



DIAGNÓSTICO PARA UNA PROPUESTA DE MANTENIMIENTO DEL PUENTE MACUTO EN LA CIUDAD DE BARQUISIMETO

DIAGNOSIS FOR A MAINTENANCE PROPOSAL OF THE MACUTO BRIDGE IN THE CITY OF BARQUISIMETO

María Alice, Olavarrieta¹; Daniel, Ruiz²; Jesús, Parra³; Luis José, Prieto Escalona⁴

Recibido 29/07/2024; Aprobado: 11/11/2024

DOI: <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica261.1>

RESUMEN

El puente Macuto se encuentra ubicado en la avenida Nectario María del Municipio Iribarren del Estado Lara, sobre el río Turbio, en la ciudad de Barquisimeto, Venezuela, siendo la principal vía de acceso de las comunidades de El Roble, Macuto, El Manzano y Río Claro. Las condiciones actuales del mismo alertan a la población, quien está precavida dado el suceso del 09 de abril de 1999 donde 8 personas perdieron la vida al caer con el puente anteriormente situado, debido a una crecida del río. A esto se le suma las condiciones estructurales en la que se encontraba, entre ellas destaca, la falta de mantenimiento, en suma, dio como resultado el colapso de la estructura producido por la incapacidad de soportar las cargas actuantes. Es por ello, que se realizó un estudio preliminar de inspección, con la finalidad de identificar las fallas visibles y accesibles del puente Macuto, con el fin de alertar a las autoridades competentes a tomar conciencia de su estado de conservación y poder planificar las acciones necesarias. Sobre la base de la inspección preliminar, se realizó una propuesta de mantenimiento expuesta en el presente trabajo, ya que se concluyó que el origen de algunas fallas, es resultado de la falta aplicación de programas de conservación de la estructura.

Palabras clave: *levantamiento de sintomatología de fallas; acciones ambientales sobre las estructuras; mantenimiento de obras; puente Macuto; infraestructura de transportes; mantenimiento de puentes*

¹María Alice, Olavarrieta. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Venezuela. Ingeniero Civil. Docente Investigadora en la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Miembro de ALCONPAT. Correo: mariaalice@ucla.edu.ve ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0464-7170>

²Daniel, Ruíz. Estudiante de ingeniería Civil de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Venezuela. Correo: danyruiz89@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0669-6903>

³Jesús, Parra. Estudiante de ingeniería Civil de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Venezuela. Correo: jesusdanip@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-5543-1891>

⁴Luis José, Prieto Escalona. Ingeniero Civil. Docente en la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Venezuela. Correo: luis.prieto@ucla.edu.ve ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3128-3212>

ABSTRACT

The Macuto Bridge is located on Nectario María Avenue in the Iribarren Municipality of Lara State, over the Turbio river, in the city of Barquisimeto, Venezuela, being the main access route to the communities of El Roble, Macuto, El Manzano and Río Claro. The actual conditions of the bridge alert the population, who are cautious given the event of April 9, 1999 where 8 people lost their lives when they fell with the previously located bridge, due to a flooding of the river. Added to this is the structural conditions in which it was found, among them the lack of maintenance stands out, in short, resulting in the collapse of the structure caused by the inability to support the acting loads. For this reason, a preliminary inspection study was carried out, with the purpose of identifying the visible and accessible faults of the Macuto bridge, in order to alert the competent authorities to become aware of its state of conservation and to be able to plan the necessary actions. . Based on the preliminary inspection, a maintenance proposal presented in this work was made, since it was concluded that the origin of some failures is the result of the lack of application of conservation programs for the structure.

Keywords: *survey of fault symptoms; environmental actions on structures; maintenance of works; Macuto bridge; transportation infrastructure; bridge maintenance*

1. INTRODUCCIÓN

Una de las principales funciones desde el punto de vista técnico y social del Decanato de Ingeniería Civil y Urbanismo de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, es informar, alertar y comunicar a la comunidad en base a enfoques especializados de la carrera de ingeniería civil sobre las estructuras importantes útiles a la sociedad. Ahora bien, siguiendo lineamientos de la línea de investigación que se dedica a estudiar las edificaciones que forman parte del interés y uso público en la ciudad de Barquisimeto, Estado Lara, se desarrolló este estudio específicamente sobre una vía de comunicación como lo es el puente Macuto, ubicado sobre el río Turbio, siendo la principal vía de acceso desde esta ciudad hacia las comunidades de El Roble, Macuto, El Manzano y Río Claro.

La erosión del cauce es una de las problemáticas más evidentes que afectan al puente, es necesario mencionar que la extracción de arena en el río El Turbio, ha venido ocasionando cambios en la topografía generando arrastre de materia, produciendo socavación; al respecto se ha expuesto “Desde hace meses el diputado a la Asamblea Nacional, Daniel Antequera, ha denunciado la extracción de granzón y arena en el río Turbio, catalogando esta acción como un “ecocidio” [1]. Es un hecho que estas acciones están afectando la base del puente y seguirá aumentando de no tomarse las medidas correctivas, por otra parte, la acumulación de escombros y vegetación en el alma del perfil tubular de la superestructura evidencia la falta de mantenimiento, desencadenando en condiciones ideales para el desarrollo de diversas fallas. Incendios en la zona vegetal aledaña al puente [2], han expuesto a la estructura a elevadas temperaturas el cual pudo ocasionar lesiones al metal, que tendrían consecuencia

posteriormente.

