura Medero Hechavarría**

**HOLGUÍN 2022**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES**

**CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**GESTIÓN DEL RIESGO SÍSMICO EN PUENTES DE  
INTERÉS NACIONAL EN LA PROVINCIA DE HOLGUÍN**

**TESIS EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**Autor(a): Laura Medero Hechavarría**

**Tutor(a): MSC. Vivian Hernández Columbié**

**HOLGUÍN 2022**



## PENSAMIENTO

“Los hombres construimos demasiados muros y no suficientes puentes”.

Isaac Newton

*A mis padres, Juan y Martha, los amo*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Quiero expresar mi agradecimiento a todas las personas que contribuyeron de forma directa o indirecta en este desafiante camino brindándome su apoyo. En especial:*

**A mis padres**, *que han creído siempre en lo que hago, que con paciencia y amor han sabido guiarme.*

**A mi familia**, *que siempre han estado para apoyarme en todo el proceso, en especial a Néstor que me ha dado la fuerza y la motivación para seguir adelante.*

**A mi tutora**, *la MsC Vivian Hernández Columbié por ser mi guía en este proceso muchas gracias.*

**A la empresa de Vialidad de Holguín**, *que me ha dado toda la información necesaria para realizar este estudio.*

**A mis amigos**, *a ustedes por ayudarme en cada momento que lo necesité.*

A todos, MUCHAS GRACIAS!!!!!!

## RESUMEN

Los puentes han sido afectados considerablemente por sismos fuertes por lo que muchos han tenido que ser rehabilitados con el objetivo de mejorar su comportamiento ante acciones sísmicas. En la provincia de Holguín algunos de los puentes de interés nacional se encuentran emplazados en zonas de mediana y alta actividad sísmica. Presentan características estructurales y estados técnicos que atentan contra su buen desempeño estructural ante eventos de esta índole. En este trabajo se presenta un análisis teórico de los aspectos que inciden directamente en la gestión del riesgo sísmico. Se definen los parámetros que deben considerarse para seleccionar y priorizar las estructuras, evaluar la vulnerabilidad sísmica estructural y seleccionar las estrategias de gestión más adecuadas. La evaluación se realizó aplicando el método de Pezeshk al cual se le incorpora el estado técnico. Se verifica que el puente H-2 presenta riesgo medio alto, los puentes H-3 y MB-1 presentan riesgo elevado y los puentes BN-1, H-1, H-4 y MB-1 presentan riesgo muy elevado a los que se recomienda realizar estudios detallados en los puentes. Se propone un sistema de gestión de riesgo sísmico aprobado por el director de vialidad y se aplica al puente MB-1. El informe se elaboró según las normas de redacción aprobadas por el Departamento de Construcciones de la Universidad de Holguín.

## **ABSTRACT**

The bridges have been considerably affected by strong earthquakes so many have had to be rehabilitated in order to improve their behavior before seismic actions. In the province of Holguín some of the bridges of national interest are located in areas of medium and high seismic activity. They present structural characteristics and technical states that threaten their good structural performance in the face of events of this nature. This work presents a theoretical analysis of the aspects that directly affect seismic risk management. The parameters that must be considered to select and prioritize structures, assess structural seismic vulnerability and select the most appropriate management strategies are defined. The evaluation was carried out applying the Pezeshk method to which the technical state is incorporated. The H-2 bridge is verified to be at medium high risk, the H-3 and MB-1 bridges are at high risk, and the BN-1 , H-1 , H-4, and MB-1 bridges are at very high risk and detailed bridge studies are recommended. A seismic risk management system approved by the road director is proposed and applied to the MB-1 bridge. The report was prepared according to the drafting standards approved by the Department of Construction of the University of Holguín.

## ÍNDICE

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....                                                                                                 | 4  |
| <b>CAPÍTULO 1: Estado del arte referente a la gestión de riesgo sísmico en puentes</b><br>.....                           | 9  |
| <b>1.1 Generalidades acerca del riesgo sísmico</b> .....                                                                  | 9  |
| 1.1.1 Conceptualización del riesgo.....                                                                                   | 9  |
| 1.1.2 Categorías del riesgo. Técnicas de evaluación .....                                                                 | 11 |
| 1.1.3 Origen y tipos de riesgo sísmico. Medidas de predicción y prevención .....                                          | 13 |
| <b>1.2 Riesgo sísmico en puentes</b> .....                                                                                | 15 |
| 1.2.1 Definición, clasificación y elementos de los puentes.....                                                           | 16 |
| 1.2.2 Requerimientos sísmicos en puentes de carretera.....                                                                | 17 |
| 1.2.3 Factores que inciden en el riesgo sísmico en puentes y sus consecuencias... ..                                      | 19 |
| <b>1.3 Sistema de Gestión de riesgos.</b> .....                                                                           | 21 |
| 1.3.1 Conceptualización y principios de la Gestión de Riesgos .....                                                       | 21 |
| 1.3.3 Proceso de Gestión de riesgos. ....                                                                                 | 23 |
| 1.3.3 Proceso de Gestión de riesgos sísmico asociado a puentes.....                                                       | 27 |
| <b>CAPÍTULO 2: SISTEMA DE GESTIÓN DE RIESGOS SÍSMICOS EN PUENTES DE INTERÉS NACIONAL DE LA PROVINCIA DE HOLGUIN</b> ..... | 38 |
| <b>2.1 Modelo de gestión de riesgo</b> .....                                                                              | 39 |
| 2.1.1 Identificación y evaluación de los puentes con alto riesgo sísmico en la provincia de Holguín .....                 | 40 |
| 2.2 Aplicación del índice de priorización.....                                                                            | 44 |
| 2.1.3 Evaluación detalla .....                                                                                            | 45 |
| 2.1.4 Medidas correctivas .....                                                                                           | 46 |
| 2.1.5 Medidas preventivas .....                                                                                           | 47 |
| <b>2.2 Modelo de gestión de riesgos sísmico aplicado a los puentes MB-1</b> .....                                         | 47 |
| <b>Conclusiones</b> .....                                                                                                 | 51 |
| <b>Recomendaciones</b> .....                                                                                              | 52 |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....                                                                                                 | 53 |
| <b>ANEXOS</b> .....                                                                                                       | 58 |



**ÍNDICE DE TABLAS**

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1.1 Tipos de riesgos sísmicos .....                                     | 11 |
| Tabla 1.2 Medidas de predicción y prevención ante eventos sísmicos .....      | 15 |
| Tabla 1.3 Tipos de puentes .....                                              | 17 |
| Tabla 1.4 Clasificación de los puentes .....                                  | 17 |
| Tabla 1.5 Elementos de los puentes .....                                      | 17 |
| Tabla 1.6 Técnicas de evaluación de la vulnerabilidad de construcciones ..... | 28 |
| Tabla 1.6 Índice de riesgo .....                                              | 35 |
| Tabla 2.1 Estado técnico de los puentes de la provincia de Holguín .....      | 41 |
| Tabla 2.2 Clasificación del perfil del suelo de los puentes.....              | 43 |
| Tabla 2.3 Resumen del Índice de Priorización.....                             | 45 |

## ÍNCIDE DE GRÁFICOS

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfico 2.1 Estado técnico de los puentes de la provincia de Holguín.....      | 41 |
| Gráfico 2.2 Clasificación del perfil del suelo de los puentes .....            | 42 |
| Gráfico 2.3 Tipos de puentes .....                                             | 43 |
| Gráfico 2.4 Clasificación de los puentes .....                                 | 44 |
| Gráfico 2.5 Técnicas de evaluación de la vulnerabilidad de construcciones .... | 45 |

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1.1 Marco conceptual del riesgo. Fuente: Elaboración propia.....         | 11 |
| Figura 1.2 Principales factores que inciden en un puente por eventos sísmicos.. | 19 |
| Figura 1.3 Principios de la Gestión de Riesgo.....                              | 22 |
| Figura 1.4 Modelo de Gestión Integral del Riesgo.....                           | 27 |
| Figura 2.1 Modelo de Gestión de Riesgo sísmico para puentes General .....       | 40 |
| Figura 2.2 Clasificación del perfil del suelo según la norma NC:46:2017 .....   | 42 |

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo continuo de las ciudades trae aparejado la necesidad de sus habitantes de desplazarse por las mismas con el fin de realizar sus actividades diarias y así contribuir con el desarrollo industrial y económico de la región. Para lograr esto en ocasiones se deben construir puentes que sean capaces de vencer obstáculos como un flujo vehicular, un valle o una corriente de agua. El diseño de estas obras de fábrica se rige no solo por parámetros estructurales, se tienen en cuenta, además, las condiciones ingeniero-geológicas y los parámetros geotécnicos del lugar donde se encuentre emplazado el mismo. Los sismos son eventos que atentan contra la estabilidad de estas estructuras por lo que se debe incluir el diseño sismorresistente en puentes emplazados en terrenos geotécnicamente desfavorables. Al respecto la NC:733-2007, plantea que los diseños deben garantizar: seguridad, capacidad de circulación continua, facilidad de inspección y mantenimiento

Los sismos son el resultado de la liberación de energía de la corteza terrestre acumulada a consecuencia de la actividad volcánica y tectónica, que se origina principalmente en los bordes activos de placas tectónicas. En dichos límites, al hacer contacto se generan fuerzas de fricción que imposibilitan el movimiento entre placas adyacentes, ocasionando esfuerzos considerables. Cuando los esfuerzos son mayores a la resistencia de las placas o cuando superan las fuerzas de fricción se produce una ruptura violenta y se libera bruscamente toda la energía acumulada. Dispersada desde el hipocentro como ondas que se propagan en todas direcciones a través del medio sólido en el suelo, las denominadas ondas sísmicas.—(Centro Nacional de Prevención de desastres, 1999)

Las investigaciones realizadas han permitido determinar cuáles son los daños que más han afectado a estas estructuras, descritas por Kawashima y Unjoh (2004) y Priestley, et al, (1996) como las causas del colapso de la mayoría de los puentes en sus respectivos países. Kawashima y Unjoh (2004) en sus análisis demuestran que muchas de las obras de fábrica mayores dañadas en Japón durante el terremoto de Hyogo – Ken – Nanbu (Kobe) en 1995, incluyendo algunas que llegaron al colapso total, habían sido diseñadas con criterios de acuerdo con las especificaciones de diseño de puentes de carreteras de 1964 y

1971. Especificaron, además, que las acciones sísmicas derivadas de este evento fueron significativamente mayores que cualquiera de las consideradas en el diseño, al igual que las acciones verticales, que fueron extremadamente grandes. (Sánchez, 2008).

Cuba radica en una zona de peligro sísmico, lo cual ha de ser de conocimiento popular, no con la intención de crear un ambiente de preocupación innecesario, sino con el objetivo de fomentar una cultura de la prevención. Analizar el comportamiento de la sismicidad estos dos primeros meses de 2021, es un buen ejercicio para adelantarnos hacia una cultura sísmica. En este período se han registrado un total de 549 sismos, cuyos focos se localizaron en el territorio nacional y sus alrededores, gracias a la red nacional de sismómetros emplazados y gerenciados por el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAIIS). Los eventos presentaron magnitudes inferiores a 4, de modo que apenas han sido perceptibles, a excepción de los que ocurrieron el día 16 de enero en Caimanera (3.9 de magnitud) y el 21 de enero en Chivirico (3.4 de magnitud). Se pudo constatar que la zona más activa, y, en consecuencia, de mayor peligro sísmico, es la situada al sur de Cuba oriental.

De acuerdo a la Norma Sísmica NC: 46: 2017, la provincia de Holguín se encuentra ubicado en zonas de bajo y moderado peligro sísmico, debiéndose tomar medidas sismo resistente según la clasificación ocupacional de las estructuras. (Chuy Rodriguez & al, 1998) señala la ocurrencia de más de 65 sismos perceptibles en la provincia de Holguín en su historia sísmica, con intensidades y de hasta se 7.0 grados MSK. Los sismos más significativos de este territorio son: 1914 ( $M_s=6.2$ ;  $I=7.0$  en la ciudad de Gibara); 1953 ( $M_s=5.5$  en Velasco); 1944 ( $M_s=4.6$ ;  $I=5.0$  en Sagua de Tánamo), aunque la intensidad en el epicentro cercano a pinares de Mayarí debió ser superior no se tienen reportes de allí por el nivel de despoblamiento que debió existir en esa fecha, y el de 1992 ( $M_s=4.5$ ) que produjo 6.0 MSK en Moa, en la misma zona sismogénica en la que se produjo el sismo de 1528 del que se señalan intensidad de 6.0 grados en Baracoa.

(Chuy Rodriguez & al, 1998) para el territorio de la provincia Holguín las zonas de mayor peligrosidad en la región de estudio se localizan al sur de la misma principalmente en 12 localidades: 1-Gibara, 2-Buenaventura, 3-Holguín, 4-

Bayamo, 5-Cueto, 6-Mayarí (abajo), 7- Mayarí (II frente), 8-Moa, 9-Contramaestre, 10-Palmarito de Cauto, 11-Bayamo, 12-Baracoa.

Los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgo por sismo (EPVRS) se han venido desarrollando en la provincia Holguín desde el 2010. Se destaca que la intensidad y el peligro sísmico del municipio es mayormente moderado (intensidad 7 EMS). Aunque algunos sismos moderados (como el de Gibara de 1914) han afectado el territorio, no se poseen evidencias directas o históricas del efecto de sismos fuertes con epicentro en esta provincia. No obstante, los estudios realizados muestran que la ocurrencia de los mismos no puede ser excluida.

El estudio de PVR realizado por el CENAIIS en el año 2017, en la Municipio de Holguín, revela de manera general que en los consejos populares de La Cuaba y Pedernales el peligro es alto (intensidad 8 EMS). La vulnerabilidad sísmica es media en el Reparto Vista Alegre y alta en el resto de los consejos populares de la ciudad de Holguín. Referente a los puentes, el estudio arroja que para un total 26 puentes existentes 15 de ellos presentan una vulnerabilidad alta y baja resistencia, representando un 57.7% del total de puentes del municipio. Los puentes con una escala de vulnerabilidad y peligrosidad altas Estos se encuentran en Alcides Pino, Pedro Díaz Coello, Pueblo Nuevo, Alex Urquiola y centro Ciudad Norte lo que representa un 55.6% del total de consejos populares de la provincia.

Según entrevistas realizada a especialista de la empresa de Vialidad y CENAIIS todos los puentes de la provincia, excepto los ubicados en la carretera Central, son susceptibles de afectaciones ante eventos sísmicos de gran magnitud, acorde a dictamen técnico elaborado por VERTICE. Especifican que los puentes de mayor altura y longitud son los que presentan Especial peligro: destacando los puentes de interés nacional de las carreteras Holguín-Moa, Banes-Nipe y Moa-Baracoa.

Algunos factores condicionantes del peligro en estos puentes son:

- Deslizamientos en las lomas de La Gloria, Rejondones, Guerrita, La Chivera, La Lima y Granadillo.
- Fallas o cortes de terraplenes en, Loma Cupeyes y Calabaza de Sagüa.
- Susceptibles a roturas en caso de fallo de los diques si se encuentran ubicados aguas abajo.

Aunque estos resultados constituyen parte importante para la toma de decisiones de los actores del gobierno, carece de un sistema que permita la adecuada estrategia de gestión del riesgo sísmico específicamente en puentes.

Razón por la cual se plantea como **problema de investigación**: ¿Cómo elaborar un sistema de gestión de riesgo sísmico para puentes de hormigón de la provincia de Holguín que mejore la capacidad de respuesta ante un evento?

Por lo que **el objetivo de la investigación** se centra en los puentes de carretera de hormigón armado. **El campo de acción** es el sistema de gestión de riesgo sísmico en puentes de carretera de hormigón armado de interés nacional en el provincia de Holguín. De acuerdo a lo planteado anteriormente se define como **objetivo general** elaborar un sistema de gestión de riesgo sísmico en puentes de hormigón en la provincia de Holguín que permita establecer una estrategia de mejora y elevación de la respuesta y capacidades de los mismos.

Para el desarrollo de la investigación se plantean los siguientes objetivos específicos:

1. Realizar un estudio del arte y estado actual de la temática referente al riesgo sísmico en puentes.
2. Determinar los fundamentos teóricos y metodológicos que sustentan el sistema de gestión de riesgo en puentes.
3. Aplicar índices de priorización a los puentes de interés nacional de la provincia de Holguín más susceptibles a eventos sísmicos.
4. Elaborar una propuesta de diseño de modelo de gestión de riesgo sísmico para puentes de hormigón.
5. Valorar la pertinencia de la propuesta del modelo de gestión de riesgo para puentes de hormigón en la provincia de Holguín.

Como hipótesis de investigación se declara que el sistema de gestión de riesgo sísmico en puentes de hormigón en el municipio de Holguín permite la mejora de la estrategia en cuanto a la toma de medidas, decisiones para el enfrentamiento y respuesta ante un evento de esta índole.

La constatación de la hipótesis, el cumplimiento de los objetivos de la investigación y la solución del problema se concretan a partir del siguiente sistema de métodos de investigación:

Métodos teóricos:

- Histórico–lógico: para revisar el marco teórico en torno al objeto y el campo de la investigación con una perspectiva que permita un análisis histórico del desarrollo de la estrategia para la gestión del riesgo sísmico de puentes.
- Hipotético – deductivo: para la elaboración de la hipótesis y la asunción de una lógica investigativa.
- Análisis - síntesis: para el análisis de la información procedente de la caracterización histórica, teórico – metodológica y empírica del objeto y campo de la investigación.
- Sistémico estructural: desarrolla el análisis del objeto de estudio, tanto teórico como práctico, a través de su descomposición en los elementos que lo integran; permitirán determinar los indicadores y variables que más inciden y su interrelación como resultado de un proceso de síntesis.

#### Métodos empíricos:

- Análisis documental: para la búsqueda de información relacionada con la caracterización histórica, teórica y empírica del objeto de la investigación con énfasis en su campo.
- Entrevistas: permitió obtener información de interés acerca del objeto de estudio para su caracterización y el campo de acción de la investigación.

