

**Diagnóstico patológico representativo de la infraestructura del Puente Mariano Ospina Pérez sobre el
Río Zulia, para la Construcción del Nuevo Puente.**

ING. YOLANDA CRISTINA RESTREPO GUALTEROS
ING. GABRIEL FERNANDO BALLESTEROS CASTILLO

TRABAJO PROFESIONAL INTEGRADO - TPI

DIRECTOR:

ARQ. MSC. WALTER MAURICIO BARRETO CASTILLO

DECANATURA DE DIVISIÓN DE EDUCACIÓN ABIERTA Y A DISTANCIA
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS
ESPECIALIZACIÓN PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
BOGOTÁ D.C.

2019-1



Contenido

RESUMEN.....	6
INTRODUCCIÓN.....	8
MARCO CONCEPTUAL.	9
HISTORIA CLÍNICA	10
Información histórica, del contexto, tipología arquitectónica, descripción del sistema estructural y constructiva.	10
METODOLOGÍA.	11
Identificación y calificación de lesiones típicas.	12
Datos generales del paciente:	12
Geometría y tipo de puente	15
Geometría:	16
Composición	16
Puente adicional	18
Características de la estructura	19
Aplicación patológica:	21
Estado de la estructura	25
Ensayo sobre núcleos	27
Elementos que componen la superestructura:	28
Vigas principales:	28
Vigas longitudinales	30
Reparaciones requeridas:	31
Evidencias de la inspección:	31



Reemplazo de soportes angulares:	37
Puente adicional	46
Diagnóstico general de la estructura y de las causas de lesiones más relevantes.	47
Datos específicos de las lesiones.....	47
Evaluación física y mecánica y composición y estructura del concreto y/o materiales:.....	49
Elementos rectos de armadura. Corrosión y refuerzos con soldaduras y pernos	51
Evaluación física y mecánica y composición y estructura:.....	52
Vulnerabilidad sísmica.....	58
Análisis evaluativo	58
Normas de diseño	58
Consideraciones de revisión superestructura	59
Teoría de diseño	59
Carga muerta	59
Carga viva	59
Cargas dinámicas	60
Cargas sísmicas	60
Materiales.....	61
Evaluación de cargas.....	62
Efectos Sísmicos (EQ)	67
ANÁLISIS, DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN.....	68
Alternativa de repotenciación	68
Dictamen del estado general de la estructura.....	69
Propuesta de intervención para la edificación en general y cada una de las lesiones típicas o procesos patológicos identificados.....	70



Especificaciones y procesos detallados para la ejecución de la intervención.	70
Tipo de obra a realizar, estructura y el nivel de intervención.	73
Atención de emergencia:	75
Tráfico Vehicular	75
Refuerzo:	75
Terapéutica de la estructura:	79
Repotenciación:	79
Reparaciones requeridas.....	83
- Condiciones de aplicación	85
Métodos de aplicación:	86
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	88
REFERENCIAS	95



Lista de tablas

Tabla 1. Características geométricas del puente	14
Tabla 2. Tomas de ferroescan	32
Tabla 3. Figuras de estado del puente	65
Tabla 4. Amplificación con Carga Dinámica IM.....	82
Tabla 5. Componente de viento sobre carga viva	84
Tabla 6. Norma técnica americana SAE	121



ABSTRACT.

After thoroughly analyzing the bridge that, for close to 62 years has united the towns of San Jose de Cucuta and El Zulia passing over the Zulia river, this article seeks to proof that the Mariano Ospina Perez bridge is at risk of break and failure. This risk and failure are referred to, by the authors, as a disabling pathology and, therefore, the bridge is referred to as a patient whose health is poorly. By analyzing the main breaking points in the bridge and its weaknesses, the authors recommend bringing down the bridge and constructing a new bridge instead of repairing the Mariano Ospina Perez one.

KEY WORDS: Pathology, Bridge, Structure, Construction, Design, Patient

RESUMEN.

De acuerdo con la evaluación realizada al puente Mariano Ospina Pérez sobre el río Zulia que, durante casi 62 años, ha unido a San José de Cúcuta con el Municipio de El Zulia en el departamento de Norte de Santander, este trabajo integrado elabora un diagnóstico patológico representativo que permite evidenciar el estado actual de la estructura del puente que se encuentra en riesgo de falla por fatiga y fractura que puede asimilarse a una enfermedad silenciosa por el cansancio que genera la repetición excesiva de un trabajo dado el alto número de vehículos pesados que transitan sobre el puente por lo menos durante los últimos 30 años al servicio de cargas por encima de las de diseño, en los cuales ha excedido su oferta de resistencia y rigidez. Si bien la fatiga es usualmente un problema invisible, el material desarrolla grietas en su microestructura que llevan al final a una falla por fractura usualmente súbita. Esto implica que es urgente considerar la posibilidad de reemplazar el puente existente en lugar de reparar el existente. Cada vehículo, sin importar su peso, que cruza el puente, adiciona repeticiones por su mismo peso y por la vibración que impacta al puente y es evidente.



Debido a la historia de carga que ha soportado el puente en los años de servicio, es pertinente realizar evaluaciones sistemáticas a los elementos más importantes que se piensa pueden diseñarse para el nuevo puente. Parte importante de este trabajo, consiste en revisar y valorar el estado del puente de cara a su longitud mayor a los 60 metros y que de acuerdo con la investigación, no se cuenta con planos iniciales de diseño que permitan un análisis detallado para predecir el comportamiento bajo las cargas en general, principalmente las vivas y las sísmicas que se pueden llegar a presentar según la normatividad vigente en el país, con las cuales se diseñará el nuevo puente.

PALABRAS CLAVE: Patología, Puente, Estructura, Construcción, Diseño, Paciente



INTRODUCCIÓN.

El puente está ubicado sobre el río Zulia en la carretera 7009 Sardinata – Astilleros – Cúcuta, en el PR59+279, conectando los municipios de San José de Cúcuta y El Zulia. La estructura está compuesta por dos tramos. El primer tramo, construido hacia la orilla oriental del río (lado Cúcuta), es un puente colgante con viga de rigidez inferior que tiene una luz de 90 metros apoyada en cada extremo en pilas de concreto ciclópeo y los accesos de 25 metros constituidos por dos celosías laterales metálicas de tablero inferior. Las dos líneas de cables del tramo suspendido se anclan en cuatro macizos de concreto (Consorcio Estructuración Vial, 2014, pág. 3).

El segundo tramo occidental (lado Zulia), es una cercha de paso de 25 metros de luz (Consorcio Estructuración Vial, 2014, pág. 3).

Según investigación bibliográfica su construcción pudo ejecutarse entre 1.948 y 1.957; por una placa en el puente se puede evidenciar que para 1.957, ya estaba construido y al servicio. Se acepta que el puente tiene una edad promedio de 65 años.

El puente Mariano Ospina Pérez radica su importancia en que es el vínculo entre regiones fundamentales para la economía local y Nacional, por lo que ha sido objeto de múltiples reparaciones parciales con frecuencia regular en los últimos años, indicando un comportamiento estructural deficiente por lo que se considera con alto riesgo de fatiga en algunas zonas.

Por la antigüedad de la construcción del puente, resulta interesante plantear el diagnóstico patológico más representativo en el origen y las causas presentes y comparar los diseños, procesos constructivos y consideraciones normativas que se tuvieron en cuenta hace más de 60 años con las especificaciones actuales que enmarcarán la construcción del nuevo puente sobre el río Zulia, en el Departamento de Norte de Santander.



A través del desarrollo de la especialización en Patología de la Construcción aprendimos que para la elaboración de un Diagnóstico Patológico debíamos definir la metodología propia para realizar el levantamiento eficaz para la definición de los diferentes procesos en un problema estructural, de manera que resulte representativo como en el caso de la infraestructura del Puente Mariano Ospina, para el caso de la construcción del nuevo puente. Por lo cual, realizamos la inspección, evaluación y finalmente el diagnóstico donde se incluyen las conclusiones y recomendaciones.

MARCO CONCEPTUAL.

La presente propuesta de grado se trata de un estudio académico, por lo tanto, se desarrollará desde lo desarrollado y aprendido durante la especialización, aplicado a la ética en la construcción de obras civiles, la conceptualización, materiales, Historia clínica, Metodología, vulnerabilidad sísmica, laboratorio, los conocimientos básicos de la mecánica de suelos, las exploraciones geotécnicas y los tipos de suelos, entre otros; en el Puente existente sobre el río Zulía.

Para desarrollar la propuesta se hace necesario la recopilación de información, realizar inspección visual para determinar entre otros, el grado de lesión y/o deterioro ante los ataques atmosféricos y otros agentes externos del medio, identificación y análisis de la vulnerabilidad en cuanto a las condiciones de operación actuales de tráfico y carga que comprometen la estabilidad de la estructura y respaldan el diagnóstico inicial, con el fin de exponer algunos los aspectos de intervención o recomendaciones a lugar con la normatividad vigente para la construcción de un nuevo puente como posibles alternativas, que permitan prolongar la vida útil de la nueva estructura y brindar soluciones a otras construcciones de la misma época.



HISTORIA CLÍNICA

Información histórica, del contexto, tipología arquitectónica, descripción del sistema estructural y constructiva.

El puente está ubicado sobre el río Zulia en la carretera 7009 Sardinata – Astilleros – Cúcuta, en el PR59+0279, con coordenadas (7°55'46.57" N, 7°55'46.57" N) y conecta los municipios de San José de Cúcuta y El Zulia. La estructura está compuesta por dos tramos. El primer tramo, construido hacia la orilla oriental del río (lado Cúcuta), es un puente colgante con viga de rigidez inferior que tiene una luz de 90 metros apoyada en cada extremo en pilas de concreto ciclópeo y los accesos de 25 metros constituidos por dos celosías laterales metálicas de tablero inferior. Las dos líneas de cables del tramo suspendido se anclan en cuatro macizos de concreto (Consortio Estructuración Vial, 2014, pág. 3).

El segundo tramo occidental (lado Zulia), es una cercha de paso de 25 metros de luz (Consortio Estructuración Vial, 2014, pág. 3).

Según investigación bibliográfica su construcción pudo ejecutarse entre 1.948 y 1.957; por una placa en el puente se puede evidenciar que para 1.957, ya estaba construido y al servicio. Se acepta que el puente tiene una edad promedio de 62 años.

