

*Universidad de Matanzas Sede “Camilo Cienfuegos”  
Facultad de Ciencias Técnicas  
Departamento de construcciones*



**Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Civil**

**PLAN DE INTERVENCIÓN CONSTRUCTIVA A EFECTUAR EN EL  
PUENTE KM 2.151 DEL RAMAL DUBROCQ.**

**Autora:** Lianne González Díaz.

**Tutor:** Ing. Sarah Enríquez Guerra

**Cotutor:** Ing. Raydel Domínguez

*Matanzas, 2020*

## PENSAMIENTO

“Los científicos estudian el mundo tal como es; los ingenieros crean el mundo que nunca ha sido.”

Theodore Von Karman

## DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Por medio de la presente declaro que Lianne González Díaz soy la única autora de este trabajo de diploma y, en calidad de tal, autorizo a la Universidad de Matanzas a darle el uso que estime más conveniente.

## AGRADECIMIENTOS

- Primeramente, agradecer a mi familia, especialmente a mi madre por permanecer siempre a mi lado dándome apoyo aun cuando sentía que no lo iba a lograr
- A Adrián Pizarro, mi novio, porque desde que llegó a mi vida no hace más que apoyarme y ayudarme, siempre estando junto a mí ante cualquier situación
- A mi tutora Sarah Henríquez que, a pesar de la terrible situación pandémica de este año, me apoyó y guio a distancia, logrando así la terminación de este trabajo
- A todos los profesores de la Universidad, que, de una manera u otra, me aportaron los conocimientos necesarios para lograr realizar esta investigación de la mejor manera
- A todos mis amigos y compañeros de aula por los grandes recuerdos que hemos compartido en estos 5 años
- A todas las entidades que participaron en este trabajo

## RESUMEN

Los puentes son construcciones que permiten salvar accidentes geográficos u obstáculos físicos permitiendo satisfacer las necesidades del hombre y volviéndose indispensables en la vida actual de la humanidad. Es una tendencia universal el hecho de que los puentes en explotación se acerquen o superen la vida útil para la cual fueron previstos, por lo que los trabajos de conservación son de vital importancia. El Puente km 2.151 del Ramal Dubrocq es uno de los centenarios de la ciudad matancera y además pieza clave en la red vial de la provincia, haciéndose necesario la realización de un plan de intervención para erradicar las afectaciones presentes, partiendo del diagnóstico de las patologías; mediante el cual se detecta, clasifica y cuantifica los deterioros en la obra. Para la confección del diagnóstico, se analizaron varias metodologías, cubanas e internacionales, seleccionándose debido a la gran calidad que presenta la NC: 335 del 2004. Mediante el diagnóstico, se realizó una evaluación y se elaboró una propuesta de estrategia de intervención para erradicar las afectaciones del Puente km 2.151 del Ramal Dubrocq.

**Palabras claves:** conservación; patologías; estrategia; intervención.

## **ABSTRACT**

Bridges are constructions that make it possible to overcome geographical accidents or physical obstacles, allowing the needs of man to be met and becoming indispensable in the current life of humanity. It is a universal trend for the bridges in operation to approach or exceed the useful life for which they were intended, so that conservation work is of vital importance. The 2,151 km Bridge of the Dubrocq Branch Line is one of the centenarians of the city of Matanzas and also a key part of the province's road network, making it necessary to carry out an intervention plan to eradicate the current conditions, starting from the diagnosis of pathologies; by means of which the deteriorations in the work are detected, classified and quantified. For the preparation of the diagnosis, various methodologies were analyzed, Cuban and international, selected due to the high quality presented by NC: 335 from 2004. Through the diagnosis, an evaluation was carried out and a proposal for an intervention strategy to eradicate the affectations of the 2,151 km Bridge of the Dubrocq Branch Line.

Key words: conservation; pathologies; strategy; intervention.

## ÍNDICE

Introducción .....	8
Capítulo 1 Estado del arte de la construcción y conservación de puentes .....	15
1.1 Antecedentes históricos de la construcción de puentes .....	15
1.1.1 Construcción de puentes en el mundo.....	15
1.1.2 Construcción de puentes en Cuba.....	17
1.1.3 Construcción de puentes en Matanzas .....	19
1.2 Conservación de puentes.....	<b>Error! Bookmark not defined.1</b>
1.2.1 Conservación de puentes en el mundo .....	<b>Error! Bookmark not defined.2</b>
1.2.2 Conservación de puentes en Cuba.....	<b>Error! Bookmark not defined.5</b>
1.2.3 Puente objeto de estudio.....	<b>Error! Bookmark not defined.5</b>
1.3 Terminos y definiciones utilizados .....	<b>Error! Bookmark not defined.6</b>
1.4 Conclusiones parciales .....	31
Capítulo 2 Diagnóstico y evaluación del puente Km 2.151 Ramal Dubrocq, mediante un estudio patológico .....	32
2.1 Precedentes en la definición de una metodología constructiva .....	32
2.2 Selección de la metodología a emplear .....	34
2.3 Estudio patológico del puente .....	40
2.3.1 Inspección preliminar .....	40
2.3.2 Prediagnóstico .....	44
2.3.3 Diagnóstico .....	44
2.3.4 Pronóstico.....	53
2.4 Delimitación de los Trabajos de Mantenimiento y Refuerzo.....	53
2.4.1 Acciones Ingenieras a Corto Plazo.....	55
2.4.2 Acciones Ingenieras a Mediano Plazo.....	56
2.4.3 Acciones Ingenieras a Largo Plazo .....	56
2.4.4 Secuencia de Trabajos .....	57
2.5 Valoración económica y aporte social .....	58
2.6 Conclusiones parciales .....	58
Conclusiones .....	60
Recomendaciones.....	61
Referencias Bibliográficas .....	<b>6Error! Bookmark not defined.</b>

## INTRODUCCIÓN

Los puentes son indispensables en la vida actual de la humanidad, formando parte de su desarrollo y pieza esencial de toda infraestructura. Estas obras civiles permiten salvar accidentes geográficos u obstáculos físicos y así satisfacer las necesidades del hombre. Su diseño y construcción ha variado de forma increíble a lo largo de los años, pero en algunos casos sin evitar que los más antiguos dejen de prestar la función para la que fueron concebidos. Principalmente, estos últimos, sufren daños producto al paso del tiempo, el aumento de las cargas, efectos de la naturaleza, falta de mantenimiento y hasta indisciplinas sociales que contribuyen a su deterioro.

Algunas de estas construcciones son conocidas en el mundo entero no solo por su diseño sino también por su historia convirtiéndose en auténticos símbolos mundiales. Ejemplo de ello son:

- El Gran Puente de Tianjin de 113,700 kilómetros que sirve como vía para trenes de alta velocidad, entre las líneas de Pekín-Shanghái y Pekín-Tianjin, en China, su construcción terminó en el año 2010 pero no fue abierto al público hasta 2011, año en el cual se le otorgó el premio Guinness al segundo puente más largo del mundo (Wikipedia, 2020)
- El Forth Rail Bridge de Escocia el cual conservó durante 27 años el récord absoluto de la mayor luz. Está compuesto por robustas vigas que parten simultáneamente para ambos lados desde sus pilares hasta lograr luces de 521 metros (Muñoz, 2011)
- El Puente de Brooklyn, construido entre 1867 y 1883 , fue proyectado por Jhon Roebling y terminado por su hijo, Whashington, está formado por un firme colgado por cables , que a su vez cuelgan de las torres y es considerado "el arco

del triunfo americano” debido a la significación que tiene para el país (Hyman, 1990)

- El Golden Gate que ha sido catalogado como el puente más fotografiado del mundo, inaugurado en 1937 con 2,7 kilómetros de longitud y 227 metros de altura, esta magnífica estructura es además uno de los puentes colgantes más largos y altos del planeta y, sobre todo, es el símbolo más querido y representativo de la ciudad de San Francisco (Ingeoexpert, 2019)

En Cuba existen numerosos puentes a lo largo de toda la Isla y la ciudad de Matanzas puntualmente, desde su fundación en el año 1693 tuvo una característica muy peculiar a diferencia de otras ciudades cubanas y es que se planeó entre dos ríos, de ahí que desde época tan temprana fue una constante preocupación para los gobernantes y la ciudadanía, y lo sigue siendo, la forma en que se rebasan esos dos obstáculos: el río San Juan y el río Yumurí, llevando con justicia y orgullo el título de Ciudad de los Puentes.

En la actualidad esta cuenta con 30 puentes en sus 11 978 kilómetros cuadrados de superficie, siendo la única ciudad de Cuba en tener 5 puentes centenarios aún en explotación; estos son:

- El puente General Lacret Morlot (1878)
- El puente Calixto García (1897)
- El puente Giratorio sobre el río San Juan (1904)
- El puente del km 2.151 del ramal Dubrocq (1904)
- el puente Sánchez Figueras (1916)

De ellos, dos destacan, por su importancia económica, el Giratorio y el Dubrocq ambos inaugurados el día 8 de abril del año 1904, garantizando la comunicación ferroviaria del puerto con la región centro-oeste del territorio. (Hernandez, 2018).

El puente del km 2.151 del ramal Dubrocq, es el objeto de estudio de la investigación ya que en sus más de 100 años ha sufrido muchas intervenciones de mayor y menor grado. En el año 2011 la estructura sufre un daño de gran magnitud y se ve sometida a una reparación capital, para aumentar su vida útil hasta que se lograra la construcción de un nuevo puente. Al evaluar el estado del puente se decidió otorgarle un período de 2 años. El mismo venció en el año 2014 por lo que se decide realizar un mantenimiento debido al grado de corrosión que presentaba y se determinó un período de seguridad estructural de 2 años, aunque los resultados de la prueba de carga denotan un agotamiento con respecto a la anterior. (Giraldez, 2019)

En el año 2016 se realiza otra inspección y se determina que a pesar del poco tiempo transcurrido, la obra ya presenta afectaciones debido a la corrosión, y debido a esto se impone una disminución par la velocidad de circulación a 20 km/h. Bajo estas condiciones el puente se considera apto para la circulación por un período de 2 años. (Giraldez, 2019)

Al día de hoy ha caducado este período y al ser los costes de restricción de carga, reparación o de sustitución del puente tan elevados no se puede decidir a la ligera la propuesta de intervención a realizar. Siendo por lo anteriormente planteado la siguiente **situación problémica**: los escasos trabajos de mantenimiento y conservación de puentes de aporte patrimonial y social, trayendo consigo un estado constructivo deplorable.

Planteándose entonces como **problema científico**: ¿Cómo elaborar un programa de intervención, para el caso del puente del km 2.151 del ramal Dubrocq, que garantice la ejecución de un conjunto de acciones ingenieras destinadas al rescate de un estado constructivo seguro e impedir el aumento de los deterioros constructivos presentes?