#### Métodos estadísticos:

- Métodos estadísticos descriptivos: posibilitaron gestionar, recepcionar, procesar, representar e interpretar las informaciones derivadas del análisis al objeto de la investigación y de validación del sistema de gestión de riesgo sísmico en puentes.

El **aporte de la investigación** se basa en un sistema de gestión de riesgo sísmico para puentes de hormigón de la provincia de Holguín, que permita la mejora de capacidad de respuesta ante un evento sísmico. Dicho sistema será empleado por los especialistas del CENAIIS y los decisores que conforman la defensa Civil del territorio. La novedad radica en que el sistema propuesto integrará estrategias que servirán de herramientas básicas para la correcta gestión del efecto sísmico en puentes de importancia en la ciudad de Holguín.

## **CAPÍTULO 1: Estado del arte referente a la gestión de riesgo sísmico en puentes**

En la actualidad conocer la respuesta y comportamiento de los puentes ante acciones sísmicas es uno de los problemas más frecuentes que enfrenta la ingeniería civil. Por ende, evaluar la vulnerabilidad sísmica de los puentes constituye una herramienta imprescindible de la gestión integral del riesgo sísmico, pues propician la toma de decisiones oportunas que permiten mitigar la ocurrencia de desastres.

Para dar solución a esta necesidad, en el presente capítulo se introduce al conocimiento de los conceptos y aspectos generales del riesgo sísmico en puentes. También se hace una revisión de los conceptos teóricos relacionados con el Sistema de Gestión de Riesgos, haciendo énfasis en el Proceso de Gestión de Riesgos sísmico asociado a puentes. Se expone la necesidad de contar con una metodología que garantice la base de conocimiento necesaria para proyectar acciones efectivas en la gestión y administración del riesgo como condición potencial de desastre.

### **1.1 Generalidades acerca del riesgo sísmico**

Según (Candebat Sánchez D., 2013) y (DANNA, 2017) los puentes han demostrado ser muy vulnerables ante la acción de sismos significativos. Los daños manifestados en estas estructuras luego de eventos fuertes, como el ocurrido en Northridge, Estados Unidos, el 17 de enero de 1994 y en Kobe, Japón, el 17 de enero de 1995, marcaron la pauta para la realización de nuevos estudios, más profundos, dirigidos a buscar soluciones de diseño para mejorar su comportamiento y garantizar un desempeño satisfactorio ante estas acciones.

(NUÑEZ, 2019) dice que los estudios de vulnerabilidad sísmica deben elaborarse basándose en el desarrollo del país o en la peligrosidad existente en él. En la actualidad, existe una gran cantidad de trabajos que tratan de evaluar el riesgo sísmico en zonas urbanas, auspiciado por organismos internacionales y gobiernos, con el fin de implementarlos dentro de sus programas de protección civil, algunos de ellos se han desarrollado como normas o recomendaciones.

#### **1.1.1 Conceptualización del riesgo**

De acuerdo a la Real Academia Española la palabra Riesgo significa, “Contingencia o proximidad de algún daño”, mientras que en términos técnicos

significa “la posibilidad de pérdida o daño o exposición al cambio de daño o pérdida” (Souter, 1996; Dowrick, 1997).

En el orden teórico, el riesgo es entendido como la posibilidad de ocurrencia de una situación no deseada, efecto de incertidumbre que existe acerca del cumplimiento de los objetivos. Como la probabilidad de que la empresa no pueda enfrentar alguna situación inherente a su actividad, capaz de producir desviaciones positivas o negativas, generalmente, en detrimento del desempeño organizacional y constituyen obstáculos para el logro de los objetivos. (Barbat A. , 2019)

(Fernández Benique, Cómo afecta el riesgo sísmico en obras de ingeniería, 2019) Plantea que aunque no existe una única manera de calcular el riesgo sísmico existen varios índices que sirven para valorarlo, destacando cuatro:

- **Peligrosidad Natural (H):** probabilidad de que un fenómeno natural potencialmente dañino suceda en un sector y en un intervalo de tiempo específico.
- **Vulnerabilidad (V):** grado de pérdidas que uno o varios elementos experimentarán como consecuencia de un movimiento sísmico. Este valor está relacionado con el tipo de construcción, dónde está ubicada, etc.
- **Grado de daño o pérdidas (D):** pérdidas materiales o humanas derivadas del movimiento sísmico. Además de fallecimientos y bienes personales, se incluirían derrumbamientos, degradación o destrucción de obras de ingeniería, daños en vías de servicio y en estructuras de edificios, etc.
- **Elementos del territorio (E):** todas aquellas actividades o servicios de un territorio expuestos ante un movimiento sísmico. Un ejemplo serían las actividades agrícolas, ganaderas o industriales que se desarrollan en la zona.

Gracias a estas variables es posible evaluar tanto el riesgo estricto (grado de pérdidas esperadas), como el riesgo global (consecuencias del movimiento sísmico) usando las siguientes fórmulas:

- Riesgo estricto ( $R_s$ ) =  $(H) \times (V)$  (1)
- Riesgo global ( $R_t$ ) =  $(E) \times (R_s) = (E) \times (H) \times (V)$  (2)

(Meléndez, 2015) y (CIIFEN, 2022) concuerdan que el riesgo es la combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas. Los factores que lo componen son la amenaza y la vulnerabilidad. En la figura 1.1 se ilustra la relación que existe entre el riesgo, la vulnerabilidad y la amenaza.



**Figura 1.1: Marco conceptual del riesgo**

El riesgo sísmico es la probabilidad de pérdidas de vidas humanas, materiales, sociales, culturales, económicas, etc., por la manifestación del fenómeno sísmico en un lugar y en un periodo de tiempo específico, con una magnitud e intensidad y cobertura dadas, que inciden sobre los elementos físicos materiales y ambientales, así como los intangibles: sociales, económicos, culturales, etc., estos últimos la base fundamental en donde se construye socialmente el riesgo. (Peralta Buriticá, 2007)

(Chuy, 1997) expresa que el riesgo sísmico “Son las consecuencias sociales y económicas potenciales provocadas por un terremoto, como resultado de la falla de estructuras cuya capacidad resistente fue excedida por un terremoto”

### **1.1.2 Categorías del riesgo. Técnicas de evaluación**

(Boshell Norman, 2020), plantea que existen múltiples formas de clasificar los riesgos y que conocer los distintos tipos de riesgos que pueden existir hace que resulte más sencillo tenerlos en cuenta en el momento de su identificación. Para esto es necesario conocer el mayor número de riesgos que pueden surgir, sus posibilidades, las causas que los originan y las distintas formas en las que tienden a manifestarse. Factores que se utilizan para la posterior valoración de las

posibles consecuencias de estos riesgos, la estimación de su coste, y la medición, efectos y gestión de los mismos.

(Boshell Norman, 2020) ,indica que, en la clasificación del riesgo, uno de los principales objetivos es evitar o reducir en la medida de lo posible cualquier tipo de riesgo, y, sí así se decide: asumirlos e implantar las acciones para paliar sus consecuencias o, por el contrario, transferirlos a otras entidades y/o establecer las coberturas adecuadas para cada caso.

De acuerdo con (AFIP SIPER, 2019) el riesgo puede clasificarse según su peligrosidad :

- Categoría A: Riesgo muy bajo
- Categoría B: Riesgo bajo
- Categoría C: Riesgo medio y nuevas altas
- Categoría D: Riesgo alto
- Categoría E: Riesgo muy alto

En el informe de (Ntutumu, 2014) se refleja cinco categorías de riesgo globales elaborado por El Foro Económico Mundial.

1. **Riesgos globales medioambientales:** el cambio climático, la contaminación de los océanos, el agujero en la capa de ozono y otros muchos problemas, escapan al control de los Estados si no se aplica una perspectiva global.

2. **Riesgos geopolíticos:** la categoría de geopolítica cubre áreas de política, diplomacia, conflicto, crimen y gobernanza global. Estos riesgos van desde terrorismo, disputas sobre recursos y guerra a la gobernanza siendo socavada por la corrupción, el crimen organizado y el tráfico ilícito.

3. **Riesgos sociales:** la categoría social captura los riesgos relacionados con la estabilidad social –como son las disparidades severas en la sociedad, las crisis y ciudades disfuncionales– la salud pública, como pandemias, bacterias resistentes a los antibióticos y el alza de la carga que las enfermedades crónicas supone.

4. **Riesgos económicos:** los riesgos en la categoría económica incluyen la crisis fiscal y de liquidez, el fallo de los principales mecanismos o instituciones financieras.

5. **Riesgos tecnológicos:** la categoría tecnológica cubre riesgos mayores relacionados con la creciente centralidad de las tecnologías de la información y la

comunicación para los individuos, empresas y gobiernos. Esto incluye los ciberataques, los trastornos de la infraestructura y pérdidas de información.

(IEC 31010, 2019.) Enumera las técnicas de evaluación de riesgos:

- **Técnicas para analizar y valorar la eficacia de los controles:** en cuanto al grado o el alcance de esos controles para mitigar los riesgos.
- **Técnicas para comprender las consecuencias y la probabilidad:** es muy importante porque se puede tener una ponderación simple como alta, media o baja, pero es necesario saber cuáles serían los factores que me permitirían pasar, por ejemplo, de una probabilidad alta a baja.
- **Técnicas para analizar las dependencias e interacciones:** en la ISO 31010 se habla de cómo gestionar la combinación de riesgos.
- **Técnicas para medir (cuantificar) el riesgo:** Al hablar de probabilidad por impacto, estamos hablando de vectores, por lo tanto, la relación que deben tener estos son por medio de operaciones de vectores o en todo caso, operaciones matriciales.
- **Técnicas para registrar y reportar:** tratan sobre el modo en el que se va a entregar la información, qué clase de información, si es útil los mapas de calor.
- **Técnicas para seleccionar entre alternativas:** considerando la mejor opción.
- **Técnicas para evaluar la relevancia del riesgo:** son las que se emplean cuando un riesgo, aunque esté tratado y permanece.
- **Técnicas para identificar causas, orígenes y fuerzas impulsoras del riesgo:** estas técnicas analizan cuales son las fuentes de los riesgos y qué es lo que hace que un riesgo se dispare o se materialice,
- **Técnicas para identificar riesgos:** hacen referencia a las que indican de dónde se va a sacar esa información para la identificación del riesgo.
- **Técnicas para la obtención de perspectiva (visualización):** para determinar cómo tener una perspectiva desde los diferentes tipos de riesgo que existen dentro de las organizaciones.

### 1.1.3 Origen y tipos de riesgo sísmico. Medidas de predicción y prevención

Un terremoto o sismo o seísmo es un fenómeno de sacudida brusca y pasajera de la corteza terrestre producida por la liberación de energía acumulada en forma de ondas sísmicas. Estos movimientos sísmicos pueden causar muchos daños

directa e indirectamente. Sus consecuencias serán más o menos graves según su grado de intensidad, pero también de la preparación y de la capacidad de respuesta de la sociedad. Por este motivo, la estimación del riesgo sísmico en zonas urbanas es muy importante. Sin embargo, el procedimiento es complicado por la dificultad de predecir eventos potencialmente catastróficos como los terremotos y por la gran variedad de edificios, equipamientos y suelos que encontramos en el entorno urbano. (Fernández Benique, 2019)

**TABLA 1.1**  
**TIPOS DE RIESGOS SÍSMICOS**

| <b>Tipos de Riesgos Sísmicos</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Riesgos sísmicos primarios: producidos como consecuencia directa de la transmisión de las ondas sísmicas.                                                                                                                                                                                                             | Riesgos asociados a los terremotos                                                                                                                                                               |
| Vibración del suelo: La energía liberada produce vibraciones en el terreno, lo que puede llevar a la destrucción de edificios, presas, carreteras, puentes, etc. Estos dependen de varios factores como Intensidad de la vibración, duración de los sismos, la naturaleza del terreno y el diseño de las estructuras. | Seiches: grandes olas producidas en lagos y embalses producidas por el movimiento del terrenos que pueden llegar a tener varios metros de altura y afectar a los edificios cercanos a la orilla. |
| Licuefacción: Las vibraciones del terreno hacen que materiales no consolidados y saturados de agua hace que se transformen en un fluido, y las estructuras que soportan, se hundan.                                                                                                                                   | Modificaciones en el terreno: por la activación de fallas y deslizamiento de laderas, que pueden producir alteraciones en los acuíferos y desvíos en los cauces de los ríos.                     |
| Corrimientos de tierras: El deslizamiento de laderas está provocado por las vibraciones del suelo y la licuefacción. Es frecuente en zonas con relieve importante.                                                                                                                                                    | Tsunamis: son un tipo especial de olas generadas en el mar por el desplazamiento de grandes volúmenes de agua y que tienen gran poder de destrucción en las costas.                              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Incendios: producidos por la destrucción de infraestructuras, como conducciones de gas y tendidos eléctricos.                                                                                    |

(Fernández Benique, 2020)

**TABLA 1.2**

## MEDIDAS DE PREDICCIÓN Y PREVENCIÓN ANTE EVENTOS SÍSMICOS

| Medidas de predicción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Medidas de prevención                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Localización de fallas activas que puedan producir el terremoto.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Construcción de edificaciones sismorresistente.                                                                                   |
| Conocer los datos históricos de terremotos anteriores. Conocer el tiempo de retorno puede ayudar a la prevención.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Establecer medidas de protección civil para poder informar, alertar y evacuar a la población si fuera necesario.                  |
| Elaboración de mapas de riesgo para saber qué y dónde se puede construir determinadas instalaciones .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Elaboración de <i>mapas de riesgo</i> para una correcta ordenación del territorio y evitar la exposición en zonas de alto riesgo. |
| <p>Vigilancia de los precursores sísmicos. Son fenómenos que ocurren antes de que se produzca el terremoto.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comportamiento extraño de algunos animales.</li> <li>• Aumento del número de microsismos locales.</li> <li>• Disminución de la velocidad de propagación de las ondas P.</li> <li>• Aumento en la cantidad de emisión de Radón.</li> <li>• Deformaciones que elevan el terreno.</li> <li>• Cambios en la conductividad eléctrica y en el campo magnético de la zona.</li> </ul> |                                                                                                                                   |

(Fernández Benique, 2020)

### 1.2 Riesgo sísmico en puentes

Los terremotos constituyen una de las más importantes fuentes generadoras de cargas dinámicas que actúan sobre las estructuras y sus cimentaciones, así como causantes de daños importantes de vidas humanas y costes económicos. (Jurado Cabañes, 2015)

El comportamiento sísmico del puente está fuertemente relacionado con las características de la sacudida sísmica y por tanto, con los diferentes tipos de sitios de cimentación. El sitio de cimentación es el lugar de emplazamiento de un puente cuyas características geotécnicas generan modificaciones específicas en la demanda sísmica. Los diferentes tipos de suelo y los espesores de cada estrato

pueden modificar la sacudida sísmica, específicamente las amplitudes y contenido de frecuencias, a partir del basamento rocoso. (Jurado Cabañes, 2015)

Como consecuencia de la energía liberada durante un terremoto, se producen movimientos del terreno que pueden provocar asentamientos en las cimentaciones de los edificios, rotura de los pilotajes, empujes sobre los muros de contención, despegues de las zapatas de cimentación, vuelco de las estructuras y el terreno puede licuefactar perdiendo su capacidad de soporte. (Jurado Cabañes, 2015)

### **1.2.1 Definición, clasificación y elementos de los puentes**

La Real Academia define los puentes como construcciones de piedra, ladrillo, madera, hierro, hormigón, etc., que se construye y forma sobre ríos, fosos y otros sitios, para poder pasarlos.

(Bembibre, 2009) Define los puentes como estructuras que proporcionan una vía de paso sobre el agua, una carretera, o una vía férrea, pero también pueden transportar tuberías y líneas de distribución de energía.

Se utiliza el término puente para designar a aquellas construcciones que sirven para conectar diferentes espacios a los que de otra manera no se podría acceder. A través de los tiempos, el diseño y la ingeniería de los puentes ha variado en gran manera, así como también el material con el que se construye y la utilidad. (Definición ABC, 2009)

Clasificación de los puentes:

**TABLA 1.3  
TIPOS DE PUENTE**

| <b>Tipos de puentes</b>                                                                                                                   |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Puente de viga:</b> Están formados fundamentalmente por elementos horizontales que se apoyan en sus extremos sobre soportes o pilares. | <b>Puentes de arco:</b> Están constituidos por una sección curvada hacia arriba que se apoya en unos soportes o estribos y abarca una luz o espacio vacío. | <b>Puentes colgantes:</b> Están formados por un tablero por el que circula, que pende, mediante un gran número de tirantes, de dos grandes cables que forman sendas catenarias y que están anclados en los extremos |

|  |  |                                                              |
|--|--|--------------------------------------------------------------|
|  |  | del puente y sujetos por grandes torres de hormigón o acero. |
|--|--|--------------------------------------------------------------|

( Bembibre, 2009)

**TABLA 1.4**  
**CLASIFICACIÓN DE LOS PUENTES.**

| Tipo de material                                                                               | Utilización                                                                  | Tipo de cruce      | Tipo de alineamiento              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------|
| Madera<br>Piedra<br>Tabique<br>Concreto: armado, simple, ciclópeo<br>Acero<br>Acero y concreto | Peatonales<br>Ferrocarriles<br>Presas<br>Caminos<br>Carreteras<br>Acueductos | Normal<br>Desviado | Curvas<br>Tangentes<br>Pendientes |

( Bembibre, 2009)

En la tabla 1.5 resumida del informe sobre puentes, realizado por (Méndez Mena, 2017) se muestra los elementos por los que está compuesto un puente.

