



**Análisis económico y patológico para el reciclaje de la superestructura de dos puentes
peatonales metálicos de la ciudad de Medellín.**

Evelin Ortega Vargas

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniera Civil

Semestre de Industria

Asesor

Carlos Alberto Vega Posada, Profesor, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Civil

Medellín

2024

Cita

(Ortega, 2024)

Referencia

(Ortega, 2024). *Análisis económico y patológico para el reciclaje de la superestructura de dos puentes peatonales metálicos de la ciudad de Medellín* [Semestre de Industria]. Universidad de Antioquia, Medellín

Estilo APA 7 (2020)



Biblioteca Carlos Gaviria Diaz

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres, por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificio incansable. A mi familia, por su comprensión y aliento en los momentos más difíciles. A mis amigos, próximamente colegas, por su amistad y motivación durante estos años de aprendizaje juntos. A mis profesores y mentores, por su guía y enseñanzas que han sido fundamentales en mi formación académica. A mis tutores de prácticas y compañeros de trabajo que me dieron el soporte y me brindaron de sus valiosos conocimientos para llevar a cabo este trabajo. Y a todas aquellas personas que de alguna manera han contribuido en este camino hacia la culminación de este proyecto. Gracias por estar siempre a mi lado.

Agradecimientos

Agradezco profundamente a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia que, a lo largo de estos años, me brindo una educación impecable que hizo de mí una profesional enfocada en dar lo mejor de sí para contribuir con su conocimiento a la rama de la ingeniería en Colombia y, probablemente, en el mundo. También aprovecho para agradecer con mucho amor y orgullo a la Alcaldía de Medellín que terminó de formarme como profesional y me brindó experiencias inigualables en estas prácticas académicas.

Tabla de contenido

Resumen	10
Abstract	11
Introducción	12
1 Objetivos	14
1.1 Objetivo general	14
1.2 Objetivos específicos.....	14
2 Estado del arte	15
3 Metodología y resultados	24
3.1 Identificación de los puentes de estudio.....	24
3.1.1 Puente peatonal calle 33 con carrera 64.....	24
3.1.2 Puente peatonal de la carrera 81 con calle 37D	25
3.2 Estudio de movilidad.....	26
3.2.1 Estudio de movilidad del puente de la calle 33 con carrera 64.....	28
3.2.2 Estudio de movilidad del puente de la carrera 81 con calle 34D.....	28
3.3 Inspección visual en campo de las estructuras a reutilizar	29
3.3.1 Inspección visual en campo puente calle 33 con carrera 64	29
3.3.2 Inspección visual en campo puente peatonal de la carrera 81 con calle 34D	31
3.4 Especificaciones de las estructuras a reutilizar	33
3.4.1 Especificaciones de la estructura a reciclar del puente de la calle 33 con carrera 64....	33
3.4.2 Especificaciones de la estructura a reciclar del puente de la calle 33 con carrera 64....	36
3.5 Ensayos de patología estructural	36
3.5.1 Cotización y ensayos sugeridos de patología para el puente peatonal ubicado en la calle 33 con carrera 64.....	38

3.5.2 Cotización y ensayos sugeridos de patología para el puente peatonal ubicado en la carrera 81 con calle 34D	42
3.6 Disminución de costos asociada a la reutilización de las superestructuras de los puentes ..	44
3.6.1 Presupuestos para el análisis de la disminución de costos utilizando la estructura metálica reciclada del puente de la calle 33	45
3.6.2 Presupuestos para el análisis de la disminución de costos utilizando la estructura metálica reciclada del puente de la carrera 81	52
4 Análisis general del proyecto	60
5 Referencias	62

Lista de tablas

Tabla 1 Momento correspondiente para el diseño inicial de la viga del puente de la calle 33	34
Tabla 2 Longitud asociada a una misma capacidad de momento de la viga original de la avenida 33 con modificaciones en la capacidad de carga.....	35
Tabla 3 Cálculo del peso asociado a la viga metálica en acero a reciclar según sus dimensiones finales de reciclaje.....	36
Tabla 4 Presupuesto para diseño de puente peatonal con especificaciones de la viga cajón del puente de la calle 33	45
Tabla 5 Presupuesto para diseño de puente peatonal utilizando la viga cajón del puente de la calle 33	49
Tabla 6 Presupuesto para diseño de puente peatonal con especificaciones de la cercha del puente de la carrera 81	53
Tabla 7 Presupuesto para diseño de puente peatonal con estructura reciclada de la cercha del puente de la carrera 81	56

Lista de gráficas

Gráfica 1	Impactos principales en obras de ingeniería en relación con el reciclaje de puentes....	12
Gráfica 2	Puente peatonal metálico al lado del colegio San Carlos antes de ser retirado.....	15
Gráfica 3	Puente en madera en Santa Elena-Media Luna previo al traslado del puente metálico	16
Gráfica 4	Puente peatonal metálico trasladado hacia la vereda Media Luna-Santa Elena	17
Gráfica 5	Fallo en elemento del puente.....	18
Gráfica 6	Desprendimiento de elementos del tablero y deterioro de estructura metálica del acceso peatonal	19
Gráfica 7	Desmonte de la viga cabezal sobre la calle San Juan para realizar su traslado	20
Gráfica 8	Viga cabezal reciclada instalada en el puente nuevo	20
Gráfica 9	Actual puente peatonal en Belén Rincón hecho con la viga cabezal reciclada.....	21
Gráfica 10	Presencia de alta corrosión en conexiones del puente	22
Gráfica 11	Puente sobre la avenida Las Vegas antes de ser desmontado	23
Gráfica 12	Puente sobre la quebrada La Honda realizado parcialmente con la viga cabezal reciclada	23
Gráfica 13	Fotografía frontal puente avenida 33 antes del desmonte de accesos peatonales	25
Gráfica 14	Fotografía frontal puente de Viva Laureles	26
Gráfica 15	Estado actual de la superestructura del puente.....	30
Gráfica 16	Inspección visual de la viga cabezal del puente.....	31
Gráfica 17	Inspección realizada a la parte inferior de los arriostramientos del puente	32
Gráfica 18	Inspección realizada a los arriostramientos superiores y laterales del puente	33
Gráfica 19	Gráfica de longitud asociada para un momento específico en una viga simplemente apoyada.....	35
Gráfica 20	Deterioro estructural en el tiempo realizando mejoramiento y/o mantenimiento.....	37
Gráfica 21	Planteamiento y cotización para ensayos de patología para el puente de la calle 33..	39

Gráfica 22 Planteamiento y cotización para ensayos de patología para el puente de la carrera 8143

Siglas, acrónimos y abreviaturas

m	Metros
mm	Milímetros
Kg	Kilogramos
L	Longitud
M	Momento flector
W	Carga aplicada
Mpa	Mega pascales
kN	KiloNewtons
P	Peatones por hora
V	Vehículos por hora
AIS	Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica
NSR	Normativa Sismo Resistente Colombiana
UdeA	Universidad de Antioquia
SIRO	Sistema de Información y Registro de Obra

Resumen

Este proyecto de práctica expone el análisis presupuestal y patológico previo para el reciclaje de las superestructuras de dos puentes peatonales metálicos ubicados en la Calle 33 en el cerro Nutibara y en la carrera 80 en el Éxito de Laureles. Inicialmente se expuso el estado del arte de esta práctica innovadora por parte del Distrito de Medellín desde sus inicios en el año 2016 hasta la actualidad. Seguido de esto, se dio un contexto sobre ambos puentes, teniendo en cuenta los diferentes informes y estudios realizados por el Distrito, adicional a las revisiones técnicas en campo llevadas a cabo durante el tiempo de realización de este trabajo para reconocer el estado actual de las estructuras en temas tanto de movilidad y uso como de calidad y correcto funcionamiento de los elementos estructurales para el aprovechamiento de los mismos. Con esta información, se realizó el planteamiento de los estudios de patología, teniendo en cuenta las normativas vigentes y los requerimientos de las mismas para realizar un análisis del deterioro de ambos puentes durante su vida útil. Por último, se analizó la viabilidad del proyecto presupuestando la construcción de cuatro puentes peatonales nuevos, dos utilizando las estructuras recicladas en cuestión y los otros dos estudiando los costos asociados a dichos proyectos sin usar estructuras recicladas, logrando así visualizar un aproximado de los costos disminuidos por la reutilización de estructuras existentes en obras nuevas dependiendo si es el reciclaje es total o parcial.

Palabras clave: Puentes peatonales, puentes metálicos, reutilización, análisis económico, análisis patológico

Abstract

This practice project exposes the previous budgetary and pathological analysis for the recycling of the superstructures of two metallic pedestrian bridges located on Calle 33 on Nutibara hill and on Carrera 80 in Éxito de Laureles. Initially, the state of the art of this innovative practice by the District of Medellín from its beginnings in 2016 to the present was presented. Followed by this, a context was given on both bridges, taking into account the different reports and studies conducted by the district, in addition to the technical field reviews carried out during the time of this work to recognize the current state of the structures in terms of mobility and use as well as quality and proper functioning of the structural elements for the use of the same. With this information, the pathology studies were carried out, taking into account the current regulations and their requirements in order to analyze the deterioration of both bridges during their useful life. Finally, the feasibility of the project was analyzed by budgeting for the construction of four new pedestrian bridges, two using the recycled structures in question and the other two studying the costs associated with such projects without using recycled structures, thus visualizing the approximate cost savings from the reuse of existing structures in new works, depending on whether the recycling is total or partial.

Keywords: Pedestrian bridges, metal bridges, reuse, economic analysis, pathological analysis

Introducción

La práctica innovadora del reciclaje de puentes, recientemente propuesta por el ingeniero especializado Alejandro Ospina Trujillo con el respaldo de la Alcaldía de Medellín, tiene como objetivo principal la reutilización de las superestructuras de puentes peatonales en desuso. Esta reutilización se enfoca en trasladar estas estructuras hacia comunidades con necesidades más acuciantes en términos de movilidad y desarrollo socioeconómico. La ejecución de esta iniciativa, como se ilustra en la Figura 1, busca la realización de proyectos que generen beneficios económicos, ambientales y sociales. Tales beneficios podrían abarcar desde una distribución más eficiente del presupuesto del Distrito para la construcción de nuevas obras, hasta la creación de conexiones entre barrios vecinos que fomenten tanto el progreso social de las comunidades como la reducción de los impactos ambientales asociados a las infraestructuras necesarias para dicho desarrollo.

Gráfica 1

Impactos principales en obras de ingeniería en relación con el reciclaje de puentes.



Nota. Recuperado de archivo personal de Ospina, A (2024).