Para lograr una respuesta al problema de la investigación se plantea la siguiente **hipótesis**:  
A través de un diagnóstico mediante la investigación del proceso patológico del puente será posible lograr un programa de intervención capaz de responder a las necesidades constructivas de restauración, devolviéndose así el valor patrimonial de la obra. (puente del km 2.151 del ramal Dubrocq).

El **objeto de estudio** de la investigación se establece en las actividades de restauración necesarias luego de realizarse un análisis técnico-constructivo y que tiene como campo de estudio al puente del km 2.151 del ramal Dubrocq.

Siendo entonces el **objetivo general** de la investigación:

- Elaborar un plan de intervención a efectuar en el puente del km 2.151 del ramal Dubrocq, que responda a las necesidades constructivas de restauración

El cual será desarrollado mediante los siguientes **objetivos específicos**:

1. Analizar la problemática relacionada a la necesidad de rehabilitación y conservación de puentes centenarios, específicamente el puente del km 2.151 del ramal Dubrocq
2. Establecer los pasos preliminares en la evaluación del estado técnico-constructivo en el puente del km 2.151 del ramal Dubrocq, puente representativo del patrimonio matancero
3. Elaborar un programa de intervención capaz de resolver los deterioros constructivos del puente del km 2.151 del ramal Dubrocq.

#### **Operacionalidad de las variables relevantes**

Variable independiente: Condiciones del estado técnico constructivo del puente del km 2.151 del ramal Dubrocq.

Variable dependiente: Tipo de intervención constructiva.

**Tareas principales de la investigación:**

- Análisis previo de la evolución histórica de puentes patrimoniales de la ciudad teniendo como objeto el puente del km 2.151 del ramal Dubrocq
- Estudio previo de la situación técnica constructiva del puente logrando un pre diagnóstico del mismo.
- Elaboración de un programa de intervención capaz de responder a las necesidades de restauración del puente.

### **Métodos Científicos:**

Para llevar a cabo el objetivo de esta investigación fueron empleados diferentes métodos de investigación ya fuesen empíricos o teóricos, siendo estos:

#### Teóricos:

- **Método histórico- lógico:** se emplearán en el estudio del estado técnico constructivo del puente en la ciudad de Matanzas, permitiendo además el estudio específico del surgimiento y evolución del puente km 2.151 del ramal Dubrocq.
- **Inducción - Deducción:** se aplicará para generalizar los aspectos más relevantes obtenidos a partir de la documentación científico-técnica y de proyectos para definir modelos e implementar investigaciones ingenieras aplicadas.
- **Método de estudio documental:** se utilizará para la revisión de documentos relacionados con los temas de la rehabilitación y el estado técnico constructivo de los puentes. Se aplicará además en la búsqueda de información sobre el puente caso de estudio.

#### Empíricos:

Observación directa y levantamiento de campo: permitirá detectar las lesiones existentes en cada una de las partes que componen la edificación para posteriormente elaborar el diagnóstico del puente objeto de estudio.

- **Entrevista:** será empleada a los habitantes de la zona colindante al puente objeto de estudio con el fin de obtener información necesaria para el proceso de restauración del mismo.

### **Estructuración de la tesis:**

La tesis está estructurada de la siguiente manera: resumen, introducción, tres capítulos, conclusiones, recomendaciones, bibliografía consultada y anexos.

El Capítulo 1 abarca el estado del arte asociado al tema, presentando los fundamentos conceptuales relacionados a la intervención de puentes, además de presentar los antecedentes históricos del puente objeto de estudio dando por definido el protocolo de la investigación.

El Capítulo 2 se refiere a los fundamentos metodológicos para el diagnóstico de puentes patrimoniales, donde se realizará un estudio patológico al puente objeto de estudio. Seguidamente se presentarán los resultados obtenidos en la investigación logrando así consensar una propuesta de estrategia de intervención.

### **Aportes :**

**Práctico:** Se obtendrá un programa de intervención enfocado a la restauración del puente del km 2.151 del ramal Dubrocq, necesario para la devolución de puentes patrimoniales, cuna de la entidad matancera.

**Económico:** En función de detener y enfrentar el grado de deterioro de un puente patrimonial el programa ayudara a la racionalización de presupuestos y gastos determinándose las acciones concretas constructivas y materiales necesarios.

**Social:** Se manifiesta en el impacto positivo que aporta esta investigación debido a la importancia cultural presente en el puente objeto de estudio y a la creación de conciencia

de la utilización de programas de restauración para la recuperación de puentes patrimoniales.

## **CAPÍTULO 1 ESTADO DEL ARTE DE LA CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN DE PUENTES.**

La construcción de puentes y sus periódicos estudios de conservación a través del paso de los años suponen un gran reto para toda la humanidad, pues estas obras de fábrica constituyen una manera factible y eficaz de salvar los accidentes geográficos. Este capítulo expone los antecedentes históricos de la construcción de puentes en el mundo en general y en Cuba y Matanzas de forma particular, así como los procesos de conservación que se llevan a cabo teniendo en cuenta de forma específica el puente objeto de estudio: El puente del km 2.151 del ramal Dubrocq.

### **1.1 Antecedentes históricos de la construcción de puentes:**

#### **1.1.1 Construcción de puentes en el mundo:**

El problema de pasar un vano construyendo una estructura fija se ha repetido a lo largo del tiempo con distintas soluciones. Según se fue avanzando en el conocimiento de los materiales y la forma en que estos resisten y se fracturan hizo que se construyeran cada vez puentes más altos y con mayor vano y con un menor uso de materiales. La madera quizás fuese el primer material usado, después la piedra y el ladrillo, que dieron paso al acero y al hormigón en el siglo XIX. Y aún la evolución continúa hoy en día pues en la actualidad nuevos puentes de fibra de carbono son diseñados con luces mayores y espesores nunca antes vistos.

Los primeros puentes se realizaron con elementos naturales , como un tronco dejado caer sobre un arroyo o unas piedras dispuestas en un río. Estos primeros puentes serían una combinación de rocas apiladas como pilares sosteniendo los maderos que funcionaban

como tableros. Se sabe que algunas tribus americanas usaron árboles y cañas para construir pasarelas que les permitían salvar agujeros en las cavernas. Con el tiempo supieron crear cuerdas que permitían unir los distintos elementos del puente. Estas cuerdas también sirvieron para crear primitivos puentes de cuerdas atados a los dos lados que se querían cruzar. En cierta manera así nacieron los puentes colgantes. (Muñoz, 2011)

La civilización romana fue la primera en construir puentes de forma generalizada. La necesidad de tener una red de calzadas bien comunicada y permanente hizo que sus ingenieros construyeran una gran cantidad de puentes para salvar los ríos y valles que debían atravesar. Los romanos fueron los precursores del hormigón y del cemento hidráulico. Eran capaces de cimentar los puentes a gran profundidad y de salvar vanos importantes para la época. El puente romano de Orense es el de mayor luz en piedra construido en la época imperial, con 38 m. También se deben a los romanos los primeros puentes en arco de madera, caso del puente de Trajano, con cimientos en piedra y la arcada en madera, con arcos rebajados. Este puente es especialmente singular ya que la madera permitió luces de 52 m (la madera al ser más ligera permitía salvar luces mayores) y además la estructura completa medía 1130 m, siendo durante muchos siglos el puente más largo jamás construido. (Muñoz, 2011)

El 1 de enero de 1781 se inauguró el puente de Coalbrookdale, el primero fabricado en hierro fundido. El puente (aún hoy en pie) es un puente arco metálico, a imitación de los de piedra, pero el material es completamente distinto, más resistente y más liviano. En 1795 el río se desbordó destruyendo todos los puentes que encontró, excepto el de Coalbrookdale, lo que hizo que la gente empezara a confiar en este tipo de puentes. (Muñoz, 2011)

Luego el desarrollo del ferrocarril en el siglo XIX revolucionó la construcción de puentes, que debían responder a cada vez mayores exigencias técnicas para soportar el peso y las

vibraciones de las locomotoras y los vagones. Por lo que en el año 1883 comienza la construcción de uno de los puentes de ferrocarril más importantes de todos los tiempos: el Forth Rail Bridge, ubicado en el este de Escocia. Fue abierto al tráfico ferroviario con sus más de 500 metros de luz en 1890 y todavía se sigue utilizando actualmente para el transporte de pasajeros y mercancías por tren. Esta obra triplicó lo conseguido por los ingenieros en cualquier puente anterior y muestra el dominio en la construcción de estructuras metálicas sobre torres de sillería. Este salvó un obstáculo que hasta entonces se consideraba insalvable, pues es la obra cumbre de la ingeniería británica de la época victoriana. (Muñoz, 2011)

### **1.1.2 Construcción de puentes en Cuba:**

La historia de la construcción de los puentes en Cuba, muestra obras de verdadera significación. A lo largo de toda la Isla hay innumerables exemplars, los cuales respondieron acertadamente en su época de construcción a la necesidad del tránsito vehicular, utilizando estos nuevos caminos más factibles. Si bien la ciudad cubana de Matanzas se reconoce en toda la isla como la Ciudad de los puentes, ostentando el primer lugar del país en ese sentido con veintiún ejemplares de gran belleza, muchos otros viaductos en toda la isla llaman la atención por su altura, elementos decorativos o la magnificencia de su construcción. Ejemplo de esto son:

- El puente sobre el río Canímar, ubicado en la ciudad de Matanzas y más específicamente sobre el río Canímar, este puente conecta los polos turísticos de La Habana y el balneario de Varadero. Su construcción, en 1951, constituyó un verdadero reto para la ingeniería civil de la época, requiriendo la incursión de cientos de obreros. Hoy, sin lugar a dudas, es uno de los más bellos y queridos del país (García, 2018)