**TABLA 1.5**  
**ELEMENTOS DE UN PUENTE.**

| Elementos de un puente                                                                                       |                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>La Superestructura:</b> Son los componentes estructurales del puente que constituyen el tramo horizontal. | <b>La Sub-Estructura:</b> soporta las cargas originadas en la superestructura y las transmite al estrato            |
| Tablero<br>Aparatos de apoyo<br>Juntas                                                                       | Los estribos.<br>Las pilas Tipo Caballete, eje simple, muro macizo o de una sola columna apoyo fijo o de expansión: |

(Elaboración propia)

### 1.2.2 Requerimientos sísmicos en puentes de carretera

La filosofía básica que plantea la norma NC 46: 2017 está dada por tres aspectos fundamentales : proteger la vida de las personas, asegurar la continuidad de los servicios vitales, minimizar los daños a las construcciones. Además establece como objetivos para los puentes ante solicitaciones sísmicas los siguientes: resistir sismos leves sin daños, resistan sismos moderados, considerando la posibilidad de daños estructurales leves y resistan sismos severos con la

posibilidad de daños estructurales importantes, con una posibilidad remota de ocurrencia de colapso. (Hernández, 2018)

Según Li y Duan (2000), para el diseño sísmico de puentes comunes, la filosofía básica es impedir el colapso durante la acción severa de los sismos. Para impedir el colapso, dos alternativas son comúnmente usadas en el diseño. La primera, es un enfoque basado en fuerzas donde el factor de ajuste  $Z$  es empleado para la ductilidad y la determinación de riesgo, o el factor de modificación de respuesta  $R$  es aplicado a las fuerzas elásticas obtenidas de un análisis espectral. El segundo es un procedimiento más reciente basado en desplazamientos, donde los desplazamientos son la consideración mayor en el diseño. Tomado de (Hernández, 2018)

Resumido de (González Campañá, 2016), (Candebat Sánchez, Godínez Melgares, & Caballero Cornier, 2011) y (NC 46, 2017) las estructuras deben cumplir que:

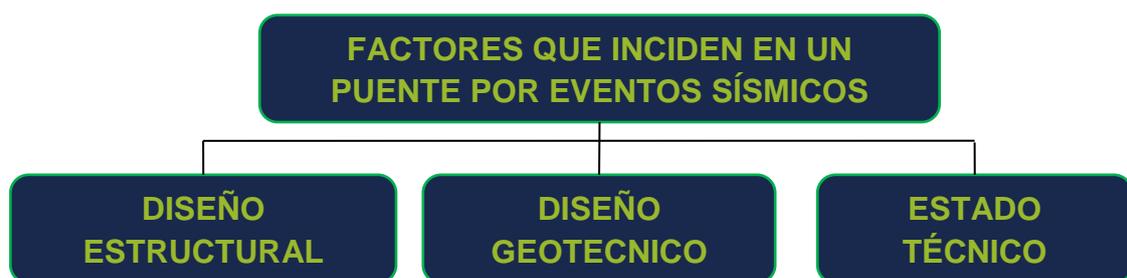
- Los componentes del puente se deben comportar elásticamente ante sismos leves a moderados sin daños significativos.
- Durante el proceso de diseño se debe emplear aceleraciones representativas.
- La exposición a sacudidas de larga duración no debe ocasionar el colapso del puente ni de ninguna de sus partes. Siempre que sea posible, los daños se deben originar en lugares fácilmente detectables y de fácil acceso y reparación.
- Resistan sin daño, en el rango elástico, movimientos sísmicos de intensidad moderada.
- Limiten los daños en elementos no estructurales durante sismos de mediana intensidad.
- Aunque presenten daños, eviten su colapso total o parcial durante sismos de intensidad excepcionalmente severa. Dentro de lo posible, el daño que ocurriera debería presentarse en zonas en que pueda ser detectado rápidamente y de fácil acceso para su inspección y reparación. El riesgo para la vida humana en estos casos debería ser mínimo, no aceptándose como principio general.

- Existencia de vigas transversales (diafragma): La existencia o no de estos elementos, importantes para garantizar la rigidez transversal de la estructura.
- Trazado de la superestructura: La existencia de esviaje o curvas horizontales en la estructura. Puentes con esviaje superiores a 30 son más vulnerables por los incrementos de los esfuerzos cortantes en determinadas zonas del tablero. El esviaje y curvas horizontales incrementan la probabilidad de la caída de los tramos.
- Existencia de curvas verticales: Se establece como valor máximo el 6% de pendiente para un buen comportamiento.

### 1.2.3 Factores que inciden en el riesgo sísmico en puentes y sus consecuencias

El fallo de los sistemas de transporte en países afectados por sismos destructivos, ha sido ocasionado, generalmente, por el colapso de puentes de hormigón armado, diseñados con códigos obsoletos; por lo tanto, es necesario evaluar el comportamiento de los sistemas existentes, que pudieran tener una capacidad de carga sísmica reducida, para definir futuros programas de rehabilitación (Candebat Sánchez D. , 2008) y (Candebat-Sánchez, 2013).

Se llegó a la conclusión que estos factores se pueden clasificar en 3 grupos (Figura 1.2) diseño estructural, diseño geotécnico y estado técnico del puente. A continuación se describen los factores y sus consecuencias:



**Figura 1.2: Factores principales que inciden en puentes por eventos sísmicos**

#### Diseño estructural:

- Fallos de tramos como consecuencia de movimientos relativos en la dirección longitudinal, que exceden las longitudes de apoyo que, según establece NC 46 (1999), deben ser consideradas, especialmente, en tramos en esviaje

donde se desarrollan desplazamientos superiores, como consecuencia de una tendencia de los mismos a rotar en la dirección de disminución del esviaje.

- Golpeteo de estructuras del puente. La previsión de bajos valores de desplazamientos sísmicos, conduce a la consideración de dimensiones de juntas inadecuadas entre elementos adyacentes, esto produce daños por golpeteo. Las fuerzas de impacto, procedentes del golpeteo de elementos del puente, pueden ser muy altas, por lo que causan amplificación de las fuerzas cortantes.

- Fallo de pilas. Generalmente este tipo de fallo es consecuencia de la existencia de elementos con inadecuada o no confiable resistencia a la flexión, imperfecta ductilidad a la flexión y terminación prematura del refuerzo de la pila.

- Fallas en cabezales a partir de considerar poca capacidad al cortante, terminación prematura del refuerzo negativo del cabezal e insuficiente anclaje del refuerzo de este en las regiones finales.

- Fallas en nudos, debido al inadecuado refuerzo que se ha utilizado.

#### **Diseño geotécnico**

- Amplificación de desplazamientos debido a efectos del suelo. Cuando los puentes son construidos en suelos suaves o licuables, el problema aumenta. Los suelos con estas características resultarán en amplificación de la respuesta estructural vibracional, lo que incrementará la probabilidad del desamarre.

- Hundimiento del estribo. La respuesta de suelos suaves y la incompleta consolidación del terraplén o relleno del estribo, están muy relacionadas con su hundimiento y con la rotación de los estribos, que al impactar con el puente, pueden generar altas presiones pasivas, las cuales inducirán a un incremento adicional en las presiones laterales a niveles debajo del puente.

- Fallas en los cimientos, como resultado de la poca resistencia a la flexión, debido a la omisión del refuerzo superior (malla de refuerzo superior), incorrecta resistencia al cortante, poca resistencia al cortante en la región inmediata debajo de la pila, la cual está sometida a grandes esfuerzos de cortante, anclaje inapropiado, insuficiente desarrollo del refuerzo de la pila y conexión incorrecta entre las pilas y el cimiento.

#### **Estado técnico:**

- El incremento del tránsito pesado.

- La escasez de recursos dirigidos a realizar actividades de mantenimiento y reparación.

### **1.3 Sistema de Gestión de riesgos.**

Un sistema de Gestión de Riesgo es la consolidación del proceso de gestión de riesgo de manera tal que este cumpla con todas las etapas, sea repetible y transversal a todos los procesos de la organización. Asimismo, cuando la gestión de riesgos se consolida en un sistema, permite todos los otros sistemas de la organización, así, se gestiona no solo los riesgos a nivel global, sino también a nivel de cada área. Esto permite que la gestión deje simplemente de reaccionar ante los eventos y empiece a funcionar de manera proactiva y predictiva ante estos. (Vesga, 2020)

(NC ISO 31000, 2018) Concibe un Sistema de Gestión de Riesgos como el conjunto de acciones destinadas a dirigir y controlar los riesgos propios de una organización.

(Vesga, 2020) Plantea que tener un Sistema de Gestión de Riesgos consolidado en su organización trae múltiples ventajas y beneficios en distintos niveles, ya que:

- Permite identificar, controlar y proyectar los riesgos y amenazas a los que se expone
- Fomenta la gestión proactiva y lo consolida en un enfoque flexible y dinámico para hacer frente a los incidentes y a los cambios organizacionales
- Desarrolla un plan estratégico que facilite y optimice la toma de decisiones, asigna y usa eficazmente los recursos para el tratamiento del riesgo
- Garantiza el cumplimiento de los objetivos y la operatividad de la organización aún frente a incertidumbres.
- Reduce el tiempo de interrupción y recuperación de las operaciones y funciones de su organización en caso de un incidente.

#### **1.3.1 Conceptualización y principios de la Gestión de Riesgos**

(Westreicher, 2021) Define la gestión del riesgo como el proceso mediante el cual se gestionan las posibles pérdidas que podrían darse en una empresa, un proyecto o una inversión. Es decir, la gestión de riesgos es, en cierta forma, una herramienta que permite enfrentar una serie de amenazas internas y externas que podrían tener como consecuencia un perjuicio económico.

(Mora, 2004) La define como el proceso de identificar, analizar y cuantificar las probabilidades de pérdidas y efectos secundarios que se desprenden de los desastres, así como de las acciones preventivas, correctivas y reductivas correspondientes que deben emprenderse.

El término “gestión de riesgos” según (Red Hat, 2019) hace referencia al proceso que se utiliza para identificarlos y evaluarlos, y a la creación de un plan para disminuir o controlar no solo dichos riesgos, sino también el efecto que podrían tener.

La gestión del riesgo eficaz requiere los elementos de la Figura 1.3 y puede explicarse como sigue. (NC ISO 31000, 2018)



**Figura 1.3: Principios de la Gestión de Riesgo.** (NC ISO 31000, 2018)

- Integrada: La gestión del riesgo es parte integral de todas las actividades de la organización.
- Estructurada y exhaustiva: Un enfoque estructurado y exhaustivo hacia la gestión del riesgo contribuye a resultados coherentes y comparables.
- Adaptada: El marco de referencia y el proceso de la gestión del riesgo se adaptan y son proporcionales a los contextos externo e interno de la organización relacionados con sus objetivos.
- Inclusiva: La participación apropiada y oportuna de las partes interesadas permite que se consideren su conocimiento, puntos de vista y percepciones. Esto resulta en una mayor toma de conciencia y una gestión del riesgo informada.

- **Dinámica:** Los riesgos pueden aparecer, cambiar o desaparecer con los cambios de los contextos externo e interno de la organización. La gestión del riesgo anticipa, detecta, reconoce y responde a esos cambios y eventos de una manera apropiada y oportuna.
- **Mejor información disponible:** Las entradas a la gestión del riesgo se basan en información histórica y actualizada, así como en expectativas futuras. La gestión del riesgo tiene en cuenta explícitamente cualquier limitación e incertidumbre asociada con tal información y expectativas. La información debería ser oportuna, clara y disponible para las partes interesadas pertinentes.
- **Factores humanos y culturales:** El comportamiento humano y la cultura influyen considerablemente en todos los aspectos de la gestión del riesgo en todos los niveles y etapas.
- **Mejora continua:** La gestión del riesgo mejora continuamente mediante aprendizaje y experiencia.

### **1.3.3 Proceso de Gestión de riesgos.**

Los autores (Red Hat, 2019), (Martins, 2022) y (EALDE Business School, 2017) coinciden en que existen 5 pasos para una correcta gestión de riesgos:

1. **Identificación:** identificar y describir los riesgos potenciales. Los riesgos identificados deben documentarse de alguna manera, por ejemplo, en un registro.
2. **Análisis:** analizar los factores de riesgo y documentar las posibles consecuencias para determinar la probabilidad de que surja algún nuevo riesgo.
3. **Evaluación y valoración:** realizar auditorías internas y análisis de riesgos para determinar su magnitud. Además, se debe decidir qué nivel de riesgo es aceptable y cuáles deben abordarse de inmediato.
4. **Atenuación:** después de determinar la prioridad y la importancia de los riesgos, se procede con una estrategia de respuesta para disminuirlos o controlarlos.
5. **Supervisión:** los riesgos y los indicadores deben supervisarse permanentemente a fin de garantizar que los planes para reducirlos funcionen; o bien, para saber si alguno se convertirá en una mayor amenaza.

En la figura 1.5 se puede observar el modelo de gestión de riesgo general realizado por (Martins, 2022).

En la (NC ISO 31000, 2018) se expone el proceso global para una correcta evaluación del riesgo:

### **Identificación del riesgo**

El propósito de la identificación del riesgo es encontrar, reconocer y describir los riesgos que pueden ayudar o impedir a una organización lograr sus objetivos. Para la identificación de los riesgos es importante contar con información pertinente, apropiada y actualizada. La organización puede utilizar un rango de técnicas para identificar incertidumbres que pueden afectar a uno o varios objetivos. Se deberían considerar los factores siguientes y la relación entre estos factores:

- las fuentes de riesgo tangibles e intangibles
- las causas y los eventos
- las amenazas y las oportunidades
- las vulnerabilidades y las capacidades
- los cambios en los contextos externo e interno
- los indicadores de riesgos emergentes
- la naturaleza y el valor de los activos y los recursos
- las consecuencias y sus impactos en los objetivos
- las limitaciones de conocimiento y la confiabilidad de la información
- los factores relacionados con el tiempo
- los sesgos, los supuestos y las creencias de las personas involucradas

### **Análisis del riesgo**

El propósito del análisis del riesgo es comprender la naturaleza del riesgo y sus características incluyendo, cuando sea apropiado, el nivel del riesgo. El análisis del riesgo implica una consideración detallada de incertidumbres, fuentes de riesgo, consecuencias, probabilidades, eventos, escenarios, controles y su eficacia. Un evento puede tener múltiples causas y consecuencias y puede afectar a múltiples objetivos.

El análisis del riesgo se puede realizar con diferentes grados de detalle y complejidad, dependiendo del propósito del análisis, la disponibilidad y la confiabilidad de la información y los recursos disponibles.

Las técnicas de análisis pueden ser cualitativas, cuantitativas o una combinación de éstas, dependiendo de las circunstancias y del uso previsto.

El análisis del riesgo debería considerar factores tales como:

- la probabilidad de los eventos y de las consecuencias;
- la naturaleza y la magnitud de las consecuencias;
- la complejidad y la interconexión
- los factores relacionados con el tiempo y la volatilidad
- la eficacia de los controles existentes
- los niveles de sensibilidad y de confianza.

### **Valoración del riesgo**

El propósito de la valoración del riesgo es apoyar a la toma de decisiones. La valoración del riesgo implica comparar los resultados del análisis del riesgo con los criterios del riesgo establecidos para determinar cuándo se requiere una acción adicional. Esto puede conducir a una decisión de:

- no hacer nada más
- considerar opciones para el tratamiento del riesgo
- realizar un análisis adicional para comprender mejor el riesgo
- mantener los controles existentes
- reconsiderar los objetivos

### **Tratamiento del riesgo**

El propósito del tratamiento del riesgo es seleccionar e implementar opciones para abordar el riesgo.

El tratamiento del riesgo implica un proceso iterativo de:

- formular y seleccionar opciones para el tratamiento del riesgo;
- planificar e implementar el tratamiento del riesgo;
- evaluar la eficacia de ese tratamiento;
- decidir si el riesgo residual es aceptable;
- si no es aceptable, efectuar tratamiento adicional.
- evitar el riesgo decidiendo no iniciar o continuar con la actividad que genera el riesgo;
- aceptar o aumentar el riesgo en busca de una oportunidad;
- eliminar la fuente de riesgo;
- modificar la probabilidad;

- modificar las consecuencias;
- compartir el riesgo (por ejemplo: a través de contratos, compra de seguros);
- retener el riesgo con base en una decisión informada.

### **Seguimiento y revisión**

El propósito del seguimiento y la revisión es asegurar y mejorar la calidad y la eficacia del diseño, la implementación y los resultados del proceso. El seguimiento continuo y la revisión periódica del proceso de la gestión del riesgo y sus resultados debería ser una parte planificada del proceso de la gestión del riesgo, con responsabilidades claramente definidas.

El seguimiento y la revisión deberían tener lugar en todas etapas del proceso. El seguimiento y la revisión incluyen planificar, recopilar y analizar información, registrar resultados y proporcionar retroalimentación.

Los resultados del seguimiento y la revisión deberían incorporarse a todas las actividades de la gestión del desempeño, de medición y de informe de la organización.

### **Registro e informe**

El proceso de la gestión del riesgo y sus resultados se deberían documentar e informar a través de los mecanismos apropiados. El registro e informe pretenden:

- comunicar las actividades de la gestión del riesgo y sus resultados a lo largo de la organización;
- proporcionar información para la toma de decisiones;
- mejorar las actividades de la gestión del riesgo;
- asistir la interacción con las partes interesadas, incluyendo a las personas que tienen la responsabilidad y la obligación de rendir cuentas de las actividades de la gestión del riesgo.

Las decisiones con respecto a la creación, conservación y tratamiento de la información documentada deberían tener en cuenta, pero no limitarse a su uso, la sensibilidad de la información y los contextos externo e interno.

En la figura 1.4 tomado de (Díez, 2015), se observa el proceso de identificación, análisis y gestión de riesgos.



**Figura 1.4: Modelo de Gestión Integral del Riesgo.** (Díez, 2015)

### 1.3.3 Proceso de Gestión de riesgos sísmico asociado a puentes.

Según el Manual Centroamericano de gestión del Riesgo en puentes (SIECA, 2010) para el proceso de Gestión de riesgos sísmico en puentes se deberá realizar una evaluación de las amenazas y la interacción de ellas con la sociedad, permitiendo identificar aquellos elementos que son de perjuicio y/o beneficio para el desarrollo del puente y/o para la sociedad. La manera como se diseñe el puente no debe favorecer el desencadenamiento de eventos que afecten al proyecto y su entorno.