En relación con lo anterior, en el año 2016 se llevó a cabo el primer reciclaje del puente ubicado en la carrera 80 en el colegio San Carlos, el cual fue trasladado para el corregimiento de Santa Elena, vereda Media luna. Desde esto, la Alcaldía le sigue apostando a esta iniciativa, por lo cual ya tiene definidos hasta la fecha 14 puentes más para ser reciclados en lugares habitados por comunidades con mayores necesidades, dentro de los cuales está el puente ubicado sobre la calle 33 a la altura del cerro Nutibara y el puente ubicado sobre la carrera 80 en el éxito de viva Laureles. Al igual que con las obras de reciclaje de puentes ya realizadas, para cumplir con el objetivo de reutilizar ambas estructuras y lograr conectividades seguras y de gran impacto socioeconómico, se hace necesario llevar a cabo un estudio detallado para analizar las estructuras implicadas en el reciclaje en cuanto a su deterioro estructural actual asociado al tiempo transcurrido desde su puesta en obra y, también, sus repercusiones económicas por su uso en obras de puentes nuevos que deben dar cuenta de la viabilidad del proyecto y, de esta manera, determinar el ahorro implicado que beneficia al Distrito para la realización de más obras que impulsan el desarrollo de la ciudad.

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Realizar el análisis económico y patológico previo al reciclaje de las superestructuras de dos puentes metálicos subutilizados en la ciudad de Medellín, con el fin de determinar la viabilidad de su reutilización total o parcial. Este análisis permitirá identificar los estudios y procedimientos necesarios para evaluar el deterioro estructural de ambos puentes y calcular la posible reducción de costos asociada a la utilización de estas estructuras en una nueva obra a realizar.

1.2 Objetivos específicos

- Realizar un estudio previo, por medio de visitas de campo, para determinar la superestructura de los puentes que se va a reciclar, identificando el estado general de cada uno de los elementos, su tipología, composición y medidas.
- Determinar los ensayos patológicos requeridos para los elementos a reciclar, con el fin de aportar información sobre su capacidad y funcionalidad al momento del desmonte y puesta en obra.
- Presupuestar los costos indirectos que impliquen el reciclaje de las superestructuras de los dos puentes, tales como ensayos previos, maquinaria para desmontaje y transporte de la superestructura.
- Llevar a cabo un presupuesto por cada puente que permita dimensionar el ahorro implicado que se genera por la utilización de elementos reciclados en el diseño de nuevas obras.

2 Estado del arte

El reciclaje de superestructuras de puentes surge desde la Alcaldía de Medellín a partir de la necesidad de satisfacer las necesidades de movilidad de diferentes sectores del distrito más vulnerables, intentando llevar a cabo proyectos sostenibles y funcionales que contribuyan con el crecimiento social de las poblaciones. Adicionalmente, la disminución de costos y el poder contribuir a los impactos ambientales provocados por la construcción de diferentes obras a lo largo del tiempo era un factor fundamental para apostarle a esta práctica innovadora que hoy en día sigue en pie y es reconocida en el país por sus resultados positivos.

Desde la Secretaría de Infraestructura física, específicamente en el equipo de Puentes liderado por el ingeniero Alejandro Ospina, se empezó a realizar esta práctica en el año 2016 con el primer reciclaje del puente reticulado metálico ubicado en la carrera 80 a la altura del colegio San Carlos, ilustrado en la Figura 2, hacia la vereda Media Luna en el corregimiento de Santa Elena. Inicialmente se identificó la necesidad de un puente peatonal en dicho lugar debido a las condiciones inseguras de movilidad presentes, como se muestra en la Figura 3.

Gráfica 2

Puente peatonal metálico al lado del colegio San Carlos antes de ser retirado.



Nota. Fotografía recuperada de archivo personal de Ospina, A (2024).

Gráfica 3

Puente en madera en Santa Elena-Media Luna previo al traslado del puente metálico.



Nota. Fotografía recuperada de archivo personal de Ospina, A (2024).

Esta solicitud era de gran prioridad puesto que muchos habitantes, en especial niños, tenían la necesidad de atravesar la quebrada Santa Elena por cuestiones de estudio o facilidad de transporte, lo que implicaba un peligro constante que podría desencadenar en un accidente. Por lo tanto, luego de realizar los estudios de movilidad a diferentes puentes peatonales del distrito, se identificó que el puente peatonal de San Carlos era una alternativa para dar solución a este conflicto, teniendo en cuenta el estado de desuso del mismo dictaminado por el estudio de subutilización realizado por la Secretaría de Movilidad de Medellín (2018) y la adaptabilidad de las medidas del puente a la nueva zona a trasladar. Su traslado, ilustrado en la Figura 4, ha sido de gran impacto para la población circundante, beneficiando aproximadamente a 8500 personas.

Gráfica 4

Puente peatonal metálico trasladado hacia la vereda Media Luna-Santa Elena.



Nota. Fotografía recuperada de archivo personal de Ospina, A (2024).

Sin embargo, tras sus estudios previos de patología, se evidenció la necesidad de reforzamiento del puente debido a las posibles alteraciones que podría sufrir este en el desmonte, traslado y reinstalación. Sin embargo, el puente no tuvo el reforzamiento planteado inicialmente, lo que ocasionó diversidad de fallas en los elementos metálicos y el tablero en madera, como se aprecia en las Figuras 5 y 6. Por dicho motivo, actualmente el paso peatonal se encuentra dentro de los proyectos priorizados por el distrito para mantenimiento y reforzamiento, para contribuir de esta manera al alargamiento de la vida útil de la estructura.

Gráfica 5

Fallo en elemento del puente. Fotografía propia.



Nota. Fotografía propia.

Gráfica 6

Desprendimiento de elementos del tablero y deterioro de estructura metálica del acceso peatonal. Fotografía propia.

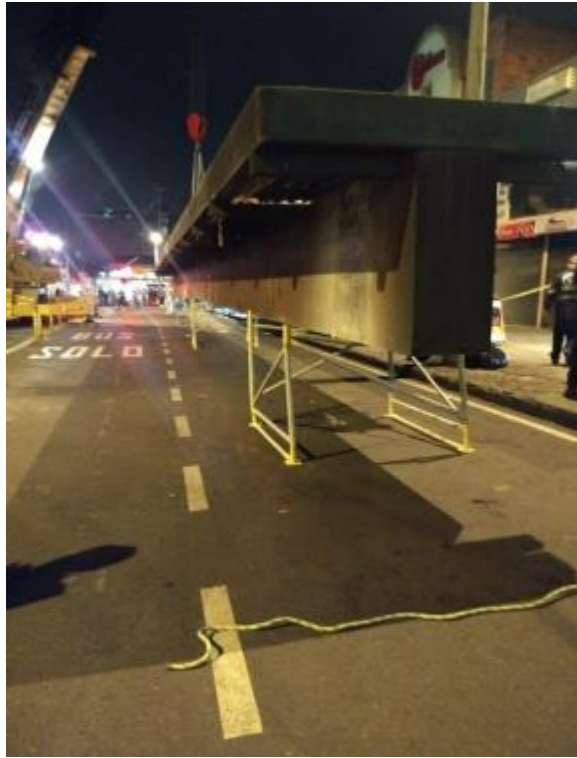


Nota. Fotografía propia.

El segundo proyecto enfocado en el reciclaje de puentes se realizó en el año 2019 para el puente ubicado en la calle San Juan a la altura de la iglesia del barrio la América, el cual se definió en desuso por el estudio de subutilización realizado por la Secretaría de Movilidad del distrito al tener un paso peatonal a nivel cercano a la estructura. Al estar ubicado en una vía principal y no tener el uso esperado, el distrito planteó su desmonte, observado en la Figura 7, por efectos de comodidad de visualización de los conductores, además de promover el reciclaje de los elementos que estuvieran en óptimas condiciones. La estructura del puente constaba de una viga cabezal de 36 metros de longitud como elemento principal, ilustrada en la Figura 8, la cual recibía las cargas y las transmitía a la subestructura del puente, la cual fue el objeto del reciclaje para ser trasladada hacia el barrio belén rincón con el fin de comunicar la población del lado sur y norte de la quebrada la Pabón. La viga, como se muestra en la Figura 9, fue de gran uso para dar un paso a nivel para la población, beneficiando alrededor de 80000 personas, las cuales hacen uso constante del puente que se encuentra en óptimas condiciones de servicio.

Gráfica 7

Desmonte de la viga cabezal sobre la calle San Juan para realizar su traslado.



Nota. Fotografía recuperada de archivo personal de Ospina, A (2024).

Gráfica 8

Viga cabezal reciclada instalada en el puente nuevo.



Nota. Fotografía recuperada de archivo personal de Ospina, A (2024).

Gráfica 9

Actual puente peatonal en Belén rincón hecho con la viga cabezal reciclada.



Nota. Fotografía recuperada de archivo personal de Ospina, A (2024).

El tercer proyecto llevado a cabo en el año 2020 fue el desmonte del puente peatonal en cercha ubicado en la calle barranquilla al lado de la Universidad de Antioquia el cual, luego de realizar los ensayos de patología necesarios para verificar el estado de la estructura en general, se encontró que no podía ser apto para reutilización debido a la mala calidad de sus soldaduras y conexiones pernadas que contaban con un alto grado de corrosión que comprometían significativamente las secciones de los elementos estructurales como se muestra en la figura 10. Sin embargo, el Distrito ordenó su desmonte para la construcción de la ciclo ruta aledaña a la estructura que conectaría la Universidad de Antioquia con la Universidad Nacional y, para esto, se instaló previamente un paso a nivel semaforizado que garantizara la correcta movilidad peatonal en la calle Barranquilla. Sin embargo, a pesar de que la Alcaldía no aprobó su reutilización siguiendo las normas vigentes de construcción de puentes estipulada en la Normativa Colombiana de Diseño de Puentes CCP14 (2015), el municipio de Yalí solicitó la estructura para el diseño de una obra menor y la Alcaldía de Medellín hizo entrega de la misma con el fin de apoyar el crecimiento económico y la disminución del impacto ambiental que representaba no utilizar la estructura para nuevas obras.

Gráfica 10

Presencia de alta corrosión en conexiones del puente.



Nota. Fotografía recuperada de archivo personal de Ospina, A (2024).

El último proyecto de reciclaje de puentes hasta la actualidad llevado a cabo en el año 2021 por el distrito fue el puente peatonal metálico ubicado en la avenida Las Vegas a la altura del colegio INEM ilustrado en la Figura 11, el cual contaba con las mismas especificaciones de diseño del puente peatonal del barrio La América que ya había sido reciclado y que, al igual que los anteriores, estaba en desuso por la población circundante. Por lo tanto, se realizó el traslado de la viga cabezal de 36 metros de longitud hacia la quebrada La Honda para lograr una conectividad entre el barrio Manrique central y el barrio El Pomar y solventar de manera parcial las necesidades estructurales del puente, teniendo en cuenta que el puente era diseñado para tener un longitud de 80 metros y la longitud aprovechable de la viga era de aproximadamente 23 metros. Actualmente esta obra se encuentra en óptimas condiciones, tal y como se aprecia en la Figura 12, y beneficia alrededor de 81000 habitantes de ambos sectores por sus impactos en temas educativos, de movilidad y seguridad.

Gráfica 11

Puente sobre la avenida Las Vegas antes de ser desmontado.