El puente Mariano Ospina Pérez radica su importancia en que es el vínculo entre regiones fundamentales para la economía local y Nacional, por lo que ha sido objeto de múltiples reparaciones parciales con frecuencia regular en los últimos años, indicando un comportamiento estructural deficiente por lo que se considera con alto riesgo de fatiga en algunas zonas.

Por la antigüedad en la construcción del puente resulta interesante plantear el diagnóstico patológico más representativo en el origen y las causas presentes y comparar los diseños, procesos constructivos y consideraciones normativas que se tuvieron en cuenta hace más de 60



años con las especificaciones actuales que enmarcarán la construcción del nuevo puente sobre el río Zulía, en el Departamento de Norte de Santander.

En la presente Evaluación del Módulo de Metodología para la Intervención de estructuras, del caso propuesto para el grado, se trata de un estudio académico, por lo tanto, se desarrollará desde lo aprendido durante la especialización, aplicado a la ética en la construcción de obras civiles, la conceptualización, materiales, Historia clínica, laboratorio y los conocimientos básicos de la mecánica de suelos, las exploraciones geotécnicas y los tipos de suelos; en el Puente existente sobre el río Zulía.

Para el desarrollo de la propuesta se hace necesario la recopilación de información, realizar inspección visual para determinar entre otros, el grado de lesión y/o deterioro ante los ataques atmosféricos y otros agentes externos del medio, identificación y análisis de la vulnerabilidad en cuanto a las condiciones de operación actuales de tráfico y carga que comprometen la estabilidad de la estructura y respaldan el diagnóstico inicial, con el fin de exponer algunos los aspectos de intervención o recomendaciones a lugar con la normatividad vigente para la construcción de un nuevo puente como posibles alternativas, que permitan prolongar la vida útil de la nueva estructura y brindar soluciones a otras construcciones de la misma época.

METODOLOGÍA.

Definimos la metodología propia para realizar el levantamiento patológico buscando la eficacia para la definición de los diferentes procesos en un problema estructural, así:

1. INSPECCIÓN
2. EVALUACIÓN
3. DIAGNÓSTICO (Se incluye conclusiones y recomendaciones)

Identificación y calificación de lesiones típicas.

Para la identificación y calificación de las lesiones, dada la edad del puente, fue necesario que tuviéramos en cuenta estudios anteriores para la presente propuesta; asimismo información de los estudios de la consultoría ABIF ING SAS - ING Moncada Guerrero e, de manera que tuviéramos puntos de partida y posiciones alternativas en la elaboración de la identificación, en forma comparativa.

Fecha de realización del estudio: Existen estudios anteriores que datan del año de construcción del puente entre 1.955, otros no tan antiguos de los años 2014 al 2016 y otros, hasta el 2019 (Agencia Nacional de Infraestructura, 2015)

Datos generales del paciente:

Nombre: Puente “Mariano Ospina Pérez”.



Figura 1. Puente "Mariano Ospina Pérez"

Localización: El puente se encuentra ubicado sobre el río Zulia en el área metropolitana de Cúcuta



(Municipio de El Zulia) en la vía Cúcuta – Astilleros – Sardinata, PR 59+0279, que conduce del Occidente de Norte de Santander hacia Ocaña, Tibú y la Costa Atlántica.

Uso: La vía es usada para llevar a puertos costeros 4.000 toneladas diarias, entre el carbón que se extrae de las minas de Norte de Santander, la producción de elementos de arcilla y arroz (Agencia Nacional de Infraestructura, 2015)

Las vías alternas carecen de condiciones para el transporte de carga (Urimaco y la de Puerto Santander), sobre todo por el tipo de producto delicado y la vía Cúcuta - Bucaramanga es un trayecto más largo que implica mayores costos (Agencia Nacional de Infraestructura, 2015)

Fecha de construcción: Entre 1.948 y 1.955; Edad promedio, 64 años (Agencia Nacional de Infraestructura, 2015)

Uso actual y previsto del sector: Vehicular

Importancia del paciente: Es un puente con una localización estratégica para el transporte de carga y en cuanto a conectividad de esa región del País. En la entrada del puente en ambas márgenes se encuentra una pancarta informativa, de acuerdo con la resolución 316 de 2018 que restringe el tránsito a un sólo vehículo pesado sobre el puente. Pero los usuarios hacen caso omiso, como se observa en la fotografía.



Figura 2. Ubicación en el mapa del puente



Figura 3. Localización Puente Mariano Ospina Pérez sobre el Río Zulia – Norte de Santander



Figura 4. Restricción del tránsito a un sólo vehículo pesado sobre el puente

Sistema estructural y constructivo: Estructura en dos tramos. El primer tramo, construido hacia la orilla oriental del río (lado Cúcuta), es un puente colgante con viga de rigidez inferior con luz de 90 m



apoyada en cada extremo en pilas de concreto ciclópeo. Las dos líneas de cables del tramo suspendido se anclan en cuatro macizos de concreto (Agencia Nacional de Infraestructura, 2015).

El segundo Tramo, o tramo occidental (lado de El Zulia), es una cercha de paso de 25 m de luz (Agencia Nacional de Infraestructura, 2015).

Ancho de calzada: 5,82 m

Altura de Torres: 15,51 m en la margen izquierda y 12,45 m en la margen derecha

Piso: Metálico y Concreto. Rodadura pavimento flexible.

Materiales: Acero A-33 para estructura metálica

Fijadores: Remaches A-501

CARACTERÍSTICA	MEDIDA
Número de Luces	2
Longitud luz típica (m)	90 y 25
Longitud total (m)	115
Ancho de Tablero (m) (Estructura)	7,2
Ancho de separador (m)	No existe
Andén izquierdo (m)	No existe
Andén derecho (m)	No existe
Ancho de calzada (m)	5,75
Ancho de bordillos (m)	5,75
Altura visible de pilas (m)	6
Altura visible de estribos (m)	6
Altura de pilas (m)	9,7
Altura de estribos (m)	9,7

Tabla 1. Características geométricas del puente

Normativa actual que lo rige: La estructura del Puente Mariano Ospina Pérez, según investigación bibliográfica su construcción data de 1.948 y por una placa en el puente se puede evidenciar que para 1.957, ya estaba construido. Así las cosas, la estructura ha sido revisada y sus reforzamientos han sido diseñados siguiendo los lineamientos establecidos en la Norma Colombiana de Diseño Sísmico de Puentes (CCP 14) en primera instancia y con la Ley 400 de 1997 (Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente – NSR-10) como complemento cuando ha sido necesario y aplicable.

Geometría y tipo de puente

Tipo de puente: Tramo principal colgante en estructura metálica y vigas de rigidez en



celosía. En la margen izquierda se tiene un tramo de aproximación en estructura metálica tipo celosía pony.

Geometría:

- Luz del puente: Tramo colgante de 90 metros y un tramo de aproximación de 25 metros en celosía
- Ancho de calzada: 5,82 Metros bordillos: 0.14 metros c/u
- Altura de torres: 15,51 Metros en margen izquierda y 12. 45 metros en margen derecha.
- Piso: Combinación de metálico y de concreto con capa de rodadura en asfalto
- Materiales: Acero de calidad a-33 para estructura metálica fijadores: remaches a-501

Composición

Vigas principales:

Construidas con dos vigas principales longitudinales de rigidez en perfil prefabricado en alma llena con platinas de refuerzo (atiezadores) dispuestas en forma uniforme en su longitud y unidos mediante soldadura continua en dirección vertical sobre el alma; las secciones de viga unidas mediante platinas de empalme a lado y lado del alma debidamente apernadas; igualmente los patines se encuentran unidos con platinas de empalme y pernos, pintura de acabado esmalte epóxico amarillo y base anticorrosiva epóxica gris.

Vigas longitudinales

Vigas de alma llena prefabricadas y dispuestas en secciones iguales por cada módulo, ancladas con pernos en los extremos a las vigas transversales mediante brochal fabricado en perfil angular de 4" x 4" x 1/4" por 30 cm con perforaciones para perno de 7/8" pasante, permitiendo la continuidad del anclaje de la viga longitudinal subsiguiente y así sucesivamente. Pintura de acabado esmalte epóxido amarillo y base anticorrosiva epóxica gris.



Vigas transversales

Vigas de alma llena prefabricadas y dispuestas en secciones iguales por módulo de sección con platinas de refuerzo (atiezadores) dispuestos en forma uniforme en su longitud y unidos mediante soldadura continua en dirección vertical sobre el alma, unidas a las vigas principales mediante unión soldada con cordón de soldadura continuo.

Arriostrado

Dispuesto en diagonal en forma de X elemento prefabricado con ángulos de 3" x 3" x 3/8" empataados por el borde del ala formando una canal y anclados a la estructura con platinas de acartelamiento de 5/16" debidamente apernadas en la cruceta y en el anclaje a la estructura, pintura de acabado esmalte epóxido amarillo y base anticorrosiva epóxica gris.

Vigas de arco

Vigas de acero curvas prefabricadas tipo cajón en secciones unidas mediante pernos dispuesto exteriormente con flanches, con apoyos para el pendolón debidamente soldados a las vigas de arco, pintura de acabado esmalte epóxido amarillo y base anticorrosiva epóxica gris.

Vigas transversales de arco

Vigas de alma llena genuinas dispuestas en forma uniforme a lo largo de las vigas de arco y ancladas con perno de anclaje a soporte prefabricado sobre las vigas cajón, pintura de acabado esmalte epóxido amarillo y base anticorrosiva epóxica gris.

Arriostrado

Dispuesto en diagonal en forma de X elemento prefabricado con ángulos DE 3" X 3/8" unidos mediante platinas de conexión formando un elemento tipo canal, formado cada módulo con cuatro vigas tipo canal dispuesta en diagonal formando rombos y ancladas con pernos a los soportes soldados tanto a las vigas cajón como a las vigas transversales, pintura de acabado esmalte epóxido amarillo y base anticorrosiva epóxica gris

Pendolones

Elemento de soporte fabricado con dos canales de 8" y unidas mediante platinas en toda su longitud formando un elemento tipo cajón con dos puntos de unión apernados uno en la viga de rigidez y otro en la viga de arco.