#### Evaluación del riesgo

La identificación y valoración adecuadas del riesgo proveen el conocimiento e información sobre el riesgo derivado de una o varias amenazas y permite sentar las bases para el desarrollo de las demás políticas. Incluye las acciones de vigilancia y observación de los eventos, la realización de estudios, escenarios, mapas y modelos de amenazas, sistemas de información sobre la exposición, la evaluación de la vulnerabilidad de los componentes expuestos, la calificación y visualización del riesgo y otros. Requiere de información completa y confiable en diferentes ámbitos y niveles. (Barbat A. H., 2000)

En el pasado han sido utilizados varios criterios para clasificar las diferentes metodologías de evaluación de la vulnerabilidad de construcciones. Una de las clasificaciones más completas ha sido recientemente propuesta por Petrini y Corsanegro (descrita en Dolce et al. 1994 y Dolce 1997), en la cual las metodologías se agrupan en técnicas directas, indirectas, convencionales e híbridas. (Barbat A. H., 2000)

**TABLA 1.6**  
**TÉCNICAS DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE**  
**CONSTRUCCIONES.**

| <b>Técnicas de evaluación de la vulnerabilidad de construcciones</b>                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Directas</b>                                                                                                                                                                        | <b>Indirectas</b>                                                                                                                                                                                                                      | <b>Convencionales</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>Híbridas</b>                                                                                                                                                                                                                     |
| Proporcionan, en un simple paso, la predicción del daño causado por un sismo dado. Dentro de este grupo, los métodos más frecuentemente utilizados son los tipológicos y los mecánicos | Determinan un índice de vulnerabilidad en un primer paso, obteniendo en un segundo paso la relación entre daño y tamaño del sismo. Esta técnica de evaluación es de utilidad en los análisis sísmicos de grandes grupos estructurales. | Son esencialmente heurísticas e introducen el índice de vulnerabilidad independientemente de la predicción del daño. Estos métodos son empleados para comparar diferentes construcciones de una misma área a través de algunos factores cuya contribución a la resistencia sísmica es calibrada por expertos. Los índices resultantes de estos métodos son una medida relativa de la | Estas técnicas combinan elementos de los métodos previos con la opinión de expertos. Las técnicas híbridas son desarrolladas tomando aquellos aspectos de las otras técnicas que son útiles para resolver cada problema particular. |

|  |  |                               |  |
|--|--|-------------------------------|--|
|  |  | vulnerabilidad en un<br>área. |  |
|--|--|-------------------------------|--|

Elaboración propia

## **Métodos utilizados para la evaluación de la vulnerabilidad en puentes.**

### **Procedimiento del ATC 6-2**

Uno de los primeros procedimientos para definir la vulnerabilidad sísmica de puentes fue desarrollado por el Applied Technology Council (ATC-6 1981 y ATC-6-2 1983), con el objetivo de que éste fuera el paso inicial en la toma de decisiones de las medidas de refuerzo necesarias en puentes. (Yamin, 2016)

El ATC 6-2 aplica técnicas híbridas, una combinación de métodos indirectos y convencionales. La evaluación de la vulnerabilidad del ATC está basada en tres los grupos principales comentados anteriormente; esto es, características estructurales necesarias para la obtención de un índice de daño sísmico, sismicidad en el sitio de ubicación de la estructura y la importancia de ésta como línea vital de transportación. El valor global de vulnerabilidad sísmica de cada puente es alcanzado estimando el comportamiento independiente de cada estructura en el área de estudio. (Barbat A. H., 2000)

### **Modelo de Pezeshk et al.**

Conforme a Pezeshk et al. (Chang et al. 1995 y Pezeshk et al. 1993), el proceso de refuerzo sísmico es, en general, dividido en tres pasos principales: evaluación preliminar, evaluación detallada y diseño de las medidas de refuerzo. Como un proceso de evaluación preliminar, Pezeshk et al. proponen un modelo indirecto de evaluación de la vulnerabilidad sísmica de puentes, el cual requiere de un inventario exhaustivo (a ser posible) de datos de todas las estructuras a ser analizadas. (Barbat A. H., 2000)

### **Modelo de Seong Kim**

El modelo propuesto por Kim (Ren y Gaus 1996) comparte con el anterior modelo muchos de los parámetros que caracterizan el comportamiento sísmico de puentes. Además, el modelo de Kim también se desarrolló considerando que sólo la información proveniente de inventarios e inspecciones eran suficientes para construir el modelo. A diferencia del modelo de Pezeshk et al., la propuesta de Kim identifica los grados de vulnerabilidad de la estructura mediante un grupo compacto de 12 parámetros generales, dentro de los que se incluyen

estimaciones de la sismicidad (tamaño del sismo), condiciones estructurales y evaluaciones del suelo de sustento. (Barbat A. H., 2000)

(Acuña Prado, 2013) Los resultados del análisis de riesgo permiten plantear un esquema de priorización de las intervenciones de acuerdo con los siguientes criterios:

- Priorización de intervenciones a nivel vías principales (y no por puente).
- Priorización posterior de acuerdo con las tipologías estructurales en las vías principales.

### **Método utilizado**

En este trabajo el método a utilizar es el para el índice de priorización se utiliza el método de Pezeshk et al. adaptado al estado técnico ya que es el más adecuado según la información obtenida, este se conceden 100 puntos máximos, 30 distribuidos entre los diferentes parámetros estructurales, 10 para la importancia estructural, 24 para las características de cimentación y sitio de ubicación y 32 para el estado técnico de los puentes. Asimismo, Pezeshk et al. consideran que los elementos del puente con mayor probabilidad de sufrir daño son: apoyos, pilas, cimientos, estribos, y cimentaciones, por lo que buena parte de los parámetros analizados en el primer grupo se asocian a estos elementos.

Los parámetros y los procedimientos de asignación de la fragilidad de cada grupo de parámetros de este modelo son:

### **Características estructurales**

- Superestructuras, 4 puntos. Se asignan los cinco puntos disponibles a este parámetro si la superestructura no es continua y cero si lo es. Los puentes con superestructuras continuas (con dos o menos juntas de expansión) y soportes que sobrelleven grandes deformaciones traslacionales usualmente permanecen en servicio con reparaciones menores, cuando son sometidos a sismos moderados. Sin embargo, los puentes con estructuras discontinuas y/o miembros de soporte frágiles generalmente sufren daño severo causado por licuefacción.
- Número de juntas de expansión, 4 puntos. Las discontinuidades de la superestructura, tales como las juntas de expansión, afectarán la estabilidad global del puente. Entonces, si el puente tiene cuatro o más juntas de expansión se asignan 4 puntos; un valor de 3 es asociado a este parámetro para puentes

con dos o tres juntas de expansión, y se consideran 1 punto si las estructuras no tienen o tienen una junta de expansión.

- Tipo de apoyo, 4 puntos. Los cuatro tipos básicos de apoyos utilizados en puentes son rocker, de rolado, elastoméricos y deslizantes, descritos someramente en el modelo anterior. Atendiendo a la gran cantidad de información publicada sobre el comportamiento de estos mecanismos, Pezeshk et al. consideran que este parámetro será de 4 para apoyos tipo rocker, 3 para apoyos de rolado, 2 para elastómeros y el mínimo valor de 0 puntos para apoyos deslizantes.
- Alineamiento del puente, 4 puntos. El alineamiento de un puente tiene su mayor efecto en el comportamiento de sus apoyos. El sesgo es definido como el ángulo entre el centro de líneas de los soportes y una línea perpendicular al centro de líneas del puente. Dependiendo de este ángulo, una estructura puede ser penalizada con valores entre 1 y 4 puntos. A mayor ángulo de sesgo, mayor valor del parámetro y mayor fragilidad.
- Año de construcción, 6 puntos. Muchos de los defectos del comportamiento de puentes son localizados en estructuras viejas, más que en aquellas que reflejan el estado del arte en el diseño sismorresistente. Aunque un puente construido con los actuales códigos de diseño no es garantía de un comportamiento sísmico adecuado, es seguro que una estructura vieja tiene mayor probabilidad de daños severos. Para este modelo de obtención de la vulnerabilidad, un valor máximo de 6 puntos es propuesto para estructuras construidas antes de la adopción de códigos sismorresistentes. Valores de este parámetro distintos al máximo se podrán asignar a las estructuras conforme a la confiabilidad de código aplicado para su diseño y construcción. El año de construcción de los puentes que no tienen este dato se asigna a partir del año de construcción de puentes cercanos, si esto no es posible, se asume que fueron construidos antes de códigos sismorresistentes.
- Clasificación, 4 puntos. Los puentes de estudio son clasificados como regulares o irregulares, con valores de asignación de 0 y 4 puntos, respectivamente. Un puente es irregular si tiene diferencias en rigidez, alturas de pilas o cambios importantes en elevación.

- Altura de pilas, 4 puntos. Los autores de este modelo consideran que si un puente tiene pilas con alturas mayores a los 15 pies (aproximadamente 5 metros), éste será más susceptible a sufrir daño durante un sismo, comparado con una estructura con pilas más cortas. Entonces, si un puente tiene pilas con alturas mayores a los 15 pies se penaliza con 4 puntos.
- Longitud de soporte mínima, 4 puntos. La longitud de soporte mínima para sustento de apoyos debe ser mayor que la actual longitud de soporte del puente. Si un puente tiene una longitud de soporte escasa existe el riesgo de que el apoyo pierda sustento, resultando en un fallo importante de la superestructura. Para este método, la longitud de soporte mínima de referencia,  $N_d$ , es determinada mediante la expresión 2.1. Si la actual longitud de soporte del sistema de análisis es mayor al valor de  $N_d$ , éste es penalizado con 0 puntos, y con 4 en caso contrario.

$$N_d = 12 + 0.03L + 0.12H \quad (2.1)$$

donde: L es la longitud del sistema de piso del puente entre juntas de expansión adyacentes o entre los extremos de dicho sistema de piso, en pies. L es la suma de  $L_1$  y  $L_2$ , las distancias a cada lado de la articulación. H es la altura promedio de las pilas de soporte hasta la próxima junta de expansión ( $H = 0$  para puentes de vanos simples). Para otros casos, H es la altura promedio de dos pilas adyacentes, en pies.

#### **Importancia del puente como elemento de transportación vital**

- Tráfico diario promedio (TDP), 5 puntos. Las consecuencias catastróficas inmediatas del colapso de un puente son: (1) la pérdida de vidas humanas en o bajo el puente durante un sismo y (2) la parálisis total o parcial del tráfico y las comunicaciones en una región. El impacto de esta última consecuencia depende, entre otras cosas, de la cantidad de tráfico que cruza un puente durante un periodo de tiempo; por ejemplo, el tráfico diario promedio. El tráfico diario promedio (TDP) puede ser obtenido de las estadísticas realizadas por organizaciones gubernamentales. Para el modelo de Pezeshk et al., un TDP menor a los 2000 vehículos se asocia a los 0 puntos, entre 2000 y 10000 vehículos a los 3 puntos y más de 10000 vehículos a los 5 puntos.

- Longitud de retorno, 5 puntos. Este y el anterior parámetro procuran determinar la importancia de la estructura como línea vital y las causas de su fallo. La longitud de retorno se relaciona con el valor de la longitud necesaria para llegar al puente más cercano a la estructura de análisis, evaluando así la posibilidad de rutas alternas cuando se presenta el fallo de la estructura. Pezeshk et al. consideran que longitudes de retorno mayores a las cuatro millas dan 5 puntos, entre dos y cuatro millas marcan 3 puntos y se asignan a este parámetro 0 puntos para longitudes menores a cuatro millas.

### **Características de sitio y cimentación**

- Perfil del suelo, 8 puntos. Cuando este parámetro es evaluado se consideran los estudios geológicos y topográficos que proporcionan los perfiles del suelo de ubicación del puente. El tipo de suelo tiene su mayor influencia en las amplitudes y duraciones de la acción sísmica, y por lo tanto en el daño estructural. Suelos más profundos y menos densos tienen una mayor penalización.
- Potencial de licuefacción, 8 puntos. Este parámetro determina el tipo más significativo de inestabilidad del suelo, aunque otros tipos de problemas, como asentamientos y deslizamientos, pueden también resultar en daños de puentes durante un sismo. La asignación de la vulnerabilidad para los suelos de cimiento en este método está basada en una estimación cualitativa de la susceptibilidad de licuefacción. En las investigaciones de Chang et al. (1995) y Pezeshk et al. (1993), 0 puntos han sido considerados para suelos con nula susceptibilidad a la licuefacción, 5 para moderada susceptibilidad y 8 para suelo con gran probabilidad de inestabilidad.
- Altura de estribos, 8 puntos. El fallo más significativo de los estribos es principalmente debido a torsión, asentamiento y cortante. Una viga que colisiona violentamente contra un estribo puede causar daño local de consideración en el estribo, tal como agrietamiento de los muros de retención o desprendimiento del hormigón en los apoyos de vigas. La asignación de valores a este parámetro es función de la altura del estribo; así, una altura entre cero y 4.6 metros da 0 puntos, entre 4.6 y 9.1 metros da 4 puntos y mayor a los 9.1 metros, 8 puntos.

### **Estado técnico**

- Deterioro de la losa, 8 puntos. La asignación de valores a este parámetro es función del estado de la misma; así, una losa en un excelente estado da 0

puntos, con un deterioro leve da 3 puntos, con un deterioro moderado da 5 puntos, con un deterioro grave 7 puntos y si la losa esta destruida, 8 puntos.

- El daño en los apoyos, 8 puntos. La asignación de valores a este parámetro es función del esto de la misma; así, una losa en un excelente estado da 0 puntos, con un deterioro leve da 3 puntos, con un deterioro moderado da 6 puntos, con un deterioro grave 8 puntos.
- Mantenimiento, 8 puntos. El mantenimiento de estructuras es de vital importancia, ya que este tiene un gran peso en el buen comportamiento de este ante eventos sísmicos. La asignación de la vulnerabilidad para la estructura en este método está basada en si se le ha dado un mantenimiento, considerando que en Cuba no existe ninguna norma que dictamine un tiempo estimado a la cual se le debe realizar un mantenimiento, tomando de referencia (González Arestuche, 1998) que el tiempo promedio para la realización la inspección principal es de 5 año. Por tanto se considera que si en ese tiempo se le ha dado mantenimiento corresponde a 0 puntos, y si no 8 puntos.
- Aumento del peso vehicular, 8 puntos. En los últimos años se ha producido un incremento sustancial de las cargas excepcionales por peso que circulan y se autorizan a circular por la red de carretera en la provincia de Holguín, entre ellos se encuentran transformadores eléctricos, maquinarias y piezas de uso industrial o de la construcción. (Rodríguez P. R., 2022) Se considera 0 puntos si no existe un aumento vehicular y 8 puntos si excediera lo permitido.

Después de evaluar todos los factores se realiza la suma de los mismos para establecer el índice de riesgo que presenta cada uno y conocer cuales se le debe dar mayor prioridad. En la tabla siguiente se observa el índice de riesgo general de los puentes.

**TABLA 1.6**  
**Índice de Riesgo**

| <b>Índice de riesgo(Ir)</b> |                       |
|-----------------------------|-----------------------|
| Riesgo muy elevado          | $60 \leq Ir \leq 100$ |
| Riesgo alto                 | $40 \leq Ir \leq 60$  |
| Riesgo medio alto           | $30 \leq Ir \leq 40$  |
| Riesgo medio bajo           | $20 \leq Ir \leq 30$  |

|                 |                       |
|-----------------|-----------------------|
| Riesgo bajo     | $10 \leq I_r \leq 20$ |
| Riesgo muy bajo | $0 \leq I_r \leq 10$  |

(Acuña Prado, 2013)

El diagnóstico preliminar de un puente es rápido, fácil de aplicar y conservador. Si el diagnóstico se realiza a un grupo de puentes, los métodos empleados permitirían priorizar el orden de evaluación detallada y diseño de la rehabilitación de los puentes en estudio. (Acuña Prado, 2013)

Los puentes que a partir de un diagnóstico preliminar sean identificados como sísmicamente vulnerables deben ser evaluados detalladamente. Todo puente identificado como deficiente, durante un diagnóstico preliminar, debe ser sujeto a una evaluación detallada usando uno o varios de los métodos. La intervención de los puentes que mayor riesgo presentan es un criterio de optimización de las inversiones para efectos de mitigación. (Acuña Prado, 2013)

### **Evaluación detallada**

#### Levantamiento patológico

El estudio sistemático de los procesos y características de las “enfermedades” o los “defectos y daños” que pueden sufrir las estructuras es de vital importancia, debemos considerar la funcionalidad constructiva de los elementos y unidades de la estructura a evaluar. (Alzate Buitrago, 2017)

A continuación, se describe de forma general cómo se clasifican las patologías estructurales, la degradación de los materiales y como se evalúan de acuerdo al grado de afectación:

- Patologías estructurales: Son aquellas que están directamente relacionadas con el comportamiento de la estructura y se manifiestan en forma de fisuras, grietas, desprendimientos de hormigón, etc. Generalmente tienen gran incidencia en la seguridad estructural.
- Patologías no estructurales: Son aquellas que no tienen relación alguna con el comportamiento estructural y se manifiestan en forma de desprendimientos de pinturas, humedades, eflorescencia, etc.
- Patología de los materiales: son aquellas relacionadas fundamentalmente con la degradación del comportamiento de los materiales en el tiempo y se relacionan con los procesos de corrosión del acero, ya sea en estructuras metálicas o en armaduras de refuerzo del hormigón.

Para definir el estado técnico de los elementos afectados se utilizó la siguiente clasificación para el grado de afectación:

- **Leve:** La lesión no tiene peligrosidad. La afectación se soluciona con una reparación simple. Puede ser un defecto que tiene efectos negativos desde el punto de vista visual pero el elemento no pierde su valor de uso y no es razonable su reparación a corto plazo.
- **Media:** Debe prestársele atención a la lesión del elemento y repararse porque más adelante pudiera agravarse atentando contra el funcionamiento del elemento.
- **Grave:** Las patologías pueden permanecer un corto o largo período de tiempo sin que se produzca la rotura total, pero debe repararse con cierta urgencia debido a que puede producirse un fallo instantáneo del elemento.
- **Muy grave:** El fallo total se puede producir instantáneamente o la pérdida de valor de uso del elemento en un corto período de tiempo.