Nota. Fotografía recuperada de archivo personal de Ospina, A (2024).

Gráfica 12

Puente sobre la quebrada La Honda realizado parcialmente con la viga cabezal reciclada.



Nota. Fotografía propia.

3 Metodología y resultados

Para llevar a cabo un análisis claro de la patología y los costos asociados al reciclaje de la superestructura de un puente peatonal, en este caso para los puentes peatonales metálicos ubicados en la calle 33 con la carrera 64 y en la carrera 81 con la calle 34D, la Alcaldía de Medellín ha seguido una metodología específica en donde se da claridad de los diferentes pasos a seguir que se tienen en cuenta para determinar la viabilidad de un proyecto de esta índole

3.1 Identificación de los puentes de estudio

3.1.1 Puente peatonal calle 33 con carrera 64

Según el Sistema de Información de Registro de Obra (SIRO) de la Alcaldía de Medellín, el puente peatonal ubicado en la calle 33 con carrera 64 expuesto en la Figura 13 consta de una sola luz de 36 metros de longitud, un gálibo de 4.85 metros y un ancho del puente de 2.38 metros. La superestructura principal consiste en una viga “T” compuesta de alma de acero y aleta de hormigón. El alma de la viga consta de un cajón de acero con de altura 1200 mm y un ancho de 516 mm. La aleta de la viga “T” está conformada por una losa de hormigón armado vaciada sobre un Steel deck, de 90 mm de espesor bruto, y de 1.6 m de ancho total. Por encima de la viga, el puente está conformado por cinco kioscos cuadrados de 2.24 metros de lado, distribuidos simétricamente a lo largo de la longitud del puente. Actualmente, debido a los estudios de movilidad realizados por la Secretaría de Movilidad de Medellín (2018), el puente tuvo la demolición de sus accesos tanto norte como sur para poder servir como paso ecológico entre el cerro Nutibara y la parte occidental de la primera etapa de parques del río. Para la Alcaldía de Medellín es de gran interés utilizar esta estructura para su reutilización en nuevas obras en lugares donde, por condiciones topográficas, sociales y económicas, sea necesario la construcción de un puente y, de esta manera, garantizar una mejor calidad de vida para los habitantes del sector.

Gráfica 13

Fotografía frontal puente avenida 33 antes del desmonte de accesos peatonales. Tomado del inventario del Sistema de Información y Registro de Obra (SIRO).



Nota. Tomado del inventario del Sistema de Información y Registro de Obra (SIRO).

3.1.2 Puente peatonal de la carrera 81 con calle 37D

Según el Sistema de Información de Registro de Obra (SIRO) de la Alcaldía de Medellín, el puente peatonal ubicado en la carrera 81 a la altura del Éxito de Laureles, evidenciado en la Figura 14, consta de una estructura reticular en acero de 44.55 metros de longitud, 2.4 metros de ancho y un gálibo de 4.8 metros de altura. La estructura está compuesta por dos luces de diferentes longitudes, siendo la primera, ubicada en la parte occidental, de 32.175 metros y la segunda, ubicada en la parte oriental de la estructura, de 12.375 metros de longitud. Toda la estructura reticular está conectada por medio de soldadura y cuenta con un Steel deck que posibilita el paso peatonal a lo largo del puente. Adicionalmente, en ambos costados, la estructura cuenta con accesos tanto en escaleras como en rampas para personas con movilidad reducida, lo que hace del puente un cruce seguro e inclusivo para los peatones.

La estructura en cuestión fue construida en el año 1997 por parte de la gerencia del éxito de Laureles y fue entregada al municipio para que este se hiciera cargo de los posibles mantenimientos necesarios para el alargamiento de la vida útil de la estructura.

Gráfica 14

Fotografía frontal puente de Viva Laureles.



Nota. Tomado del inventario del Sistema de Información y Registro de Obra (SIRO).

3.2 Estudio de movilidad

Para definir el traslado de un puente peatonal se debe considerar inicialmente diversas consideraciones de movilidad que dan cuenta el uso del puente y su necesidad de permanencia en el sitio. Los dos puentes de estudio se consideraron bajo el concepto de subutilización mediante el informe técnico para la viabilidad del desmonte de 14 puentes peatonales del Distrito de Medellín realizado en el 2018 por la Secretaría de Movilidad de la Alcaldía de Medellín. En este informe se tiene en cuenta los parámetros establecidos en el Manual de Señalización Vial (2015), para la instalación de cruces a desniveles seguros e inclusivos, y se definieron cinco criterios esenciales para justificar la no permanencia del puente.

Criterio 1. Conflicto vehículos-peatones

Se muestra en las ecuaciones 1 y 2 la necesidad puntual de establecer un cruce seguro para peatones, ya sea semaforizado o a desnivel, siendo “P” cantidad de peatones por hora y “V” cantidad de vehículos por hora, planteando un dispositivo peatonal semaforizado o a desnivel para el primer caso y disponer de un paso de cebra como cruce peatonal para el segundo caso.

$$PV^2 > 2 \times 10^8 \quad (1)$$

$$PV^2 < 2 \times 10^8 \quad (2)$$

Criterio 2. Cruces a nivel semaforizados próximos a la estructura

Es fundamental garantizar que no existan otros dispositivos peatonales a menos de 80 metros que puedan reemplazar la función de los puentes peatonales. De ser así, se considera que la estructura no es necesaria y no va a ser utilizada preferencialmente por los peatones.

Criterio 3. Volumen peatonal en horarios de máxima demanda

Para definir el uso de los cruces a desnivel, se plantea que en los horarios de máxima demanda el volumen aforado de peatones sea mayor o igual a 250 peatones por hora. En caso de ser menor, se supone que la estructura no es relevante para la movilidad de la zona.

Criterio 4. Accesibilidad para personas con movilidad reducida

Los puentes peatonales deben garantizar el uso de toda la población sin exclusión. Por lo tanto, la ausencia de rampas de acceso para los puentes puede justificar una nueva evaluación de la movilidad peatonal, ya sea utilizando otro dispositivo peatonal o una nueva adecuación de la estructura, en caso de ser posible.

Criterio 5. Viabilidad para instalación de un dispositivo peatonal a nivel

En caso de no contar con un dispositivo peatonal semaforizado a una distancia menor a 80m, se considera la viabilidad de instalación del mismo. De ser posible, podría llevarse a cabo el retiro del puente peatonal y brindar de esta manera una mayor visibilidad vial.

3.2.1 Estudio de movilidad del puente de la calle 33 con carrera 64

Los datos obtenidos en el aforo del estudio para la viabilidad del desmonte del puente por concepto de desuso o subutilización fueron los siguientes:

- Factor $PV2 > 2 \times 10^8$
- Distancia de la solución a nivel semaforizada más cercana: 5 metros
- Volumen aforado en hora de máxima demanda: 134 peatones
- No cuenta con rampas de acceso para Personas con Movilidad Reducida.

Teniendo en cuenta los datos anteriores, se identifica que la distancia de la solución a nivel semaforizada no excede los 80 metros y, además, el volumen de peatones en horario de máxima demanda es menor a los 250 peatones por hora. Adicionalmente, la nula accesibilidad de personas con movilidad reducida a la estructura mediante rampas implica una subutilización del puente y sugiere la recomendación del traslado o demolición del mismo.

3.2.2 Estudio de movilidad del puente de la carrera 81 con calle 34D

Los datos obtenidos en el aforo del estudio para la viabilidad del desmonte del puente por concepto de desuso o subutilización fueron los siguientes:

- Factor $PV2 > 2 \times 10^8$
- Distancia de la solución a nivel semaforizada más cercana: 350 metros
- Volumen aforado en hora de máxima demanda: 433 peatones
- Cuenta con rampas de acceso para Personas con Movilidad Reducida.

Es notorio que el puente peatonal hasta el momento del aforo y probablemente en la actualidad es usado con frecuencia por toda la comunidad sin excepciones, teniendo en cuenta en primer lugar que es la única alternativa segura en un gran tramo de vía para que las personas crucen de un lado al otro. En segundo lugar, sus accesos tanto en escaleras como en rampas permiten que

toda la población en general pueda hacer uso de él con total normalidad. Sin embargo, teniendo en cuenta el proyecto actual del Metro de Medellín y la Alcaldía de Medellín con el metro de la 80, esta estructura, a pesar de ser tan útil, debe ser removida para realizar todas las obras necesarias para la realización de dicho proyecto. Esto conlleva a evaluar alternativas con la Secretaría de Movilidad del Distrito, en conjunto con el Metro de Medellín, de garantizar la instalación de un paso a nivel semaforizado que brinde a la comunidad una movilidad segura y cómoda en reemplazo del puente que debe ser retirado.

3.3 Inspección visual en campo de las estructuras a reutilizar

3.3.1 Inspección visual en campo puente calle 33 con carrera 64

Durante la visita de campo realizada a la estructura el día 27 de febrero de 2024 se inspeccionó los elementos actuales del puente y, siguiendo con los objetivos propuestos para la realización del reciclaje de la estructura, se concluyó que la viga cabezal será el único elemento reutilizable para traslado, puesto que los elementos de acero como los pasamanos de seguridad y los kioscos cuentan con una corrosión considerable por los factores bióticos y abióticos que han afectado su estado actual. Además, se tiene en cuenta que su posible mantenimiento puede ser innecesario en cuestión de costos ya que el costo de estos elementos no influyen considerablemente en el costo total de la obra futura a realizar en caso de reutilizarse. Por último, se tiene presente que el reciclaje de la viga cabezal puede llevarse a cabo para el diseño de un puente con una luz más larga que el puente en cuestión, lo que puede implicar diseños de pasamanos y demás elementos de la superestructura distintos y adaptados a la nueva obra. Por lo tanto, todos los elementos de la superestructura diferentes a la viga cabezal, incluyendo el Steel deck, serán retirados y posteriormente reciclados para el posterior desmonte de la viga.

Gráfica 15

Estado actual de la superestructura del puente.



Nota. Fotografía propia tomada del recorrido de campo realizado el día 27 de febrero de 2024.

Gráfica 16

Inspección visual de la viga cabezal del puente.



Nota. Fotografía propia tomada del recorrido de campo realizado el día 27 de febrero de 2024.

3.3.2 Inspección visual en campo puente peatonal de la carrera 81 con calle 34D

Durante la visita de campo realizada el día 11 de abril de 2024 con el objetivo de analizar las posibles afectaciones que pudiese tener el puente peatonal arriostrado para objetos de reciclaje, se pudo observar que, visualmente, los elementos de los arriostramientos laterales, superior e inferior se encuentran en un estado óptimo al no contar con corrosión que pueda comprometer la capacidad estructural del puente por pérdida de secciones. Además, se inspeccionaron uno a uno los elementos para identificar que no se presentaron deflexiones, pandeos o torsiones, dependiendo del comportamiento específico independiente que aporta cada uno a la estructura reticulada. Sin embargo, sí se pudo notar que, debido a temas de vandalismo, la estructura presenta algunos elementos con pinturas no permitidas que a lo largo pueden llegar a afectar la pintura original de la estructura que se encarga de protegerla ante agentes externos que puedan contribuir a un estado

inicial de deterioro. Por lo tanto, al reciclar el puente se hace necesario realizar un mantenimiento preventivo que incluya limpieza y pintura de toda la estructura para garantizar el alargamiento de su ciclo de vida.