Barandas

Baranda fabricada totalmente en canal de 4" x 5.4 lb/pie soldada en todos los puntos de intersección y anclada al bordillo interior del sardinel pintura de acabado esmalte epóxido amarillo y base anticorrosiva epóxica gris.

Apoyo punto fijo en pilas

Estructura de apoyo prefabricada en lámina de acero que sirve de apoyo a la superestructura del puente, pintura de acabado esmalte epóxido amarillo y base anticorrosiva epóxica gris.

Apoyo punto móvil en pilas

Elemento mecánico fabricado con cuatro rodillos de acero dispuestos en dos pistas de deslizamiento permitiendo el movimiento del puente al ser sometido a carga, pintura de acabado esmalte epóxido amarillo y base anticorrosiva epóxica gris.

Puente adicional

Al costado norte se encuentra una estructura metálica simplemente apoyada como puente adicional conformado por tres vigas principales arriostradas con ángulo en toda su longitud así:

Vigas principales

Vigas prefabricadas de alma lleva empataadas mediante unión apernada, con dos apoyos fijos.

Para la elaboración de la valoración estructural del puente se tuvo en cuenta la siguiente información:

Este puente sus apoyos no fueron modificados.

Características de la estructura

Estado general de construcción:

Deterioro avanzado: Entre Noviembre y Diciembre de 2015, presentó falla en una sección de la viga principal derecha y la viga transversal en el mismo punto de unión, producto de la acumulación del estado de fatiga avanzada de la estructura y con riesgo de colapso, por el constante paso de vehículos de carga.

Descripción del deterioro: Se observó un desprendimiento de borde de la capa de rodadura en la margen derecha del Puente, producida por la rotura de un extremo de la sección de la Viga Principal y de una Viga Transversal en el mismo nodo.



Figura 5. Evidencias del deterioro



Figura 6. Fisuras y corrosión de piezas



Información existente: El puente ha sido reparado parcialmente, con frecuencia regular en los últimos años, dado el estado estructural anómalo que evidencia un riesgo alto de fatiga en algunas zonas.

Dadas las condiciones delicadas de uso del Puente Mariano Ospina que hoy cuenta con una restricción vehicular a un carril por resolución con paso controlado uno a uno, evitando una falla súbita del puente, se le han realizado reparaciones reiteradas (Areacucuta, 2018)

Siempre que se atiende un paciente, es importante realizar inspecciones visuales contundentes, pues es el primer examen que bien podría arrojar resultados definitivos para diagnosticar correctamente la enfermedad.

Se pueden utilizar meramente elementos sencillos que nos pueden dar una idea muy general frente a lo que nos encontramos y también nos ayudaría a labrar el camino de inicio, para la formalización de la toma de muestras, que permitan determinar las condiciones de los materiales de la estructura.

Referente a la patología de la construcción, es importante realizar una inspección rutinaria al puente con el fin de verificar el estado superficial y si se presenta algún tipo de manifestaciones inusuales que nos alerten para proceder a realizar los procedimientos respectivos.

No deberíamos esperar a que el paciente se encuentre frente a una carga viral evidente (eflorescencias, grietas, corrosión, deflexiones, desprendimientos, etc.) o frente a enfermedades aceleradas con un grado de progresión a lesión crónica que exija un tratamiento que resulte mucho más costoso y como es del alcance de nuestra propuesta, un nuevo puente.

Constatación del estado del paciente:

Desafortunadamente, en algunos casos, los profesionales que intervienen en estas manifestaciones patológicas constructivas no tienen la formación académica adecuada, ni la



experticia suficiente, y, por supuesto, no sabrán si el procedimiento aplicado al paciente funcionará bien o al contrario generará fatiga o estrés en el mismo. En esencia, no son expertos, sino ingenieros en general que desconocen la dimensión y la agudeza de la enfermedad frente a la que se encuentran (ANI confirma el peaje en la vía Cúcuta-El Zulia, 2005)

Tras el anuncio del “inminente colapso” del puente, el IINVIAS emitió una resolución en la que los vehículos de carga pesada, con una capacidad mayor a 20 toneladas, debían transitar de a uno y sin más vehículos, por sobre el puente (ANI confirma el peaje en la vía Cúcuta-El Zulia, 2005)

Con una inspección visual se puede establecer las condiciones en general del Puente el cual presenta deterioro constante, con necesidades de reparación permanentes como acciones de emergencia.

Aplicación patológica:

Los estudios patológicos integrales requieren de procedimientos que se pueden relacionar con el argot utilizado en la medicina, para lo cual nos referimos a los mismos términos, pues, al fin y al cabo, durante un estudio patológico constructivo, se implementan procedimientos y términos que se manejan comúnmente (Pabón, 2019)

Las construcciones poseen un comportamiento impredecible, que muchas veces corresponde a los resultados de malas prácticas constructivas, desaciertos en la selección y falta de realización de ensayos a los materiales empleados, esto influye en síntomas que pondrían en riesgo la estabilidad de la estructura. Otras veces, las estructuras padecen diferentes enfermedades, inclusive desde el momento de la concepción del diseño mismo, convirtiéndose en un problema de patologías congénitas que, muy seguramente, tendrán repercusiones a edades tempranas de la puesta en servicio (Pabón, 2019)



Para comenzar, es necesario hacer la historia clínica donde se conocen al detalle aspectos los datos del paciente que se complementan mediante una auscultación, con el fin de obtener una información necesaria para la correcta atención posterior (Pabón, 2019)

Dicha historia recoge información que servirá posteriormente como complemento al proceso medico realizado. Esta historia clínica se gesta con el primer episodio de enfermedad.

De igual manera, cuando los patólogos en construcciones visitamos a nuestros pacientes (viviendas, edificios, hospitales, puentes, vías, plantas de tratamiento), realizamos un primer contacto realizando la exploración física de los elementos que conforman su integridad constructiva y lo relacionando, con detalles como edad, época constructiva, norma sismo resistente aplicada en su momento, materiales usados, procedimientos de curado, tipo de acero de refuerzo, etc., referencias que ayudarán en otra etapa del procedimiento patológico.

Una vez que se realiza la primera inspección o investigación preliminar, se solicita exámenes para confirmar y/o rechazar la sospecha de alguna enfermedad detectada con la primera impresión.

En la parte constructiva, de acuerdo con la experiencia y lo recordado en nuestra especialización, se realizarán ensayos que ayudarían también a determinar el padecimiento de nuestros pacientes, confirmando o rechazando el diagnóstico inicial del médico o del patólogo de la construcción, en las estructuras. Pruebas como presencia/ ausencia y tipo de sales, cloro residual en aguas subterráneas, SPT en suelos, resistividad eléctrica del concreto, medición de humedades y temperatura en concreto, presencia de CO₂, análisis de SO₄, permeabilidad magnética en estructuras, entre otros.

A manera de comparación, una biopsia se puede contrastar con la extracción de núcleo en el concreto, mediante el cual se podría determinar las condiciones internas de una estructura. De igual manera, una densitometría ósea no es más que la comprobación de la porosidad dentro de la masa de concreto, la cual ayudaría a determinar la densidad del material y, por supuesto, la durabilidad del elemento estructural, aspecto muy determinante en el control de calidad de este (Castillo, 2011)



El cáncer, puede compararse con la corrosión del acero de refuerzo de las estructuras, pues esta es generada por los agentes atmosféricos agresivos que circundan en el microclima, y que a su vez se diseminan dentro de la estructura, permitiendo la metástasis dentro de la armazón con las consecuencias que ya todos conocemos.

Por otro lado, en la etapa constructiva, a pesar de haber seleccionado unos excelentes materiales, haber aplicado al “pie de la letra” lo consignado en normas o seleccionar al mejor equipo con experiencia en construcción, no puede esperarse que no se presente algún tipo de patologías y se espere el resultado de un paciente asintomático, si no se ha realizado un proceso adecuado de compactación del concreto, si no se han verificado los recubrimientos o la alineación de los elementos estructurales o si no se ha curado de manera eficiente y adecuada.

Vale la pena resaltar que, los buenos materiales y demás bondades previas al colado de una estructura no evitan que resulte algún tipo de lesión en un período corto o largo.

Cuando se presentan estas fallas y nos damos cuenta mucho tiempo después, es necesario recurrir a prácticas que a veces se tornan engorrosas pero que son necesarias para estar tranquilos frente a lo que hemos construido. Es allí cuando seleccionamos los mejores métodos para realizar las pruebas que nos ayuden a identificar o diagnosticar la falla para entrar a solucionar la problemática.

Muchas veces estas fallas se pueden metaforizar con problemas patológicos en el ser humano.

Se refiere, por ejemplo, a un paciente, llámese vivienda o puente, el cual presenta problemas desde su inicio, su puede atribuir esto a una “*patología pediátrica*”, dada la edad en que se presentaron sus manifestaciones o padecimientos.

En cambio, si es un paciente que presenta lesiones a una edad madura, se puede enmarcar en “*patologías adultas*”.

Cuando es una construcción con muchos años (más de 60), se puede cotejar sus dolencias a “*patologías geriátricas*”. Sin embargo, en función de la edad se puede recomendar los mismos



fármacos, pero en diferentes posologías y en diferentes presentaciones.

En el caso de las grietas presentes en la estructura del puente, éstas se deberían atender de acuerdo con el momento en que se presentaron. Es probable que se hayan manifestado a los 10 años, como consecuencia del efecto de una corrosión o a los 20 años por las condiciones atmosféricas en términos de la producción de toneladas de CO₂ por año y que originan procesos de carbonatación.

Las etiologías son diferentes y por supuesto su sintomatología también lo será. En la medicina, cuando encontramos pacientes con sintomatologías diversas (en estructuras, en sistemas hidrosanitarios, en sistemas eléctricos, en el terreno), es necesario convocar a un equipo multidisciplinario para poder resolver las causas y las posibles soluciones, a fin de superar las enfermedades frente a las cuales nos encontramos; similar es el caso de las juntas médicas.