- El puente de Bacunayagua, sin excepción, cada uno de los pasajeros que van desde la capital cubana hasta Matanzas o visitan la legendaria playa de Varadero por medio de la Vía Blanca, transitan sobre un extenso puente que une los dos extremos del gigantesco cañón que ha horadado el río Bacunayagua. Inaugurado el 26 de septiembre de 1959, con una extensión total de más de 313,5 metros, con una extensión del arco de 114 metros y a una altura de 103,5 metros sobre el nivel del mar y un ancho de 16 metros, se considera una de las siete maravillas de la ingeniería civil cubana. Los ingenieros cubanos Luis Sáenz Duplace y Manolo Arvesu fueron los encargados de la ejecución y pusieron en práctica por primera vez en el país la técnica de semiarcos (Arestuche, 1999)
- El puente de Almendares, son varios los puentes que existen sobre el río Almendares de la capital cubana, el más popular de ellos es el de la calle 23, en el Vedado habanero, inaugurado el 23 de enero de 1911, otra de esas maravillas de la ingeniería nacional y verdadero orgullo para los capitalinos pues fue el pionero en Cuba de los puentes ejecutados con hormigón armado (Ecured, 2020)
- El puente del Yayabo, se trata del más místico de los puentes cubanos pues, según algunos, en su construcción emplearon leche. Pero más allá de la leyenda y de su veracidad o no, constituye una joya colonial cubana y el símbolo patrimonial y cultural de la central ciudad de Sancti Spíritus ya que constituye el único puente de arcos abovedados de Cuba. Este fue terminado en el 1831 con una altura superior a los 9 metros y un largo de 85 metros (Rodríguez, 2012)
- El puente de la Concordia, este se localiza también en Matanzas y cruza el río Yumurí, para conectar los barrios de Versalles y Matanzas. Según los propios lugareños de la vieja ciudad se trata del más bello de los veintiuno que existen en

ella. Fundado en 1878 esta obra arquitectónica cuenta con 36 metros de luz que se apoyan en los estribos de piedra y es considerada el símbolo más significativo de la ciudad basándose en su valor arquitectónico y perdurabilidad (Ecured, 2020)

- El puente del Triunfo, uno de los puentes más queridos de Cuba, y también de los más bellos, se encuentra en la ciudad villaclareña de Sagua la Grande, que tomó su nombre del caudaloso río que la atraviesa. Precisamente sobre esta agua se yergue una de las construcciones más admirables de la ingeniería villareña. Quienes discurren por él tienen la posibilidad de ver bajo sus pies el río más grande de la vertiente norte de la Isla de Cuba

### **1.1.3 Construcción de puentes en Matanzas:**

La construcción de puentes en Matanzas, ha tenido de manera permanente una connotación especial, y este tipo de obra ingeniera se vincula al desarrollo alcanzado en esta ciudad a través de la historia. Sin dudas la problemática presentada en Matanzas desde su origen, con la construcción de los puentes sobre los ríos que la atraviesan fue la mejor escuela en la cual se labraron los constructores que legaron al patrimonio del país, una ciudad con un urbanismo y una arquitectura más que significativa.

Los diferentes tipos de puentes en la ciudad de Matanzas sufrieron su evolución de la misma manera, atendiendo al conocimiento que tenía el hombre de las características de los materiales para fabricarlos, así como de la resistencia a los diferentes esfuerzos a que son sometidos durante su explotación. Después de fundada la ciudad en 1693, debieron transcurrir 29 años para que las autoridades decidieran edificar el primero de ellos, cerca de la desembocadura del San Juan, terminado en 1722 y destruido en 1730. Otras de estas obras dejaron su legado en la ciudad ya que estuvieron antes de los existentes sobre los ríos Yumurí y San Juan y fueron proyectados por reconocidos ingenieros como son:

- Jules Sagebién: puente de cantería y madera sobre el Yumurí, puente de madera en el río San Juan, llamado como el de La Carnicería, que no alcanzó el fallo a consecuencia del huracán de 1870 y que después de una reparación en 1893 antecedió al actual Sánchez Figueras y del puente de Bailén en cantería que inspiró a José Jacinto Milanés en su oda De Codos en el Puente (Recondo, 2019)
- Francisco de Albear y Fernández de Lara quien proyectó el segundo puente de Bailén puesto en explotación en 1849 (Recondo, 2019)
- Pedro Celestino del Pandal y Sánchez, artífice del puente de La Concordia sobre el Yumurí, después General Lacret Morlot, devenido en sus columnas, desde la década de los noventa del siglo pasado, como el emblema de la ciudad (Recondo, 2019)
- José E. Menéndez y Menéndez, quien fue el proyectista de una de las obras más bellas de la ingeniería cubana y mundial, el puente Antonio Guiteras sobre el río Canímar en julio de 1953 (Recondo, 2019)

Desde entonces, sobre los ríos Yumurí, San Juan, Buey Vaca, Canímar y Bacunayagua, se edificaron numerosos viaductos para comunicar barrios como Pueblo Nuevo, Matanzas, Versalles, así como vías férreas y carreteras.

Matanzas es la única ciudad cubana, de Centroamérica y el Caribe, Latinoamericana e Iberoamericana que tiene cinco puentes centenarios en servicio, estas son obras que durante su explotación no han sufrido variaciones sustanciales en su tipología estructural. A saber son los puentes: General Lacret Morlot (Noviembre 1878), Calixto García (Enero 1899), Giratorio (Abril 1904) y el de hierro sobre el río Yumurí (puente km 2.151 ramal Dubrocq, Abril 1904), estos dos últimos en el ramal ferroviario que accede al puerto de la ciudad, y el Sánchez Figueras (Agosto de 1916), segundo puente en hormigón

armado de Cuba, sólo antecedido por el del río Almendares de la ciudad de La Habana, en la actual calle 23. (Recondo, 2019)

Existen también muchos otros puentes que a pesar de tener un período de exportación más pequeño tienen un alto valor técnico y son cruciales para el tránsito vehicular en la provincia. Como ejemplo podemos citar:

- El puente sobre el río Buey Vaca en la Carretera Central (Agosto 1929) el cual es una excelente solución de un puente de tablero inferior con arco atirantado, único en su tipo para toda esta vía (Recondo, 2019)
- El puente sobre el río San Juan en la Circunvalación (Septiembre de 1963), único también en la provincia, ejecutado con la tecnología Roebling, en base a vigas en celdas o ahuecadas y cables atirantados aéreos en su interior (Recondo, 2019)
- El puente de tablero metálico sobre el río San Juan en el Viaducto, este es sin dudas el puente más complejo en su diseño para carreteras que se ha ejecutado en el país en el período revolucionario, al ser un puente en curva, superelevado y peraltado (Recondo, 2019)
- El puente de Bacunayagua, inaugurado por Fidel Castro Ruz, junto a Celia Sánchez Manduley, Raúl Castro Ruz y Antonio Nuñez Jiménez el 26 de septiembre de 1959, es la única obra de la provincia de Matanzas que se relaciona entre las 7 Maravillas de la Ingeniería Civil en Cuba. Ejemplo paradigmático del mejor hacer en construcciones de puentes en su momento, a partir de utilizar una estructura mixta de acero y hormigón, en su primera aplicación registrada en el mundo. Para orgullo del pueblo matancero el jefe de esta obra durante su ejecución fue el ingeniero civil ya fallecido Pantaleón Olivera (Recondo, 2019)

## 1.2 Conservacion de puentes

### **1.2.1 Conservación de puentes en el mundo:**

La vida residual de los puentes depende del estado de la estructura y de sus características funcionales, así como de las modificaciones previstas depende principalmente de las medidas que se tomen para prolongarla, generalmente resulta más económico reparar y, eventualmente, reforzar un puente que sustituirlo. La decisión se toma en cada caso particular, algunas veces es difícil tomarla por causa de las incertidumbres residuales. Se trata de un tema complejo que requiere mucha investigación y cooperación internacional.

Con el paso de los años, el número de puentes existentes en los países desarrollados y en vías de desarrollo ha crecido considerablemente. En el futuro es de esperar que se siga acometiendo la realización de nuevas infraestructuras aumentando, por tanto, el número de nuevos puentes. Sin embargo, no podemos olvidar que, a la par, se deben conservar los ya existentes y reparar, en su caso, los que así lo demanden. (Villar, s.f.)

Hoy día existe un creciente interés por temas como: la durabilidad de las estructuras, la diagnosis de sus deterioros o la técnica de sus reparaciones. Por otra parte, el desarrollo de nuevos criterios de diseño, de nuevas técnicas de inspección y de nuevos materiales permiten afrontar la mayoría de las reparaciones a efectuar con suficientes garantías. Es decir, hemos avanzado claramente en “como reparar” algo que se encuentre dañado. (Villar, s.f.)

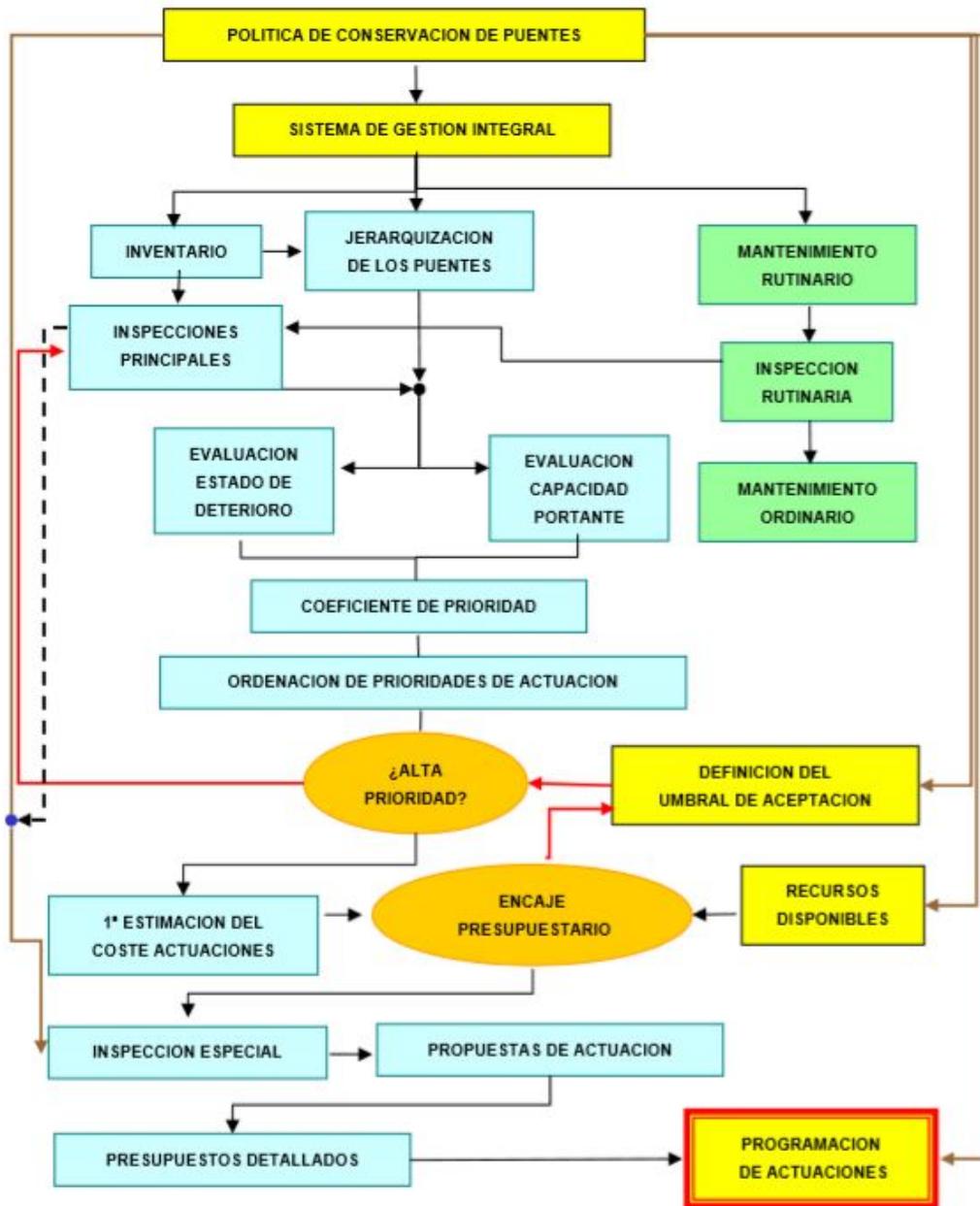
La decisión de reparar un puente dañado no debe tomarse, en general, desde la perspectiva aislada de esa estructura, sino desde una concepción general de la conservación del conjunto de las estructuras que pertenecen a una red de carreteras o que son responsabilidad de una determinada. Constituye una fase de un proceso mucho más amplio, cuyo objetivo es mantener un determinado nivel de servicio y de seguridad en todas las estructuras que integran la red, asegurando que el dinero empleado en dicha