Gráfica 17

Inspección realizada a la parte inferior de los arriostramientos del puente.



Nota. Fotografía propia tomada del recorrido de campo realizado el día 11 de abril de 2024.

Gráfica 18

Inspección realizada a los arriostramientos superiores y laterales del puente.



Nota. Fotografía propia tomada del recorrido de campo realizado el día 11 de abril de 2024

3.4 Especificaciones de las estructuras a reutilizar

3.4.1 Especificaciones de la estructura a reciclar del puente de la calle 33 con carrera 64

Teniendo en cuenta las visitas en campo realizadas para la inspección del estado del puente, se tiene como objeto de reciclaje en este puente únicamente el alma de la viga que consta de un cajón de acero con de altura 1200 mm en 15 mm de espesor, dos tapas superior e inferior con un ancho de 516 mm en 15 mm de espesor y dos tapas laterales de 1206 mm x 522 mm que cierran el cajón con 15 mm de espesor. Las conexiones de este elemento se realizaron por medio de soldadura, las cuales deben ser inspeccionadas posteriormente para verificar su estado y correcto funcionamiento.

Sin embargo, siguiendo los requerimientos del Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Medellín (2014), que estipulan las condiciones de servicio de los puentes peatonales, se analiza el aprovechamiento de la viga ante un aumento de la carga recibida por la misma con respecto a las condiciones iniciales de servicio para las que fue fabricada. Para vigas simplemente apoyadas se utiliza la ecuación 3 para analizar su capacidad de acuerdo a las medidas establecidas para la misma y su carga de diseño establecida.

$$M = \frac{WL^2}{8} \quad (3)$$

Tal y como se muestra en la tabla 1, la viga fue diseñada en un inicio para soportar un momento de 1620 kN*m, el cual es calculado utilizando la ecuación 3, tomando como datos asociados un ancho de tablero de 2 metros de ancho, 36 metros de longitud y una carga por metro cuadrado de 500 kg.

Tabla 1

Momento correspondiente para el diseño inicial de la viga del puente de la calle 33.

LONGITUD DE VIGA SEGÚN LA CAPACIDAD A MOMENTO	
L (m)	M (kN*m)
0	0
20	500
28	1000
36	1620
40	2000
49	3000

Para la reutilización de la estructura, teniendo en cuenta un aumento del ancho del tablero de 2 metros a 3 metros y garantizando la misma capacidad de momento de la misma, se calcula una longitud equivalente que satisfaga la igualdad de condiciones planteadas despejando la longitud de la ecuación 3 de momento para vigas simplemente apoyadas y dejando constante el valor de la capacidad de momento de 1620 kN*m para la viga de 36 metros, teniendo en cuenta el factor multiplicador de 1.5 multiplicando para la carga W, que resulta del cociente entre los dos

anchos de tableros, tanto el inicial como el nuevo a implementar en la nueva obra. Al tener en cuenta las modificaciones en la nueva carga para la viga en cuestión, se obtiene un aprovechamiento, tal y como se muestra en la Tabla 2 y la Figura 19, de 29 metros de longitud.

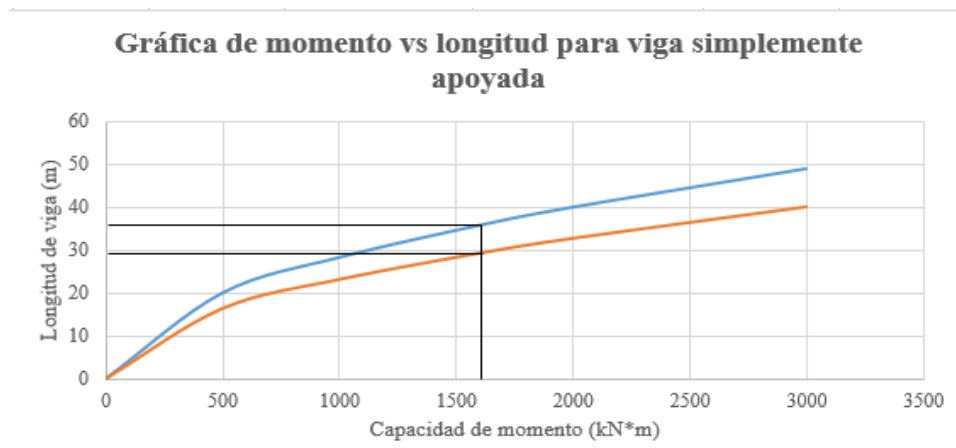
Tabla 2

Longitud asociada a una misma capacidad de momento de la viga original de la avenida 33 con modificaciones en la capacidad de carga.

LONGITUD DE VIGA SEGÚN LA CAPACIDAD A MOMENTO	
L (m)	M (kN*m)
0	0
16	500
23	1000
29	1620
33	2000
40	3000

Gráfica 19

Gráfica de longitud asociada para un momento específico en una viga simplemente apoyada.



Nota. Elaboración propia.

El aprovechamiento de 29 metros de longitud de viga da como resultado el reciclaje de aproximadamente 5933 kg de estructura metálica como se muestra en la Tabla 3, teniendo en cuenta tanto el material como las dimensiones y los pesos asociados de las almas y aletas superiores, inferiores y laterales transversales que componen toda la estructura.

La disminución de la longitud del elemento estructural implica la búsqueda de la necesidad de salvar un tramo que se acomode a las nuevas especificaciones dimensionales de la viga o, en su defecto, el aprovechamiento de la estructura para un reciclaje parcial en una nueva obra que se requiera.

Tabla 3

Cálculo del peso asociado a la viga metálica en acero a reciclar según sus dimensiones finales de reciclaje.

PESO VIGA METÁLICA PUENTE CALLE 33 CON CARRERA 64A						
Sección de viga	Dimensiones			Tipo de material	Densidad del material (kg/m ³)	Peso total de la sección (kg)
	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)			
Almas	29000	1200	15	Lámina de acero A588 con $F_y=345$ Mpa	7850	4097.7
Tapas superior e inferior	29000	516	15			1762.01
Tapas laterales transversales	522	1206	15			74.13
Peso total de la estructura metálica (kg)						5933.84

3.4.2 Especificaciones de la estructura a reciclar del puente de la calle 33 con carrera 64

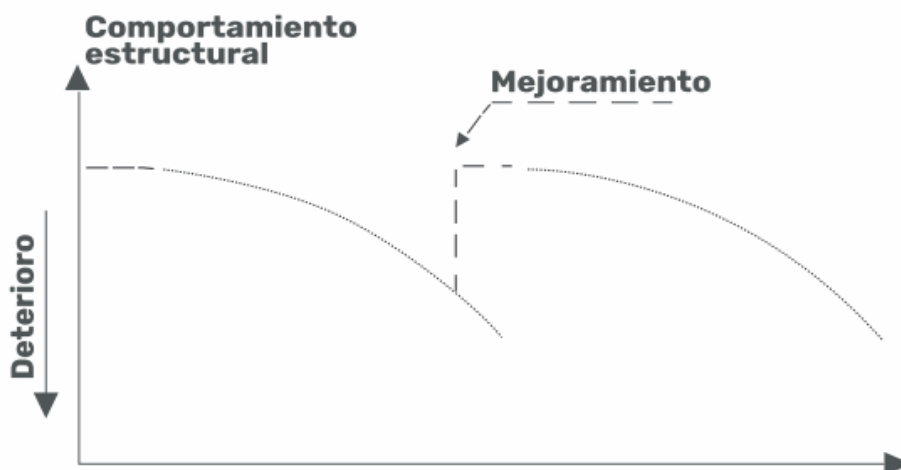
Al analizar el estado visual de la estructura reticulada y los demás elementos que la componen, se tiene como objetivo llevar a cabo el reciclaje únicamente de los elementos de acero que componen la cercha del puente tales como cuerdas inferiores y superiores, montantes y elementos de arriostamiento lateral, superior e inferior. Los demás elementos tales como columnas, cimentaciones, accesos y el Steel deck que compone el tablero serán demolidos y reciclados posteriormente al proceso de reciclaje

3.5 Ensayos de patología estructural

Para el desarrollo del análisis patológico de las estructuras peatonales de estudio, se requiere evaluar sus condiciones actuales para examinar las posibles alteraciones que han sufrido las estructuras a lo largo de su vida útil y estudiar detalladamente que esto no interfiera en la capacidad estructural para el proceso de reciclaje. Tal y como se muestra en la Figura 20, las estructuras a lo largo de su vida útil sufren deterioros progresivos que requieren de mejoramientos eventuales que garanticen una permanencia de la capacidad de los elementos que la componen, teniendo en cuenta que, entre mayor sea la frecuencia de los mantenimientos preventivos, menor será la magnitud de los mismos, disminuyendo así los costos implicados para su realización

Gráfica 20

Deterioro estructural en el tiempo realizando mejoramiento y/o mantenimiento



Nota. Recuperado de Ospina (2018).

Por lo tanto, los ensayos requeridos para definir las posibles patologías existentes en la estructura próxima para reciclaje se definieron teniendo en cuenta la evaluación de estructuras existentes de acero realizada por la AIS (2010) en el título F, sección 2.19.

Para la evaluación planteada por la normativa para estructuras en acero, se eligió estudiar los elementos en cuestión mediante el método de análisis estructural, puesto que al tratarse de una reutilización de estructuras no es factible realizar ensayos de carga que puedan llevar la estructura

a un posible fallo. Para llevar a cabo el análisis de ambas estructuras se debe tener presente los siguientes aspectos:

- **Dimensionamiento:** Todas las dimensiones que se requieran para la evaluación, tales como luces, alturas de columnas, espaciamiento de miembros, ubicación de arriostramientos, secciones transversales, espesores y detalles de conexión, se pueden obtener a partir de un levantamiento en sitio o, en caso de tener planos estructurales o de fabricación, pueden obtenerse dichos valores del análisis de los mismos (AIS, 2010).
- **Evaluación de la resistencia:** se debe realizar un análisis estructural del total de la estructura con el fin de determinar las fuerzas en los miembros y las conexiones. Adicionalmente, las combinaciones de carga deben tenerse en cuenta según lo estipulado en el título B de la Normativa Sismo Resistente Colombiana, teniendo en cuenta también las deformaciones bajo cargas de servicio (AIS, 2010).

En complemento a lo anterior, es fundamental tener en cuenta factores como la composición química del material estructural y su dureza, con el objetivo de tener valores como el módulo de elasticidad de los elementos que den cuenta de un análisis estructural más aproximado a la situación actual del puente. También, considerando que se trata de estructuras antiguas, es imperativo realizar, en este caso para estructuras metálicas, una revisión detallada de las soldaduras mediante ensayos de ultrasonido para obtener información sobre el correcto funcionamiento de las mismas que es indispensable para la estabilidad estructural.