Por lo anterior, la aplicación patológica de nuestra propuesta será Geriátrica y Preventiva; para mantener en uso el puente durante un tiempo perentorio mientras se construye un nuevo puente en cuanto a las condiciones en que se encuentra el puente, se puede suponer:

- Refuerzo de vigas de rigidez
- Mantenimiento. Reparación de los basculantes o disipadores de energía de la viga de rigidez.
- Refuerzo de las columnas de las torres
- Aumento y/o compensación de los cables principales
- Reparaciones generales en elementos deteriorados
- Contrarrestar deformaciones. Construcción de juntas de tracción y de dilatación
- Cambio de losa de piso
- Limpieza y pintura de la estructura

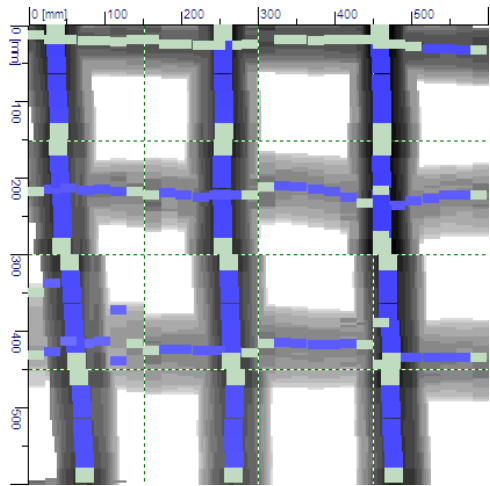
En general, aún nos cuesta mucho creer que el mantenimiento correctivo resulta mucho más costoso que el mantenimiento preventivo y que el predictivo. Se trata de un criterio

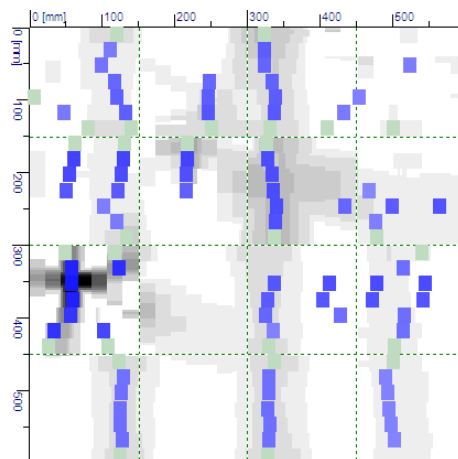
eminentemente cultural, que requiere la conciencia fehaciente de preservar el patrimonio en este caso del Estado, como es la infraestructura vial compuesta también por los puentes, y proteger los activos e inversiones de los ciudadanos como usuarios.

Así las cosas, es importante reconocer la patología en las construcciones como una línea de conocimiento adicional a la ingeniería que nos permita concientizarnos que no debemos poner en manos inexpertas un patrimonio, importante para quien lo tiene a su cargo.

Estado de la estructura

Tabla 2. Tomas de ferroescan

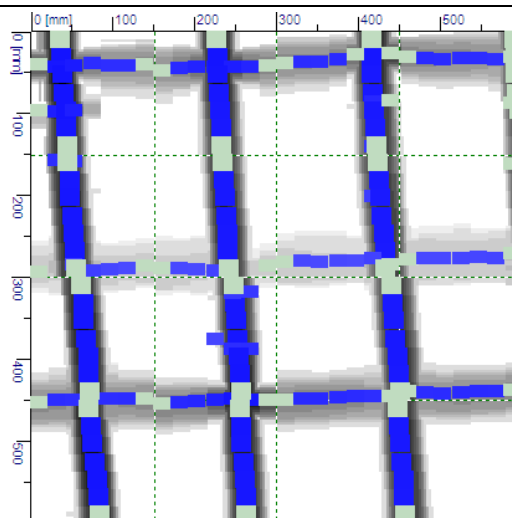
	
Refuerzo transversal: #4C15 Refuerzo Vertical: #8C25	
ALETA	



Refuerzo transversal: No se identifica

Refuerzo Vertical: #6C25

TABLERO



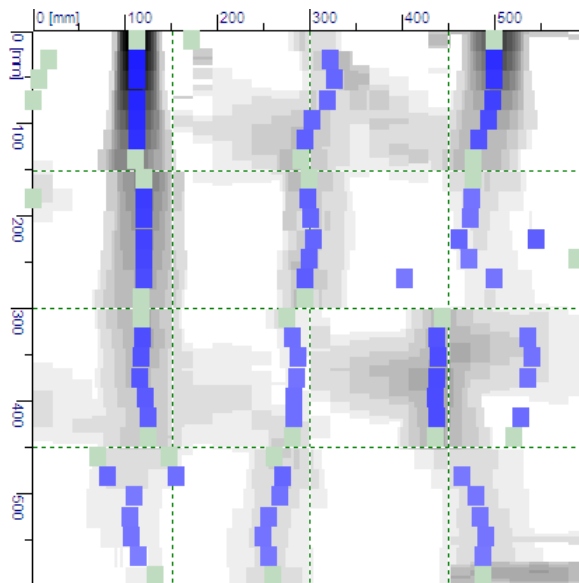
Refuerzo Transversal: #5 C 20

Refuerzo Longitudinal: #8 C 20

VIGA CABEZAL CARA FRONTAL

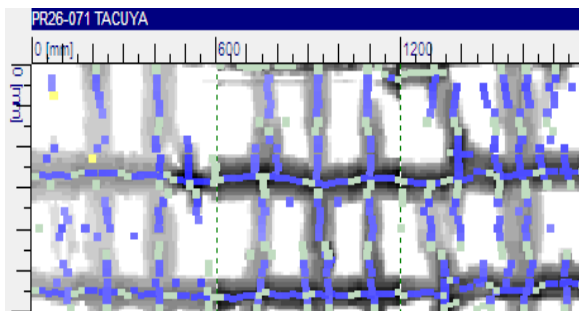


VIGILADA MINEDUCACIÓN - SNIES: 1704



Refuerzo Longitudinal: No se identifica
Refuerzo Vertical: #5C25

PILA



Refuerzo Vertical: #8 C 20
Refuerzo Transversal: #5C30

Ensayo sobre núcleos

Resumen de ensayos de rotura y carbonatación: Se debe aplicar inhibidor de corrosión tipo Sika Ferrogard 903 y protección a la carbonatación tipo SikaColor 555W

Elementos que componen la superestructura:

Vigas principales:

Las vigas principales de la superestructura presentan buen estado en sus elementos estructurales de acero sin presentar daño físico por impactos o sobrecargas observando que la contraflecha de las dos vigas conserva la curvatura de diseño.



Figura 10. Buen estado del material (de la vía) que componen el elemento.



Figura 11. Buen estado del material (acero) que componen el elemento.



Uniones apernadas tanto el patín como del alma en buen estado, tornillos completos y ajustados, platinas de empalme o unión formando un elemento compacto y ajustado, no presenta movimiento al impacto de la carga es necesario realizar una limpieza general a las vigas y reparar la pintura en las secciones que estén afectadas.

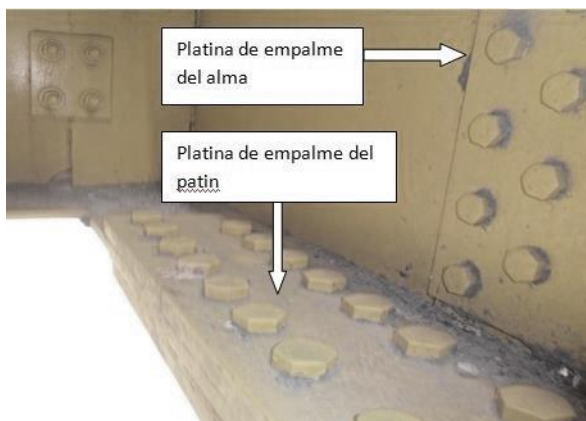


Figura 12. Uniones apernadas

Se inspeccionaron todas las uniones correspondientes a las vigas principales de la superestructura encontrando los materiales en buen estado tanto las uniones en las almas por los dos lados y los empalmes en los patines.

Partes afectadas por efectos del sol, el viento, eses de las aves y roedores deben ser reparadas:



Figura 13. Afectaciones por medio ambiente



Vigas longitudinales

Las vigas longitudinales de la superestructura presentan buen estado en sus elementos estructurales de acero sin presentar daño físico por impactos o sobrecargas.



Figura 14. Vigas longitudinales

Sistema de unión:

Se encuentran dispuestos en cada uno de los extremos dos brochales en ángulo de 4"x4"x1/4" de 30 cm de longitud cuatro orificios para tornillo o perno de 7/8" de diámetro, estos elementos se encuentran soldados, uno en cada extremo de la viga y que sirve como anclaje a la viga transversal.





Reparaciones requeridas:

Debido al esfuerzo cortante a que está sometida esta Unión apernada, se están reventando los tornillos y algunos ángulos fisurados y otros totalmente partidos, lo que está demostrando fatiga del elemento. Existen evidencias de haberse realizado cambio de torillos y de reparaciones de fisuras en los ángulos de 4" x 4" x 1/4".

Evidencias de la inspección:

Se realizaron inspecciones en sitio monitoreando las juntas que trabajan a flexión y contracción como son las uniones de las vigas longitudinales que están dispuestas una a continuación de la otra ancladas al alma de la misma viga transversal utilizando los mismos orificios para los pernos donde se unen a la viga, sitio donde se produce el mayor momento de flexión donde se están cizallando los tornillos por la acción cortante de la carga del puente y que se transmite a través del ángulo que sirve de empalme o soporte de anclaje de las vigas longitudinales a las vigas transversales. También se está presentando rotura total del soporte angular y en otros casos fisuras inicio de una rotura.

Existe evidencia de reparaciones realizadas a las fisuras y roturas soldando el ángulo de soporte dispuesto en forma vertical donde se muestran cordones deficientes y con mala presentación, y se evidencia el cambio de tornillos en algunos de los elementos de unión en donde tenemos que de 56 uniones dobles tenemos 12 con este daño estructural y que a continuación dejamos el registro fotográfico de la evidencia.

En algunos casos existen separaciones totales por efecto de la rotura permitiendo el movimiento oscilatorio del elemento en el instante de la carga.