Otra falla presente en los perfiles que conforman la superestructura del puente, es la falta de protección ante la corrosión, específicamente en el nodo donde concurren 5 de los elementos estructurales, de esta manera cuando dicha corrosión afecte a la placa de unión y a los pernos, se generará un punto de falla, que puede resultar en el colapso del puente y estos mecanismos se activan por la carencia de mantenimiento, por lo que realizar una evaluación del ambiente es primordial para determinar el medio corrosivo, el levantamiento de las fallas permite entender a fondo el desarrollo del deterioro y proponer los planes más eficientes para dicho puente [3].

A través de la inspección se logra alertar y dar a conocer los problemas que presenta el puente Macuto, que representa un gran valor para los ciudadanos de Barquisimeto especialmente a aquellos que residen al sur de la ciudad en las comunidades del El Roble, Macuto, EL Manzano y Rio Claro, siendo ellos los principales usuarios y perjudicados. El puente Macuto es el único acceso que tienen para ingresar a la comunidad, por lo descrito y otros factores se obtuvo la motivación para la realización de la investigación.

2. DESARROLLO

Aspectos ambientales interviene en el proceso de corrosión, las estructuras ubicadas en zonas con características agresivas, están expuestas al dióxido de carbono proveniente de los vehículos que circulan, humedad elevada y variable producida por la evaporación de ríos o cauce, cambios de temperatura, condiciones que influyen en el proceso de deterioro en la estructura estudiada [4]. La falta de mantenimiento recurrente en los puentes (superestructura) en la región, han ido disminuyendo su vida útil por lo que realizar el levantamiento de sintomatología de fallas es necesario para conocer el estado que presenta el mismo [5], y de esa manera hacer la propuesta de mantenimiento, así como, acciones recomendables para el estudio más profundo del Puente Macuto.

Muchos de los puentes en Venezuela son estructuras antiguas a las que no se les realiza el oportuno mantenimiento, tal como es manifestado en diversos escritos públicos [6, 7], la relevancia de realizar dichos mantenimientos es clave para no limitar su uso ni reducir su vida útil, en los alrededores de la ciudad de Barquisimeto, se encuentran una variedad de puentes, sobre el cauce del río Turbio, como son Las Damas, Guardagallo y Macuto, siendo este último el que ha presentado numerosas fallas e incluso su colapso en 1990 [3].

Ahora bien, para sentar las bases teóricas que soportan este trabajo, se consultaron

investigaciones relacionadas con el tema, en los que se realizan diagnósticos alusivos al tema de corrosión en puentes. Un caso particular como lo es el puente Cocorotico, ubicado en la progresiva 71+475,00 del tramo Puerto Cabello-Barquisimeto, del sistema ferroviario “Simón Bolívar”, la inspección a la estructura determinó las condiciones del ambiente y causas de fallo por corrosión donde vigas longitudinales que forman la junta constructiva del puente estudiado son las que presentan daños por corrosión. Se observó, irregularidad en la superficie del concreto, manchas de humedad y hongos, eflorescencia, pérdida de espesor de recubrimiento y grietas, se realizó ensayo de resistividad eléctrica, ultrasonido evidenciando que el concreto no ha presentado variaciones de sus propiedades al paso del tiempo, en la profundidad de carbonatación y potencial eléctrico se evidenció la pérdida de recubrimiento y reducción del espesor del acero, la velocidad de corrosión se clasificó como despreciable, se concluyó en realizar un plan de mantenimiento del puente, debido a la falta de mantenimiento de drenajes y juntas se desencadenó la corrosión, además se recomienda un estudio de suelo para prevenir asentamiento diferencial y construir una protección aguas arriba del río para evitar la socavación en la pilas [8].

Por otro lado, en otra evaluación a nivel internacional, se evidenció el resultado del mantenimiento preventivo del puente sobre el caño El Zapatero frente a la escuela naval Almirante Padilla de Cartagena de Indias en Colombia. Se determinaron los factores químicos, físicos, mecánicos y biológicos que impactan de manera perjudicial a la estructura, que si bien se encontraron fallas como corrosión, desgaste de la capa de rodadura, drenajes fluviales obstruidos, desgastes de juntas e impactos mecánicos, los autores afirmaron que los problemas y fallas presentes se debieron a una falta de mantenimiento, mal uso y robo de elementos de iluminación del puente, se concluyó que la estructura de 18 años, se encontraba en buenas condiciones para su usos y buen funcionamiento sin riesgo de un colapso inminente, debido a la alta calidad en su diseño, de materiales y al cumplimiento estricto de las normas especializadas en su construcción [9].