Teniendo en cuenta lo anterior, y según lo estipulado por norma, es fundamental realizar las cotizaciones y visitas técnicas necesarias con profesionales en estructura metálica para recopilar la información necesaria que permita realizar un análisis estructural de alta precisión utilizando programas de alto detalle como SAP 2000, ETABS, entre otros, que den cuenta del estado actual de la estructura de estudio.

3.5.1 Cotización y ensayos sugeridos de patología para el puente peatonal ubicado en la calle 33 con carrera 64

Los ensayos realizados para la viga metálica a reciclar se llevarán a cabo con el fin de cumplir las especificaciones determinadas por la norma, con el propósito de concluir la disminución de la resistencia de la estructura posterior a su desmontaje. Por lo tanto, luego de llevar a cabo este proceso, debe estudiarse los cambios presentes en espesores, soldaduras y composición química del material de la viga con respecto al diseño inicial de la estructura en el momento que fue fabricada y posteriormente ensayada. Estos datos nuevos serán llevados a los programas de modelación para la revisión del comportamiento estructural actual de puente. Luego, esto dará un panorama sobre los reforzamientos necesarios para la prolongación de su vida útil, en caso de presentar fallas muy leves que no comprometan la capacidad estructural del puente nuevo que se lleve a cabo utilizando el elemento reciclado.

Gráfica 21

Planteamiento y cotización para ensayos de patología para el puente de la calle 33.

 <p>soluciones efectivas emd control de calidad</p> <p>FECHA: 2023-11-30</p>	<p>COTIZACION ESTUDIOS DE PATOLOGIA EN PUENTE DE LA 33</p>
	<p>DIRIGIDO A: INGENIERO ALEJANDRO OSPINA TRUJILLO SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA FISICA ALCALDIA DE MEDELLIN</p>

1. ANTECEDENTES.

En el puente peatonal ubicado sobre la avenida 33, que comunica con cerro Nutibara y al barrio conquistadores de 6 carriles, en la ciudad de Medellín.

1. OBJETIVO DE LA PATOLOGIA E INSPECCION DE CALIDAD.

Definición geométrica de las dos vigas principales que componen el puente.

2. ALCANCE DEL TRABAJO A REALIZAR.

Con el fin de conseguir el objetivo propuesto, se efectuará lo siguiente.

a. MEDICION DE LONGITUD.

Se hará la medición de la longitud total de cada viga entre extremos.

b. ESTABLECIMIENTO DE LA SECCION.

Se hará la verificación de la sección transversal tanto los extremos como a lo largo de la viga

c. MEDICION DE ESPESORES.

Se harán mediciones de espesores en los extremos de las vigas y a lo largo de su longitud y se hará cada metro. Verificando posibles pérdidas del material base por corrosión.

d. ESTABLECIMIENTO DEL TIPO DE ACERO.

Se hará prueba metalográfica no destructiva en sitio para establecer la composición química y el tipo de acero de las vigas.

e. ESTABLECIMIENTO DE LA DURABILIDAD.

Se hará pruebas de dureza en sitio en cada uno de los puntos donde se midan los espesores para establecer la durabilidad del acero.

f. EQUIPO Y ACCESORIOS.

Equipo portátil de medición de espesores, durómetro portátil para medición de dureza, Scanner portátil para metalografía, Calibrador pie de rey, micrómetro de exteriores, Flexómetro, Lienza, cuerda de piano. Y accesorios pertinentes, equipo phased array para hacer ultrasonido 100% a las soldaduras a tope

3. PERSONAL PARA EL TRABAJO.

Dos inspectores Nivel II, calificados y certificados de acuerdo con la Práctica Escrita, la cual, a la vez, cumple estrictamente con La Práctica Escrita SNT TC- 1A de la ASNT. Y el Código AWS D1.1 Structural Welding Code- Steel, AWS QC1 Standard for AWS Certification of Welding Inspectors, AWS B5.1 Specification for the Qualification of Welding Inspector.

4. VALOR DEL SERVICIO.

\$ 15.900.000, (quince millones novecientos mil pesos ml) mas

\$ 2.400.000, inspección a soldaduras por Ultrasonido Phased array

\$ 2.200.000, alquiler y transporte de 2 man lift.

\$ 900.000. Alquiler de luces, conos strover y demás elementos necesarios para el cierre de vías y poder realizar dicho trabajo.

\$ 850.000, alquiler de avisos y personal para la instalación.

\$ por definir. plan de manejo de tránsito, esto es por el permiso general.

5. FORMA DE PAGO.

Una vez se haga entrega del informe del trabajo realizado! o en común acuerdo con dicha empresa y el cual, como ya se indicó, incluirá los resultados, conclusiones y recomendaciones del caso.

Nota. Recuperado de archivo personal de Ospina, A. (2024)

3.5.2 Cotización y ensayos sugeridos de patología para el puente peatonal ubicado en la carrera 81 con calle 34D

Los ensayos realizados para la estructura reticulada se basan inicialmente en el estudio minucioso de las uniones por medio de soldaduras que son fundamentales en el correcto funcionamiento de la transferencia de cargas entre los elementos del puente. En este punto es importante verificar por medio de ensayos de ultrasonido y utilización de tintas penetrantes que las soldaduras en todas las uniones se encuentren en condiciones óptimas y que no hayan tenido defectos en el proceso constructivo del puente y, además, no cuenten con fisuras que se hayan podido causar a lo largo de su vida útil. Por otro lado, es fundamental evaluar por medio de ultrasonido los espesores de los elementos que componen la estructura general para verificar que los mismos cumplan con las especificaciones de los planos iniciales del puente, teniendo en cuenta que una posible pérdida de sección puede ocasionar fallas en el comportamiento individual de los elementos y consecuentemente general de la estructura como un todo. El análisis dimensional suministrado por los ensayos realizados será decisivo en el momento en que se proceda a realizar el análisis estructural del puente y se puedan identificar posibles reforzamientos a la cercha que puedan mejorar sus condiciones de resistencia para las cargas de servicio estipuladas, garantizando a su vez la prolongación de su vida útil en el nuevo lugar asignado para traslado.

Gráfica 22

Planteamiento y cotización para ensayos de patología para el puente de la carrera 81.

SOLUCIONES EFECTIVAS

COTIZACION PÁGINA 1 DE 2

	COTIZACION ESTUDIOS DE PATOLOGIA EN PUENTE DE LA 80
	DIRIGIDO A: INGENIERO ALEJANDRO OSPINA TRUJILLO SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA FISICA ALCALDIA DE MEDELLIN
FECHA: 2024-04-25	

- 1. EMPRESA: SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA FISICA ALCALDIA DE MEDELLIN**
- 2. ANTECEDENTES.**
Con el fin de analizar y definir el estado del puente sobre la avenida 80 al frente del Éxito de 6 carriles en Medellín.
- 3. OBJETIVO DE LA PATOLOGIA E INSPECCION DE CALIDAD.**
Se trata de establecer la Definición geométrica de las cerchas que componen el puente y si existe algún tipo de inconformidad en las soldaduras en los empalmes y nudos de conexión, laminación, desgaste de material, corrosión y cuáles son los agentes generadores de la misma para identificar su patología.
- 4. ALCANCE DEL TRABAJO A REALIZAR.**
Con el fin de conseguir el objetivo propuesto, se efectuará lo siguiente: inspección visual, control dimensional, ultrasonido Scan A con palpador tipo Poncil, a todas las soldaduras de empalme por construcción, medición de espesores por ultrasonido, para identificar espesor y posible pérdida del mismo, tintas penetrantes para identificar problemas de soldadura superficiales y subsuperficiales.
 - 4.1. PERSONAL PARA EL TRABAJO DE INSPECCION.**
Inspector Nivel II y CWI, calificado y certificado de acuerdo con la Práctica Escrita, la cual, a la vez, cumple estrictamente con La Práctica Escrita SNT TC-1A de la ASNT.
- 5. ELABORACION DEL INFORME CORRESPONDIENTE AL TRABAJO REALIZADO.**

Este informe incluirá los resultados, conclusiones, fotografías y Recomendaciones respectivas de acuerdo al código de referencia. Se hará en Cada puente.

6. VALOR DEL SERVICIO.

- \$ 24.000.000 incluye,
 - ✓ disponibilidad de 2 ingenieros inspectores Nivel II en UT y PT.
 - ✓ disponibilidad de equipo Ultrasonido industrial (Scan B, palpador tipo Pencil y Phased array
 - ✓ Disponibilidad equipo medidor de espesores por ultrasonido.
 - ✓ Disponibilidad de Kit de tintas penetrantes necesarios.
 - ✓ Inspección por ultrasonido.
 - ✓ Inspección por tintas penetrantes.
 - ✓ inspección visual.
 - ✓ Control dimensional.
 - ✓ Medición de espesores por ultrasonido.
 - ✓ alquiler y transporte de 2 man lift.
 - ✓ Alquiler de luces, conos strover y demás elementos necesarios para el cierre de vías y poder realizar dicho trabajo.
 - ✓ alquiler de avisos y personal para la instalación.
 - ✓ \$ por definir. plan de manejo de tránsito, esto es por el permiso general.
 - ✓ informe.

NOTA: los informes son firmados por ASW-CWI

7. FORMA DE PAGO.

50% para comenzar, 50% una vez se haga entrega del informe del trabajo realizado, el cual, como ya se indicó, incluirá los resultados, conclusiones y recomendaciones del caso.

Nota. Recuperado de archivo personal de Ospina, A. (2024)

3.6 Disminución de costos asociada a la reutilización de las superestructuras de los puentes

Uno de los principales objetivos del reciclaje de puentes es lograr una disminución en los costos de obra que puedan contribuir a una mejor distribución de recursos en el Distrito. Por lo tanto, para realizar una estimación de la disminución de costos asociados al uso de estructuras recicladas en la construcción de nuevas obras, se llevó a cabo, para cada puente de estudio, un presupuesto teniendo en cuenta la realización del mismo sin elementos reciclados, es decir, con la fabricación desde cero de toda la estructura metálica y, se llevó a cabo otro presupuesto teniendo presente los costos asociados al desmontaje y despiece de la estructura reciclada. Con el valor de

ambos presupuestos, se puede estimar la disminución en los costos y su porcentaje equivalente de ahorro en una obra de tales características.

3.6.1 Presupuestos para el análisis de la disminución de costos utilizando la estructura metálica reciclada del puente de la calle 33

3.6.1.1 Presupuesto para el diseño de un puente nuevo sin estructura metálica reciclada

Tabla 4

Presupuesto para diseño de puente peatonal con especificaciones de la viga cajón del puente de la calle 33.