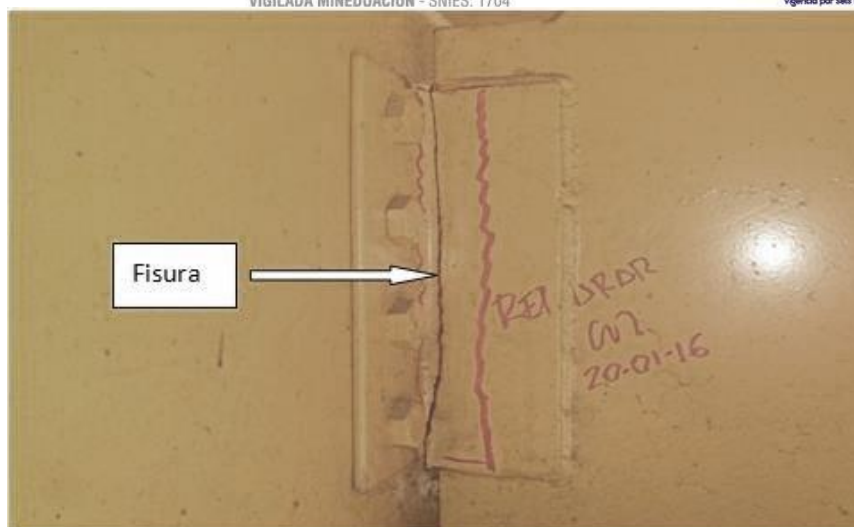


Figura 16. Rotura total ángulo de soporte

Este elemento presenta rotura total del ángulo iniciando su falla de abajo hacia arriba identificando el sitio con mayor flexión en la parte inferior como lo muestra la fotografía, muestra de la fátiga del material lo que demuestra deficiencias en diseño de cargas y flexiones del elemento de anclaje compuesto por ángulo de 4" x 4" x 1/4" por 30 cm de longitud y con cuatro (4) orificios para tornillos de 7/8"



Figura 17. Rotura total abierta en soporte reparado con soldadura

La rotura total a iniciado su movimiento en sentido de la deflexión lo que repercute en aumento de la deflexión total de la estructura de soporte sometiendo a fatiga los elementos en



buen estado que son los absorbiendo este momento.



Figura 18. Soporte en buen estado



Figura 19. Detalle del soporte



Figura 20. Rotura de perno por cizallamiento, evidencia del corte del elemento sometido a cortante



Figura 21. Evidencia de cambio de pernos



Figura 22. Tornillo grado 5 alta resistencia instalado



Figura 23. Evidencia del punto de fatiga parte inferior del diámetro del tornillo donde se inician el momento de cizallamiento



Figura 24. Evidencias rotura de pernos



Figura 25. Evidencia de dos cortes de pernos en sitio

En la Figura 25, se encuentra que en la *toma uno* presenta cizallamiento en la parte inferior de la cabeza del tornillo que corresponde al anclaje de un lado de la viga longitudinal a la viga transversal y la *toma dos* presenta cizallamiento en la parte posterior donde se encuentra la tuerca que corresponde a la otra cara del alma de la viga transversal, lo que nos deja claro que el cizallamiento se presenta en los dos lados del anclaje apernado.



Lo anterior evidencia que los daños presentados en estos elementos de unión se deben a la fatiga por cizallamiento y efectos de deflexión en el punto de anclaje de los elementos que los componen como el soporte en ángulo de 4" x 4" x 1/4" que va soldado a la viga longitudinal y apernado a la viga transversal y los tornillos de 7/8" x 3,1/2" rosca ordinaria grado 5 con tuerca y arandela; lo que se hace necesario revisar inmediatamente el diseño de esta junta en donde nos permita (por las evidencias) vistas en sitio y la patología presentada en cambiar los ángulos de soporte por uno más resistente que asuman la deflexión a que están expuestos, igualmente se debe de calcular el tipo de tornillo diámetro y resistencia a fin de que este pueda absorber sin colapsar el momento de cizallamiento del elemento. Esta reparación se debe de realizar de forma inmediata.

Debido a que las uniones que están trabajando asumen estas cargas del momento de flexión *sobrecargando los elementos* y expuestos a daño o rotura lo que disminuiría la resistencia del puente en cualquier momento de su uso disminuyendo las cargas de diseño en forma gradual y en efecto ascendente poniendo en peligro inminente la estabilidad de la estructura.

Reemplazo de soportes angulares:

Se deben realizar con procedimientos calificados las soldaduras de estos elementos serán sometidas a tensiones altas por lo tanto se deben realizar bajo la norma AWS con soldadores y procesos calificados, al igual que los orificios deben de realizarse con procesos mecánicos y con las tolerancias permitidas en las normas al igual que el torque que se les debe de aplicar a los pernos.

Vigas transversales

Las vigas transversales se encuentran en buen estado, observando buen comportamiento de las uniones de anclaje apernadas y soldadas a las vigas principales de rigidez y el estado de la pintura de acabado que presenta muy pocos daños por efecto de filtraciones de elementos contaminantes filtrados a través de la placa de concreto.



Figura 26. Viga transversal

Unión soldada y apernada a la viga de rigidez buen estado de la pintura se requiere de labores de mantenimiento y limpieza para evitar el deterioro de la capa de recubrimiento del acero



Figura 27. Uniones



Figura 28. Vista viga transversal y atiesadores de refuerzo

Arriostrado: Las riostras dispuestas en diagonal formando X de los módulos de sección compuestos por las vigas transversales y las vigas principales de rigidez se encuentran funcionando en forma correcta y todos sus elementos que la componen como ángulos y uniones apernadas están en buen estado. Requieren limpieza y retoques a la pintura en sectores pequeños.



Figura 29. Riostras



Figura 30. Riostras de vigas transversales

Vigas



Figura 31. Vigas laterales

Se encuentran en buen estado de funcionamiento, la pintura de acabado presenta deterioro en las partes planas de las vigas lo que se hace necesario la reparación de la pintura de acuerdo con las normas NTC.



La viga de rigidez transversal dispuestas al inicio y final por su disposición produce empozamiento de agua presentado deterioro de la pintura base y acabado en toda el área de sección expuesta; para esta corrección es necesario hacer dos orificios de 50 mm (milímetros) uno a cada extremo del elemento con el fin de permitir la evacuación del agua, una vez realizado es necesario realizar las labores de limpieza y aplicación de pintura base y acabado de acuerdo a las normas NTC.



Figura 32. Evidencia deterioro de canaletas



Figura 33. Corrosión en canaletas



Arriostrado: En el momento de la inspección los materiales de arriostrado de las vigas se encuentran en buen estado, los puntos de anclaje apernados presentan buen comportamiento y se encuentran ajustaos.



Figura 34. Riostras de vigas laterales

Pendolones

En el momento de la inspección los materiales presentan buen estado, al igual que los puntos de unión del pendolón tanto a las vigas de rigidez como a las viga de arco, las uniones se encuentran ajustadas presentando buen comportamiento en el momento de las cargas, se requiere de labores de limpieza y reparación de pinturas en puntos donde se encuentra deteriorada la pintura con signos de oxidación primaria.



Figura 35. Estado de pendolones



Figura 36.. Anclaje del pendolón a la viga de rigidez

Barandas

En el momento de la inspección las barandas presentan buen estado de los materiales que la componen, las uniones soldadas se encuentran en buen estado, la gran mayoría de la superficie de los materiales canal de 4" se encuentran manchados con aceite, efectos del esmog emitido por



los vehículos y el rose en los pasamanos presentando puntos aislados de oxidación



Figura 37. Apoyo de barandas

Pasamanos de las barandas en varios puntos presenta brotes de oxidación se debe de reparar con limpieza mecánica de acuerdo con la norma.



Figura 38. Brote de corrosión

En el momento de la inspección presenta buen comportamiento mecánico al ser sometido a carga, se deben de realizar ajustes como el cambio de pernos y lubricación, realizar las labores de mantenimiento de limpieza y pintura, la limpieza de este punto es fundamental ya que la suciedad y la presencia de elementos solidos pueden obstruir el buen trabajo de este elemento.



Figura 39. Apoyo punto móvil en pilas

Se debe de realizar el mantenimiento al sistema de rodamiento ya que los pernos centrales están a punto de ser expulsados



Figura 40. Evidencia de pernos a punto de ser expulsados

El área de trabajo de este módulo debe de estar libre de escombros y basuras, la obstrucción de este mecanismo perjudica el trabajo de deflexión del puente.



Figura 41. Áreas de trabajo de rodadura con escombros

Punto fijo en pilas

El punto fijo está en buenas condiciones sus materiales se encuentran en buen estado y el punto se encuentra trabajando bien con la pantalla.



Figura 42. Puntos fijos de pilas

Puente adicional

Puente adicional ubicado al norte y continuo al puente; es un puente simplemente apoyado sobre pilas de concreto compuesto por tres vigas longitudinales de alma llena y arrostramiento en ángulo, el puente en todos sus componentes se encuentra en buen estado tanto los materiales de acero que lo componen con los acabados de pintura.



Figura 43. Buen estado del puente adicional

Uniones apernadas: Las uniones apernadas se encuentran en buen estado, ajustadas y con buen acabado



Figura 44. Uniones apernadas

Diagnóstico general de la estructura y de las causas de lesiones más relevantes.

Datos específicos de las lesiones

Afectaciones: Adicional a las condiciones de carga, también es una desventaja la velocidad con la que entran los vehículos pesados al puente, que genera un factor de impacto mayor para el diseño del puente y su refuerzo; el efecto se ve reflejado sobre los ángulos de las juntas de dilatación.

El deterioro en el tablero del puente y el impacto al paso de la carga aumenta el deterioro en la

estructura completa (alto riesgo de falla por fatiga y fractura). La fatiga es usualmente un problema invisible. El material desarrolla grietas en su microestructura que conllevan a una falla por fractura súbita.

El refuerzo del puente no es garantía mientras no se cumpla la resolución vigente (un solo vehículo pesado sobre el puente).