Otro trabajo en la zona de Barquisimeto fue el realizado en el puente la Ruezga, con el objetivo de complementar la información a los ingenieros estructurales, haciendo la clasificación de la estructura según el tipo de material en acero, madera y concreto armado, siendo un puente metálico tipo cercha, de 71 m de longitud con 30 años de servicio [5]. En la apreciación se estudió la memoria descriptiva, sobre esa base, se ejecutaron ensayos tales como identificación y clasificación del acero y pernos de sujeción, medición de espesores, evaluación con tinta penetrante. En el concreto se valoró resistencia del núcleo y pérdida de

alcalinidad mediante extracción del núcleo, también se evaluó el ambiente en parámetros de temperatura, humedad, factor de humedad y velocidad del viento con el objetivo de obtener el alcance del proceso corrosivo y sus posibles causas. En los elementos metálicos se observó una corrosión localizada en la parte inferior del puente, especialmente en la zona sur-este ubicado en la dirección de los vientos preferenciales y donde se encuentra una pasarela peatonal que agudiza el efecto del viento y de los parámetros agresivos por la presencia de orina y excretas humanas.

Por otro lado, en la parte superior de la estructura se observó en buen estado, observándose desplazamientos en los muros laterales de concreto armado, se recomendó sustitución de los elementos de madera en estado de deterioro, se concluyó en la necesaria sustitución de todos los pernos en la zona inferior, se debe reforzar las vigas inferiores de las cerchas y las dos vigas transversales extremas del puente. Con respecto a los apoyos, también están deteriorados, se recomienda reforzar o sustituir, por último, para disminuir el daño de la pasarela se recomienda eliminarla ya que existe otro paso peatonal.

Ahora bien, ya centrándose en el puente Macuto, es del tipo denominado de armaduras, sus elementos estructurales como madera, hierro o acero, son diseñados para trabajar a tracción o compresión. La armadura de celosía tiene tres sistemas de diagonales tipo "W" superpuestos, diseñados como una viga en donde sus miembros soportan esfuerzos axiales, de modo que dichos miembros responden a un arreglo triangular en este caso sus extremos se comportan como un nodo [10]. "La superestructura de un puente de armadura típico se constituye de dos armaduras principales, el sistema de piso, el sistema lateral inferior, el sistema lateral superior, las armaduras transversales y los ensambles de apoyo" tal como se observa en la Figura 1[11].



Figura 1. Superestructura de un puente de armadura. Fuente: [11]

La inspección preliminar es necesaria para poder identificar las fallas a través de los síntomas que presentan las estructuras “la inspección de la obra constituye una etapa muy importante en la evaluación y posterior reparación de las estructuras... ya que a través de ella se obtiene directa o indirectamente la información requerida para la solución del problema” [12]. Este proceso afina los mecanismos para el sucesivo mantenimiento como actividad para preservar la calidad o conservar las características iniciales posterior a su construcción. El costo de esta actividad es inferior al costo de reparación, que surge cuando se carece de políticas de mantenimiento en las estructuras. Realizar seguimiento a las edificaciones en periodos entre 3 a 7 años después de su puesta en servicio permite identificar las fallas de control de calidad en la construcción de las mismas [4]. Es importante entender que el mantenimiento implica un seguimiento constante de la edificación, sin necesidad de ejecutar acciones de mantenimiento propiamente, con el fin de detectar anomalías tempranas, como consecuencia de fallas en algunas de las etapas de consecución de la obra.

3. METODOLOGÍA

Inicialmente se planificó la inspección contando en todas las ocasiones con el grupo de Rescate “Los Halcones” con sede en el poblado del Manzano y la atención de Carlos Barrios, coordinador del grupo. De igual manera hubo presencia de funcionarios de la policía del Estado, de esta manera se realizaron 4 visitas al puente, para estudiar los elementos que conforman la estructura y zonas aledañas al puente.

- **Recolección de información.** En el puente Macuto vía El Roble a través de la inspección ocular, se recopilaron datos necesarios para el desarrollo de las fases posteriores, así mismo, se consultó la documentación que reposa en el Instituto de Vialidad del Estado Lara (INVILARA). Obteniendo, en definitiva, información de los perfiles, concreto, planos de las distintas secciones de la superestructura puente, ficha técnica los materiales usados y la clasificación del ambiente para la fecha de construcción. También se realizó una visita al Instituto Nacional de Transporte y Tránsito Terrestre (INTT), con el objetivo de obtener datos relacionados al proyecto para el mantenimiento, inspección y control.
- **Examen visual de la estructura,** estimándose los datos necesarios para la clasificación del ambiente. La inspección visual y fotográfica, se fue registrando en planillas tomadas de O. Troconis [12].
- **Inspección preliminar para caracterizar las fallas existentes,** documentándose y analizando los daños, fallas y síntomas presentes en el puente.

- Formulación de hipótesis de daños presentes en la estructura, para cada daño y falla observada, se elaboró un pre-diagnóstico, donde se evaluó el estado de la estructura.
- Elaboración de la propuesta de plan de mantenimiento, una vez levantadas las fallas encontradas en la inspección preliminar, se comprueban las características de la estructura, que permiten realizar recomendaciones generales, destacándose que las actividades planteadas, se explican en manera tal, que no perjudique el estado actual de la estructura, bajo la premisa de que se debe realizar por personal calificado de manera que no potencie el estado de fallas encontrados.