reparación está plenamente justificado y que su inversión proporciona la más alta rentabilidad para el mantenimiento de la red en las mejores condiciones de utilización y seguridad. (Villar, s.f.)

En el mundo la conservación de puentes se trabaja mediante una serie de actividades normadas en el Sistema de Gestión Integral de Conservación de Puentes, el cual tiene los objetivos de:

- poseer información objetiva, operativa, congruente y fácilmente accesible sobre las características y el estado de deterioro de todos los puentes
- evaluar la seguridad y el estado de conservación de las estructuras
- optimar la utilización de unos presupuestos limitados

Estas actividades se reflejan en el diagrama de flujos siguiente:



Esquema 1.1 Diagrama de Fluidos. Fuente: (Villar, s.f.)

### **1.2.2 Conservación de puentes en Cuba:**

En Cuba el patrimonio de los puentes representa aproximadamente un 20 % del valor del patrimonio vial; existen puentes con más de 100 años en servicio y otros con más de 50 o 70 años, que requieren ser conservados, para continuar realizando sus funciones, eliminando el deterioro en ellos y en los más nuevos, para impedir que sigan dañándose y alcancen la durabilidad esperada. (Arestuche, 2012)

Nuestro país en la actualidad se enfrenta a la escasez de recursos materiales y financieros, esto limita las nuevas inversiones, pero favorece la política de conservar y preservar todo lo que está en explotación dentro de la red vial existente, de fuerza laboral calificada se dispone pudiéndose asegurar que estamos en el mejor momento para instrumentar e implementar tales trabajos con el alcance de resultados muy satisfactorios.

El rango de posibilidades es tan amplio en la cantidad de daños, que no es posible aplicar una sola metodología para solucionar las patologías estudiadas en ese momento, lo que hace necesario entonces adaptarse a la magnitud propia de cada caso; para lo cual se realizan diagnósticos inmediatos, hasta casos en los que se realizan análisis y ensayos específicos debido a la complejidad del problema.

La magnitud de los daños que puede presentar un puente y su complejidad, motivan que las actividades de inspección, diagnóstico y de intervención no sean tan simples de seleccionar. Dentro del trabajo para la detección de patologías en puentes se desarrollan tareas que permiten un sistema de reparación fiable y competitivo frente a los sistemas tradicionales. (Arestuche, 1999)

### **1.2.3 Puente objeto de estudio (puente km 2.151 ramal Dubrocq)**

El puente Dubrocq es uno de los puentes centenarios matanceros y además la única vía de acceso ferroviario al puerto de Matanzas y a la Zona Industrial, por lo que es de

extrema importancia la conservación del mismo para mantener el equilibrio económico y social del cual es protagonista sin dudas.

Tipológicamente el puente está construido por cerchas tipo Warren, divididas con nudos rígido en la estructura del tablero compuesto por vigas diafragmas transversales que soportan las vigas longitudinales sobre las que se apoyan las traviesas de madera en las que descansan los rieles. Las vigas longitudinales están localizadas en dependencia de la curva del trazado. El radio de curvatura de la vía es de 112 metros y todas las uniones originales son con remaches en caliente de una pulgada de diámetro, lo cual condiciona la transmisión de esfuerzos en los nodos. (Arestuche, 2013, p. 94)

### **1.3 Términos y definiciones utilizados:**

- Conservación:

Según el Dr. Macías (2003) es la “acción que encierra todo el conjunto de acciones posibles a realizar dentro del patrimonio construido.” La conservación consiste en la “aplicación de los procedimientos técnicos, cuya finalidad es la de detener los mecanismos de alteración o impedir que surjan nuevos deterioros en un edificio histórico. Su objetivo es garantizar la permanencia de dicho patrimonio arquitectónico”

- Patología y Estudio patológico:

Patología Estructural: Las patologías estructurales son aquellas que “están directamente relacionadas con el comportamiento de la estructura y se manifiestan en forma de grietas, fisuras, deformaciones excesivas, etc. Generalmente, tienen gran incidencia en la seguridad estructural”. (Figueredo Sosa et al.,2013)

Patología no estructural: Las patologías no estructurales son aquellas que “no tienen relación alguna con el comportamiento estructural y se manifiestan en forma de

filtraciones, humedades, crecimiento de vegetación, tupiciones y colapso de las instalaciones sanitarias, la acción del hombre, etc.” (Figueredo Sosa et al., 2013)

Estudio Patológico: Proceso donde la lesión es el punto de partida, siguiendo a analizar los indicios notables, para seguir con la evolución de los mismos hasta llegar a su origen, o sea la causa. (Recondo,2014)

- Términos básicos NC 052 - 55: 1982

Conservación: Conjunto de trabajos que se ejecutan para obtener la durabilidad, seguridad y eficiencia máxima y mantener las características estéticas de la construcción. Además, se emplea como acción que encierra todo el conjunto de acciones posibles a realizar dentro del patrimonio construido.

Explotación: Utilización de la construcción durante su vida útil dentro de los parámetros técnicos y funcionales establecidos en su diseño.

Elemento componente: Parte que integra una construcción y que puede ser considerada como unidad en cumplimiento de la función para la cual ha sido concebida.

Rehabilitación: Acción dirigida a devolver en un edificio declarado inhabitable e inservible las condiciones necesarias para su uso original u otro nuevo.

Reconstrucción: Trabajo que se realiza para sustituir o construir de nuevo los elementos componentes fundamentales que presentan un estado de deterioro avanzado y que disminuya o imposibilite el uso, seguridad e integridad de la construcción de forma parcial o total.

Restauración: Trabajo que se realiza en las construcciones de valor histórico, arquitectónico o ambiental para preservar o restablecer sus características originales con estrictos requisitos de autenticidad.

Renovación: Trabajo que se realiza en las construcciones introduciendo variaciones en el diseño, cambios, o mejoras técnicas y funcionales en correspondencia con la época en que se realicen.

Reparación: Trabajo que se realiza en las construcciones durante su explotación para arreglar o sustituir partes y elementos componentes.

Adaptación: Trabajo que se realiza en las construcciones para cambiar su uso.

Protección: es toda medida que se adopta para proteger, para evitar que el inmueble sujeto a los agentes de deterioro que dañen su integridad.

Estabilización: es toda medida que se tome para garantizar la estabilidad estructural de una edificación. Generalmente se trata de una medida de carácter temporal. Se realiza para garantizar la reversibilidad de los daños que ocurren en la estructura.

Consolidación: es una acción hacia la sustancia interna de la edificación. Está relacionada fundamentalmente con los materiales constituyentes de la edificación. Esta acción se encamina a restablecer las propiedades o cualidades a los materiales para garantizar su durabilidad.

Nueva inserción: consiste en colocar un elemento dentro de un edificio dentro de un conjunto que tiene carácter histórico. Este nuevo edificio debe ser compatible con el entorno arquitectónico para no deteriorar la imagen del mismo.

Mantenimiento: Trabajo periódico de carácter preventivo y planificado, que se realiza en las construcciones durante su explotación para conservar las propiedades y capacidades que son afectadas por el uso, agentes atmosféricos o su combinación, sin que sus componentes fundamentales sean objeto de modificación o sustitución parcial o total.

Tiempo de vida útil: Tiempo durante el cual la construcción o sus elementos componentes, mantienen dentro de los niveles aceptables sus condiciones técnicas,

higiénicas, funcionales y de seguridad, sometida a una explotación normal y recibiendo trabajos periódicos de conservación.

Inspección: Revisión de carácter técnico que se realiza en las construcciones de arquitectura e ingeniería para detectar el estado de los distintos elementos componentes e indicar los trabajos a realizar para que cumplan su función.

Inspección parcial: Inspección que abarca uno o varios elementos componentes de la construcción.

Inspección total: Inspección que abarca todos los elementos componentes de la construcción.

Inspección reducida: Inspección que se realiza por medios organolépticos (observación visual, pruebas (táctil y auditivas) o cualquier otro tipo de análisis superficial.

Inspección intensiva: Inspección que se realiza mediante instrumentos y que pueden requerir pruebas de carga, estudio de proyecto, cálculos estructurales u otros análisis detallados. Inspección ordinaria: Inspección que se realiza periódicamente de acuerdo con una planificación.

Inspección extraordinaria: Inspección que se efectúa por indicación de una inspección ordinaria o por situaciones especiales como catástrofes, accidentes u otros.

- Términos básicos NC 335:2004

Alcantarilla: Tipo de puente pórtico de marco cerrado ó tubular, que puede tener desde uno hasta un número no limitado de celdas ó tubos. Convencionalmente pueden incluirse aquellas que no interrumpen el terraplén.

Capacidad soportante de un puente: Combinación pésima de acciones que puede ser soportada por la estructura, con un nivel determinado de seguridad, sin alcanzar un estado

límite. Se escoge la combinación que de menos capacidad soportante. Se expresa por las sollicitaciones resistentes que se transforman en cargas.