Localización y levantamiento de daños:

Desprendimiento de borde de la capa de rodadura en la margen derecha del puente. Se pudo determinar que la falla se produjo por la rotura de un extremo de la sección de la viga principal y de una viga transversal en el mismo nodo, tal como se muestra:



Figura 45. Descascaramiento

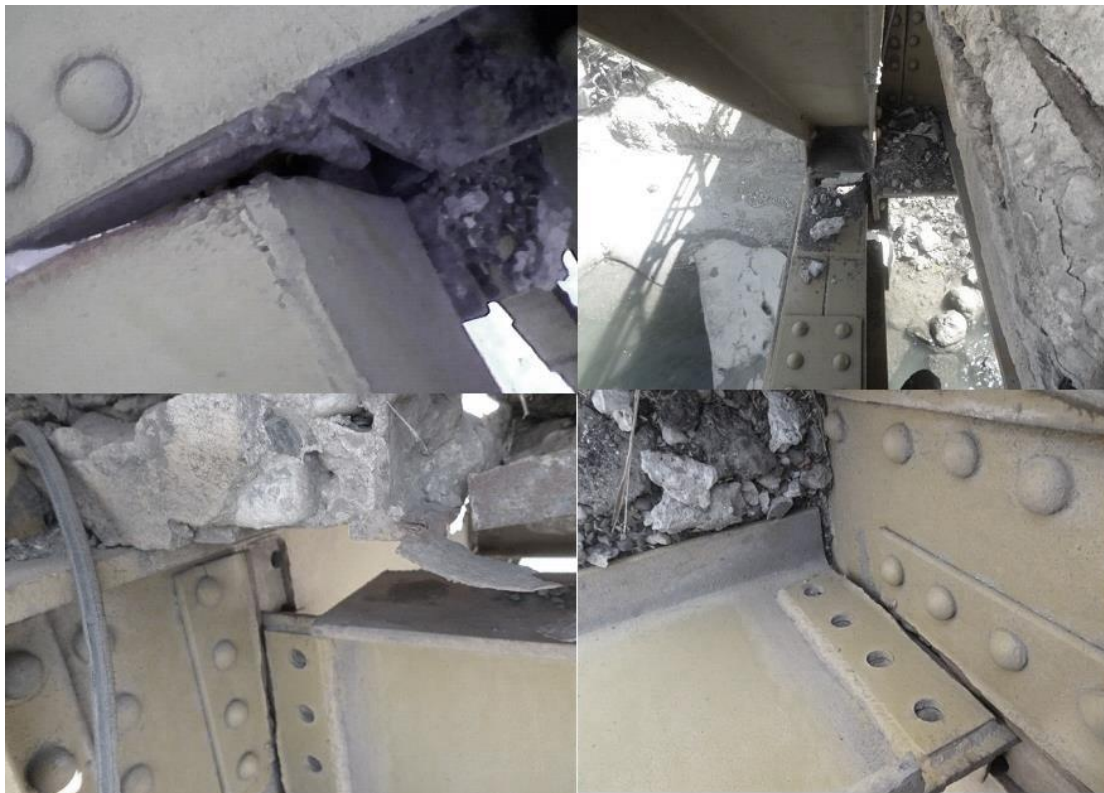


Figura 46. Falla por rotura en el nodo de viga

Evaluación física y mecánica y composición y estructura del concreto y/o materiales:

Vigas, largueros y diafragma. Presenta corrosión química (biogénica). Aletas de vigas y conexiones entre largueros y vigas corroídas.

Humedad con material limoso y consistencia grasosa que facilitan el medio corrosivo (vigas y diafragma).



Figura 47. Daños en vigas, largueros y diafragma



Figura 48. Corrosión de soldaduras y tornillos reemplazando conexiones.



Figura 49. Conexiones de cerchas de rigidez. Obstrucción por acumulación de tierra, basuras y otros materiales.



Figura 50. Remaches sin cabeza y reemplazo con pernos donde originalmente existían remaches.

Elementos rectos de armadura. Corrosión y refuerzos con soldaduras y pernos

Algunas partes de la viga de rigidez y las torres son afectadas por sobreesfuerzos que son contrarrestados con las láminas de acero estructural (A-36) adheridos a las secciones existentes mediante soldaduras de electrodos revestidos (E70XX).

Deformaciones por encima de las admisibles. Aumentar el número de cables para disminuir la elástica del puente y disminuir las deformaciones.

La repotenciación realizada permite contar con un lapso de vida útil de cinco años más en servicio, de los cuales ya se cuenta uno.

El Puente Mariano Ospina hoy cuenta con una restricción vehicular a un carril por resolución con paso controlado uno a uno, evitando una falla súbita del puente.



Figura 51. Barandas como largueros adosados a la viga de rigidez

Evaluación física y mecánica y composición y estructura:

Análisis del TPD: Nivel soportable de esfuerzos de fatiga equivalente al 50 % del esfuerzo de la fluencia.

Siguiendo el procedimiento descrito en AASHTO, considerando elementos y conexiones de los Tipos D y E para evitar la fatiga en un periodo de 75 años el TPD no debe ser mayor que 1.875 vehículos. Haciendo una proyección desde 62 años atrás hasta la fecha de la información de TPD, obtenida de INVIAS, para los últimos 10 años, se estima que el Puente lo han cruzado unos 45 millones de vehículos. Según el estimado del método AASHTO la falla podría producirse si en 75 años circulan más de 50 millones de vehículos. Haciendo una regla de tres, se observa que, con el tráfico actual, en teoría el puente estaría a punto de colapsar por fatiga.

Composición: Vigas principales, Vigas Trasversales de piso, Vigas longitudinales de piso,



Arriostrado, Rigidizadores, Losa de Concreto, Macizos de Anclaje, Fiadores y Cables:

Macizos de Anclaje: Se encuentran en buen estado. No se presentan fisuras o grietas en la zona anclajes.

Fiadores e inicio de Cables Originales y de Refuerzo: Los fiadores se encuentran en buenas condiciones, el cono relleno de Zinc donde se encuentran encastrados los cables no presentan fisuras o desprendimiento de material.

Los cables no presentan rotura de torones, como tampoco se observa un distensionamiento de los mismos.

Basculantes: Se encuentran en buen estado y no presentan desgaste en los pasadores, por lo que su comportamiento estructural es satisfactorio.



Figura 52. Estado de basculantes



Figura 53. Basculantes

Pendolones: Conservan su perpendicularidad

Vigas Principales: Se encuentran en buenas condiciones y por lo tanto su comportamiento estructural es satisfactorio. Aún conservan parte del cámbier (contraflecha) original.

Refuerzo: No se presentan soldaduras rotas.



Figura 54. Refuerzo colocado diagonales



Vigas Longitudinales de Piso: Se encuentran en buen estado. No se presentan fisuras en los ángulos de unión entre vigas longitudinales y transversales. Las láminas colocadas para dar soporte adicional a las vigas longitudinales presentan un buen comportamiento estructural.

Vigas Transversales de Piso: Se encuentran en buen estado. No se presentan pérdida de tornillos o fisuras en los ángulos de unión con la viga de rigidez.

Arriostramiento: En buen estado

Soldaduras: Todas se encuentran en buen estado

Juntas de Dilatación y Construcción: Los ángulos metálicos de las juntas de dilatación y construcción se encuentran en buen estado. Se evidencia que estos ángulos están sujetos a la estructura.

En la junta de dilatación de la torre de la margen izquierda del Puente - aproche del lado de Zulia, se genera un desprendimiento de concreto, que se repara con grout, para evitar un mayor desprendimiento del mismo, que termine afectado toda la junta de dilatación (proceso de 15 horas incluida la nivelación de la losa del aproche con pavimento entre el pavimento existente y el concreto de la junta de dilatación).

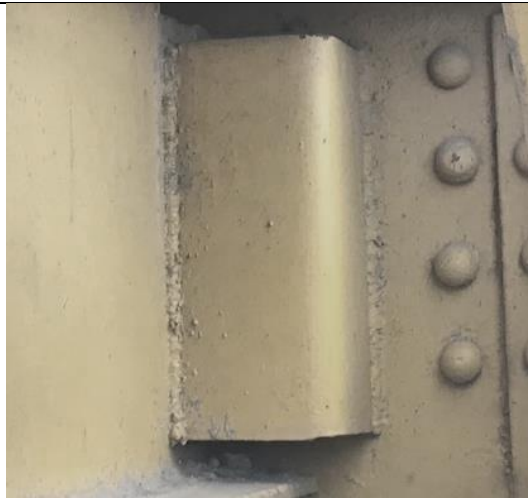
Ante la rotura de la cinta inferior de la viga de rigidez de la margen izquierda aguas abajo, para evitar la cancelación de servicio del puente, se realizó la reparación pertinente; mediante la reparación de la junta de dilatación en la torre de la margen izquierda para evitar la rotura total de la misma.



Tabla 3. Imágenes de estado del puente

	
	
MACIZO DE ANCLAJE PARA REFUERZO MARGEN IZQUIERDA AGUAS ARRIBA	MACIZO DE ANCLAJE PARA REFUERZO MARGEN IZQUIERDA AGUAS ABAJO
	



MACIZO DE ANCLAJE PARA REFUERZO MARGEN IZQUIERDA AGUAS ARRIBA	MACIZO DE ANCLAJE PARA REFUERZO MARGEN IZQUIERDA AGUAS ARRIBA
	
DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL EN JUNTA DE DILATACIÓN JUNTO A LA TORRE DEL LADO ZULIA	DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL EN JUNTA DE DILATACIÓN JUNTO A LA TORRE DEL LADO ZULIA
	

Vulnerabilidad sísmica

Dentro de las principales problemáticas del Puente Mariano Ospina Pérez, se encuentra que su funcionamiento actual es bidireccional pero sólo permite la circulación de un vehículo a la vez y que la zona sufre de alta accidentalidad dado el flujo vehicular que actualmente presenta la vía por ser tan cercano a la ciudad de Cúcuta.

Teniendo en cuenta el análisis integral, la parte central es inestable ya que está afectada por actividades mineras que ocasionan la desestabilización de los taludes y aumenta la amenaza de generar procesos de remoción en masa; en los extremos oriental y occidental se encuentran zonas parcialmente estables donde predominan los procesos de sedimentación y algunos fenómenos de remoción en masa de tipo puntual y de origen antrópico; los terrenos totalmente inestables se encuentran asociados a los drenajes donde la constante dinámica hídrica genera terrenos susceptibles a procesos de remoción en masa.

Análisis evaluativo

El Puente se encuentra ubicado en el departamento de Norte de Santander sobre el río Zulia, la estructura está conformada como tipo colgante de 115 metros aproximadamente de longitud, correspondiente a un vano principal de 90 metros y un aproche de 25 metros, su carga viva de revisión corresponde a los trenes de carga.