Se propone un plan de mantenimiento correctivo, con alternativas de reparación a las distintas fallas encontradas, y un plan de mantenimiento preventivo y periódico, con el fin de acercarse al estado óptimo y reducir el desgaste de la estructura. La presentación del plan propuesto, fue usando la herramienta 5W-1H (<http://creatingminds.org/tools/kipling.htm#nav>), que establece que (What) tareas se deben hacer, cuando (When) deben ejecutarse, quien (Who) las realiza o es responsable, donde (Where) se aplica, porque (Why) es necesaria esa acción y finalmente como (How) debe ser realizada la tarea.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1. Detalles Constructivos del Puente

El puente Macuto construido en el año 2000, usado para el tránsito vehicular y peatonal, y está construido con acero estructural en la superestructura y concreto armado en la subestructura, distribuidos por 3 segmentos de 50,8 m, con 2 pilas dobles de 1,7x1,5 m, 2 canales vehiculares de 4,25 m cada uno y 2 canales para el paso peatonal de 1,8 m de ancho. Los datos de los materiales usados para la construcción extraídos de los planos suministrado por la ingeniero Órnela Peña jefe del departamento de proyecto de INVILARA.

La norma de diseño fue la ASSTHO HS-20-44 +20% [13], resistencia del concreto de $f'c=24,52$ Mpa, acero de refuerzo de barras estriadas GR. A-42 $F_y=411,88$ Mpa, malla electrosoldada GR. A-50, $F_y=490,33$ Mpa. El acero estructural de la plancha es ASTM A-588 $F_y=345,19$ Mpa resistente a la corrosión, los perfiles “L” ASTM A-588 $F_y=345,19$ Mpa resistente a la corrosión, los “U” ASTM A-36 $F_y=248,11$ Mpa acero estructural al carbono corriente. La soldadura es de arco sumergido proceso SAW, Norma AWS D1.1 electrodos E70XX aporte resistente a la corrosión. Los pernos ASTM A-325 GRADO 3 conexión por fricción, rosca excluida de planos de corte, ASTM A-325. Conexión de fricción donde se indica.

Los anclajes son barras calibradas SAE 1020 o ASTM A-36, SAE 1040. El encofrado es

colaborante calibre 20 (ESP. 9mm) tipo losacero o equivalente y diseñado por la empresa INFRASUR. En la Figura 2 se representa el levantamiento planimétrico e identificación de las partes del puente y zonas de trabajo, para el desarrollo de este trabajo.

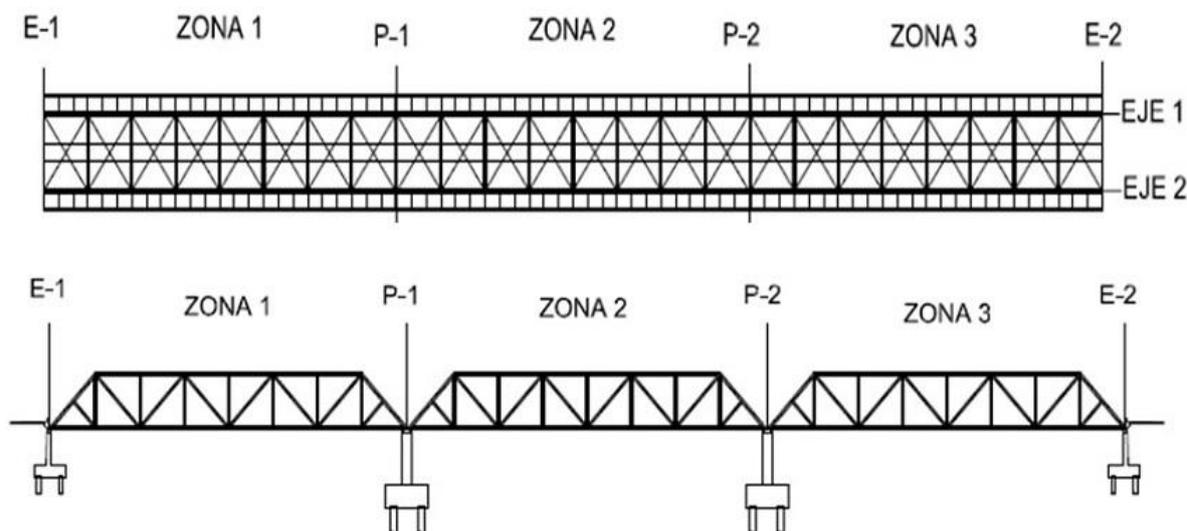


Figura 2. Levantamiento planimétrico e identificación de las partes del puente. Fuente: [11]

4.2. Aspectos Observados

El puente tipo “WS”, se encuentra emplazado en suelo natural, con atmosfera rural, en contacto con agua del rio Turbio, y agua doméstica y residual, humedad relativa de 80%, temperatura promedio de 29°C y contenido de CO₂ de 150 ppbv, el régimen de vientos es sentido este–oeste. Previo a la inspección preliminar, se realizaron visitas con el fin de tener un mayor control del campo, información y conocimiento al momento de realizar la inspección, en la misma se observaron una serie de fallas de las cuales se destacan:

- Socavación en la pila aledaña a la avenida Ribereña
- Drenajes obstruidos
- Corrosión en perfiles estructurales y pernos
- Desprendimiento de espesor de recubrimiento del concreto y grietas en elementos de concreto armado.