PRESUPUESTO TENTATIVO PARA OBRA NUEVA CON ESPECIFICACIONES DE LA VIGA CAJÓN DEL PUENTE DE LA AVENIDA 33					
ITEM	NOMBRE	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	EXPLANACIÓN				
1.1	Demolición de estructuras	m3	9	\$ 154,470.00	\$ 1,390,230.00
1.2	Demolición de pavimentos rígidos	m2	67	\$ 154,470.00	\$ 10,349,490.00
1.3	Excavación sin clasificar de la explanación y canales	m3	14.6	\$ 32,791.00	\$ 478,748.60
1.4	Transporte de materiales provenientes de la excavación de la explanación, canales y préstamos para distancias mayores de mil metros	m3k	365	\$ 7,540.00	\$ 2,752,100.00
1.5	Relleno seleccionado para terraplenes	m3	174.9	\$ 135,088.00	\$ 23,626,891.20
	TOTAL				\$ 38,597,459.80
2	DRENAJE				

2.1	Cuneta de pieza prefabricada aligerada tipo CUAUI 150-800	m	58	\$ 150,200.00	\$ 8,711,600.00
3	ESTRUCTURAS				
3.1	PASARELA				
3.1.1	CIMENTACIÓN				
3.1.1.1	Excavación sin clasificar de la explanación y canales	m3	65.86	\$ 32,791.00	\$ 2,159,615.26
3.1.1.2	Transporte de materiales provenientes de la excavación de la explanación, canales y préstamos para distancias mayores de mil metros	m3k	1646.5	\$ 7,540.00	\$ 12,414,610.00
3.1.1.3	Concreto de limpieza con resistencia de 10 Mpa	m3	2.69	\$ 634,800.00	\$ 1,707,612.00
3.1.1.4	Concreto de resistencia de 28 Mpa	m3	32.49	\$ 1,180,900.00	\$ 38,367,441.00
3.1.1.5	Acero de refuerzo Fy 420 Mpa	kg	6678.25	\$ 7,322.00	\$ 48,898,146.50
3.1.1.6	Pilote de concreto fundido in situ de diámetro 1.5 metros	m	13.5	\$ 2,046,700.00	\$ 27,630,450.00
	TOTAL				\$ 131,177,874.76
3.1.2	ALZADO-PASARELA				
3.1.2.1	Fabricación de la estructura metálica	kg	7730	\$ 20,690.00	\$ 159,933,700.00
3.1.2.2	Montaje y pintura de la estructura metálica	kg	7730	\$ 15,340.00	\$ 118,578,200.00
3.1.2.3	Transporte de estructura metálica	kg	7730	\$ 360.00	\$ 2,782,800.00
3.1.2.4	Concreto de resistencia de 21 Mpa	m3	5.16	\$ 965,518.00	\$ 4,982,072.88
3.1.2.5	Malla de refuerzo de Fy 420 Mpa	kg	472.36	\$ 20,442.00	\$ 9,655,983.12
3.1.2.6	Acero de refuerzo Fy 420 Mpa	kg	97.99	\$ 7,322.00	\$ 717,482.78

3.1.2.7	Lámina colaborante Metaldeck 2" calibre 22 (0.75 mm)	m2	92.8	\$ 266,770.00	\$ 24,756,256.00
3.1.2.8	Conector de cortante de 22 mm Fu = 415 N / mm2	unidad	108	\$ 50,550.00	\$ 5,459,400.00
TOTAL					\$ 326,865,894.78
3.1.3	ACABADOS				
3.1.3.1	Pasamanos de acero lacado	m	116	\$ 488,363.00	\$ 56,650,108.00
3.1.3.2	Lámina de acero perforado lacado	m2	69.6	\$ 234,220.00	\$ 16,301,712.00
3.1.3.3	Sumidero puente	unidad	6	\$ 1,185,112.00	\$ 7,110,672.00
TOTAL					\$ 80,062,492.00
3.2	MURO				
3.2.1	Concreto de limpieza con resistencia de 10 Mpa	m3	2.37	\$ 634,800.00	\$ 1,504,476.00
3.2.2	Concreto de resistencia de 28 Mpa	m3	21.3	\$ 1,180,900.00	\$ 25,153,170.00
3.2.3	Acero de refuerzo Fy 420 Mpa	kg	1347.17	\$ 7,322.00	\$ 9,863,978.74
TOTAL					\$ 36,521,624.74
4	URBANISMO Y PAISAJISMO				
4.1	Pavimento concreto pigmentado e=15 cm #4 15x15 cm	m2	392.87	\$ 395,680.00	\$ 155,450,801.60
4.2	Plantación césped estándar	m2	61.86	\$ 50,006.00	\$ 3,093,371.16
4.3	Cuneta de pieza prefabricada aligerada tipo CUAUI 150-800	m	43.83	\$ 150,200.00	\$ 6,583,266.00
4.4	Bordillo delimitador visual FRDV	m	116.71	\$ 1,144,610.00	\$ 133,587,433.10
4.5	Bordillo de pieza prefabricada de concreto BOBAR 450- 200	m	183.79	\$ 632,590.00	\$ 116,263,716.10

4.6	Franja táctil alerta FRTA 20 x 20 x 8 cm	m	18.11	\$ 176,400.00	\$ 3,194,604.00
4.7	Franja táctil guía FRTG 20 x 20 x 8 cm	m	148.9	\$ 190,400.00	\$ 28,350,560.00
4.8	Barandilla madera acabada en LASUR transparente	m	193.05	\$ 52,120.00	\$ 10,061,766.00
4.9	Pasamanos de acero lacado	m	55.04	\$ 488,363.00	\$ 26,879,499.52
4.10	Banca arqueada	unidad	4	\$ 723,640.00	\$ 2,894,560.00
4.11	Caneca metálica	unidad	4	\$ 645,760.00	\$ 2,583,040.00
4.12	Franja táctil in situ	m	29	\$ 64,443.00	\$ 1,868,847.00
4.13	Remoción de especies vegetales	unidad	2	\$ 395,420.00	\$ 790,840.00
TOTAL					\$ 491,602,304.48

5	DESVÍO TRÁFICO PEATONAL				
5.1	Señal informativa de obra (Tablero 50 x 60 cm)	unidad	6	\$ 478,300.00	\$ 2,869,800.00
5.2	Barricada de obra con luz Tipo A	unidad	2	\$ 569,600.00	\$ 1,139,200.00
5.3	Delimitador tubular	unidad	5	\$ 227,650.00	\$ 1,138,250.00
5.4	Cinta demarcadora	m	15	\$ 18,490.00	\$ 277,350.00
TOTAL					\$ 5,424,600.00

VALOR BÁSICO		\$ 627,361,546.08
ADMINISTRAC IÓN (A)	32%	\$ 200,755,694.75
UTILIDAD (U)	5%	\$ 31,368,077.30
SUBTOTAL		\$ 859,485,318.13
IVA SOBRE U	19%	\$ 5,959,934.69
VALOR TOTAL		\$ 865,445,252.82

3.6.1.2 Presupuesto para el diseño de un puente nuevo con estructura metálica reciclada

Tabla 5

Presupuesto para diseño de puente peatonal utilizando la viga cajón del puente de la calle 33.

PRESUPUESTO TENTATIVO PARA OBRA NUEVA CON VIGA CAJÓN RECICLADA DEL PUENTE DE LA AVENIDA 33					
ITEM	NOMBRE	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	EXPLANACIÓN				
1.1	Demolición de estructuras	m3	9	\$ 154,470.00	\$ 1,390,230.00
1.2	Demolición de pavimentos rígidos	m2	67	\$ 154,470.00	\$ 10,349,490.00
1.3	Excavación sin clasificar de la explanación y canales	m3	14.6	\$ 32,791.00	\$ 478,748.60
1.4	Transporte de materiales provenientes de la excavación de la explanación, canales y préstamos para distancias mayores de mil metros	m3k	365	\$ 7,540.00	\$ 2,752,100.00
1.5	Relleno seleccionado para terraplenes	m3	174.9	\$ 135,088.00	\$ 23,626,891.20
	TOTAL				\$ 38,597,459.80
2	DRENAJE				
2.1	Cuneta de pieza prefabricada aligerada tipo CUAUI 150-800	m	58	\$ 150,200.00	\$ 8,711,600.00
3	ESTRUCTURAS				
3.1	PASARELA				
3.1.1	CIMENTACIÓN				

3.1.1.1	Excavación sin clasificar de la explanación y canales	m3	65.86	\$ 32,791.00	\$ 2,159,615.26
3.1.1.2	Transporte de materiales provenientes de la excavación de la explanación, canales y préstamos para distancias mayores de mil metros	m3k	1646.5	\$ 7,540.00	\$ 12,414,610.00
3.1.1.3	Concreto de limpieza con resistencia de 10 Mpa	m3	2.69	\$ 634,800.00	\$ 1,707,612.00
3.1.1.4	Concreto de resistencia de 28 Mpa	m3	32.49	\$ 1,180,900.00	\$ 38,367,441.00
3.1.1.5	Acero de refuerzo Fy 420 Mpa	kg	6678.25	\$ 7,322.00	\$ 48,898,146.50
3.1.1.6	Pilote de concreto fundido in situ de diámetro 1.5 metros	m	13.5	\$ 2,046,700.00	\$ 27,630,450.00
	TOTAL				\$ 131,177,874.76
3.1.2	ALZADO-PASARELA				
3.1.2.1	Desmote y despiece de viga de acero	kg	9262.22	\$ 1,870.00	\$ 17,320,351.40
3.1.2.2	Fabricación de la estructura metálica	kg	1800	\$ 20,690.00	\$ 37,242,000.00
3.1.2.3	Montaje y pintura de la estructura metálica	kg	11062.22	\$ 15,340.00	\$ 169,694,454.80
3.1.2.4	Transporte de estructura metálica	kg	11062.22	\$ 360.00	\$ 3,982,399.20
3.1.2.5	Concreto de resistencia de 21 Mpa	m3	5.16	\$ 965,518.00	\$ 4,982,072.88
3.1.2.6	Malla de refuerzo de Fy 420 Mpa	kg	472.36	\$ 20,442.00	\$ 9,655,983.12
3.1.2.7	Acero de refuerzo Fy 420 Mpa	kg	97.99	\$ 7,322.00	\$ 717,482.78
3.1.2.8	Lámina colaborante Metaldeck 2" calibre 22 (0.75 mm)	m2	92.8	\$ 266,770.00	\$ 24,756,256.00
3.1.2.9	Conector de cortante de 22 mm Fu = 415 N / mm2	unidad	108	\$ 50,550.00	\$ 5,459,400.00
	TOTAL				\$ 273,810,400.18