La superestructura corresponde a dos (2) vigas en Celosía o de rigidez prefabricadas a partir de perfiles y ángulos soldados en taller y separadas a 6.70 metros para soportar las vigas transversales y estas a su vez soportar las vigas longitudinales, con un ancho de tablero de 6.26 metros en concreto reforzado de espesor 13 cm, incluida la capa de rodadura.

Normas de diseño

Consideraciones de revisión superestructura

La revisión de los elementos de acero estructural se desarrolló con base en los siguientes supuestos:

Teoría de diseño

Siguiendo los lineamientos de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes – LRFD – CCP-14, la Norma Colombiana de Diseño Sísmico de Puente CCP-200 y las especificaciones americanas de la A.A.S.H.T.O LRFD 2012.

Carga muerta

La carga muerta la constituye el peso propio de todos los componentes del puente incluyendo vigas de rigidez, vigas transversales, Cable principal, pendolones, Elementos de arriostramiento, etc.

Carga viva

Para la verificación del puente y análisis de su refuerzo se tuvo en cuenta la distribución del siguiente tren de carga sobre el vano colgante:

DT: Doble Troque (40.0 Ton.)

H15: Camiones H-15 (13.6 Ton.)

TM: Tracto Mula (52.0 Ton.)

DT + H15+H15+TM+TM+H15+H15+DT – En el Vano Colgante

TM – En el Aproxche.

Las condiciones anteriores de carga se multiplicaron por sus respectivos factores de impacto definidos por el CCP-200 y se consideraron totalmente centrados transversalmente.

Cargas dinámicas

Para el análisis de la carga dinámica de la estructura se tomaron Veinticinco (20) modos de vibración para el análisis respectivo y así cumplir que por lo menos el 90% de la carga muerta participe dentro del análisis.

Cargas sísmicas

Para la evaluación sísmica de todos los elementos estructurales constitutivos se utilizó el *espectro de diseño* dados en la sección A.3.5.2.5. y según los siguientes supuestos:

- Coeficiente de Aceleración $A = 0.35$
- Coeficiente de Sitio $S = 1.50$ (Asumido, mínimo CCP-200)
- Clasificación por importancia II (Puentes Importante)
- Categoría de comportamiento Sísmico : CCS-C – Método PAS-S

El diseño de los puentes se basó en los criterios establecidos en las siguientes Normas de diseño:

- Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes (CCP-14)

- Bridge Design Specification 2012 (AASHTO LRFD)
- Guide Specifications for Design and Construction of Segmental Concrete Bridges 2a Ed. 1999 (AASHTO)

Materiales

Concretos

Para el análisis y diseño de los elementos estructurales se utilizó concreto con un peso volumétrico de 2.4 ton/m³.

La resistencia a compresión del concreto es:

- | | | |
|--------------------------------|---------------------|-----------------------|
| - Vigas Pre-esforzadas | $f'_c=35\text{Mpa}$ | 350Kg/cm ² |
| - Tablero del puente: | $f'_c=28\text{Mpa}$ | 280Kg/cm ² |
| - Estribos, aletas y muros: | $f'_c=21\text{Mpa}$ | 210Kg/cm ² |
| - Barreras, andenes y pilotes: | $f'_c=21\text{Mpa}$ | 210Kg/cm ² |

Módulo de Elasticidad: para efectos de análisis y diseño estructural se tomó un módulo de elasticidad del CCP-14:

$$E_c = 0.043W^{1.5}\sqrt{f'_c}$$

El coeficiente de expansión térmica $\alpha = 0.0000108^\circ\text{C}$

La relación de Poisson $\mu = 0.2$

Los parámetros para análisis de Flujo Plástico y Retracción por fraguado son los

recomendados por Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes.

Acero de refuerzo

- Esfuerzo de fluencia $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$ (420MPa)
- Módulo de elasticidad: $E_s = 2.04 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$

Acero Estructural A588 (Acero Corten)

- Esfuerzo de fluencia $f_y = 345 \text{ MPa}$
- Módulo de elasticidad $E_s = 200000 \text{ MPa}$

Evaluación de cargas

La evaluación de cargas definidas para la estructura son las establecidas en el CCP-14.

Cargas Permanentes

- **Cargas muertas (DC, Dw y EV):** La carga muerta debe incluir el peso de todos los componentes de la estructura, accesorios e instalaciones de servicio unidas a la misma, futuras sobrecargas y ensanchamientos previsto. Para este cálculo se tiene en cuenta el peso específico del concreto reforzado 2.40 ton/m³.
- **Cargas de suelo (EH, ES y DD):** Dentro de este grupo de encuentran las cargas correspondientes e empuje del suelo, sobrecarga de suelo y fricción negativa, se calculan siguiendo lo establecido en el artículo 3.11 del CCP-14.

Cargas Vivas

Cargas gravitacionales (LL y PL)

Carga Viva Vehicular: la carga viva vehicular de diseño debe consistir en una combinación de:

Cada carril de diseño bajo consideración debe estar ocupado por el camión o tándem de diseño, coincidente con la carga de carril, donde sea aplicable. Debe suponerse que las cargas ocupan 3.0m transversalmente dentro del carril de diseño

Camión de diseño: el peso y el espaciamiento de los ejes y de las ruedas se indican en la siguiente figura, se debe considerarse una amplificación de carga dinámica.

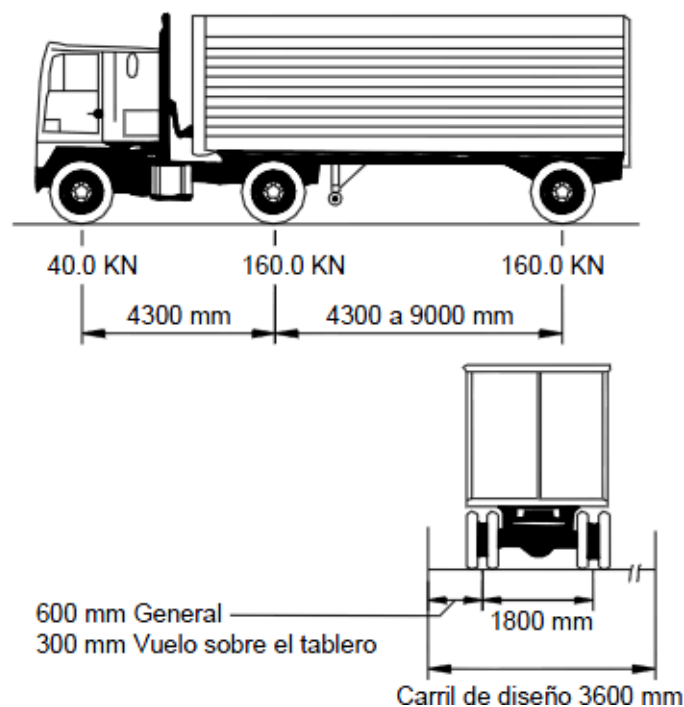


Figura 55. Camión de Diseño

El espaciamiento entre los dos ejes de 160 KN debe variarse entre 4.3m y 9.0m para producir efectos extremos de fuerza.

Tándem de diseño: debe consistir en un par de ejes de 125 KN separados 1.2m entre sí. El espaciamiento transversal de las ruedas debe tomarse como 1.8m. Debe considerarse una amplificación de carga dinámica.

Carga de carril de diseño: La carga de carril de diseño debe consistir en una carga de 10.3 KN/m uniformemente distribuida en la dirección longitudinal. Transversalmente, la carga de carril de diseño debe suponerse uniformemente distribuida sobre un ancho de 3.0m. Estas fuerzas no deben someterse a una ampliación de carga dinámica.

Cargas Peatonales: debe aplicarse una carga peatonal de 3.6 KN/m² a todas las aceras de más de 0.60m de ancho considerada simultáneamente con la carga vehicular de diseño en el carril para vehículos.

- Amplificación por Carga Dinámica (IM): Los efectos estáticos del camión o tándem de diseño, diferentes a fuerzas centrífugas y de frenado deben ser amplificados por carga dinámica. El valor que se aplique a la carga estática debe tomarse como: $(1 + IM/100)$.

Tabla 4. Amplificación con Carga Dinámica IM

Componente	IM
Juntas de tablero – Todos los estados limite	75 %
Todos los demás componentes:	
Estado límite de Fatiga y Fractura	15 %
Todos los demás estados limite	33 %

Fuerza de frenado (BR)

La fuerza de frenado debe tomarse como la mayor de:

- El 25% del peso de los ejes del camión o tándem de diseño
- 5% del camión de diseño más la carga del carril o 5% del tándem de diseño más la carga de carril

Esta fuerza de frenado debe colocarse en todos los carriles de diseño que se consideren cargados y que llevan tráfico en la misma dirección. Se debe suponer que estas fuerzas actúan horizontalmente a una distancia de 1.80m por encima de la superficie de la calzada en cualquier dirección longitudinal para causar fuerzas extremas.

Carga de Viento (WL y WS)

Presión Horizontal de viento: Debe asumirse que las presiones especificadas aquí son causadas por una velocidad de viento básica de diseño, VH, de 160 Km/h (100mph). La carga de viento de debe suponer uniformemente distribuida sobre el área expuesta al viento. El área expuesta debe ser la suma de las áreas de todos los componentes, como se ven en una vista en alzada perpendicular a la dirección supuesta del viento.

Tabla 4. Presiones básicas para una VB = de 160 Km/h (100mph)

Componentes de la Subestructura	Carga de Barlovento (MPa)	Carga de Sotavento (MPa)
Cerchas, columnas y arcos	0.0024	0.0012
Vigas	0.0024	NA
Superficies grandes planas	0.0019	NA

La carga total no debe ser menos de 450 Kg/m.

Presión de viento sobre vehículos WL: las cargas de viento de diseño deben aplicarse a la estructura y a los vehículos, cuando éstos están presentes. La presión de viento sobre los vehículos debe representarse por una fuerza móvil interrumpible de 1.46 KN/m actuando perpendicularmente a 1.8m por encima de la calzada y debe transmitirse a la estructura.