Las fallas observadas, describieron y plantearon las hipótesis a descartar o posible consecuencia, se explicarán a continuación algunas de las más resaltantes.

4.3. Planteamiento de Hipótesis y Posibles Consecuencias

El nivel del terreno de la zapata de apoyo del estribo, está por debajo del nivel inferior, lo que produce erosión localizada que lo afecta, se observó que el nivel de terreno entre el “EJE E1” y el centro de la zona “2” aproximadamente sufrió socavación general. La hipótesis planteada

es el cambio de la topografía del terreno aguas arriba del puente, como consecuencia de la extracción de arena y granzón del lecho del río Turbio, pudo haber originado el cambio de su cauce hacia el estribo, ocasionando el arrastre y socavación de la base del mismo (ver Figura 3).



Figura 3. Socavación de la base del puente. Fuente: los autores

Se identificó corrosión en los perfiles estructurales y en la placa de unión entre los mismos, la pérdida de sección en los pernos y en la placa de unión, y la zona permanece en constante humedad. Esto podría ser ocasionado en la zona de unión del alma de los perfiles, ya que se encuentra totalmente saturada de sedimentos, lo que ocasiona un microclima favorable para el desarrollo de la corrosión en toda la zona del nodo unión. En la unión perfil, placa y perno se pudo generar una celda de aireación diferencial que origino la corrosión, esto debido a que todos los elementos se encuentran inmersos en humedad, debido al sedimento almacenado y el vapor de agua, que se libera mediante la evaporación de la corriente del río (ver Figura 4).



Figura 4. Estado de la unión de la armadura con el tablero. Fuente: los autores

Se observó en el alma de la viga una corrosión localizada la cual se encuentra cubierta debido

a la gran acumulación de escombros, basura, sedimento y de vegetación. Estos sedimentos son depositados en el alma de los perfiles por los drenajes, provocando un ambiente corrosivo debido a la humedad, produciendo así una celda de aireación diferencial por acumulación de sedimentos y basura (ver Figura 5)



Figura 5. Acumulación de escombros en el alma de la viga. Fuente: los autores

En la Figura 6 se observa el sangrado del concreto y desprendimiento del espesor de recubrimiento, el acero de refuerzo está expuesto en la superficie y corroído, además el elemento tiene solo 2 cm o menos espesor de recubrimiento, que confirma que se carbonató, ya que la humedad, CO₂ y viento, aunado al poco espesor de recubrimiento, propician la combinación perfecta para acelerar la carbonatación, perdiendo la protección alcalina que le confiere el concreto, originando la expansión, producto de la corrosión del acero de refuerzo y el sangrado por el alto contenido de humedad que posee la zona.



Figura 6. Sangrado del concreto. Fuente: los autores

El puente Macuto, con 20 años de edad de servicio, no cuenta en las instituciones oficiales con historiales o antecedentes de algún tipo de mantenimiento realizado a la estructura, es por ello que se evidenciaron una serie de fallas en la infraestructura como en la superestructura,

entre ellas relacionadas a la corrosión, diseño,

Fallas por corrosión

- Acumulación de escombros, sedimento y vegetación en el alma de los perfiles y en la calzada
- Desprendimiento del concreto con acero expuesto
- Abombamiento y grietas en los elementos de concreto ubicado sobre la calzada
- Tubería de desagüe de la calzada obstruidas
- Juntas vencidas o inexistente en la calzada y en el paso peatonal
- Socavación del estribó “E-1” y en la pila “P-1”
- Corrosión en los elementos estructurales como uniones viga-viga, específicamente en la placa de unión, tornillos y pernos, así como los extremos de del perfil, la falta de mantenimiento que fomenta el crecimiento de vegetación sobre los elementos, lo que indica una humedad en los sedimentos acumulados sobre las vigas de la superestructura.

Estos problemas se pueden atribuir al ambiente agresivo con alto contenido de CO₂, debido al tránsito constante de vehículos el cual puede originar carbonatación en los elementos de concreto armado, de hecho, la pérdida de recubrimiento en la pila “P-1” se puede atribuir que la carbonatación influyo en el avance del problema. El alto grado de humedad que se encuentra en el puente, producido por la evaporación constante del río Turbio, lo que origina el medio favorable para un proceso de aireación diferencial, el cual se asigna como un factor que origino la corrosión en los elementos estructurales de acero.

Por otro lado, la geometría del río, que es utilizado como fuente de extracción de material de construcción (granzón), ya que no existe control sobre su uso y la alta demanda de extracción, ha provocado cambios en dicha geometría del cauce, el cual ha tendido su flujo hacia el estribo “E-1”, originando una socavación local en el mismo, a tal grado que un pilote se encuentra totalmente al descubierto, del mismo modo ocurre en la pila “P-1”. Esta se halla totalmente socavada, a tal grado, que el cabezal esta al descubierto, a pocos centímetros de los pilotes, de igual forma ocurre en el talud del río, el cual ha provocado derrumbes en ellos y en el sistema de protección que allí se encontraba (muro de gaviones), el área que se ha estado derrumbando ha avanzado, hasta llegar al alineamiento de postes de iluminación, de los cuales algunos son arrastrados al río y otros están a poca distancia de ser arrastrados.