3.1.3		ACABADOS			
3.1.3.1	Pasamanos de acero lacado	m	116	\$ 488,363.00	\$ 56,650,108.00
3.1.3.2	Lámina de acero perforado lacado	m2	69.6	\$ 234,220.00	\$ 16,301,712.00
3.1.3.3	Sumidero puente	unidad	6	\$ 1,185,112.00	\$ 7,110,672.00
TOTAL					\$ 80,062,492.00
3.2		MURO			
3.2.1	Concreto de limpieza con resistencia de 10 Mpa	m3	2.37	\$ 634,800.00	\$ 1,504,476.00
3.2.2	Concreto de resistencia de 28 Mpa	m3	21.3	\$ 1,180,900.00	\$ 25,153,170.00
3.2.3	Acero de refuerzo Fy 420 Mpa	kg	1347.17	\$ 7,322.00	\$ 9,863,978.74
TOTAL					\$ 36,521,624.74
4		URBANISMO Y PAISAJISMO			
4.1	Pavimento concreto pigmentado e=15 cm #4 15x15 cm	m2	392.87	\$ 395,680.00	\$ 155,450,801.60
4.2	Plantación césped estándar	m2	61.86	\$ 50,006.00	\$ 3,093,371.16
4.3	Cuneta de pieza prefabricada aligerada tipo CUAUI 150-800	m	43.83	\$ 150,200.00	\$ 6,583,266.00
4.4	Bordillo delimitador visual FRDV	m	116.71	\$ 1,144,610.00	\$ 133,587,433.10
4.5	Bordillo de pieza prefabricada de concreto BOBAR 450-200	m	183.79	\$ 632,590.00	\$ 116,263,716.10
4.6	Franja táctil alerta FRTA 20 x 20 x 8 cm	m	18.11	\$ 176,400.00	\$ 3,194,604.00
4.7	Franja táctil guía FRTG 20 x 20 x 8 cm	m	148.9	\$ 190,400.00	\$ 28,350,560.00
4.8	Barandilla madera acabada en LASUR transparente	m	193.05	\$ 52,120.00	\$ 10,061,766.00
4.9	Pasamanos de acero lacado	m	55.04	\$ 488,363.00	\$ 26,879,499.52
4.10	Banca arqueada	unidad	4	\$ 723,640.00	\$ 2,894,560.00
4.11	Caneca metálica	unidad	4	\$ 645,760.00	\$ 2,583,040.00
4.12	Franja táctil in situ	m	29	\$ 64,443.00	\$ 1,868,847.00
4.13	Remoción de especies vegetales	unidad	2	\$ 395,420.00	\$ 790,840.00
TOTAL					\$ 491,602,304.48
5		DESVÍO TRÁFICO PEATONAL			

5.1	Señal informativa de obra (Tablero 50 x 60 cm)	unidad	6	\$ 478,300.00	\$ 2,869,800.00																		
5.2	Barricada de obra con luz Tipo A	unidad	2	\$ 569,600.00	\$ 1,139,200.00																		
5.3	Delimitador tubular	unidad	5	\$ 227,650.00	\$ 1,138,250.00																		
5.4	Cinta demarcadora	m	15	\$ 18,490.00	\$ 277,350.00																		
	TOTAL				\$ 5,424,600.00																		
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>VALOR BÁSICO</td> <td></td> <td>\$ 574,306,051.48</td> </tr> <tr> <td>ADMINISTRACIÓN (A)</td> <td>32%</td> <td>\$ 183,777,936.47</td> </tr> <tr> <td>UTILIDAD (U)</td> <td>5%</td> <td>\$ 28,715,302.57</td> </tr> <tr> <td>SUBTOTAL</td> <td></td> <td>\$ 786,799,290.53</td> </tr> <tr> <td>IVA SOBRE U</td> <td>19%</td> <td>\$ 5,455,907.49</td> </tr> <tr> <td>VALOR TOTAL</td> <td></td> <td>\$ 792,255,198.02</td> </tr> </tbody> </table>						VALOR BÁSICO		\$ 574,306,051.48	ADMINISTRACIÓN (A)	32%	\$ 183,777,936.47	UTILIDAD (U)	5%	\$ 28,715,302.57	SUBTOTAL		\$ 786,799,290.53	IVA SOBRE U	19%	\$ 5,455,907.49	VALOR TOTAL		\$ 792,255,198.02
VALOR BÁSICO		\$ 574,306,051.48																					
ADMINISTRACIÓN (A)	32%	\$ 183,777,936.47																					
UTILIDAD (U)	5%	\$ 28,715,302.57																					
SUBTOTAL		\$ 786,799,290.53																					
IVA SOBRE U	19%	\$ 5,455,907.49																					
VALOR TOTAL		\$ 792,255,198.02																					

Teniendo en cuenta los presupuestos anteriores, se puede concluir que la implementación de la viga cajón reciclada en la superestructura del diseño de un nuevo puente genera una disminución en los costos de aproximadamente \$ 73,190,054.8, traducido en un ahorro cercano al 9% del costo total del proyecto. Es de reconocer que, teniendo en cuenta de que se trata de un reemplazo parcial de la superestructura del puente nuevo, el porcentaje equivalente de ahorro tiende a ser pequeño por las demás actividades implicadas y por el suministro de la estructura metálica faltante que aporta un costo significativo en la obra.

3.6.2 Presupuestos para el análisis de la disminución de costos utilizando la estructura metálica reciclada del puente de la carrera 81

3.6.2.1 Presupuesto para el diseño de un puente nuevo sin estructura metálica reciclada

Tabla 6

Presupuesto para diseño de puente peatonal con especificaciones de la cercha del puente de la carrera 81.

PRESUPUESTO TENTATIVO PARA OBRA NUEVA CON ESPECIFICACIONES DE DISEÑO DE LA CERCHA DEL PUENTE DE LA CARRERA 81					
ITEM	NOMBRE	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	EXPLANACIÓN				
1.1	Demolición de estructuras	m3	7.8	\$ 154,470.00	\$ 1,204,866.00
1.2	Excavación sin clasificar de la explanación y canales	m3	202.1	\$ 32,791.00	\$ 6,627,061.10
1.3	Transporte de materiales provenientes de la excavación de la explanación, canales y préstamos para distancias mayores de mil metros	m3k	5052.5	\$ 7,540.00	\$ 38,095,850.00
1.4	Relleno seleccionado para terraplenes	m3	118.7	\$ 135,088.00	\$ 16,034,945.60
	TOTAL				\$ 61,962,722.70
2	DRENAJE				
2.1	Cuneta de pieza prefabricada aligerada tipo CUAUI 150-800	m	71	\$ 150,200.00	\$ 10,664,200.00
3	ESTRUCTURAS				
3.1	PASARELA				
3.1.1	CIMENTACIÓN				
3.1.1.1	Excavación sin clasificar de la explanación y canales	m3	19.36	\$ 32,791.00	\$ 634,833.76
3.1.1.2	Transporte de materiales provenientes de la excavación de la explanación, canales y préstamos para distancias mayores de mil metros	m3k	484	\$ 7,540.00	\$ 3,649,360.00

3.1.1.3	Concreto de limpieza con resistencia de 10 Mpa	m3	1.94	\$ 634,800.00	\$ 1,231,512.00
3.1.1.4	Concreto de resistencia de 28 Mpa	m3	17.44	\$ 1,180,900.00	\$ 20,594,896.00
3.1.1.5	Acero de refuerzo Fy 420 Mpa	kg	3373.61	\$ 7,322.00	\$ 24,701,572.42
3.1.1.6	Pilote de concreto fundido in situ de diámetro 1.5 metros	m	15	\$ 2,046,700.00	\$ 30,700,500.00
	TOTAL				\$ 81,512,674.18
3.1.2	ALZADO-PASARELA				
3.1.2.1	Fabricación de la estructura metálica	kg	15036.27	\$ 20,690.00	\$ 311,100,426.30
3.1.2.2	Montaje y pintura de la estructura metálica	kg	15036.27	\$ 15,340.00	\$ 230,656,381.80
3.1.2.3	Transporte de estructura metálica	kg	15036.27	\$ 360.00	\$ 5,413,057.20
3.1.2.4	Concreto de resistencia de 21 Mpa	m3	6.32	\$ 965,518.00	\$ 6,102,073.76
3.1.2.5	Malla de refuerzo de Fy 420 Mpa	kg	418.96	\$ 20,442.00	\$ 8,564,380.32
3.1.2.6	Acero de refuerzo Fy 420 Mpa	kg	138.45	\$ 7,322.00	\$ 1,013,730.90
3.1.2.7	Lámina colaborante Metaldeck 2" calibre 22 (0.75 mm)	m2	113.6	\$ 266,770.00	\$ 30,305,072.00
3.1.2.8	Apoyo elastomérico semi-cubierto 6 chapas dimensionales 400x400x78(60)	unidad	4	\$ 836,580.00	\$ 3,346,320.00
3.1.2.9	Sello para juntas de puentes, material elastomérico	m	7	\$ 274,800.00	\$ 1,923,600.00
3.1.2.10	Bordillo de pieza prefabricada de concreto BOREC 350-800	m	7	\$ 390,600.00	\$ 2,734,200.00
	TOTAL				\$ 601,159,242.28
3.1.3	ACABADOS				
3.1.3.1	Pasamanos de acero lacado	m	142	\$ 488,363.00	\$ 69,347,546.00
3.1.3.2	Lámina de acero perforado lacado	m2	85.2	\$ 234,220.00	\$ 19,955,544.00
3.1.3.3	Sumidero puente	unidad	8	\$ 1,185,112.00	\$ 9,480,896.00
	TOTAL				\$ 98,783,986.00
4	URBANISMO Y PAISAJISMO				

4.1	Pavimento concreto pigmentado e=15 cm #4 15x15 cm	m2	734.3	\$ 395,680.00	\$ 290,547,824.00	
5	DESVÍO TRÁFICO PEATONAL					
5.1	Señal informativa de obra (Tablero 50 x 60 cm)	unidad	6	\$ 478,300.00	\$ 2,869,800.00	
5.2	Barricada de obra con luz Tipo A	unidad	2	\$ 569,600.00	\$ 1,139,200.00	
5.3	Delimitador tubular	unidad	20	\$ 227,650.00	\$ 4,553,000.00	
5.4	Cinta demarcadora	m	60	\$ 18,490.00	\$ 1,109,400.00	
	TOTAL				\$ 9,671,400.00	
6	ACCESO ALTERNATIVO					
6.1	Desmante y limpieza en zonas no boscosas	m2	44.6	\$ 1,562.00	\$ 69,665.20	
6.2	Excavación sin clasificar de la explanación y canales	m3	13.38	\$ 32,791.00	\$ 438,743.58	
6.3	Transporte de materiales provenientes de la excavación de la explanación, canales y préstamos para distancias mayores de mil metros	m3	334.5	\$ 7,540.00	\$ 2,522,130.00	
6.4	Base granular Clase C	m3	3.18	\$ 258,588.00	\$ 822,309.84	
6.5	Formación de peldaños	m3	10.2	\$ 823,570.00	\$ 8,400,414.00	
	TOTAL				\$ 12,253,262.62	
					VALOR BÁSICO	\$ 1,166,555,311.78
					ADMINISTRACIÓN (A) 32%	\$ 373,297,699.77
					UTILIDAD (U) 5%	\$ 58,327,765.59
					SUBTOTAL	\$ 1,598,180,777.14
					IVA SOBRE U 19%	\$ 11,082,275.46
					VALOR TOTAL	\$ 1,609,263,052.60