Obra de fábrica : Estructura que salva un obstáculo. Se clasifican sus tipos según:

a) El obstáculo que salvan. Se denomina puente a la obra de fábrica que salva una corriente de agua (un río o un arroyo). Si es una depresión, el mar ó cualquier vano en que no haya gran movilidad se le denomina viaducto. Si es un cruce a desnivel con otra vía se le denomina paso a desnivel. Aunque de forma genérica se le denomina puentes a estos dos últimos.

b) Según su uso. Para ferrocarriles, carreteras y conducciones de fluidos.

c) Según su posición respecto al obstáculo (río o mar). Encima del obstáculo, es un puente propiamente definido. Sobre el obstáculo (Puente Flotante). Dentro del obstáculo (Puente sumergido).

d) Según su estructura. Se clasifican longitudinalmente en 12 subtipos y transversalmente en 4 subtipos. Se aclara que las alcantarillas quedan clasificadas como un subtipo de puente pórtico de marco cerrado ó tubular. Los tipos longitudinales son: tramo recto, curvo ó en esviaje, de arcos y colgantes.

e) Según el material y sus combinaciones. De madera, piedra, ladrillo, acero, hormigón armado, hormigón pretensado, hormigón ligero, aluminio, plástico, ferrocemento y hormigón.

## 1.4 Conclusiones del capítulo

- ✓ Con el paso de los años, el número de puentes existentes en el mundo ha crecido considerablemente. En el futuro es de esperar que se siga acometiendo la realización de nuevas infraestructuras aumentando, por tanto, el número de nuevos puentes. Sin embargo, a la par, se deben conservar los ya existentes y reparar, en su caso, los que así lo demanden.
- ✓ Las redes de carreteras y ferrocarriles de un país son una de las infraestructuras estratégicas que deben mantenerse en buenas condiciones para garantizar el correcto funcionamiento de las comunicaciones terrestres.
- ✓ La manera de garantizar la **durabilidad del material y la estructura** es contar con un **plan de mantenimiento** en el que se recoja, entre otras cosas, una política de **inspecciones técnicas** que presten especial atención a señales de patologías incipientes que denoten daños o defectos.

## **CAPÍTULO 2 DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DEL PUENTE KM 2.151 RAMAL DUBROCQ, MEDIANTE UN ESTUDIO PATOLÓGICO.**

Teniendo en cuenta la idea de conservar los puentes que existentes en el país, debido a la factibilidad que esto nos ofrece frente a la gran inversión que genera demoler los existentes y construir nuevos, se realizará en este capítulo un estudio patológico de la obra objeto de estudio decretandose así posteriormente un plan de acciones ingenieras con el fin de mitigar los daños encontrados. Estos procedimientos se realizarán mediante la utilización de la NC 335: 2004 y los resultados de la tesis “ Análisis de la capacidad estructural del puente KM 2.151 del ramal Dubrocq ” del Ing. Reynaldo Giraldez Toledo.

### **2.1 Precedentes en la definición de una metodología constructiva.**

No cabe duda que un correcto uso de los métodos de análisis constituye la obtención de un instrumento básico para la conservación de edificios, ya que intentar frenar o corregir el deterioro de las construcciones sin un diagnóstico de sus problemas o un pronóstico sobre su evolución, es un riesgo con un alto porcentaje de probabilidades de fracaso. La inspección, en los casos de reparaciones parciales o de urgencia, se basa en un método de análisis y de conceptos bien asentados. Toda acción de conservación debe contemplar el conjunto de factores que actúan sobre la vida útil de la construcción y nada debe ser improvisado o abordado de forma superficial o rutinaria. La utilización de una metodología adecuada para el diagnóstico de los daños presentes en un puente, así como su evolución y pronóstico de desarrollo, deberá repercutir directamente en una mejor calidad de los proyectos de rehabilitación a realizar, así como en la obtención de resultados satisfactorios, desde el punto de vista científico, técnico y económico en las investigaciones que es necesario efectuar para estos fines.(Álvarez, 2005)

Actualmente, debido a diversos factores, los estudios de diagnóstico que se realizan no siempre se ejecutan de la forma más eficiente. En ocasiones, se hacen ensayos innecesarios o el plan de muestreo resulta demasiado abundante o insuficiente sin responder a un análisis científicamente justificado, lo que sin dudas repercute en la calidad de los proyectos que utilizan estos informes como fase preliminar.

Para atacar un problema constructivo, en primer lugar, se debe diagnosticar, es decir, conocer su proceso, su origen, sus causas, su evolución, sus síntomas y su estado actual. Este conjunto de aspectos del problema, que pueden agruparse de un modo secuencial, es lo que se denomina proceso patológico. En un proceso patológico se pueden distinguir tres partes bien definidas, el origen, la evolución y el resultado final, de tal modo que para su estudio se debe recorrer dicho camino de forma inversa. Este análisis debe ser metódico y exhaustivo porque de él depende el éxito de la empresa. Por ello, es preciso adoptar un método sistemático de observación y toma de datos y limitar las posibles ideas preconcebidas, es decir, contener la intuición profesional que puede ser común y útil en algunas ocasiones, pero muy peligrosa en otras. (Álvarez, 2005)

## **2.2- Selección de la metodología a emplear.**

Para el diagnóstico de una edificación existen una gran variedad de metodologías, tanto nacionales como internacionales, las cuales mantienen algunas variables en común pero siempre agregan una primicia propia. En la tabla a continuación se exponen algunas de las más representativas, las cuales encierran los objetivos que se buscan con la elaboración de esta investigación.

<i>Metodologías</i>	<i>Autores</i>
---------------------	----------------

<b>Norma Cubana 335 : 2004. Inspección y conservación de puentes. Código de buenas prácticas.</b>	<b>Autor y entidad: Oficina Nacional de Normalización.</b>
Manual de especificaciones generales para la conservación de caminos, carreteras y puentes. MCV-2015	Autor y entidad: Ministerio de Obras Públicas y Transportes. República de Costa Rica
Sistema de Gestión de Puentes. Optimización de estrategias de mantenimiento.	Autor: Ing. Javier Martínez Cañamares Tesis doctoral Entidad: Universidad politécnica de Madrid. Escuela técnica superior de ingenieros de caminos, canales y puertos. Departamento mecánica de medios continuos y teoría de estructuras.
Sistema de Gestión de Conservación de Puentes.	Autor: Ing. José María Villar Entidad: Oficina técnica S.A, Madrid, España
Metodología para el diagnóstico y Restauración de Edificaciones.	Autores: Juan Antonio Chávez Vega, Dra. Odalys Álvarez Rodríguez. Entidad: Facultad de Ingeniería Civil UMSNH (La Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo) Fac. Ing. Civil. Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”. Cuba.

*Tabla 2.2 : Metodologías investigadas. Fuente : Elaboración propia*

Con las investigaciones realizadas, debido la gran aplicación de las mismas, se decidió como metodología de investigación principal, para el correcto análisis del puente objeto de estudio, la Metodología de la Norma Cubana 335 del 2004 "Inspección y conservación de puentes. Código de buenas prácticas" y como apoyo secundario la Metodología para el Diagnóstico y Restauración de Edificaciones. Esto debido a la complementación que presentan y la similitud que tienen en sus primicias.

En el caso del Puente Km 2.151 del ramal Dubrocq se realizara una Inspección de Evaluación utilizando estudios organolépticos, detectando en orden cualitativo (MB; B; R; M; MM) la magnitud de los daños para la cual se realizará el levantamiento estructural. Esta inspección es visual y en ocasiones se utilizan instrumentos y equipos de mediciones de las patologías. Estas evaluaciones establecen los criterios sobre el estado de los puentes, mediante una clasificación internacional de Muy Bien, Bien, Regular, Mal y Muy Mal, lo suficientemente flexible en su contenido para permitir la explotación adecuada de los puentes, antes de ser reparados y realizar la conservación requerida, para lograr la durabilidad esperada.

La clasificación es la siguiente:

**Muy Bien:** Los puentes nuevos con calidad requerida que no necesiten del mantenimiento correctivo debido a deficiencias de ejecución y aquellos en explotación que por su estado correspondan a uno nuevo o tienen una seguridad adecuada.

No presentan deficiencias estructurales y son funcionales. No es necesario apuntarlo para el paso de las cargas de diseño o sus equivalentes. Se preverá su mantenimiento rutinario.

**Bien:** En su mayor parte no presentan deficiencias estructurales aunque pueden tener en algún elemento, no afectando sus funciones. Requieren un mantenimiento rutinario.

Permiten el paso de los vehículos de diseño o su equivalente, sin apuntalamiento, garantizando el estado de servicio.

**Regular:** Presentan deficiencias parciales en la estructura, que reducen las funciones del mismo. Se requiere la reparación parcial. Puede ser necesario apuntalarlo para el paso de los vehículos de diseño o equivalentes y mantener la seguridad establecida.

**Mal:** Presentan deficiencias decisivas en uno o varios de los elementos de la estructura, que no permiten cumplir las funciones para las cuales se diseñó. Necesitan una reparación inmediata y en ocasiones la demolición o sustitución de los elementos o materiales defectuosos.

No es posible el paso de las cargas de diseño, aunque pueden pasar cargas menores que la de diseño sin tener que apuntalar.

**Muy Mal:** Los puentes que presentan graves deficiencias en la mayor parte de la estructura. No pueden cumplir sus funciones. No es posible el paso de las cargas de diseño o su equivalente. Para mantener la seguridad puede requerirse el apuntalamiento cuando actúen cargas ligeras. Requieren una reconstrucción ó sustitución.

Estas metodologías presentan una serie de etapas que permiten realizar una gestión de la conservación desde un punto de vista integral, es decir una gestión que permita orientar y optimizar los recursos de forma adecuada.

### **1. Inspección inicial :**

El objetivo de esta fase es inspeccionar la obra, teniendo así una primera impresión sobre las posibles causas que han producido la patología. La descripción de la tipología del puente y la inspección de la zona de ubicación constituyen los puntos claves de esta etapa

del trabajo de diagnóstico y permiten dar una primera impresión sobre las posibles causas que han producido las patologías.

## **2. Levantamiento de daños**

El objetivo de esta etapa es buscar la presencia de lesiones que se manifiesten como síntomas del proceso patológico y a partir de las cuales es posible conocerlo. Lo primero es detectar las lesiones, identificarlas e independizar las lesiones y procesos patológicos diferentes con el objetivo de seguirlos adecuadamente, sobre todo, teniendo en cuenta su posible relación. Esta fase concluye con la confección del levantamiento de daños por elementos del puente. (Enríquez, 2018)

Se revisaran elementos como los enfoques, deslizamientos de tierra, asientos, ataques al hormigón, capacidad de carga, corrosión, fisuras, flechas, grietas, recubrimientos, roturas, vibraciones, aparatos o dispositivos de apoyos, juntas, señales, socavación e hidráulica. Estos datos se recogeran realizando los modelos IPE-0, IPE-1 e IPE-2 de la NC 335:2004.