### **Registro e informe**

El plan de contingencia funciona como el instrumento base para enfrentar cualquier situación de emergencia de manera eficaz, minimizando los efectos negativos que se puedan generar, articulando diferentes estrategias de reacción e informando a la comunidad y a los diferentes organismos institucionales competentes la situación generada. (Yamin, 2016)

El desarrollo de los planes de contingencia se basa en los resultados obtenidos del análisis de riesgos y las situaciones o eventos que representan los mayores impactos para la seguridad de la población y el ambiente. (Yamin, 2016)

Las emergencias más relevantes se caracterizan por interrumpir el normal funcionamiento de los sistemas y son causadas por una situación o evento, usualmente inesperado, que requiere de una reacción inmediata con el fin de restablecer la normalidad a la mayor brevedad posible. Se trata de evitar efectos sobre la operación misma de los sistemas y sobre la población y el medio ambiente, actuando en ciertos casos en forma conjunta o coordinada con las instituciones gubernamentales, los medios de comunicación y la misma comunidad. (Yamin, 2016)

Los planes de emergencia y contingencia deben incluir diferentes tipos de amenazas o peligros. Estos eventos pueden llevar a la falla simultánea o secuencial de diferentes sistemas en la ciudad, lo cual debe estar previsto en el plan de contingencia de acuerdo a los siguientes parámetros. (Yamin, 2016)

- Directrices para una rápida respuesta frente a los eventos que se deben probar mediante simulaciones con el fin de optimar la capacidad de respuesta de las personas y grupos encargados.
- Información oportuna y formulación de procedimientos de reacción o respuesta que se seguirán frente a las posibles situaciones de emergencia que se pueden presentar. Se establecerán tanto procedimientos generales como procedimientos específicos de respuesta, estableciendo grupos de reacción simultáneos, que trabajando en paralelo puedan actuar de forma eficiente. Estos planes deberán definir las funciones del personal, coordinar actividades, establecer grupos de acción y describir los procedimientos pre-establecidos.

Los objetivos específicos de los planes de contingencia son los siguientes: Establecer los procedimientos generales y específicos para la respuesta de cada uno de los actores involucrados en el tema de riesgos ante las posibles situaciones críticas o de emergencia que se puedan presentar, de acuerdo con los análisis de riesgo realizados. (Yamin, 2016)

Definir acciones básicas de respuesta frente a situaciones anormales que impliquen una operación diferente a la de rutina y de forma inmediata, para reducir o evitar el impacto adverso sobre los elementos expuestos o la población. Identificar situaciones que impliquen llevar a cabo una estrategia de información pública, jurídica o financiera como resultado de una situación de emergencia que vincule a la empresa con los efectos que puedan sufrir asentamientos humanos o el entorno natural. (Yamin, 2016)

La planificación de políticas y estrategias para la recuperación y reconstrucción post-desastre proporciona a los gobiernos las herramientas necesarias para asegurar la definición clara de roles, responsabilidades y mecanismos de coordinación inter-institucional y municipal, así como para evaluar anticipadamente las soluciones posibles para enfrentar problemas críticos. El Gobierno Nacional o Distrital esencialmente actúa como un asegurador sin costo,

pues cubre frecuentemente una porción de los costos de reparación de la infraestructura pública. (Yamin, 2016)

**Conclusiones parciales:**

- Del estado del arte referente a riesgo sísmico se encuentra que los autores Real Academia Española, (Peralta Buriticá, 2007), (Chuy, 1997), (Meléndez, 2015) y (CIIFEN, 2022)
- Las principales categoría asociadas al riesgo sísmico son: riesgos globales medioambientales, geopolíticos, sociales, económicos, tecnológicos y sus principales técnicas de evaluación radican por sus ventajas de identificar las causas, orígenes y fuerzas impulsoras del riesgo.
- Los factores que inciden en el riesgo sísmico de puentes están asociados al diseño estructural y geotécnico y al estado técnico del mismo.
- El proceso de gestión de riesgo sísmico en puentes se divide en 5 etapas: identificación, análisis, valoración, atenuación y supervisión.
- Dentro de las técnicas de evaluación de puente se encuentran las directas, indirectas e híbridas.

**CAPÍTULO 2: SISTEMA DE GESTIÓN DE RIESGOS SÍSMICOS EN PUENTES DE INTERÉS NACIONAL DE LA PROVINCIA DE HOLGUIN**

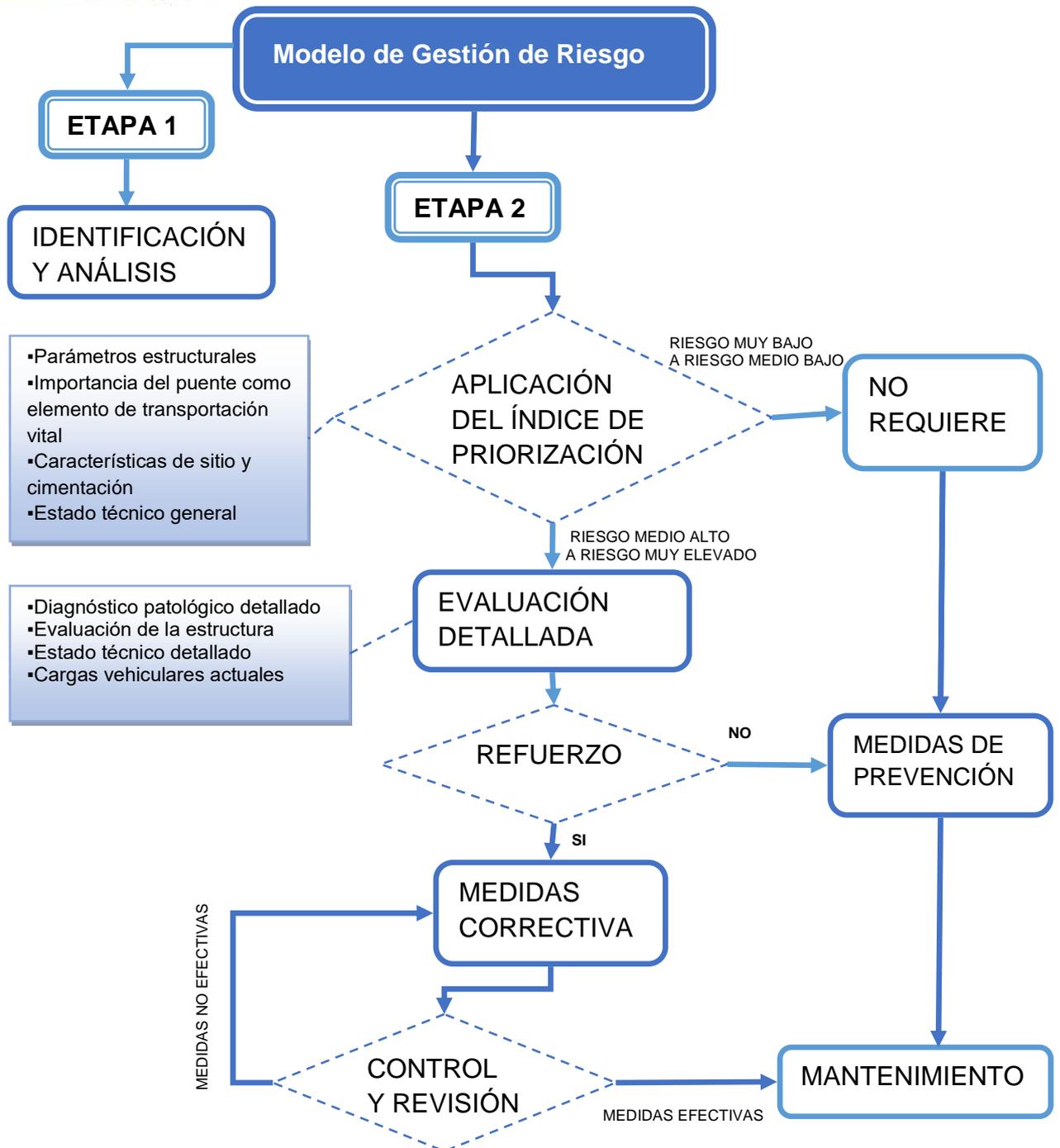
La gestión integral de puentes es el conjunto de elementos administrativos y organizacionales, normas y procedimientos, además de recomendaciones y especificaciones avaladas por la experiencia acumulada como implantados por una organización o dependencia en dos niveles de participación central y territorial para: planificar, ejecutar y controlar todas las actividades u operaciones relacionadas con los puentes a su responsabilidad, después de que están puestos en explotación o servicio.

La rehabilitación de un puente es una tarea difícil es delicada, en la mayoría de los casos la dificultad está dada por la desaparición de los proyectos originales, lo que hace más compleja la determinación de la seguridad de la obra.

### **2.1 Modelo de gestión de riesgo**

A partir de las entrevistas realizadas a especialistas del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas Aplicadas CENAIIS y la empresa de vialidad Holguín se logra recopilar una serie de informaciones referente a los puentes de interés nacional de la Provincia. En las inspecciones realizadas se verificaron cuidadosamente las condiciones actuales de cada una de estos puentes, sus características según el diseño original, tipología, técnica constructiva empleada, eficiencia del uso y sus imperfecciones o deficiencias más significativas. Con estas se desarrolla una base de datos que permite visualizar, identificar y analizar los puentes en particular.

En la figura siguiente se muestra el modelo de Gestión de Riesgo general diseñado para la evaluación y mantenimiento de los puentes actuales.



**Figura 2.1 Modelo de Gestión de Riesgo para puentes General**

### 2.1.1 Identificación y evaluación de los puentes con alto riesgo sísmico en la provincia de Holguín

Los resultados se presentan en forma tabulada, es preciso aclarar también que lo mostrado es la síntesis de una investigación mucho más amplia. Se exponen entonces elementos generales como: estado técnico actual, clasificación del perfil de suelo, características geométricas y estructurales (luzes y altura de las pilas).

De 250 puentes en Vías de Interés Nacional de la provincia de Holguín se ha evaluado el estado técnico de 55 puentes en las principales carreteras con mayor riesgo sísmico dando como resultado que un 10% del total de puentes presentan un estado de regular a malo como se muestra en la tabla 2.1.

**TABLA 2.1**

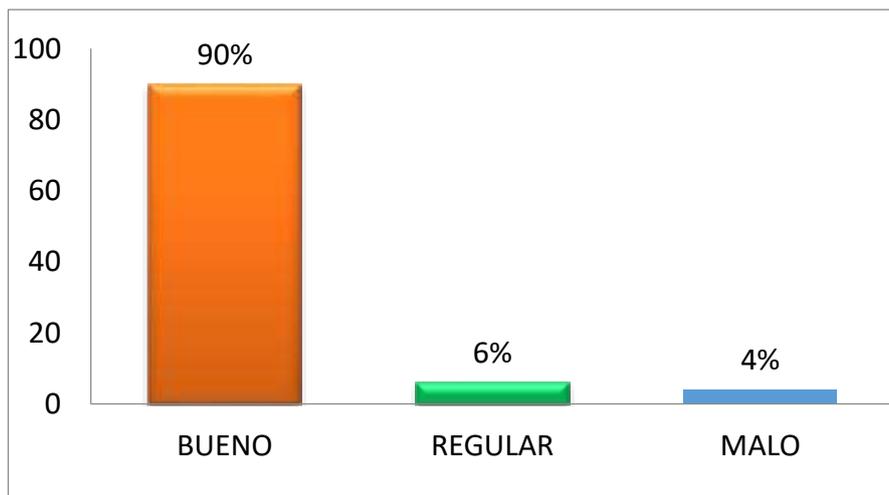
**Estado técnico de los puentes de la provincia de Holguín**

| Carretera   | Número de puentes(%) | Evaluación |
|-------------|----------------------|------------|
| Holguín-Moa | 90                   | Bueno      |
|             | 5                    | Regular    |
|             | 5                    | Malo       |
| Moa-Baracoa | 92                   | Bueno      |
|             | 8                    | Malo       |
| Banes-Nipe  | 82                   | Bueno      |
|             | 5                    | Regular    |
|             | 14                   | Malo       |

Elaboración propia

**GRÁFICO 2.1**

**Estado Técnico de los puentes de la provincia de Holguín**



Elaboración propia

Para el análisis del aspecto suelo se toma como base la clasificación del perfil que hace referencia la NC: 46: 2017: Requisitos sismorresistentes. (Figura 2.1), como

resultado se tiene que existen 6 perfiles de suelo E siendo estos los más susceptibles ante la acción de eventos sísmicos.

| Tipo de perfil de suelo | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Definición                                                                                                                            |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>A</b>                | Perfil de roca competente                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | $V_s > 1500 \text{ m/s}$                                                                                                              |
| <b>B</b>                | Perfil de roca de cualquier espesor                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | $760 \text{ m/s} < V_s \leq 1500 \text{ m/s}$                                                                                         |
| <b>C</b>                | Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, de cualquier espesor que cumpla con el criterio de velocidad de la onda de cortante.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | $360 \text{ m/s} < V_s \leq 760 \text{ m/s}$                                                                                          |
|                         | Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, de cualquier espesor que cumpla con cualquiera de los dos criterios.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | $N > 50$ , o<br>$S_u \geq 100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2)$                                                               |
| <b>D</b>                | Perfiles de suelos rígidos de cualquier espesor que cumpla con el criterio de velocidad de la onda de cortante.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | $180 \text{ m/s} \leq V_s \leq 360 \text{ m/s}$                                                                                       |
|                         | Perfiles de suelos rígidos de cualquier espesor que cumpla cualquiera de las dos condiciones.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | $15 \leq N \leq 50$ , o<br>$50 \text{ kPa} (\approx 0,5 \text{ kgf/cm}^2) \leq S_u \leq 100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2)$ |
| <b>E</b>                | Perfil de cualquier espesor que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | $V_s < 180 \text{ m/s}$                                                                                                               |
|                         | Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | $IP > 20$<br>$w \geq 40 \%$<br>$S_u < 25 \text{ kPa} (\approx 0,25 \text{ kgf/cm}^2)$                                                 |
| <b>F</b>                | Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotécnico. Se contemplan las siguientes subclases.<br>F1: Suelos vulnerables a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.<br>F2: Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).<br>F3: Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7,5 m con Índice de Plasticidad IP > 75).<br>F4: Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 36 m). |                                                                                                                                       |

**Figura 2.2: Clasificación del perfil del suelo según norma NC: 46:2017**

**Tabla 2.2**

**Clasificación del perfil de suelo de los puentes**

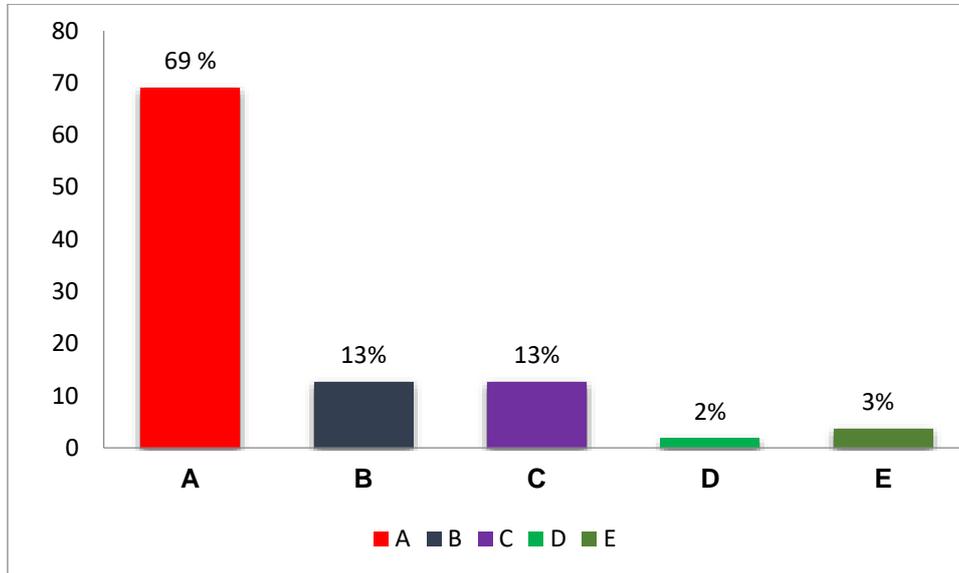
| Carretera   | Número de puentes (%) | Suelo |
|-------------|-----------------------|-------|
| Moa-Baracoa | 65                    | A     |
|             | 25                    | B     |
|             | 5                     | C     |
|             | 5                     | E     |
| Holguín-Moa | 73                    | A     |
|             | 18                    | C     |
|             | 9                     | E     |
| Banes-Nipe  | 70                    | A     |
|             | 15                    | B     |

|  |    |   |
|--|----|---|
|  | 15 | C |
|--|----|---|

Elaboración propia

**Gráfico 2.2**

**Clasificación general del perfil de suelos de los puentes en %**

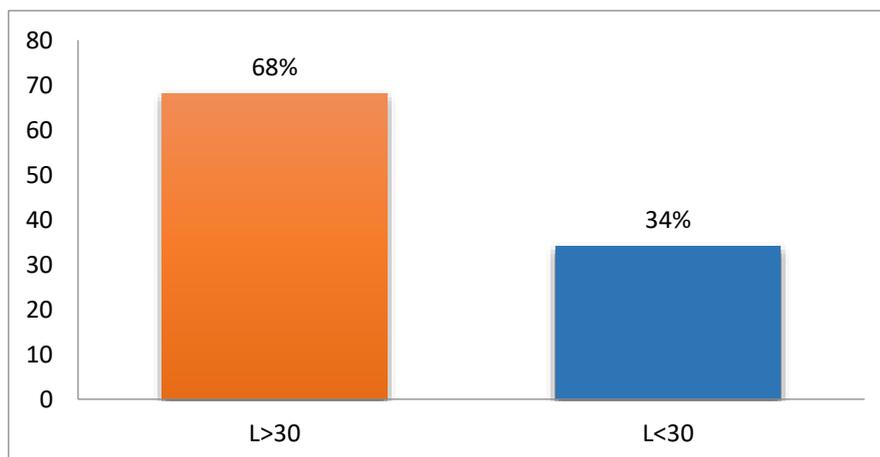


Elaboración propia

En cuanto a la altura de las pilas se toma como punto de referencia 5m, donde aquellos puentes que presenten alturas mayores estas son más susceptibles a la acción sísmica.