3.6.2.2 Presupuesto para el diseño de un puente nuevo con estructura metálica reciclada

Tabla 7

Presupuesto para diseño de puente peatonal con estructura reciclada de la cercha del puente de la carrera 81

PRESUPUESTO TENTATIVO PARA OBRA NUEVA UTILIZANDO LA CERCHA RECICLADA DEL PUENTE DE LA CARRERA 80					
ITEM	NOMBRE	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	EXPLANACIÓN				
1.1	Demolición de estructuras	m3	7.8	\$ 154,470.00	\$ 1,204,866.00
1.2	Excavación sin clasificar de la explanación y canales	m3	202.1	\$ 32,791.00	\$ 6,627,061.10
1.3	Transporte de materiales provenientes de la excavación de la explanación, canales y préstamos para distancias mayores de mil metros	m3k	5052.5	\$ 7,540.00	\$ 38,095,850.00
1.4	Relleno seleccionado para terraplenes	m3	118.7	\$ 135,088.00	\$ 16,034,945.60
	TOTAL				\$ 61,962,722.70
2	DRENAJE				
2.1	Cuneta de pieza prefabricada aligerada tipo CUAUI 150-800	m	71	\$ 150,200.00	\$ 10,664,200.00
3	ESTRUCTURAS				
3.1	PASARELA				
3.1.1	CIMENTACIÓN				
3.1.1.1	Excavación sin clasificar de la explanación y canales	m3	19.36	\$ 32,791.00	\$ 634,833.76
3.1.1.2	Transporte de materiales provenientes de la excavación de la explanación, canales y	m3k	484	\$ 7,540.00	\$ 3,649,360.00

	préstamos para distancias mayores de mil metros				
3.1.1.3	Concreto de limpieza con resistencia de 10 Mpa	m3	1.94	\$ 634,800.00	\$ 1,231,512.00
3.1.1.4	Concreto de resistencia de 28 Mpa	m3	17.44	\$ 1,180,900.00	\$ 20,594,896.00
3.1.1.5	Acero de refuerzo Fy 420 Mpa	kg	3373.61	\$ 7,322.00	\$ 24,701,572.42
3.1.1.6	Pilote de concreto fundido in situ de diámetro 1.5 metros	m	15	\$ 2,046,700.00	\$ 30,700,500.00
	TOTAL				\$ 81,512,674.18
3.1.2	ALZADO-PASARELA				
3.1.2.1	Desmante y corte de la cercha metálica	kg	11902	\$ 1,870.00	\$ 22,256,740.00
3.1.2.2	Fabricación de la estructura metálica	kg	3134	\$ 20,690.00	\$ 64,842,460.00
3.1.2.3	Montaje y pintura de la estructura metálica	kg	15036	\$ 15,340.00	\$ 230,652,240.00
3.1.2.4	Transporte de estructura metálica	kg	15036	\$ 360.00	\$ 5,412,960.00
3.1.2.5	Concreto de resistencia de 21 Mpa	m3	6.32	\$ 965,518.00	\$ 6,102,073.76
3.1.2.6	Malla de refuerzo de Fy 420 Mpa	kg	418.96	\$ 20,442.00	\$ 8,564,380.32
3.1.2.7	Acero de refuerzo Fy 420 Mpa	kg	138.45	\$ 7,322.00	\$ 1,013,730.90
3.1.2.8	Lámina colaborante Metaldeck 2" calibre 22 (0.75 mm)	m2	113.6	\$ 266,770.00	\$ 30,305,072.00
3.1.2.9	Apoyo elastomérico semi-cubierto 6 chapas dimensionales 400x400x78(60)	unidad	4	\$ 836,580.00	\$ 3,346,320.00
3.1.2.10	Sello para juntas de puentes, material elastomérico	m	7	\$ 274,800.00	\$ 1,923,600.00
3.1.2.11	Bordillo de pieza prefabricada de concreto BOREC 350- 800	m	7	\$ 390,600.00	\$ 2,734,200.00
	TOTAL				\$ 377,153,776.98
3.1.3	ACABADOS				
3.1.3.1	Pasamanos de acero lacado	m	142	\$ 488,363.00	\$ 69,347,546.00

3.1.3.2	Lámina de acero perforado lacado	m2	85.2	\$ 234,220.00	\$ 19,955,544.00
3.1.3.3	Sumidero puente	unidad	8	\$ 1,185,112.00	\$ 9,480,896.00
	TOTAL				\$ 98,783,986.00
4	URBANISMO Y PAISAJISMO				
4.1	Pavimento concreto pigmentado e=15 cm #4 15x15 cm	m2	734.3	\$ 395,680.00	\$ 290,547,824.00
5	DESVÍO TRÁFICO PEATONAL				
5.1	Señal informativa de obra (Tablero 50 x 60 cm)	unidad	6	\$ 478,300.00	\$ 2,869,800.00
5.2	Barricada de obra con luz Tipo A	unidad	2	\$ 569,600.00	\$ 1,139,200.00
5.3	Delimitador tubular	unidad	20	\$ 227,650.00	\$ 4,553,000.00
5.4	Cinta demarcadora	m	60	\$ 18,490.00	\$ 1,109,400.00
	TOTAL				\$ 9,671,400.00
6	ACCESO ALTERNATIVO				
6.1	Desmonte y limpieza en zonas no boscosas	m2	44.6	\$ 1,562.00	\$ 69,665.20
6.2	Excavación sin clasificar de la explanación y canales	m3	13.38	\$ 32,791.00	\$ 438,743.58
6.3	Transporte de materiales provenientes de la excavación de la explanación, canales y préstamos para distancias mayores de mil metros	m3	334.5	\$ 7,540.00	\$ 2,522,130.00
6.4	Base granular Clase C	m3	3.18	\$ 258,588.00	\$ 822,309.84
6.5	Formación de peldaños	m3	10.2	\$ 823,570.00	\$ 8,400,414.00
	TOTAL				\$ 12,253,262.62
VALOR BÁSICO					\$ 942,549,846.48
ADMINISTRACIÓN (A)				32%	\$ 301,615,950.87
UTILIDAD (U)				5%	\$ 47,127,492.32
SUBTOTAL					\$ 1,291,293,289.68
IVA SOBRE U				19%	\$ 8,954,223.54

	VALOR TOTAL	\$ 1,300,247,513.22
--	--------------------	---------------------

Teniendo en cuenta los presupuestos anteriores, se puede concluir que la implementación de la cercha metálica en la superestructura del diseño de un nuevo puente genera una disminución en los costos de aproximadamente \$ 309,015,539.4, traducido en un ahorro cercano al 20% del costo total del proyecto. Para este proyecto, considerando que se trata de un reemplazo total de la superestructura del puente nuevo por la estructura reciclada del puente de estudio, se cuenta con un porcentaje de ahorro considerable con respecto al precio total de la obra, lo que justifica totalmente la realización del proyecto de reciclaje, teniendo en cuenta además los múltiples beneficios económicos adicionales que esto puede implicar en la materialización de nuevos proyectos del Distrito.

4 Análisis general del proyecto

Teniendo en cuenta los presupuestos realizados para el estudio patológico y económico de los proyectos, se obtuvo que es fundamental realizar un estudio previo para el reciclaje de estructuras que implique tener en cuenta factores de movilidad, patológicos, económicos y sociales que estén explícitos o implícitos dentro de la obra. Con relación a esto, el estudio realizado para reciclar la viga cajón metálica en su totalidad y la cercha metálica tuvo como primer enfoque el estudio del flujo vehicular y peatonal correspondiente a la estructura y su vía asociada, obteniendo como conclusión que es fundamental garantizar, una vez se lleve a cabo el retiro de la estructura, un paso semaforizado a nivel que proporcione comodidad, seguridad e inclusión a las comunidades cercanas, al estar ubicadas en vías de alto flujo vehicular que debe tener un manejo adecuado previo al desmonte. Para esta primera parte debe evaluarse la viabilidad de instalación de los cruces con la Secretaría de Movilidad del Distrito de Medellín, de tal manera que el reciclaje siga un conducto regular organizado en donde se hagan las instalaciones necesarias con el tiempo suficiente para que la comunidad tenga conocimiento de los futuros cambios.

En segunda instancia, se observó que es fundamental, una vez se tenga conocimiento total de las condiciones de movilidad en el puente y se considere bajo los términos de subutilización, llevar a cabo un estudio detallado que indique el estado actual de la estructura, el cual dé cuenta de los elementos aprovechables y de su adaptabilidad en la nueva obra que se van a utilizar.

En cuanto al procedimiento planteado para el análisis de patología de los puentes, se obtuvo que es imperativo reconocer la reducción de resistencia de los elementos de los puentes, tanto por su deterioro asociado al uso constante del mismo, como por las alteraciones asociadas al desmonte y traslado de las estructuras. Llevar a cabo ensayos no destructivos que den mayor información sobre las propiedades químicas y mecánicas de los elementos es fundamental para llegar a un resultado detallado del estado de los puentes y, de esta manera, realizar los reforzamientos necesarios a tiempo en caso de necesitarlos, prolongando de esta manera el ciclo de vida estructural.

Por último, el ahorro implicado para ambos puentes, teniendo en cuenta los presupuestos realizados, indica la viabilidad de ejecución de ambos proyectos e impulsa a seguir llevando a cabo proyectos de reciclaje parciales o totales que aporten significativamente a la disminución de costos en obras. En relación con lo anterior, se genera una mayor facilidad por parte del Distrito o de cualquier empresa del sector constructivo que desee implementar esta práctica, de materializar los

proyectos sin sobrecostos innecesarios y, adicionalmente, de aportar a la disminución del impacto ambiental generado por la realización de cualquier obra ingenieril.

5 Referencias

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.
- Manual de Señalización Vial. (2015). Instituto Nacional de Vías. Recuperado 12 de marzo de 2024, de <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/3825-manual-de-senalizacion-vial-2015>
- Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP14. (2015). Instituto Nacional de Vías. Recuperado 13 de marzo de 2024, de <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/3709-norma-colombiana-de-diseno-de-puentes-ccp14>
- Ospina Trujillo, A. (2018, 7 al 9 de noviembre). Reciclaje de puentes subutilizados [presentación de paper]. V Simposio Internacional Sobre Diseño y Construcción de Puentes, Bucaramanga, Colombia. http://ingenieriacivil.uis.edu.co/eisi/grupo/simposiopuentes2018/#views/gm48/po-nencias/areas_tematicas
- Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Medellín. (2014). Alcaldía de Medellín. <https://www.medellin.gov.co/es/transparencia/plan-de-ordenamiento-territorial-de-medellin/>
- Secretaría de Movilidad de Medellín. (2018). Informe de viabilización técnica para el traslado o demolición de 14 puentes peatonales ubicados en el municipio de Medellín.
- Siro portal. (s. f.). https://www.medellin.gov.co/siro_portal2/