## **3. Recopilación de antecedentes**

Una vez identificadas e independizadas las lesiones, se inicia esta fase, para la cual se deben usar todas las fuentes disponibles. Esto implicará tratar de conseguir todo tipo de documentación gráfica o escrita sobre la edificación e incluso entrevistas con los moradores, usuarios del edificio o personas del barrio para conocer más detalles que no estén reflejados en la documentación. (Enríquez, 2018)

## **4. Prediagnóstico o establecimiento de las hipótesis de fallo**

El prediagnóstico es un tipo de conclusión a la cual se puede llegar con los datos obtenidos hasta el momento. Es como establecer hipótesis que serán comprobadas en las siguientes

etapas o pasos de esta Metodología. Si, con el prediagnóstico solamente es posible realizar la propuesta de intervención, se obviarán los pasos intermedios. (Enríquez, 2018)

## **5. Diagnóstico**

Una vez terminada la toma de datos directa se puede iniciar la reconstrucción de los hechos, es decir, tratar de conocer cómo se ha desarrollado el proceso patológico, cuál ha sido su origen y sus causas, cuál su evolución y cuál su estado actual. En esta etapa se debe llegar a conclusiones para la posterior actuación que implique la reparación del puente. Este análisis debe contemplar los siguientes aspectos:

1. Causas que han originado el proceso, distinguiendo entre las directas y las indirectas, con descripción precisa de cada una de ellas y explicación de su relación, tanto de varias causas directas como de las posibles indirectas que hayan actuado conjuntamente.
  2. Evolución del proceso patológico, indicando sus tiempos, su posible periodicidad, la transformación o ramificación en nuevos procesos patológicos, etc.
  3. Mecanismos de actuación, indicando las causas que de forma primaria o secundaria han motivado el estado actual del elemento estudiado.
  4. Estado actual de la situación del proceso, su posible vigencia o su desaparición y las lesiones a que ha dado lugar y que constituyen los síntomas perceptibles del proceso.
- (Enríquez, 2018)

## **6 Terapia**

Como objetivo final, el diagnóstico permite llegar a propuestas de intervención constructiva que, como ya se ha dicho, tendrán como objetivo devolverle al puente su función inicial. La terapia dependerá del conocimiento que se tenga sobre el puente, sus

materiales componentes, etc. Puede ser conocida o no, en cuyo caso habrá que investigar en aras de garantizar la compatibilidad entre lo que ya existe y la técnica a emplear para su reparación. Debe referirse tanto a la causa como al efecto, recordando la preferencia de la eliminación de la causa.

#### a) De las causas

Sobre las causas indirectas se podrá actuar en ocasiones de forma general, por lo que conviene analizar distintos casos tipos.

Cuando se encuentra en presencia de un problema de disposición constructiva, bien por defecto de diseño o por error en la ejecución, se podrá estudiar la posibilidad de un cambio de dicha disposición, o la adición de nuevos elementos constructivos que corrijan el defecto. En definitiva, las causas indirectas son casi siempre de fácil corrección, ya sea por uno u otro motivo de los antes mencionados.

Las causas directas, por el contrario, suelen ser más difíciles de eliminar, sobre todo cuando se trata de agentes atmosféricos o contaminantes. Si se habla de causas mecánicas, se podrá actuar en los esfuerzos o cargas que sean previsibles tratando de eliminarlos o al menos de limitarlos. Las causas físicas son muy complejas de eliminar, por lo que se debe recurrir a la protección física o química de los elementos contra estas, que pueden ser la lluvia, el viento, las temperaturas, etc. En general, la mayoría de las causas directas se podrán resolver con protecciones que eviten que los agentes físicos, químicos o mecánicos alcancen al material o elemento susceptible o con productos o aditivos aplicados al mismo material.

#### b) De los defectos

Una vez corregida la causa, y solo después de ello, se deberá proceder a la reparación del defecto, lo que tendrá como objetivo el devolver al elemento su aspecto y funcionalidad originales. Las posibilidades de actuación son muy variadas, como son los materiales y elementos que pueden verse afectados, así como el tipo de lesiones que les pueden afectar, por eso no se tratará ese tema en este trabajo. En cualquier caso, debe prestarse especial atención a la compatibilidad entre los materiales existentes en las edificaciones antiguas, y los materiales de reparación para así no tirar a la basura las intenciones de prolongar la vida útil de las mismas. (Enríquez, 2018)

## **2.3 Estudio patológico del puente**

El presente estudio patológico se fundamenta en la utilización de métodos organolépticos para su realización y en los resultados del Trabajo de Diploma del Ing. Reynaldo Giraldez " Análisis de la capacidad estructural del Puente Km 2.151 del ramal Dubrocq". Se determinará la situación técnica general de la construcción, sus principales indicadores físicos y las posibles acciones necesarias.

### **2.3.1 Inspección preliminar**

➤ Descripción de la tipología del puente:

El Puente Km 2.151 del ramal Dubrocq se encuentra ubicado en una curva de 112 metros de radio con sobre-elevación. Tipológicamente el puente está constituido por cerchas tipo Warren, divididas con nudos rígidos en la estructura del tablero compuesto por vigas diafragmas transversales que soportan las vigas longitudinales sobre las que se apoyan las traviesas de madera en las que descansan los rieles. Las vigas longitudinales están localizadas en dependencia de la curva del trazado. (Arestuche, 2013)

Sus 168 elementos estan distribuídos de la siguiente manera :

Tablero estructural.

- 16 Vigas longitudinales .
- 9 Vigas transversales inferiores.

Cerchas.

- 8 Vigas del Cordón inferior.
- 6 Vigas del Cordón superior.
- 12 Diagonales superiores.
- 16 Diagonales inferiores.
- 7 Montantes.
- 7 Vigas transversales superiores.
- 16 Nudos.

Arriostres.

- 4 Arriostres inferiores.
- 4 Arriostres superiores.

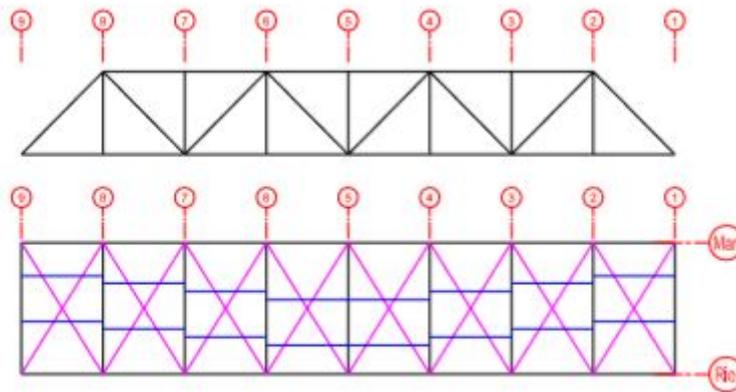


Figura 2.1: geometría de la armadura del puente y del tablero. (Arestuche, 2013)

➤ Examen visual del puente por elementos:

- Vigas longitudinales :

Son una conformación de 4 perfiles angulares unidos por platabandas. Los primeros son perfiles L 150 x 150 x 13 que se encuentran unidos mediante pernos a los extremos de una platabanda de 610 mm de longitud y un espesor de 10 mm y en la parte superior unido de la misma forma a otra platabanda de 290 mm de longitud y un espesor de 12mm. (Giraldez, 2019). Estas vigas soportan las cargas que el tren transmite directamente a las traviesas de madera mediante los railes.

- Vigas transversales inferiores:

Estas son muy parecida a las vigas longitudinales. En este caso los perfiles angulares son L 150 x 150 x 16, la platabanda a la cual están unidos tiene una longitud de 970 mm y un espesor de 10 mm, mientras que la platabanda de la parte superior tiene una longitud de 330 mm y un espesor de 16 mm. (Giraldez, 2019). Estas vigas soportan las cargas que le transmiten las vigas longitudinales por cortante y además sirven de diafragma rigidizador transversal.

- Vigas del Cordon inferior:

Está compuesto por dos secciones. Los dos primeros elementos a cada lado, 1-2 y 2-3 al igual que 7-8 y 8-9 están formados por dos perfiles canales separados a 320 mm ,con 310 mm de altura y una longitud de sus alas de 75 mm, con un espesor tanto para el alma como de las alas de 10 mm. Mientras que en los elementos 3-4, 4-5, 5-6 y 6-7 la sección anterior es reforzada en su alma con platabandas de 200 mm de largo y 16 mm de espesor. (Giraldez, 2019).

- Vigas del Cordon superior:

La sección del cordón superior de la armadura es una combinación de cuatro perfiles angulares L 100 x 80 x 10, unidos en la vertical por platabandas de 400 mm de largo y 100 mm de espesor y en la parte superior de forma horizontal, una platabanda de 510 mm de longitud y 100 mm de espesor. (Giraldez, 2019)

- Diagonales :

Están formadas por dos perfiles canales con una longitud del alma de 340 mm y alas de 75 mm, con una separación entre ellas de 320 mm. (Giraldez, 2019)

- Montantes y vigas transversales superiores:

Están constituidos por 4 angulares de 130 x 95 x 12 mm. (Giraldez, 2019)

- Vínculos:

La armadura está apoyada sobre cuatro apoyos, de ellos dos fijos y dos móviles, y estos a su vez descansan sobre estribos de hormigón masivo. Por lo cual se define la estructura como isostática. En cuanto a las uniones entre los elementos que conforman la armadura, son rígidas (empotramientos) mediante la utilización de soldaduras y pernos. (Giraldez, 2019)

- Superficie de rodadura:

Esta compuesta por traviesas de madera en las que se apoyan los railes por los que transita el tren. La unión de estos elementos es mediante juntas de sujeción apernadas.

Para esta etapa fue necesario visitar varias veces la obra con el fin de inspeccionar cada uno de estos elementos , utilizando los siguientes métodos de inspección:

- Análisis visual de la estructura en general y de cada elemento en particular.
- Tacto
- Comprobación de abofamiento mediante toques alternos en los estribos de hormigón masivo.
- Conteo de elementos.
- Recorrido peatonal.
- Análisis de los resultados dados por el Ing. Reynaldo Giraldez en su trabajo de diploma sobre el puente objeto de estudio.

Con el empleo de los mismos es posible la realización de un levantamiento de daños, donde mediante una detallada observación se examinará la presencia de lesiones manifestadas como síntomas del proceso patológico, las cuales serán resumidas en la confección de las fichas técnicas.