**GRÁFICA2.3**

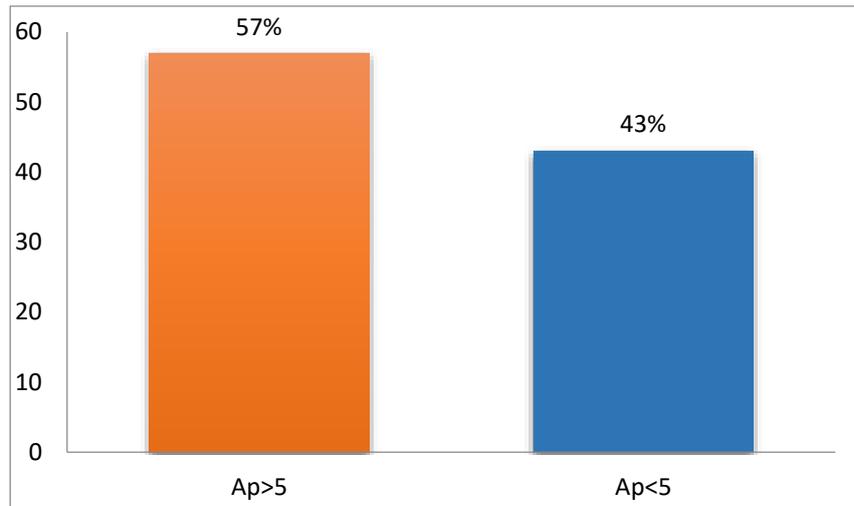
**Longitud de las luces de los puentes**



Elaboración propia

**GRÁFICA 2.4**

**Altura de las pilas de los puentes**



Elaboración propia

Del análisis anterior se concluye que de los 55 puentes evaluados, 20 son los que presentan mayor riesgo por la altura de los pilotes y las luces largas, 5 por el perfil de suelo y 10 de estos que presentan un estado técnico desfavorable. Atendiendo a esto se realiza un índice de priorización a los 7 puentes que cumplen con la mayoría de estos parámetros y se toma como punto de partida los componentes individuales de cada uno de ellos, que se relacionan en el Anexo 1 y 2.

## **2.2 Aplicación del índice de priorización**

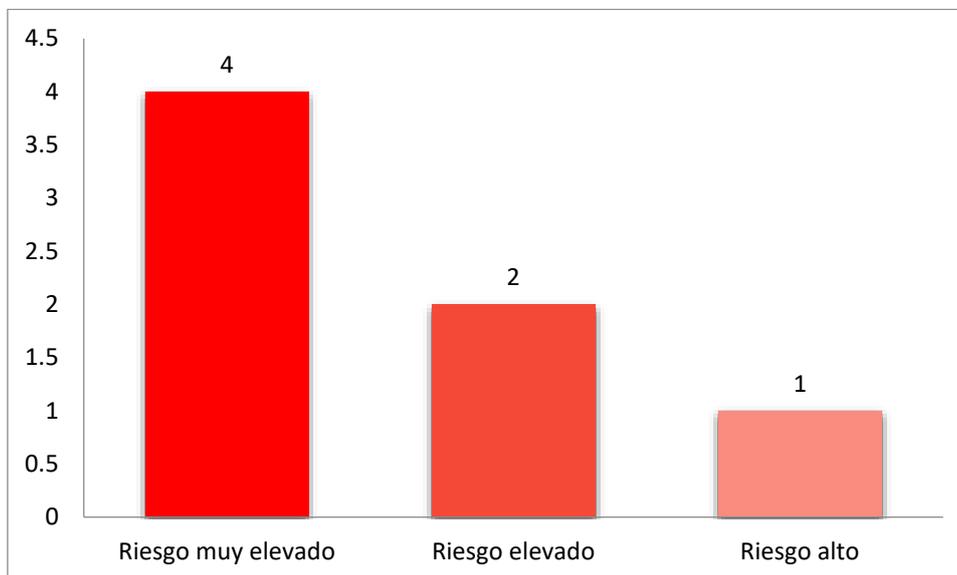
Para obtener al detalle la situación actual de los puentes evaluados ante el riesgo sísmico, se aplica la técnica de índice de priorización. El mismo facilita la obtención de los indicadores específicos que inciden sobre la vulnerabilidad y a su vez identificar y clasificar dichos riesgos.

Al aplicar el índice de priorización, en los casos de estudios se utiliza una técnica híbrida ya que se combina el método de Pezeshk y métodos empíricos, (basado en inspección visual sobre el estado técnico de las estructuras). En los Anexos 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 se detallan los resultados obtenidos por puente. Del mismo se concluye que los puentes BN-1, H-3, H-4 y MB-1 presentan riesgo muy elevado, los puentes H-1 y MB-2 presentan riesgo alto y el puente H-2 presenta un riesgo medio alto (Tabla 2.3).

**TABLA 2.3**  
**Resumen del Índice de Priorización**

| Índice de riesgo(Ir) |                    | PUENTES |     |     |     |     |      |      |
|----------------------|--------------------|---------|-----|-----|-----|-----|------|------|
|                      |                    | BN-1    | H-1 | H-2 | H-3 | H-4 | MB-1 | MB-2 |
| Riesgo muy elevado   | $60 < Ir \leq 100$ | 62      | 62  | 37  | 53  | 63  | 75   | 58   |
| Riesgo alto          | $40 < Ir \leq 60$  |         |     |     |     |     |      |      |
| Riesgo medio alto    | $30 < Ir \leq 40$  |         |     |     |     |     |      |      |
| Riesgo medio bajo    | $20 < Ir \leq 30$  |         |     |     |     |     |      |      |
| Riesgo bajo          | $10 < Ir \leq 20$  |         |     |     |     |     |      |      |
| Riesgo muy bajo      | $30 < Ir \leq 10$  |         |     |     |     |     |      |      |

**GRÁFICO 2.5**  
**Categorías de riesgo en los puentes de la provincia de Holguín**



(Elaboración propia)

### 2.1.3 Evaluación detalla

#### Diagnostico patológico

Para la realización del estudio patológico, se utilizó principalmente la técnica por inspección visual, para cuantificar y clasificar los daños existentes en las estructuras y así brindar una información más exacta del estado de los elementos afectados. En caso de ser posible se deben realizar ensayos destructivos y no destructivos que permitan determinar las características físicas mecánica real de los materiales.

A continuación, se describe la clasificación de las patologías y las que más comunes que se presentan en los puentes:

- grietas en losa, viga, cajones, tramo suspendido de Gerber, apoyos, cabezales de pila y estribo.
- Acero expuesto en losa, viga, cajones, tramo suspendido de Gerber, apoyos y columnas de pila.
- Síntomas de socavación
- Filtraciones a través de grietas en la losa
- Hundimiento en la losa de aproche
- Hay escombros o arrastres que obstaculicen el cauce

En el Anexo 10 se muestra la evaluación detallada mediante la inspección de puentes y se evidencian las patologías que presentan.

#### **2.1.4 Medidas correctivas**

Medidas de reforzamiento está en función de los resultados que se obtiene anteriormente. Principales medidas se muestran a continuación

1. Apuntalamiento intermedio entre todos los ejes del puente y en la columna que presenta asentamiento.
2. Recalzar la cimentación correspondiente a columnas que presenten fallas geotécnicas.
3. Construcción de pórticos intermedios entre todos los ejes del puente con el fin de disminuir las luces, la distribución de cargas, la excesiva deformación de las vigas y aumentar la capacidad de carga de las mismas.
4. Dar tratamiento a las patologías no estructurales y estructurales.
5. Inhabilitar algún carril.
6. Limitar la cantidad de vehículos a uno a la vez y moderar la velocidad.
7. Restituir la sección del elemento en las zonas con agrietamientos, abofados y desprendimiento del hormigón en caso de corrosión del acero de refuerzo. Se reforzará en caso necesario.
8. Restaurar las zonas con grietas inclinadas y verticales.
9. Restaurar los elementos metálicos en uniones soldadas por avance de la corrosión.
10. Devolver la capacidad soportante de las secciones deterioradas restituyendo sus dimensiones originales.
11. Reforzamiento de la sección de las vigas al esfuerzo cortante.

12. Rehabilitación o reconstrucción de elementos de redes de drenaje y pluviales.

13. Evaluar las pérdidas de acero y sustitución de barras.

### **2.1.5 Medidas preventivas**

1. Protección de la corrosión a los elementos hormigón por medio de Inhibidor de Corrosión Migratorio
2. Aplicar el revestimiento de protección superficial
3. Aplicar mortero de terminación
4. Aplicación de protección secundaria (pintura).
5. Protección de los agentes atmosféricos a todos los elementos estructurales mixtos y compuestos (hormigón-perfil metálico) o de hormigón armado.
6. Limpieza y Tratamiento de acero mediante la aplicación de corrosivo y pasavante a uniones soldadas entre los elementos columna-cimentación, columna-columna, viga-columna.
7. Inspección de tragantes. (3 veces al año)
8. Inspección de zanjas, tuberías, colectores (3 veces al año)
9. Limpieza de zanjas, tuberías, colectores (3 veces al año)
10. Impermeabilización de tableros.
11. Protección contra las socavaciones (encachados, losas)

### **2.2 Modelo de gestión de riesgos sísmico aplicado a los puentes MB-1**

El puente MB-1 ubicado en la carretera Moa-Baracoa tiene un riesgo muy elevado (75 puntos) según el índice de priorización anterior por lo que se le realiza una evaluación más detallada a través de inspecciones visuales. Dentro de los principales problemas se detectaron:

- Mal montaje de las vigas de carga en su ejecución
- Desconchado en general y golpes
- Grietas en losas, vigas y cabezales de pilas
- Aceros expuestos en losas y vigas.
- Filtraciones a través de grietas en la losa
- Hundimiento en la losa de aproche

Para dar tratamiento a estos problemas se proponen las siguientes medidas correctivas.

- Mal montaje de las vigas de carga en su ejecución:

1. Recrecimiento y construcción de ménsulas o estructura adosada al cabezal que facilite mayor superficie de apoyo.
- Desconchado en general y golpes
    1. Retirar toda la zona desconchada y el material desprendido.
    2. Aplicar granallado sobre toda la superficie hasta eliminar la totalidad del óxido, los restos de pintura y las materias extrañas.
    3. Limpiar la superficie metálica con aire comprimido seco y limpio.
    4. La superficie debe quedar bien limpia de manera que adopte un color metálico uniforme.
    5. La protección superficial debe aplicarse antes que transcurran dos horas de haber aplicado la limpieza con granallas para evitar la reoxidación.
    6. Aplicar manualmente por medio de brochas una mano de imprimación a base de pigmentos anticorrosivos con una óptima adherencia a los soportes de metal y resistencia a los agentes atmosféricos.
    7. Aplicar capa intermedia de pintura de fondo epóxico de alto espesor.
    8. Aplicar capa de terminación de pintura esmalte epóxica poliuretánica.
  - Grietas en losas, vigas y cabezales de pilas
    1. Se ensanchará la porción adyacente a la superficie hasta tener una ranura de alrededor de 25 mm de ancho y 25 mm de profundidad. La ranura será ligeramente más ancha en la base que en la superficie
    2. Limpieza de la perforación con aire a presión para eliminar todas las partículas sueltas.
    3. El mortero se colocará en capas de alrededor de 10 mm de espesor
    4. Se compactará cada capa utilizando una varilla y cada capa sobre la cual se colocará otra capa se rayará para facilitar su adherencia con la capa siguiente. No es necesario que haya tiempos de espera entre capas
    5. Para minimizar la retracción el mortero debe reposar durante 1/2 hora después del mezclado y se debe volver a mezclar antes de usar
    6. Colocar un tablón de madera contra la superficie y golpearlo varias veces con un martillo
    7. Realizar algunas pasadas de llana o esponja

8. Curar ya sea con agua o con un compuesto de curado
  9. Proteger la superficie con una manta para controlar el mismo en ambientes con altas temperaturas
- Aceros expuestos en losas y vigas.
    1. Aplicar granallado sobre toda la superficie hasta eliminar la totalidad del óxido, los restos de pintura y las materias extrañas.
    2. Limpiar la superficie metálica con aire comprimido seco y limpio.
    3. La superficie debe quedar bien limpia de manera que adopte un color metálico uniforme.
    4. La protección superficial debe aplicarse antes que transcurran dos horas de haber aplicado la limpieza con granallas para evitar la reoxidación.
    5. Aplicar manualmente por medio de brochas una mano de imprimación a base de pigmentos anticorrosivos con una óptima adherencia a los soportes de metal y resistencia a los agentes atmosféricos.
    6. Aplicar capa intermedia de pintura de fondo epóxico de alto espesor.
  - Filtraciones a través de grietas en la losa
    1. Eliminar todo el repello (en caso de que exista) hasta dejar al descubierto la superficie de hormigón.
    2. Limpiar la superficie con agua a presión, de manera que quede libre de pinturas, eflorescencias, grasas, aceites, etc.
    3. Saturar con agua la superficie evitando formar charcos.
    4. Aplicar sobre toda la superficie visible de hormigón un inhibidor de corrosión migratorio (MGI) que sea capaz de inhibir la corrosión y pasivar el acero, tenga buena adhesión al hormigón y al acero, elevada alcalinidad, secado rápido y la propiedad de penetrar al interior de la masa de hormigón.
    5. Luego de secado el inhibidor aplicar mortero con el objetivo de lograr una terminación homogénea
    6. Colocación de un imprimante que sirva como consolidante del substrato y como puente de adherencia para los productos de protección secundaria.

7. Aplicación de un producto impermeabilizante que proteja contra los cloruros y sea sellador de fisuras de poco espesor. Además deberá proteger de la humedad, de los rayos ultravioletas y sea transpirable. El color de terminación estará en función de los requerimientos del proyecto de arquitectura.
- Hundimiento en la losa de aproche
    1. Requiere el desmonte de la losa de aproche y reconstrucción nuevamente del terraplén de aproche con el material adecuado y compactación requerida.

### **Propuesta de mantenimiento**

Se propone un mantenimiento rutinario cada 3 meses. Las operaciones típicas del mantenimiento rutinario son entre otras, las siguientes:

- Limpieza general de la calzada, aceras, juntas, aproches.
- Mantenimiento en buen estado de funcionamiento del sistema de drenaje y desagües.
- Supresión de vegetación perjudicial en zonas accesibles.
- Arreglos localizados en el pavimento..
- Pintura de zonas degradadas en barandillas u otros elementos metálicos.
- Mantenimiento en buen estado de dispositivos que facilitan la inspección (andamios colgados, escaleras de acceso.).
- Arreglos localizados de terraplenes de acceso y protección de los mismos.
- Arreglos en iluminación.

### **Conclusiones parciales**

- Se establece el índice de priorización para 7 puentes de interés nacional de la provincia de Holguín aplicando el método de Pezeth adaptado al estado técnico constructivo.
- Se diseña un modelo de gestión de riesgo sísmico que cuenta con 2 etapas y 7 pasos.
- Se aplica el modelo de gestión de riesgo sísmico al puente MB-1.

### Conclusiones

- A través del estudio del riesgo sísmico en puentes se pudo declarar el estado actual de la temática.
- La determinación de los fundamentos teóricos y metodológicos permitió la definición de los aspectos que sustentan el sistema de gestión de riesgo en puentes.
- La aplicación de índices de priorización a los puentes de interés nacional de la provincia de Holguín permitió identificar que 4 presentan riesgo sísmico muy elevado, 2 riesgo alto y 1 con riesgo medio alto.
- Con la elaboración de la propuesta de diseño de modelo de gestión de riesgo sísmico se pudo aplicar al puente MB-1 de riesgo sísmico muy elevado.
- En la valoración de la propuesta del modelo de gestión se obtuvo como resultado que de un total de 6 especialistas consultado estuvieron conforme para un 66.67%, y conforme con recomendaciones 33.33%.

### **Recomendaciones**

- Establecer un estudio que permita cuantificar el aumento del peso vehicular y las cargas excepcionales.
- Realizar un estudio de las normativas internacionales que establezcan la periodicidad requerida del mantenimiento del puente.
- Establecer un sistema de indicadores que permita ir valorando el cumplimiento de las propuestas de medidas y la disminución del riesgo.
- Se propone al departamento de vialidad del CENAIIS de Holguín implementar el sistema de gestión de riesgos, específicamente la evaluación detallada a los puentes.

## BIBLIOGRAFÍA

Bembibre, C. (diciembre de 2009). vía *Definición ABC* <https://www.definicionabc.com/tecnologia/puente.php>. Recuperado el 25 de agosto de 2022, de vía Definición ABC <https://www.definicionabc.com/tecnologia/puente.php>.

Acuña Prado, R. (2013). *Lineamientos para el Diseño Sismorresistentes de los Puentes*. Costa Rica: LanammeUCR.

AFIP SIPER. (2019). SISTEMA DE PERFIL DE RIESGO. *AFIP SIPER*.

Alzate Buitrago, A. (2017). *Identificación de patologías estructurales en edificaciones indispensables del municipio de Santa Rosa de Cabal*.

Arango Arias, E. D., Pérez Flores, M., & Ávila Barrientos, L. (2015). *Nueva valoración sismotectónica de la región oriental de Cuba en el contexto geodinámico del norte del Caribe*. Santiago de Cuba.

Avilés, J. (2004). Bases para la nuevas disposiciones reglamentarias sobre interacción dinámica suelo-estructura. *Ingeniería Sísmica*, 1-36.

Avilés, J., & Pérez-Rocha, L. E. (1997).

Baquero, L. H. (2013). *EVALUACIÓN DE LA INTERACCIÓN DINAMICA SUELO-ESTRUCTURA DE EDIFICACIONES CONSTRUIDAS EN LADERA*. Medellín, Colombia.

Barbat, A. (2019). *EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y DEL RIESGO SÍSMICO EN ZONAS URBANAS. APLICACIÓN A BARCELONA*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.

Barbat, A. H. (2000). *Vulnerabilidad de puentes de autopista. Un estado del arte*. barcelona.

Bazán, E., & Meli, R. (2002). *Diseño sísmico de edificios*.

Berrocal Canchari, J. C. (2013). *Métodos analíticos y numéricos aplicados al diseño de cimentaciones superficiales considerando su interacción con el suelo*. Lima.

Boshell Norman, C. A. (2020). Como podemos clasificar los riesgos.