Adicionalmente, se considera como una causante de las fallas, la acumulación de sedimentos y basura en los nodos, uniones, crea un microclima favorable para el proceso de corrosión, evidenciando el alto grado de corrosión en la placa unión y pernos. Así mismo, se conoce que

el acero de las planchas, perfiles “L” y perfiles “U” son resistente a la corrosión, es decir es un tipo de acero de alta resistencia, aliado con partes de elementos como níquel, cromo y cobre resultando en un acero que sometido a la intemperie adquiriera una película de óxido que actúa como protección de modo natural. En la actualidad, la estructura ha generado una capa de óxido, siendo esta la única protección ante el ambiente, lo cual se describe en la terminación “acero ASTM-A-588” [14], la cual indica que no necesita ningún tipo de protección como la galvanizada o pintado, caso contrario al acero ASTM-A-36 [15] y ASTM-A-325 [16], donde se debe proteger de la intemperie para evitar la corrosión.

En la subestructura se encontró desprendimiento del concreto de recubrimiento del acero en la pila “P-2”, así mismo se observó el acero de refuerzo corroído y el concreto con sangrado, es necesario realizar ensayos para determinar el avance de la carbonatación en el concreto, ya que el puente recibe el CO₂ de los vehículos y el vapor que desprende indican la despasivación del acero, lo cual resultaría en la corrosión y aumento del volumen del acero que llevaría a que el concreto se agriete y luego explote, dado él está de carga al cual está sometido el pilote menciona abría un fallo en la superestructura y todo a raíz de no tratar la falla mencionada.

Otras de las fallas encontradas, fue en el estribo “P-1”, socavado de la zapata la cual está a 1,8 m del terreno firme medido desde la parte inferior de la zapata, es resaltante indicar un posible fallo por deslizamiento del estribo al no estar apoyada completamente sobre el terreno, en el mismo se puede observar que los pilotes de la zapata están visibles. En el estudio hidráulico se determinó que el nivel del cauce es suficiente para producir corrosión por aireación diferencial. La zapata de la pila P-1 está expuesta al cauce en periodos de crecida, pero en periodos de sequía permite la entrada de oxígeno al interior del mismo por lo tanto es necesario realizar labores de protección porque es posible que los aceros internos sufran despasivación o corrosión por causa de aireación diferencial, en otro sentido se desconoce la profundidad de la socavación en la zapata de la pila mencionada por estar en un área con material fino sedimentado.

Errores en diseño

Durante el análisis, se encontraron errores de diseño como la falta del recubrimiento en los elementos de concreto armado, cuyo espesor es menor a 2cm, lo que propició a la evolución de fallas, así como la incorrecta ubicación de los drenajes de la calzada vial, ya que la dirección de descarga intercepta en el alma de la viga, lo que origina la acumulación de sedimentos y basura además de la humedad constante que allí se aloja. Cada falla encontrada

representa un problema que, de no ser tratado, puede repercutir en un futuro y ocasionar un colapso, es por ello que se propone un plan de mantenimiento para atacar cada uno de los problemas y preservar la durabilidad de la estructura.

Fallas en los tableros

En el tablero del puente se encontraron una serie de fallas tales como, juntas desgastadas, errores de diseño y corrosión en algunos elementos de acero, la corrosión evidenciada en los pasamanos peatonales junto a la acumulación de sedimentos y basuras en la calzada de la vía y los problemas en las juntas de elementos estructurales son originado por la falta de mantenimiento que se encuentra la estructura. Otro de los problemas hallado en el tablero, que incide directamente y afecta a toda la superestructura, es la mala ubicación de los desagües de la calzada, ya que estos dirigen su flujo hacia el alma de las vigas inferiores de la armadura lo que ocasiona la acumulación de sedimento, basura y demás agentes que desarrollan procesos corrosivos en el elemento, se adjudica este problema a un error de diseño, ya que se debió evaluar la dirección de flujo al momento de la descarga.

4.4. Propuesta de Mantenimiento

El mantenimiento propuesto se presenta en el formato de plan de acción donde queda establecida la periodicidad de la actividad, los responsables, y la actividad propiamente dicha.