### **2.3.2 Prediagnóstico.**

Mediante el prediagnóstico es posible alcanzar conclusiones mediante los datos obtenidos previamente, donde serán establecidas ciertas hipótesis que serán comprobadas en las siguientes etapas de la metodología usada, siendo posible entonces ofrecer un conjunto de propuestas de acciones emergentes determinadas por las lesiones encontradas. (Enríquez, 2018)

Como resultado del prediagnóstico se arribó a la conclusión parcial que de manera general el puente presenta un estado constructivo aceptable, sin peligro de derrumbe, siendo visible un alto grado de corrosión del 50% de sus elementos estructurales y pérdida de sección en los mas crítico.

### **2.3.3 Diagnóstico.**

#### a) Aproches

Las condiciones del pavimento de aproche son favorables. No hay fallos visible por la zona de Versailles y por el otro extremo la elevación existente se encuentra con presencia de vegetación pero en buen estado constructivo.

#### b) Estructura

- Ataques al hormigón

En los estribos de hormigón masivo se observan daños por erosión y desgaste, causados por la acción de partículas pesadas del agua del río al que está expuesto. También existe pérdidas de sección en el muro que sirve de apoyo a las traviesas, esto producido por asentamientos que ha tenido el puente debido a las cargas actuantes sobre él.



*Figura 2.2 Estado de los estribos de hormigón. Fuente: Elaboración propia.*

- Capacidad de carga:

Utilizando como material de apoyo el trabajo de diploma del Ing. Reynaldo Giraldez " Análisis de la capacidad estructural del Puente Km 2.151 del ramal Dubrocq" , se observa que según los ensayos de carga realizados (deformaciones para la carga móvil, deformaciones para la carga de viento, análisis *time history* para distintas velocidades, cargas móviles, cargas de viento, análisis de interacción directa y modos de vibración) el coeficiente de ratio en el 90% de los elementos es menor a 0.5, por lo que se expresa que los elementos están trabajando alrededor del 50% de su capacidad real. A pesar de

incrementar la velocidad móvil no existen efectos de resonancia ni deformaciones.

- Corrosión:

⇒ Vigas longitudinales: el 80 % de ellas presentan desgarro laminar y rotura frágil de las capas superficiales del material, esto producto a la oxidación-corrosión electroquímica por los cloruros del agua de mar ya que este puente se encuentra ubicado a la entrada de la bahía y esta es la zona mas cercana al río, siendo la de mayor afectación por consiguiente.



*Figura 2.3 Vigas longitudinales del puente Dubrocq. Fuente:*

*Elaboración propia.*

⇒ Vigas transversales inferiores: el 100% de ellas presenta oxidación por corrosión electroquímica evidenciado con exfoliaciones, roturas del revestimiento de fábrica y roturas del material mediante pequeñas escamas; esto debido a que la estructura esta expuesta a un ambiente muy húmedo como lo es el Río Yumurí.



*Figura 2.4 Viga transversal inferior. Fuente: Elaboración propia.*

⇒ Vigas del cordón inferior:

Estas al igual que las anteriores presentan un alto grado de oxidación- corrosión en el 80% del las vigas, debido al mismo factor medioambiental en que se encuentra la obra. En este caso los pernos, soldaduras y remaches estan deformados por la acción corrosiva y las alas de las vigas tipo C presentan pérdida de sección.



*Figura 2.5 Viga cordón inferior. Fuente : Elaboración propia.*

- ⇒ Viga cordón superior, diagonales superiores y vigas transversales superiores.
- ⇒ No presentan señales de oxidación electroquímica ,ni ninguna otra afectación visible, esto se debe a la separación con respecto al nivel del mar lo que hace más difícil que los cloruros ataquen el acero.



*Figura 2.6 Vigas cordón superior. Fuente: Elaboración propia*



*Figura 2.7 Diagonales superiores y vigas transversales superiores. Fuente: Elaboración propia.*

⇒ Diagonales inferiores:

Presentan un alto grado corrosivo en el 100% de sus angulares y marcada rotura en las placas de unión entre ellos, estas se evidencian como pequeñas conchas de acero corroído lo que provoca pérdidas de las propiedades mecánicas del material. Estas

lesiones son provocadas por la cercanía de los elementos al río como ya se ha explicado en ocasiones anteriores.



*Figura 2.8 Diagonales inferiores. Fuente: Elaboración propia.*

⇒ Montantes y arriostres :

En general presentan un buen estado, solo el 30% de ellos tiene afectaciones por corrosión. En estos elementos es apreciable la lesión mediante una fina película de óxido en partes localizadas.



*Figura 2.9 Montantes y arriostres. Fuente: Elaboración propia.*

- Aparatos o dispositivos de apoyos:

En ambos lados del puente se observan deformaciones en los nudos de apoyo de la estructura y pérdidas de sección, producidas por el constante contacto con las aguas salobres lo cual da paso a la oxidación del metal con el cloruro. Existe también presencia de vegetación y basura, que posteriormente puede convertirse en foco de contaminación ambiental.



*Figura 2.10 Ejemplo de nudo del puente Dubrocq. Fuente:*

*Elaboración propia.*

c) Superficie de rodadura

En el puente se encuentran actualmente 6 raíles de los cuales están en funcionamiento 2 (por los que transita el ferrocarril), los otros 4 se encuentran deshabilitados y con altos niveles de corrosión en el 100% de sus áreas debido a la falta de mantenimiento y los años de explotación que ocupan. Esto desencadena sobrecarga innecesaria en las traviesas de madera provocando el agrietamiento longitudinal de ellas y posteriormente el colapso. Además de esto no hay presencia de juntas de sujeción en estos 4 elementos desencadenando vibraciones indebidas de manera estructural. Por otro lado, alrededor del 40 % de las traviesas tienen pudrición de la madera, producido por el contacto frecuente con el agua del río.



*Figura 2.11 Raíles y traviesas de madera del Puente Dubrocq. Fuente: Elaboración propia.*

#### **2.3.4 Pronóstico**

Luego de la inspección se arribó a la conclusión que toda la obra presenta lesiones no estructurales provenientes de la corrosión debido al ambiente agresivo en que se encuentra el puente, siendo los daños más comunes oxidación de los elementos, pérdidas de sección en formas de conchas y erosión. Por lo que es clasificado el puente con el **nivel de deterioro regular** ya que se observan defectos que indican que una evolución patológica se está produciendo. Además, presenta deficiencias parciales en la estructura, que reducen las funciones del mismo. Se requiere la reparación parcial. Puede ser necesario apuntarlo para el paso de los vehículos de diseño o equivalentes y mantener la seguridad establecida.

#### **2.4 Delimitación de los Trabajos de Mantenimiento y Refuerzo.**

Los objetivos generales del mantenimiento de puentes coinciden con los de conservación, de la cual es una fase (inspección, mantenimiento). Dichos objetivos son:

- Asegurar la capacidad portante de la estructura del puente, para evitar daños a terceros. Con ello se consigue un grado adecuado de seguridad, tanto para los usuarios directos como para los indirectos, por ejemplo, transeúntes u otras personas que puedan verse afectados por un colapso eventual del puente.
- Asegurar que el tráfico se efectúe en las mejores condiciones posibles de comodidad y confort. Es conveniente evitar limitaciones o prohibiciones de circulación sobre el puente, debido al alto costo colectivo que se podría generar.
- Preservar el valor patrimonial del puente, no sólo porque en él se ha invertido un capital considerable, sino también porque algunos puentes tienen una importancia notable desde el punto de vista histórico, cultural o estético.

Se denominarán trabajos de mantenimiento, si el puente conserva las características funcionales previstas en el proyecto. Los refuerzos se definen como aquellos trabajos que incrementan la capacidad portante o cualquier otra característica y que mejoran el nivel de servicio previsto en el proyecto original.

Para esto se distinguen cuatro tipos de mantenimiento:

- Mantenimiento rutinario.
- Mantenimiento especializado
- . • Mantenimiento preventivo.

- Mantenimiento correctivo.

Luego de concluido el diagnóstico, se procedió a la decisión del tratamiento a seguir para erradicar cada una de las patologías detectadas, teniendo siempre en cuenta el aspecto económico, siendo este de vital importancia para decidir las acciones a seguir. En el caso del Puente Km 2.151 del ramal Dubrocq se propone aplicar un mantenimiento correctivo, siendo este el que se realiza en las construcciones durante su explotación para arreglar o sustituir partes o elementos componentes deteriorados.

Según su alcance la reparación puede ser menor, media y capital, según su carácter, normal o urgente. La que se adecúa a esta estructura en cuestión es una reparación media, en la cual se subsanan daños que producen una afectación considerable de la estructura o puedan ocasionar una disminución de la seguridad y la durabilidad de la misma, en menor grado que una reparación capital. Véase la NC 52-55.

Para la correcta realización de estos trabajos de mantenimiento y reparación se llevarán a cabo una serie de **acciones ingenieras** a corto, mediano y largo plazo.

#### **2.4.1 Acciones Ingenieras a Corto Plazo:**

En estas acciones se aplican las actividades referentes a un plan de mantenimiento correctivo, con la finalidad de reparar o poner en condiciones de funcionamiento aquellos elementos que dejaron de funcionar o están dañados.

- 1) Elaborar un Plan de Mantenimiento Correctivo, que incluya los trabajos de:
  - Limpieza de las áreas aledañas a la estructura y recogida de basuras, acumuladas en el tiempo

- Remover, con las recomendaciones y presencia del personal competente e idóneo, las plantas parásitas invasivas que crecen en los muros y carreteras de aproche
- Eliminar los nidos de aves, y limpiar el excremento de los mismos, además de la presencia de cualquier otro animal existente debido a las grandes aperturas en las vigas superiores del puente
- Eliminar las trazas de herrumbre en los elementos de la estructura que presentan oxidación
- Realizar un proceso de desconchado en los revoques de los muros de cimentación y aproche, con el fin de frenar los efectos de la erosión y el desgaste causados por el agua del río

#### **2.4.2 Acciones Ingenieras a Medio Plazo:**

Propiciar un Plan de Medidas Técnicas, que incluyan procedimientos y recomendaciones de reparación para daños mayores:

- Resanar muros de cimentación y aproche
- Repellar muros de cimentación y aproche
- Embetunar muros de cimentación y aproche
- Pintar cimentación y aproche
- Limpieza de los elementos estructurales de acero oxidados
- Reparación de los elementos con pérdida de sección
- Revestimiento de los elementos de acero de la estructura
- Levantamiento de los raíles innecesarios
- Sustitución de las traviesas dañadas por otras de igual dimensión

#### **2.4.3 Acciones Ingenieras a Largo Plazo:**

- Realizar un mantenimiento preventivo en los muros de cimentación y aproche
- Mantenimientos periódicos y planificados con carácter preventivo, correctivo y de actualización para garantizar la conservación integrada del Puente Dubrocq

#### **2.4.4 Secuencia de trabajos:**

##### Plan de Medidas Técnicas para daños mayores:

- I. El primer trabajo a realizar en el puente es la reparación de los muros de aproche y cimentación. Para esto se eliminará toda la capa de revestimiento del muro por consecuencia de la erosión que presenta. Seguidamente se procederá a resanar, repellar y embetunar estos elementos utilizando áridos de gran tamaño, dado que tienen mayor resistencia que la pasta de cemento, cemento de elevada resistencia (baja relación agua-cemento) y morteros especiales en las capas superficiales.
- II. Seguidamente se procede a eliminar los 4 raíles de tren inutilizados que hacen sobrecarga sobre el puente, para así después sustituir las traviesas dañadas por otras de misma sección y similar resistencia.
- III. La actividad siguiente es sanear, reforzar y sustituir los elementos estructurales en mal estado del puente. Para estos trabajos se dispondrá de plataformas de trabajo a diferentes alturas. El saneo se realizará a antorcha, que consiste en pasar sobre la superficie de acero un soplete oxiacetilénico a gran velocidad y altas temperaturas, esto provoca que la mayor parte del óxido y la cascarilla desprendan y el resto se deshidrata. Como norma se reforzará todo elemento que tenga pérdidas de sección de un 10% y se sustituirá total o parcialmente aquellos que tengan pérdida de más de un 40%.
- IV. Finalmente se aplicará a toda la estructura un esquema de pintura vinílica, la cual se utiliza para condiciones ambientales muy severas, inmersión en agua dulce o

salada, alta humedad y condensaciones. También es resistente al fuego y a ambientes corrosivos.