Candebat Sánchez, D. , Godínez Melgares, G. , & Caballero Cornier, L. F. (2011). *MÉTODOS EXPERIMENTALES PARA LA ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE PUENTES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN: "PUENTE ARROYITO"*.

Candebat Sánchez, D. (2008). CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE PUENTES DE HORMIGÓN ARMADO DE LAS CARRETERAS DE SANTIAGO DE CUBA. ESTUDIO DE CASOS. *Ciencia en su PC*, 77-86.

Candebat Sánchez, D. (2013). Retos del diseño sísmico de puentes de hormigón en cuba. *Ciencia en su PC*.

Candebat-Sánchez, D. (2013). RETOS DEL DISEÑO SÍSMICO DE PUENTES DE HORMIGÓN EN CUBA. *Ciencia en su PC*, 33.

Candebat-Sánchez, D. (2013). RETOS DEL DISEÑO SÍSMICO DE PUENTES DE HORMIGÓN EN CUBA. *Ciencia en su PC*, 24-41.

Cas, G. A. (2013). *INTERACCIÓN SÍSMICA SUELO-ESTRUCTURA Y SU IMPACTO AMBIENTAL EN EDIFICACIONES CON ZAPATAS AISLADAS*.

Castro, G. V. (2017). *Interacción sísmica suelo - estructura en edificaciones con plateas de cimentación*. Lima: Norte S.R.L.

Centro Nacional de Prevención de desastres. (1999). *Curso sobre diseño y construcción sismorresistente de estructuras*. Japón: Agencia de Cooperación Internacional de Japón. .

Chuy Rodriguez, T. J., & al, e. (1998). *Investigaciones Sismológicas para el centro provincial de vialidad Holguín: sismicidad y peligrosidad sísmica*. Santiago de Cuba.

Chuy, A. (1997). *Aspectos generales del riesgo sísmico*.

CIIFEN. (2022). *CIIFEN*. Recuperado el 2022, de CIIFEN.

Columbié, V. H. (2018). *Evaluación geotécnica de la vulnerabilidad sísmica en puentes empleando la interacción dinámica suelo- estructura*. Holguín.

Comisión Ad-Hoc. (2001). *Norma venezolana COVENIN 1756-2001-2. Edificaciones sismorresistentes Parte 2: Comentarios*. Caracas.

Comisión federal de electricidad. (2008). *Manual de diseño de obras civiles. Diseño por sismo*. México DF.

(1999). *Curso sobre diseño y construcción sismorresistente de estructuras* .

DANNA, J. A. (2017). *CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE PUENTES*. San Miguel de Tucumán.

Definición ABC. (diciembre de 2009). Definición de Puente.

*DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS DE LAS ESTRUCTURAS*. Cataluña.

Díaz Fuente, D. (2016). *Diseño de herramientas de evaluación del riesgo para la conservación del patrimonio cultural inmueble. Aplicación en dos casos de estudio del norte andino chileno*. Mexico.

Diéguez, L. F. (2016). *Escenarios susceptibles a la licuefacción inducidas por sismos de gran magnitud en Santiago de Cuba*. Santiago de Cuba.

Díez, A. E. (Enero de 2015). *Análisis de riesgo y asegurabilidad del sistema de transporte*. Medellín, Colombia.

EALDE Business School. (21 de diciembre de 2017). *Procesos de Gestión de Riesgos en Dirección de Proyectos según el PMI*. Obtenido de Procesos de Gestión de Riesgos en Dirección de Proyectos según el PMI.

Echezuría, H., López, I., & Cárdenas, J. *Definición de coeficientes de balasto para el diseño de fundaciones.*

Etecé. (2021). *Enciclopedia Concepto.*

Facultad de construcciones UCLV. (2002). *Propuesta de Norma para el diseño geotécnico de cimentaciones superficiales.*

Facultad de construcciones UCLV. (2002). *Propuesta de Norma para el Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales.*

Fernández Benique, C. (2019). *Cómo afecta el riesgo sísmico en obras de ingeniería. Ingeniería CA&CCA .*

Fernández Benique, C. (2020). *Riesgo Sísmico. BIOLOGÍA - GEOLOGÍA . COM .*

González Arestuche, L. R. (1998). *Experiencia y métodos para la conservación de puentes de carretera en la República de Cuba.* Matanzas.

González Campañá, L. (2016). *ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS PUENTES PREFABRICADOS CHILENOS.* CHILE.

Hernández, V. (2018). *Evaluación geotécnica de la vulnerabilidad sísmica en puentes empleando la interacción dinámica suelo - estructura.* Tesis de maestría en Moa.

IEC 31010. (2019.). *Técnicas de Evaluación de Riesgos.*

Ingeoexpertia S.L. (2019). *GeoCuantics.com.* Obtenido de GeoCuantics.com.

Jurado Cabañes, C. (2015). *Cimentaciones- Cálculo Sísmico- Conservación y Rehabilitación.*

León, A., & Velazquez, P. (2011).

Luca, L. M. (2010). *Efectos asociados con la interacción suelo- estructura en el diseño de edificaciones de concreto reforzado en Bucaramanga.* Bucaramanga.

Martins, J. (2022). *Qué es la gestión de riesgos y cómo aplicarla a tu proyecto en solo 6 pasos. asana .*

Meléndez, J. (2015). *CONCEPTOS BÁSICOS DE GESTIÓN DE RIESGOS.* Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

Méndez Mena, H. A. (2017). *DISEÑO DE SUPERESTRUCTURA Y SUBESTRUCTURA DEL PUENTE LAVAINILLA POR EL MÉTODO AASHTO LRFD 2010 CON LAS CARGAS HS20-44 + 25%.* Managua.

Mendoza, J. M. *Interacción suelo estructura de cimentación en losas apoyadas en suelos granulares.* Sonora.

Mora, A. (2004). *Gestión del riesgo.*

National Institute of Standards and Technology. (2012). *Soil - Structure Interaction for Building Structures*.

NC 46. (2017). *CONSTRUCCIONES SISMORRESISTENTES — REQUISITOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN*.

NC ISO 31000. (2018). *GESTIÓN DEL RIESGO – DIRECTRICES*. La Habana.

NC:ISO31000. (2018). *Gestión del riesgo*.

NC46. (2017). *CONSTRUCCIONES SISMORRESISTENTES — REQUISITOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN*.

Ntutum, F. (30 de 05 de 2014). Las 5 principales categorías de riesgos a nivel global.

NUÑEZ, P. M. (2019). *EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL Y GEOTÉCNICA CON INTERACCIÓN DINÁMICA SUELO-ESTRUCTURA EN EL PUENTE SOBRE EL RÍO CABAÑA, MOA*.

Palacio, J. C. (2001). *Evaluación de los efectos inerciales de interacción dinámica suelo - estructura para edificaciones ubicadas en Medellín*. Medellín.

Peralta Buriticá, H. (2007). *La gestión del riesgo sísmico en la planeación urbana*.

Pérez, J. L. (2010). *Modelación, análisis y diseño de un edificio multifamiliar construido con el sistema FORSA*. Santa Clara.

Red Hat. (11 de octubre de 2019). *Red Hat*. Obtenido de Red Hat.

Rodríguez, J. A. (2014). *Influencia de la interacción suelo-estructura en la reducción de esfuerzos en una edificación aporticada con zapatas aisladas*. Perú.

Rodríguez, M. C. (1998). *Sismicidad y sismotectónica de Cuba*. Madrid.

Rodríguez, P. R. (11 de octubre de 2022). aumento del peso vehicular. (L. M. Hechavarría, Entrevistador)

Sánchez, D. C. (2008). CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE PUENTES DE HORMIGÓN ARMADO DE LAS CARRETERAS DE SANTIAGO DE. *Ciencia en su PC* , 77-88.

SIECA. (2010). *MANUAL CENTROAMERICANO DE GESTION DEL RIESGO EN PUENTES*. Guatemala.

Sola, L. R. (2013). *Influencia de la interacción dinámica suelo-estructura en la respuesta dinámica de las estructuras*. México.

Solano, J. G. (2012). *EVALUACIÓN DE DAÑO EN EDIFICIOS CONSIDERANDO LOS EFECTOS DE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA*. México DF.

Varela., I. A. (2006). *ANÁLISIS DE LA INTERACCIÓN DINÁMICA SUELO-ESTRUCTURA DE LA CIMENTACIÓN DE UN SILO MULTICELDA, UBICADO EN LA FRANJA DE SISMOS RECURRENTES DE LA*

COSTA DE COLIMA, MEX. Y LA SOLUCIÓN DE LA MISMA MEDIANTE UN CILINDRO DE CIMENTACIÓN PREESFORZADO. México.

Vasquez, L. G. (2010). *Diseño de estructuras de cimentación de acuerdo a NSR-10*. Medellín.

Vesga, G. (16 de diciembre de 2020). *Sistema de gestión de riesgos: qué es, beneficios y retos*.

Villarraga, M. R. (2005). *Estudio paramétrico de los efectos de la interacción sísmica suelo - estructura*. Medellín.

Westreicher, G. (3 de julio de 2021). *Economipedia.com*. Obtenido de *Economipedia.com*.

*wikipedia*. (17 de marzo de 2019). Obtenido de *wikipedia*.

Wolf. (1994).

Wolf, J. (1985). *Dynamic Soil - Structure interaction*. Nueva Jersey.

Yamin, L. (2016). *EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO DE LOS PUENTES VEHICULARES Y PEATONALES DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ Y DEFINICIÓN DE ESTRATEGIAS DE GESTIÓN DEL RIESGO. BOGOTÁ – COLOMBIA*: Alcaldía Mayor de Bogotá Instituto de desarrollo urbano.

Yamin, L. (2016). *EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO DE LOS PUENTES VEHICULARES Y PEATONALES DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ Y DEFINICIÓN DE ESTRATEGIAS DE GESTIÓN DEL RIESGO*. Bogota.

Yépez, F. (1996). *Evaluación probabilista de la vulnerabilidad el riesgo sísmico de estructuras de hormigón armado*. Centro Internacional de métodos numéricos.

Zeevaert, W. (1991). *La sismo-geodinámica en la estabilidad de las cimentaciones*. México.

**ANEXOS**

Anexo 1: Características estructurales de los 4 puentes de la carretera Holguín-Moa

| Carretera                      | Holguín-Moa                  |                             |                                          |                             |
|--------------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------|-----------------------------|
|                                | H-1                          | H-2                         | H-3                                      | H-4                         |
| Nombre del puente              |                              |                             |                                          |                             |
| Fecha estimada de construcción |                              |                             | 1974                                     |                             |
| Norma de diseño empleada       | NC                           | Cubana Soviética            | Cubana Soviética                         | NC                          |
| Tipo de superestructura        | viga y losa                  | viga y losa                 | viga y losa                              | viga y losa                 |
| Material de la superestructura | hormigón armado prefabricado | hormigón fundido insitu     | vigas prefabricada y losa fundida insitu | hormigón                    |
| Cantidad de vigas              | 10                           | 8                           | 10                                       | 6                           |
| Espaciamiento entre vigas      | 1.1                          | 1.37                        | 1.2                                      | 1.7                         |
| Tipo de aparato de apoyo       | Neopreno                     | Neopreno                    | Neopreno                                 | Neopreno                    |
| Grosor de la losa(cm)          | 0.3                          | 1.5                         | 0.18                                     | 0.3                         |
| Longitud total(m)              | 140                          | 98                          | 380.7                                    | 120                         |
| Numero de luces                | 5                            | 5                           | 13                                       | 6                           |
| Dimensión de las luces         | 3-30 2-25                    | 2-20 2-14 1-30              | 2-16.25 11-27                            | 20                          |
| Anchura de la calzada          | 6.4                          | 6.5                         | 8                                        | 7                           |
| Anchura de la acera            | 2.8                          | 2.5                         | 0.9                                      | 1.6                         |
| Anchura del puente             | 12                           | 12                          | 14                                       | 10.2                        |
| Angulo de esviaje              | NORMAL                       | NORMAL                      | NORMAL                                   | NORMAL                      |
| Materiales de los pretilas     | hgón prefabricado            | hgón                        | angulares y platinos                     | hormigón prefabricado       |
| Cimentación                    | Indirecta(Pilotes Hincados)  | Indirecta(Pilotes Hincados) | Indirecta(Pilotes Hincados)              | Indirecta(Pilotes Hincados) |
| altura de pilas                | 10.3                         | 6.1                         | 12.08                                    | 9.5                         |
| altura de cabezal              |                              |                             | 0.8                                      | 0.3                         |
| altura de viga                 | 1.4                          |                             | 1.12                                     |                             |
| altura de                      | 0.8                          |                             | 1                                        | 0.8                         |
| Longitud de desvío (Km)        | 3                            | 1.8                         | 1.9                                      | 6.5                         |
| Perfil del suelo               | C                            | C                           | C                                        | C                           |

Anexo 2: Características estructurales del puentes de la carretera Banes-Nipe y los 2 puentes de la carretera Moa-Baracoa

| Carretera                             | Banes-Nipe               | Moa-Baracoa                 |                                 |
|---------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
|                                       | BN-1                     | MB-1                        | MB-2                            |
| <b>Nombre del puente</b>              | BN-1                     | MB-1                        | MB-2                            |
| <b>Fecha estimada de construcción</b> | 1987                     | 1981                        |                                 |
| <b>Norma de diseño empleada</b>       | NC                       | Cubana Soviética            | Cubana-Soviética                |
| <b>Tipo de superestructura</b>        | viga y losa              | viga y losa                 | viga y losa                     |
| <b>Material de la superestructura</b> | hgón armado prefabricado | hormigón prefabricado       | hgón insitu y hgón prefabricado |
| <b>Cantidad de vigas</b>              | 11                       | 12                          | 10                              |
| <b>Espaciamiento entre vigas</b>      | 1.2                      | 1.25                        | 1.25                            |
| <b>Tipo de aparato de apoyo</b>       | barra                    | barra                       | Neopreno                        |
| <b>Grosor de la losa(cm)</b>          | 0.25                     | 0.2                         | 0.2                             |
| <b>Longitud total(m)</b>              | 120                      | 100                         | 80                              |
| <b>Numero de luces</b>                | 6                        | 5                           | 4                               |
| <b>Dimension de las luces</b>         | 19.6                     | 20                          | 20                              |
| <b>Anchura de la calzada</b>          | 7                        | 7                           | 7                               |
| <b>Anchura de la acera</b>            | 2.75                     | 3.8                         | 2.1                             |
| <b>Anchura del puente</b>             | 12.5                     | 14.6                        | 11.2                            |
| <b>Angulo de esviaje</b>              | 90°                      | 90°                         | 21                              |
| <b>Materiales de los pretilas</b>     | hgón armado prefabricado | hormigón prefabricado       | prefabricado                    |
| <b>Cimentación</b>                    | directa                  | Indirecta(Pilotes Hincados) | Indirecta(Pilotes Hincados)     |
| <b>altura de pilas</b>                | 5.1                      | 6.11                        | 8.6                             |
| <b>altura de cabezal</b>              | 0.7                      | 0.85                        | 0.85                            |
| <b>altura de viga</b>                 | 0.65                     | 0.7                         | 0.7                             |
| <b>altura de</b>                      | 0.7                      | 0.8                         | 0.8                             |
| <b>Longitud de desvio (Km)</b>        | 3.4                      | no tiene                    | no tiene                        |
| <b>Perfil del suelo</b>               | E                        | C                           | C                               |

Anexo 3: Índice de Priorización del puente BN-1

| Parámetros estructurales      |                        | PUENTE BN-1 |
|-------------------------------|------------------------|-------------|
| Superestructuras              | Continua               | 0           |
| Número de juntas de expansión | juntas de expansión >4 | 4           |
| Tipo de apoyo                 | Rolado                 | 4           |

|                                                                     |                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----|
| Alineamiento del puente                                             | angulos grandes                                   | 4  |
| Año de construcción                                                 | antes de la adopción de códigos sismorresistentes | 6  |
| Clasificación                                                       | regulares                                         | 0  |
| Altura de pilas                                                     | pilas $\geq 5$ metros                             | 4  |
| Longitud de soporte mínima                                          | buena longitud de soporte                         | 0  |
| <b>Importancia del puente como elemento de transportación vital</b> |                                                   |    |
| Tráfico diario promedio                                             | TDP < 2000 veh                                    | 0  |
| Longitud de retorno                                                 | 2 millas < L < 4 millas                           | 3  |
| <b>Características de sitio y cimentación</b>                       |                                                   |    |
| Perfil del suelo                                                    | C                                                 | 4  |
| Potencial de licuefacción                                           | moderada probabilidad de susceptibilidad          | 4  |
| Altura de estribos                                                  | $0 < AE < 4$ m                                    | 0  |
| <b>Estado técnico</b>                                               |                                                   |    |
| Estado de la superestructura                                        | Regular                                           | 5  |
| Estado de los apoyos                                                | Malo                                              | 8  |
| mantenimiento                                                       | No                                                | 8  |
| aumento del peso vehicular                                          | Si                                                | 8  |
| <b>Indice de riesgo(Ir)</b>                                         |                                                   |    |
| Riesgo muy elevado                                                  | $60 \leq Ir \leq 100$                             | 62 |
| Riesgo elevado                                                      | $40 \leq Ir \leq 60$                              |    |
| Riesgo alto                                                         | $25 \leq Ir \leq 40$                              |    |
| Riesgo medio alto                                                   | $15 \leq Ir \leq 25$                              |    |
| Riesgo medio bajo                                                   | $8 \leq Ir \leq 15$                               |    |
| Riesgo bajo                                                         | $3 \leq Ir \leq 8$                                |    |
| Riesgo muy bajo                                                     | $0 \leq Ir \leq 3$                                |    |