Mantenimiento de la base del puente, sus pilas y el estribo (ver Figura 7)

 PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO DE LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA ESTRUCTURA 				
ELEMENTO: Zona inferior del puente			ACTIVIDAD: Inspección la zona del estribo y pilas socavado.	
CUANDO	QUIEN	DONDE	COMO	POR QUE
1 vez al mes en temporada de lluvia, 1 vez cada 2 mes en temporada de sequia	Personal T.C.U. con conocimiento en fallas del concreto armado	sobre la parte inferior del puente	Inspeccionar visualmente, con registro fotográfico y notas	Se debe registrar el estado de los elementos de la subestructura
			Realizar seguimiento a los elementos socavados	Registrar el avance de la socavación de los elementos estructurales
			Realizar seguimiento al trabajo de reparación realizado	Se debe anotar cuan eficiente resulta un método de protección u otro
EQUIPO: Material para anotación y registro de datos.				
OBSERVACION:				

Figura 7. Propuesta mantenimiento a la zona inferior del puente. Fuente: los autores

Tratamiento que debe darse a la superficie metálica de las placas, almas y pernos especialmente, ya que, en algunos casos, se ha alcanzado la vida útil del recubrimiento estimado y ello puede acelerar la velocidad de propagación de la corrosión [18] (ver Figuras 8, 9, 10)



CUANDO		QUIEN	DONDE	COMO	POR QUE
Antes de realizar pintado de los elementos metálicos.		Personal T.C.U. especializado en limpieza con chorro de arena	Ubicados en los elementos de la superestructura del puente	Limpiar la superficie de los elementos metálicos	Desprender oxido, polvo y moho, vencimiento del material que lo recubre (pintura)
				Chorro de arena	Es necesario limpiar la superficie del perfil antes del pintado
				Uso de plataformas para acceder a zonas altas	Garantiza una limpieza eficiente, aun en zonas de difícil acceso

EQUIPO: Equipo de trabajo en altura.
OBSERVACION: Obligatorio uso de arnés de seguridad.

Figura 8. Propuesta mantenimiento a los perfiles. Fuente: los autores

CUANDO	QUIEN	DONDE	COMO	POR QUE
Mensual en temporada de sequía, y semanal en temporada de lluvia	Personal de limpieza con destreza para trabajo en las alturas.	Vigas inferiores, debajo de la calzada	Remoción del sedimento almacenado en el alma de los perfiles, incluida limpieza con chorro de arena	El sedimento acumulado mantiene la humedad, y desencadena la corrosión
			Se debe inspeccionar visualmente los elementos para observar estado en que se encuentran	La humedad del sedimento propicia un microclima óptimo para iniciar la corrosión
			Posterior a la inspección visual se debe estudiar el estado de los elementos de acero	Se debe estudiar la posibilidad de reparar, reforzar o sustituir elementos que lo ameriten

EQUIPO: Equipo de limpieza, (escobas, palas, cepillos, paletas).

Figura 9. Propuesta mantenimiento al acero estructural. Fuente: los autores

Con la inspección se logra alertar y dar a conocer los problemas que presenta el puente Macuto, que representa un gran valor para los ciudadanos de Barquisimeto especialmente a aquellos que residen al sur de la ciudad en las comunidades del El Roble, Macuto, EL Manzano y Rio Claro, siendo ellos los principales usuarios y perjudicados. El puente Macuto es el único acceso que tienen para ingresar a la comunidad, por lo descrito y otros factores se obtuvo la motivación para la realización de la investigación.

5. CONCLUSIONES

Se determinó que la superestructura posee el mayor número de fallas, destacando la corrosión del acero, por su contacto con el ambiente agresivo aunado a la falta de mantenimiento. Se observó un estado inicial de corrosión y rugosidad de la superficie de los elementos estructurales (perfiles, vigas), esto se atribuye a la humedad ambiental que permite la

corrosión por aireación diferencial, sin embargo luego de la inspección y del análisis se llegó a la conclusión que esta se encuentra protegida por una película pasiva de óxido, la cual brinda una ligera protección ante agentes agresivos, esto ocurre gracias al material que conforman alguno de los elementos estructurales, el acero usado es ASTM-588 [15], lo que permite una su protección por estar diseñado para resistir a ambientes agresivos.

Aguas abajo del puente se observó que parte del muro de gaviones se está desprendiendo, la función principal del muro es contener el talud de la vía que da entrada al puente, por lo tanto de no realizarse labores de protección contra dicho muro es posible el descenso total del muro de gaviones y el talud y el pavimento se vea afectado, tal fallo pondría aún más en riesgo la integridad del puente, debido a que las fundaciones no están transmitiendo bien las cargas al no estar en contacto completamente con el suelo firme.

En base a la propuesta del plan de mantenimiento, es importante resaltar la necesidad de una inspección detallada, sin la cual no se consciente la ejecución de la propuesta realizada en el caso que lo amerite, dicha propuesta es necesario para frenar el estado de deterioro que presenta la estructura, y así crear políticas de mantenimiento. Dentro de las propuesta planteadas se encuentra la limpieza de los perfiles con chorro de arena esto con el fin de aplicar un fondo anticorrosivo y alargar su vida útil, así mismo se menciona la necesidad de sustituir los elementos metálicos corroídos como placa de unión y pernos, esto último es de suma importancia ya que los pernos con los elementos de alta resistencia cuyo fin resaltante es soportar los esfuerzo en los nodos de unión entre perfiles, un perno corroído es igual a un perno con menos área por ende menos resistencia, que al no poder con la resistencia requerida se produciría el fallo en la estructura.

La falta de una política de mantenimiento fue el causante de muchas de las fallas encontradas, de esta manera se brindó una herramienta que de llevarse a cabo se evitara el colapso del puente, ya que son varios los puntos por donde puede fallar la estructura.