## **2.5 Valoración económica y aporte social:**

En este trabajo se han obtenido una serie de ventajas sociales, pedagógicas y económicas para la actividad de ingeniería ferroviaria, la explotación y reanimación del transporte nacional. Económicamente se está intentando preservar un puente del que depende la actividad económica del puerto de Matanzas y el acceso ferroviario para la extracción de materiales de la zona industrial. En estos acápites figura la exportación de azúcar, en la cual el puerto de Matanzas juega un papel fundamental dado las características de calado y tecnologías disponibles en el mismo. De igual manera la transportación de producciones como el yeso, fertilizante, combustible, mieles y alcohol entre otros se realiza por esta vía, dada la economía en la transportación de cargas pesadas y voluminosas que representa el ferrocarril. Desde el punto de vista social se debe partir que, al deprimirse la actividad portuaria se pierden más de 200 empleos de trabajadores que son declarados interruptor o disponibles, con el consecuente daño social.

## **2.6 Conclusiones del capítulo:**

- Mediante el análisis de las diferentes metodologías de diagnóstico investigadas se determinó el curso de la metodología a implementar de acuerdo a los intereses de la investigación, donde se hizo posible la planificación y organización de un detallado estudio patológico mediante métodos organolépticos y apoyándonos en los resultados del trabajo de diploma del ing. Reynaldo Giraldez para unos resultados más completos.
- El estudio patológico realizado al puente brindó como resultado que él mismo se encuentra en un estado de deterioro regular, debido a la gran corrosión que

presentan el 60% de sus elementos, producto al ambiente tan agresivo en el que se encuentra.

- La evaluación y la propuesta de intervención presentan un conjunto de acciones para revertir los procesos patológicos unidos al empleo de materiales y tecnologías compatibles con las existentes en el puente, manteniéndose la autenticidad y permitiendo la extensión de la vida útil de este.

## CONCLUSIONES

1. La construcción de puentes es un tema de gran importancia desde los inicios de las civilizaciones hasta la actualidad, siendo los planes de mantenimiento y conservación de estos una acción primordial para salvaguardar los valores tanto históricos como funcionales que a través de los años van almacenado.
2. La realización de un estudio patológico por métodos organolépticos, respondiendo a la metodología de la NC 335: 2004 y la utilización de los resultados del trabajo de diploma del Ing. Reynaldo Giraldez, permitieron catalogar al Puente Km 2.151 del ramal Dubrocq de un estado de deterioro **Regular**.
3. Las acciones de intervención serán ejecutadas en diferentes plazos (corto, mediano y largo). Se inician con un imprescindible Plan de Mantenimiento, continuándose con el Plan de Medidas Técnicas para daños mayores y terminando, a largo plazo, con la ejecución del Proyecto Técnico Ejecutivo del inmueble para su rescate y rehabilitación.

## RECOMENDACIONES

- Presentar el procedimiento metodológico de la investigación y los resultados de su aplicación, a las entidades interesadas en la restauración de obras sociales, como la Oficina del Conservador de la provincia de Matanzas, al igual que la Oficina del Historiador, para llevar a cabo la rehabilitación del puente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Álvarez Rodríguez, Odalys, (2003), Metodología para el diagnóstico de edificaciones en el Centro Histórico de La Habana. Facultad de Ingeniería Civil. Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" (ISPJAE), La Habana, Cuba.
2. Arestuche, L. G. y , 1999. “*Experiencias y métodos para la conservación de puentes de carretera en Cuba*”. Vol 1 y 2 ed. La Habana: Empresa de Servicios Generales del MICONS.
3. Arestuche, L. G., (2012). “Estudio del estado de los Puentes en la Carretera Central en su travesía por Matanzas”. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 6(2), p. 57.
4. Arestuche, L. G., (2013). “Reparación del puente Dubrocq “. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 7(2), p. 13.
5. Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural (1972), aprobada por la Conferencia General en su 17a. reunión, París. UNESCO, París, s.f.
6. Department of Transportation (2001). Bridge Design Manual. Texas.
7. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles (2003). Manual de diseño de Puentes. Perú.
8. DRAE. (2001). Diccionario de la lengua española. 2001.
9. Ecured,(2020).*Puente Almendares*. [Internet]  
Disponibile en: <http://www.ecured.cu>  
[Último acceso: 21 5 2020].

10. Ecured, (2020). *Puente de la Concordia*. [Internet]  
Disponibile en : <http://www.ecured.cu>  
[Último acceso: 23 5 2020].
11. Enríquez, Sarah., (2018). *Plan de intervención constructiva a efectuar en la edificación matancera: "La Quinta Luna"*. (Tesis en opción al título de Ingeniero Civil). UMCC, Matanzas, Cuba.
12. FERROCARRILES (2003). Itinerario No 14. In: CUBA, M. D. T. F. D. (ed.).
13. FERROCARRILES (2012). Suplemento No.3 al Itinerario No.14. In: CUBA, M. D. T. F. (ed.).
14. García, S., (2018). *Los 6 puentes mas bonitos para cruzar Cuba*. [Internet]  
Disponibile en : <http://www.cibercuba.com>  
[Último acceso: 10 3 2020].
15. Giraldez, I. R., (2019). *Análisis de la capacidad estructural del Puente km 2.151 del ramal Dubrocq*. (Tesis en opción al título de Ingeniero Civil). UMCC, Matanzas, Cuba.
16. Hernandez, I.,(2018). *Los centenarios puentes de Matanzas*. [Internet]  
Disponibile en : <http://www.exelenciasdelmotor.com>  
[Último acceso: 25 1 2020].
17. Hyman, M. T. & I.,(1990). "Eclectisismo y tecnología: el puente de Brooklyn ". Ediciones AKAL, *Arquitectura*. Ediciones AKAL, 1990, p. 754.
18. Innovative Materials for Architecture and Design (2006). Editorial Birkhäuser, 400p

19. Ingeoexpert, 2019. *Golden Gate, ¿cómo y cuándo se construyó?*. [Internet]  
Disponible en : <http://www.ingeoexpert.com>  
[Último acceso: 15 3 2020].
20. Joint ICOMOS – TICCIH Principles for the Conservation of Industrial Heritage Sites, Structures, Areas and Landscapes. The Dublin Principles. Adopted by the 17th ICOMOS General Assembly on 28 November 2011.
21. Malme, Jane H. and Joan M. Youngman: *The Development of Property Taxation in Economies in Transition – Case Studies from Central and Eastern Europe*, World Bank Institute, EUA, 2001.
22. Manglai, Puja and K. David Pijawka: *Measuring Environmental Impacts of Sustainable Neighborhood Plans*, PLEA, Chile, 2003.
23. Marcuse, Peter: *Sustainability is not enough*, Environment and Urbanization, Vol.10, No.2, 1998.
24. Martínez, Javier, (2016). *Sistema de gestión de puentes, optimización de estrategias de mantenimiento*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, España.
25. Matute, L., (2012). "*MEDIDAS EFICIENTES EN LA CONSERVACIÓN DE PUENTES*": Valencia, España.
26. Ministerio de obras Públicas y transportes, (2015)."*MANUAL DE ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSERVACIÓN DE CAMINOS, CARRETERAS Y PUENTES*": Costa Rica.
27. Muñoz, E. E., (2011). Tomo 1: *Reseña histórica, tipología, diagnóstico y recuperación*. Universidad, *Ingeniería de puentes*. Javeriana: Pontificia Universidad, p. 40.

28. Núñez, Ricardo, H. James Brown and Martin Smolka: Using land value to promote development in Cuba, Land Lines Vol.12 Number 2, Lincoln Institute of Land Policy, EUA, 2000, p.p 1-4
29. Oficina Nacional de Normalización. NC 335( 2004).“ *INSPECCION Y CONSERVACION DE PUENTES. CODIGO DE BUENAS PRACTICA*”. La Habana.
30. Parra, S.,(2017). *Laminas y aceros*. [Internet]  
Disponibile en: <http://www.laminas y aceros.com>  
[Último acceso: 6 5 2020].
31. Peñaranda, Lidia Orías. (2011) Manual para la Conservación del Patrimonio Arquitectónico de Sucre. Ed: U.M.M. Patrimonio Histórico-PRAHS, Sucre, Bolivia.
32. Pérez Orosco, Leonel, (2014), Expediente para la creación de la Oficina del Conservador, Matanzas, Cuba.
33. Ramírez Díaz, Rafael; Curbelo Concepción, Denny; Alfonso Morales, Orestes; Díaz Crespo, Ana Laura, (2015), Diagnóstico y Evaluación de la Estructura. Puente Río Salado, La Habana, Cuba.
34. Recondo, A. R., (2019). *26 de septiembre: Día de los puentes en Matanzas*.  
[Internet] Disponible en : <http://www.unaicc.cu>  
[Último acceso: 7 3 2020].
35. Rodríguez, M., (2012). *Monumentos nacionales de Sancti Spíritus*. [internet]  
Disponibile en : <http://www.escambray.cu>  
[Último acceso: 21 5 2020].

36. Villar, i. J. M. d., *“Sistema de gestión de conservación de puentes”*. Madrid  
(España), Ofisina Tecnica, S.A.