#### Anexo 4: Índice de Priorización del puente H-1

| <b>Parámetros estructurales</b> |                                                   | <b>PUENTE H-1</b> |
|---------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------|
| Superestructuras                | Continua                                          | 0                 |
| Número de juntas de expansión   | juntas de expansión >4                            | 4                 |
| Tipo de apoyo                   | Rolado                                            | 4                 |
| Alineamiento del puente         | angulos pequeños                                  | 0                 |
| Año de construcción             | antes de la adopción de códigos sismorresistentes | 6                 |
| Clasificación                   | regulares                                         | 0                 |
| Altura de pilas                 | pilas $\geq 5$ metros                             | 4                 |
| Longitud de soporte mínima      | longitud de soporte escasa                        | 4                 |

| <b>Importancia del puente como elemento de transportación vital</b> |                                          |    |
|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----|
| Tráfico diario promedio                                             | 2000<TDP < 10000 veh                     | 3  |
| Longitud de retorno                                                 | 2 millas<L< 4 millas                     | 3  |
| <b>Características de sitio y cimentación</b>                       |                                          |    |
| Perfil del suelo                                                    | C                                        | 4  |
| Potencial de licuefacción                                           | moderada probabilidad de susceptibilidad | 4  |
| Altura de estribos                                                  | 0<AE<4 m                                 | 0  |
| <b>Estado técnico</b>                                               |                                          |    |
| Estado de la superestructura                                        | Regular                                  | 5  |
| Estado de los apoyos                                                | Regular                                  | 5  |
| mantenimiento                                                       | No                                       | 8  |
| aumento del peso vehicular                                          | Si                                       | 8  |
| <b>Índice de riesgo(Ir)</b>                                         |                                          |    |
| Riesgo muy elevado                                                  | $60 \leq Ir \leq 100$                    | 62 |
| Riesgo elevado                                                      | $40 \leq Ir \leq 60$                     |    |
| Riesgo alto                                                         | $25 \leq Ir \leq 40$                     |    |
| Riesgo medio alto                                                   | $15 \leq Ir \leq 25$                     |    |
| Riesgo medio bajo                                                   | $8 \leq Ir \leq 15$                      |    |
| Riesgo bajo                                                         | $3 \leq Ir \leq 8$                       |    |
| Riesgo muy bajo                                                     | $0 \leq Ir \leq 3$                       |    |

Anexo 5: Índice de Priorización del puente H-2

| <b>Parámetros estructurales</b>                                     |                                                   | <b>PUENTE H-2</b> |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------|
| Superestructuras                                                    | Continua                                          | 0                 |
| Número de juntas de expansión                                       | juntas de expansión >4                            | 4                 |
| Tipo de apoyo                                                       | Elastómeros                                       | 3                 |
| Alineamiento del puente                                             | angulos pequeños                                  | 0                 |
| Año de construcción                                                 | antes de la adopción de códigos sismorresistentes | 6                 |
| Clasificación                                                       | regulares                                         | 0                 |
| Altura de pilas                                                     | pilas $\geq 5$ metros                             | 4                 |
| Longitud de soporte mínima                                          | buena longitud de soporte                         | 0                 |
| <b>Importancia del puente como elemento de transportación vital</b> |                                                   |                   |
| Tráfico diario promedio                                             | TDP < 2000 veh                                    | 0                 |
| Longitud de retorno                                                 | L< 2 Millas                                       | 0                 |
| <b>Características de sitio y cimentación</b>                       |                                                   |                   |
| Perfil del suelo                                                    | C                                                 | 4                 |
| Potencial de licuefacción                                           | nula susceptibilidad a la licuefacción            | 0                 |
| Altura de estribos                                                  | 0<AE<4 m                                          | 0                 |

| <b>Estado técnico</b>        |                       |    |
|------------------------------|-----------------------|----|
| Estado de la superestructura | Bueno                 | 0  |
| Estado de los apoyos         | Bueno                 | 0  |
| mantenimiento                | No                    | 8  |
| aumento del peso vehicular   | Si                    | 8  |
| <b>Índice de riesgo(Ir)</b>  |                       |    |
| Riesgo muy elevado           | $60 \leq Ir \leq 100$ | 37 |
| Riesgo elevado               | $40 \leq Ir \leq 60$  |    |
| Riesgo alto                  | $25 \leq Ir \leq 40$  |    |
| Riesgo medio alto            | $15 \leq Ir \leq 25$  |    |
| Riesgo medio bajo            | $8 \leq Ir \leq 15$   |    |
| Riesgo bajo                  | $3 \leq Ir \leq 8$    |    |
| Riesgo muy bajo              | $0 \leq Ir \leq 3$    |    |

Anexo 6: Índice de Priorización del puente H-3

| <b>Parámetros estructurales</b>                                     |                                                   | <b>PUENTE H-3</b> |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------|
| Superestructuras                                                    | Continua                                          | 0                 |
| Número de juntas de expansión                                       | juntas de expansión >4                            | 4                 |
| Tipo de apoyo                                                       | Elastómeros                                       | 3                 |
| Alineamiento del puente                                             | angulos pequeños                                  | 0                 |
| Año de construcción                                                 | antes de la adopción de códigos sismorresistentes | 6                 |
| Clasificación                                                       | regulares                                         | 0                 |
| Altura de pilas                                                     | pilas $\geq 5$ metros                             | 4                 |
| Longitud de soporte mínima                                          | longitud de soporte escasa                        | 4                 |
| <b>Importancia del puente como elemento de transportación vital</b> |                                                   |                   |
| Tráfico diario promedio                                             | $2000 < TDP < 10000$ veh                          | 3                 |
| Longitud de retorno                                                 | $L < 2$ Millas                                    | 0                 |
| <b>Características de sitio y cimentación</b>                       |                                                   |                   |
| Perfil del suelo                                                    | C                                                 | 4                 |
| Potencial de licuefacción                                           | moderada probabilidad de susceptibilidad          | 4                 |
| Altura de estribos                                                  | $0 < AE < 4$ m                                    | 0                 |
| <b>Estado técnico</b>                                               |                                                   |                   |
| Estado de la superestructura                                        | Regular                                           | 5                 |
| Estado de los apoyos                                                | Bueno                                             | 0                 |
| mantenimiento                                                       | No                                                | 8                 |
| aumento del peso vehicular                                          | Si                                                | 8                 |
| <b>Índice de riesgo(Ir)</b>                                         |                                                   |                   |

|                    |                        |    |
|--------------------|------------------------|----|
| Riesgo muy elevado | $60 \leq I_r \leq 100$ | 53 |
| Riesgo elevado     | $40 \leq I_r \leq 60$  |    |
| Riesgo alto        | $25 \leq I_r \leq 40$  |    |
| Riesgo medio alto  | $15 \leq I_r \leq 25$  |    |
| Riesgo medio bajo  | $8 \leq I_r \leq 15$   |    |
| Riesgo bajo        | $3 \leq I_r \leq 8$    |    |
| Riesgo muy bajo    | $0 \leq I_r \leq 3$    |    |

Anexo 7: Índice de Priorización del puente H-4

| <b>Parámetros estructurales</b>                                     |                                                   | <b>PUENTE H-4</b> |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------|
| Superestructuras                                                    | Continua                                          | 0                 |
| Número de juntas de expansión                                       | juntas de expansión >4                            | 4                 |
| Tipo de apoyo                                                       | Elastómeros                                       | 3                 |
| Alineamiento del puente                                             | angulos pequeños                                  | 0                 |
| Año de construcción                                                 | antes de la adopción de códigos sismorresistentes | 6                 |
| Clasificación                                                       | regulares                                         | 0                 |
| Altura de pilas                                                     | pilas $\geq 5$ metros                             | 4                 |
| Longitud de soporte mínima                                          | longitud de soporte escasa                        | 4                 |
| <b>Importancia del puente como elemento de transportación vital</b> |                                                   |                   |
| Tráfico diario promedio                                             | $2000 < TDP < 10000$ veh                          | 3                 |
| Longitud de retorno                                                 | $L > 4$ millas                                    | 6                 |
| <b>Características de sitio y cimentación</b>                       |                                                   |                   |
| Perfil del suelo                                                    | C                                                 | 4                 |
| Potencial de licuefacción                                           | moderada probabilidad de susceptibilidad          | 4                 |
| Altura de estribos                                                  | $4.6 < AE < 9.1$ m                                | 4                 |
| <b>Estado técnico</b>                                               |                                                   |                   |
| Estado de la superestructura                                        | Regular                                           | 5                 |
| Estado de los apoyos                                                | Bueno                                             | 0                 |
| mantenimiento                                                       | No                                                | 8                 |
| aumento del peso vehicular                                          | Si                                                | 8                 |
| <b>Índice de riesgo(<math>I_r</math>)</b>                           |                                                   |                   |
| Riesgo muy elevado                                                  | $60 \leq I_r \leq 100$                            | 63                |
| Riesgo elevado                                                      | $40 \leq I_r \leq 60$                             |                   |
| Riesgo alto                                                         | $25 \leq I_r \leq 40$                             |                   |
| Riesgo medio alto                                                   | $15 \leq I_r \leq 25$                             |                   |
| Riesgo medio bajo                                                   | $8 \leq I_r \leq 15$                              |                   |
| Riesgo bajo                                                         | $3 \leq I_r \leq 8$                               |                   |
| Riesgo muy bajo                                                     | $0 \leq I_r \leq 3$                               |                   |

Anexo 8: Índice de Priorización del puente MB-1

| <b>Parámetros estructurales</b>                                     |                                                   | <b>PUENTE MB-1</b> |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------|
| Superestructuras                                                    | Continua                                          | 0                  |
| Número de juntas de expansión                                       | juntas de expansión >4                            | 4                  |
| Tipo de apoyo                                                       | Rolado                                            | 4                  |
| Alineamiento del puente                                             | angulos grandes                                   | 4                  |
| Año de construcción                                                 | antes de la adopción de códigos sismorresistentes | 6                  |
| Clasificación                                                       | regulares                                         | 0                  |
| Altura de pilas                                                     | pilas $\geq 5$ metros                             | 4                  |
| Longitud de soporte mínima                                          | longitud de soporte escasa                        | 4                  |
| <b>Importancia del puente como elemento de transportación vital</b> |                                                   |                    |
| Tráfico diario promedio                                             | 2000 < TDP < 10000 veh                            | 3                  |
| Longitud de retorno                                                 | L > 4 millas                                      | 6                  |
| <b>Características de sitio y cimentación</b>                       |                                                   |                    |
| Perfil del suelo                                                    | C                                                 | 4                  |
| Potencial de licuefacción                                           | moderada probabilidad de susceptibilidad          | 4                  |
| Altura de estribos                                                  | 0 < AE < 4 m                                      | 0                  |
| <b>Estado técnico</b>                                               |                                                   |                    |
| Estado de la superestructura                                        | Malo                                              | 8                  |
| Estado de los apoyos                                                | Malo                                              | 8                  |
| mantenimiento                                                       | No                                                | 8                  |
| aumento del peso vehicular                                          | Si                                                | 8                  |
| <b>Índice de riesgo(Ir)</b>                                         |                                                   |                    |
| Riesgo muy elevado                                                  | $60 \leq Ir \leq 100$                             | 75                 |
| Riesgo elevado                                                      | $40 \leq Ir \leq 60$                              |                    |
| Riesgo alto                                                         | $25 \leq Ir \leq 40$                              |                    |
| Riesgo medio alto                                                   | $15 \leq Ir \leq 25$                              |                    |
| Riesgo medio bajo                                                   | $8 \leq Ir \leq 15$                               |                    |
| Riesgo bajo                                                         | $3 \leq Ir \leq 8$                                |                    |
| Riesgo muy bajo                                                     | $0 \leq Ir \leq 3$                                |                    |

Anexo 9: Índice de Priorización del puente MB-2

| <b>Parámetros estructurales</b> |                        | <b>PUENTE MB-2</b> |
|---------------------------------|------------------------|--------------------|
| Superestructuras                | Continua               | 0                  |
| Número de juntas de expansión   | juntas de expansión >4 | 4                  |

|                                                                     |                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----|
| Tipo de apoyo                                                       | Elastómeros                                       | 3  |
| Alineamiento del puente                                             | angulos grandes                                   | 4  |
| Año de construcción                                                 | antes de la adopción de códigos sismorresistentes | 6  |
| Clasificación                                                       | regulares                                         | 0  |
| Altura de pilas                                                     | pilas $\geq 5$ metros                             | 4  |
| Longitud de soporte mínima                                          | buena longitud de soporte                         | 0  |
| <b>Importancia del puente como elemento de transportación vital</b> |                                                   |    |
| Tráfico diario promedio                                             | TDP < 2000 veh                                    | 0  |
| Longitud de retorno                                                 | L > 4millas                                       | 6  |
| <b>Características de sitio y cimentación</b>                       |                                                   |    |
| Perfil del suelo                                                    | E                                                 | 7  |
| Potencial de licuefacción                                           | gran probabilidad de inestabilidad                | 8  |
| Altura de estribos                                                  | 0 < AE < 4 m                                      | 0  |
| <b>Estado técnico</b>                                               |                                                   |    |
| Estado de la superestructura                                        | Bueno                                             | 0  |
| Estado de los apoyos                                                | Bueno                                             | 0  |
| mantenimiento                                                       | No                                                | 8  |
| aumento del peso vehicular                                          | Si                                                | 8  |
| <b>Indice de riesgo(Ir)</b>                                         |                                                   |    |
| Riesgo muy elevado                                                  | $60 \leq Ir \leq 100$                             | 58 |
| Riesgo elevado                                                      | $40 \leq Ir \leq 60$                              |    |
| Riesgo alto                                                         | $25 \leq Ir \leq 40$                              |    |
| Riesgo medio alto                                                   | $15 \leq Ir \leq 25$                              |    |
| Riesgo medio bajo                                                   | $8 \leq Ir \leq 15$                               |    |
| Riesgo bajo                                                         | $3 \leq Ir \leq 8$                                |    |
| Riesgo muy bajo                                                     | $0 \leq Ir \leq 3$                                |    |

Anexo 10: Fichas técnicas de los datos de inspección.

| <b>DATOS DE LA INSPECCIÓN</b> |                                               |      |     |     |     |     |      |      |
|-------------------------------|-----------------------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|------|------|
|                               |                                               | BN-1 | H-1 | H-2 | H-3 | H-4 | MB-1 | MB-2 |
| 1) SUPERESTRUCTURAS           |                                               |      |     |     |     |     |      |      |
| 1.1                           | <b>La estructura presenta grietas</b>         |      |     |     |     |     |      |      |
|                               | a)En la losa.                                 | SI   | SI  | SI  | SI  | SI  | SI   | NO   |
|                               | b)En las vigas.                               | SI   | SI  | SI  | SI  | SI  | SI   | NO   |
|                               | c)En los cajones.                             | NO   | NO  | NO  | NO  | NO  | NO   |      |
|                               | d)En el tramo suspendido (Gerber).            | NO   | NO  | NO  | NO  | NO  | NO   |      |
|                               | e)En el apoyo de la viga (Gerber).            | NO   | NO  | NO  | NO  | NO  | NO   |      |
| 1.2                           | <b>La estructura presenta acero expuesto:</b> |      |     |     |     |     |      |      |
|                               | a)En la losa.                                 | SI   | SI  | SI  | SI  | SI  | SI   |      |
|                               | b)En las vigas.                               | SI   | SI  | SI  | SI  | SI  | SI   |      |

|                                  |                                                               |    |    |    |    |    |    |          |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----------|
|                                  | c)En los cajones.                                             |    | NO | NO | SI | NO | NO |          |
|                                  | d)En el tramo suspendido (Gerber).                            |    | NO | NO | NO | NO | NO |          |
|                                  | e)En el apoyo de la viga (Gerber).                            |    | NO |    | NO |    | NO |          |
| <b>2) SUBESTRUCTURAS</b>         |                                                               |    |    |    |    |    |    |          |
| 2.1                              | Estado General de los Aparatos de Apoyo                       | M  | B  | B  | M  | B  | R  | B        |
| 2.2                              | Estado de los conos de derrame.                               | R  | B  | B  | R  | B  | R  | R        |
| 2.3                              | Estado de las pilas                                           | R  | B  | B  | R  | B  | M  | B        |
| 2.4                              | Se observan a Simple Vista Síntomas de Socavación.            |    | NO | NO | SI | NO | SI |          |
| 2.5                              | Grietas anormales Cabezales de Estribos.                      | SI | NO | NO | SI | NO | NO | NO       |
| 2.6                              | Grietas anormales Cabezales de pilas                          | SI | SI |    | SI | SI | SI | NO       |
| 2.7                              | Hay aceros expuestos en Columnas de pilas                     | NO | NO |    | SI | NO | NO | NO       |
| 2.8                              | Se aprecian Movimiento o Asentamiento de los apoyos           | NO | NO |    | SI | NO | NO | NO       |
| 2.9                              | Estado General de los Apoyos                                  | R  | B  | B  | B  | B  | R  | B        |
| 2.10                             | Golpes o Choques defectados                                   | NO | NO |    |    | NO | NO | NO       |
| <b>3) SUPERFICIE DE RODADURA</b> |                                                               |    |    |    |    |    |    |          |
| 3.1                              | Estado del Pavimento                                          | R  | R  | NO | R  | R  | R  | B        |
| 3.2                              | Estado de la junta entre el Pavimento y los Estribos          | R  | M  | B  | R  | M  | R  | B        |
| 3.3                              | Estado de la junta entre el Pavimento y los Estribos          | R  | M  | B  | R  | M  | R  | R        |
| <b>4) OTROS</b>                  |                                                               |    |    |    |    |    |    |          |
| 4.1                              | Hay evidencia de Filtraciones a través de grietas en la losa  | NO | SI | NO | SI | SI | SI | NO       |
| 4.2                              | Hundimiento en la losa de aproche                             | NO | SI | NO | NO | SI | SI | NO       |
| 4.3                              | Hay escombros o arrastres que obstaculicen el cauce           | NO | NO | NO | SI | NO | NO | NO       |
| 4.4                              | Estado de los drenes de la superestructura                    |    | B  |    | M  | B  | B  | NO TIENE |
| 4.5                              | Estado de las señales sobre el Puente o a su entrada y salida |    |    |    |    |    |    | NO TIENE |
| <b>5) CONCLUSIONES</b>           |                                                               |    |    |    |    |    |    |          |
| 5.1                              | Estado general de la Estructura                               | R  | M  | B  | R  | M  | M  | B        |
|                                  | a)Superestructura                                             | R  | R  | B  | R  | R  | M  | B        |
|                                  | b)Apoyos                                                      | M  | R  | B  | B  | R  | M  | R        |