6. AGRADECIMIENTO

Al Consejo de desarrollo científico, humano y tecnológico CDCHT de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, por el apoyo especial en el desarrollo del trabajo y la línea de investigación. A la ingeniero y profesora Rosa Malavé de Corrales que apoyó durante las visitas técnicas haciendo aportes importantes en la línea de durabilidad y corrosión.

7. FINANCIAMIENTO

Propio de los autores.

8. CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

9. CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Todos los autores trabajaron en cada apartado de la investigación, MAO y LJPE asesores de la investigación.

10. REFERENCIAS

- [1] D. Antequera, 10 de septiembre de 2016, FOTOS “Puentes en riesgo por movimientos en el Turbio”, *El Informador*, Recuperado de: <https://www.elimpulso.com/2016/09/10/fotos-puentes-riesgo-movimientos-turbio/>, 2016
- [2] Zt Group Corp, “Sin mantenimiento suficiente puentes de Barquisimeto”, *El Impulso*, Recuperado de: <https://www.elimpulso.com/2014/11/04/sin-mantenimiento-suficiente-puentes-de-barquisimeto/>, 2014
- [3] J. Parra, D. Ruiz, M. Olavarrieta y L. Prieto, “Evaluación cualitativa de fallas en el Puente Macuto, via El Roble, en el Municipio Iribarren, del Estado Lara”, Trabajo especial de grado, UCLA, Venezuela, 2020,
- [4] L. Arrieta, M. Y. Dikdan, D. Avon, R. Malavé, E. Anzola, H. Bolognini, y M. Corominas, “Un enfoque integral... Prevención de daños y rehabilitación de estructuras de concreto armado” Primera Edición 2013. ISBN 978-980-12-6483-5, 2013
- [5] R. Malavé, et al., “Evaluación de un puente ferroviario como aporte a la evaluación estructural, diagnóstico y propuesta de rehabilitación”, *Memorias del Congreso Internacional Científico Técnico de Ingeniería (CICTI 2007)*, LUZ, Maracaibo, Venezuela, 2005
- [6] Agencia EFE, “Intensas lluvias derriban puente que une dos regiones en el oeste de Venezuela, 1 puente sobre el río El Nulita, que conecta El Nula con El Piñal, quedó inhabilitado para el tránsito peatonal y vehicular”, *Milenio*, Recuperado de: <https://www.milenio.com/internacional/fuertes-lluvias-provocan-colapso-puente-venezuela>, 2024
- [7] Prensa Latina, “Presidente de Venezuela ordenó investigar colapso de puente vehicular”, *Prensa Latina*, junio 2024, Recuperado de: <https://www.prensa-latina.cu/2024/06/14/presidente-de-venezuela-ordeno-investigar-colapso-de-puente-vehicular/>, 2024
- [8] G. Almaso, M.E. Martínez y B. Vargas, “Diagnostico por corrosión del puente Cocorotico, ubicado en la progresiva 71+475,00 del tramo Puerto Cabello – Barquisimeto del Sistema Ferroviario “SIMÓN BOLÍVAR””, Trabajo de grado, UCLA-DIC, Barquisimeto, Edo. Lara, Venezuela, 2014
- [9] Serpa, Samper (2014). “Evaluación, diagnostico, patología y propuesta de intervención del puente sobre el caño El Zapatero, a la entrada de la escuela naval almirante Padilla Cartagena de Indias, Colombia”, Trabajo de grado, Universidad de Cartagena,

2014

- [10] J. Carrera Casa, V. Lara Barba y S. Sánchez Rodroban. “Puentes metálicos”, Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/405089498/Tengo-una-cercha-metalica-tipo-pratt-la-cual-tiene-tres-apoyos-docx>, 2010
- [11] B. Vanegas, “Diseño del puente Paso Real entre los municipios Muy Muy-Matiguas del departamento de Matagalpa”, Trabajo de grado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, <http://repositorio.unan.edu.ni/2903/1/75030.pdf>, 2016
- [12] O. Troconis, A. Romero, C. Andrade, P. Helene y I. Díaz, “Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado”, DURAR. Red Temática XV.B. Durabilidad de la Armadura, CYTED ISBN 980-296-541-3, Subprograma XV. Corrosión: Impacto Ambiental sobre Materiales, Maracaibo, Venezuela, 1997
- [13] ASSHTO, “ASSHTO Standard specification for highway bridges”, *American Association of state highway and transportation officials HS -20-44 +20%*. 17th Edition, 2002
- [14] ASTM A588/A588M-05, “Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Structural Steel with 50 ksi [345 MPa] Minimum Yield Point to 4-in. [100-mm] Thick”, ASTM, 2001
- [15] ASTM A36/A36M-19, “Standard Specification for Carbon Structural Steel”, ASTM, 2019
- [16] ASTM A325-04, “Standard Specification for Structural Bolts, Steel, Heat, Treated, 120/105 KSI minimum Tensile Strength”, ASTM, 2017
- [17] M. Sanjuan y P. Castro, “Acción de los agentes químicos y físicos sobre el concreto”, Instituto Mexicano del Cemento y Concreto (IMCYC), México, 2001