Tabla 5. Componente de viento sobre carga viva

Ángulo de desviación (Grados)	Componente Perpendicular (KN/m)	Componente Paralela (KN/m)
0	1.461	0.000
15	1.286	0.175
30	1.198	0.351
45	0.964	0.468
60	0.497	0.555

Presión de viento vertical: Se debe considerar una fuerza de viento longitudinal lineal en dirección vertical, hacia arriba, obtenida de multiplicar 0.96 KPa por el ancho del tablero, incluyendo parapetos y aceras. Esta carga se aplica solo en los estados límite de Resistencia III y de servicio IV que no involucran viento sobre carga viva, y solamente cuando la dirección del viento se supone perpendicular al eje longitudinal del puente.

Presión del Suelo (EH, ES, LS y DD)

- Presión Lateral del suelo (EH): es linealmente proporcional a la profundidad del suelo

$$p = \gamma_s z$$

p: presión lateral del suelo

k: coeficiente de presión lateral del suelo

γ_s : peso unitario del suelo (kN/m³)

z: profundidad del suelo bajo la superficie (mm)

- Cargas de sobrecarga (ES, LS): debe ser el mayor de:
 - Las sobrecargas o presiones sin mayorar multiplicadas por el factor de carga especificado, ES
 - Las cargas mayoradas para la estructura aplicadas al elemento estructural y que causan la

sobrecarga, estableciendo ES igual a 1.0.

Sobrecargas uniformes ES: debe añadirse una presión de suelo horizontal constante a la presión básica de suelo.

$$\Delta_p = k_s q_s$$

Δ_p : presión de suelo horizontal constante debida a la sobrecarga uniforme

k_s : coeficiente de presión de suelo debido a sobrecarga

q_s : sobrecarga uniforme aplicada a la superficie superior de la cuña activa de suelo (MPa)

- Sobrecarga por carga viva LS: debe aplicarse donde se espere carga vehicular sobre la superficie del relleno dentro de una distancia igual a la mitad de la altura del muro desde el respaldo del muro. Puede estimarse como:

$$\Delta_p = k \gamma_s h_{eq} \times 10^{-9}$$

Δ_p : presión de suelo horizontal constante debida a la sobrecarga por carga viva (MPa)

k : coeficiente de presión lateral del suelo

γ_s : peso unitario total del suelo (kN/m³)

h_{eq} : altura equivalente de suelo para carga vehicular (mm)

Efectos Sísmicos (EQ)

Los puentes se deben diseñar para que tengan una baja probabilidad de colapso, pero se admite que puedan sufrir daño significativo e interrupción del servicio cuando se sometan a movimientos sísmicos del terreno.

ANÁLISIS, DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN.

Alternativa de repotenciación

El puente fue inaugurado en agosto de 1950 para la conectividad de la región, ya que esta región es la despensa agrícola de la capital.

Se efectuaron cálculos para un estado de carga viva, idealizado de acuerdo con monitoreos en el puente. Se trata de una composición de camiones de 14 toneladas (buses, camiones 600), 40 toneladas (volquetas dobles truck) y 52 toneladas (tractomulas) así:

Un camión doble truck -dos camiones de 14 ton- dos tractomulas -dos camiones de 14 toneladas- un camión doble truck.

Se recomendó colocar avisos sobre el particular, en las entradas del puente, que indicaran “sólo una tractomula dentro del puente”.

Se estableció que algunas partes de la viga de rigidez y las torres presentan sobreesfuerzos. Estos sobreesfuerzos se contrarrestarán mediante el reforzamiento con láminas de acero estructural de calidad A-36 adheridos a las secciones existentes mediante soldaduras de electrodos revestidos de calidad E70XX.

Las deformaciones calculadas del puente se encontraron muy altas, muy por encima de las admisibles. Consideramos que la razón del valor de estas deformaciones obedece a la carga que se estableció para el cálculo de la repotenciación y que corresponde a una carga que, aunque poco frecuente, se presenta sobre la estructura y a la necesidad de aumentar el número de cables para disminuir la elástica del puente colgante.

Se aumentó entonces el número de cables dando así mayor capacidad a la estructura y disminuyendo al 50 % las deformaciones. No fue posible disminuir más estas deformaciones, que, aunque un poco altas, consideramos que no representan problema teniendo en cuenta que la

estructura conserva un buen porcentaje del cámbier original con que fue construido.

La estructura del tramo de aproximación no se incluyó, en el cálculo teniendo en cuenta que fue reforzada en años anteriores para camión C-40-95, el cual cubre la carga de diseño propuesta. Esta estructura se encuentra en perfectas condiciones y en momento alguno ha presentado deterioros.

No se incluyó en el estudio los elementos de la infraestructura, considerando la imposibilidad de conocer el tipo y dimensiones de la cimentación. Por otra parte, el aumento de carga viva es despreciable frente a la suma de cargas muertas, más peso propio de elementos de apoyo, más rellenos, más cargas vivas originales.

El macizo de anclaje de cables nuevos se ha calculado en forma preliminar teniendo en cuenta que se desconoce la geometría del existente.

Dictamen del estado general de la estructura.

De acuerdo con los estudios elaborados sobre el puente Mariano Ospina Pérez, del estado actual puede inferirse que la estructura se encuentra en riesgo de falla por fatiga y fractura.

El riesgo de falla y fractura puede asimilarse a una enfermedad silenciosa en este caso a la estructura del puente.

El término fatiga describe un estado de cansancio por repetición excesiva de un trabajo. En efecto, dado el alto número de vehículos pesados que transitan sobre el puente es de suponer que la estructura está altamente fatigada por sus más de 60 años al servicio y por lo menos, 30 de ellos al servicio de cargas por encima de las cargas con que posiblemente fue diseñado.

Las inspecciones que se le han realizado a la estructura aparentemente no muestran agrietamientos por el fenómeno, lo cual no quiere decir que la fatiga no haya sobre esforzado a la estructura, pues cuando las grietas aparecen la estructura podría estar en por colapsar.

La fatiga es un proceso de agrietamiento progresivo que culmina en la fractura del material

sujeto a cargas repetitivas o fluctuantes, cuyo valor máximo es inferior a la resistencia tensil.

Es usual tomar un nivel de esfuerzo de menos del 50% del valor de fluencia como esfuerzo tolerante en fatiga, es decir, que se espera que el elemento se pueda someter a infinitas repeticiones de bajos esfuerzos sin causar fallas en su estructura interna.

Si bien la fatiga es usualmente un problema invisible, el material desarrolla grietas en su microestructura que llevan al final a una falla por fractura usualmente súbita. Esto implica que es urgente considerar la posibilidad de reemplazar el puente existente. Cada vehículo, sin importar su peso, que cruza el puente adiciona repeticiones por su mismo peso y por la vibración que impacta al puente y es evidente.

Propuesta de intervención para la edificación en general y cada una de las lesiones típicas o procesos patológicos identificados.

Debido a la historia de carga que ha soportado el puente durante los más de 60 años de servicio, en los cuales ha excedido su oferta de resistencia y rigidez, con alta frecuencia de esfuerzos bajos y el consiguiente riesgo de fluencia en unos elementos y fatiga en otros, es pertinente realizar evaluaciones sistemáticas a los elementos más importantes que se piensa pueden diseñarse para el nuevo puente. Parte importante de avance de trabajo consiste en revisar y analizar el estado del puente de cara a su longitud mayor a los 60 metros y que de acuerdo con la investigación, no se cuenta con planos iniciales de diseño que permitan un análisis detallado del estado para predecir el comportamiento bajo las cargas en general, principalmente las vivas y las sísmicas que se pueden llegar a presentar según la normatividad vigente en el país, con las cuales se diseñará el nuevo puente.

Especificaciones y procesos detallados para la ejecución de la intervención.

El puente está localizado en la carretera que de Cúcuta conduce a Puerto Santander en Norte de Santander, más exactamente en el PR13+500. Conformado por una estructura colgante de 90 m de longitud entre torres y un tramo de acceso de 25 m constituido por dos celosías laterales

metálicas de tablero inferior; el otro tramo de acceso está formado por un terraplén contenido longitudinalmente por la estructura de concreto que sirve de apoyo a la torre localizada en ese costado.

La infraestructura consta de dos torres metálicas que se apoyan sobre pilas en concreto que transmiten las cargas a estratos cuyos niveles de desplante se desconocen; los estribos son también en concreto, aparentemente contruidos en concreto simple.

Los cables que soportan el tablero mediante pendolones se apoyan en las torres y se anclan a macizos.

El Puente presenta alto grado de vulnerabilidad creciente en los últimos años, lo cual lleva a que la única solución sea el reemplazo por una estructura nueva.

Analizado el estado de los elementos constitutivos del puente, existe una clara imposibilidad de clasificar los materiales para conocer las resistencias que lleva a suponer que son de baja capacidad. Igual sucede con las soldaduras de reparación y los defectos de los pernos de anclaje.

El problema más grande que tiene la estructura es la fatiga; las inspecciones no muestran aparentemente agrietamientos por el fenómeno, lo cual no quiere decir que la fatiga no haya hecho mella al puente, pues cuando las grietas aparecen la estructura ya está en vísperas del colapso.

Teniendo en cuenta lo consignado y estudiando las posibilidades de solución, al evaluar los pros y los contras de repotenciar en puente existente para mejorar su nivel de servicio y seguridad integral, se diseña el reforzamiento estructural del puente (cercha y paso suspendido) ampliando su calzada para albergar dos carriles de 3.65 m cada uno y un andén en cada costado de 1.20 m libres para la circulación peatonal, en virtud del alto flujo vehicular en ambos sentidos y del alto riesgo a que están expuestas las personas que atraviesan caminando el puente. Deberá actualizarse el diseño en cuanto a las reparaciones localizadas con el paso del tiempo. Es importante reemplazar una parte de los elementos principales, elevar las torres, reemplazar y aumentar el número de cables.

La concepción y construcción original del puente se logró usando conexiones 100% remachadas. Debido a las fallas localizadas que ha sufrido el puente de manera frecuente se han ido adicionando reforzamientos que combinan soldadura, uniones pernadas y perfilería variada.

Según las condiciones de los elementos, son evidentes las condiciones de las reparaciones, pero no se conocen datos de reparaciones realizadas en aras de mejorar su capacidad.

Así las cosas, la estructura es incompetente para resistir solicitaciones inerciales que pueden llegar a presentarse en caso de sismo, así sea de mediana intensidad.

Se han estudiado varias alternativas de carga partiendo siempre de la establecida por el camión C40-95 y la de su línea de carga equivalente. Adicionalmente, se han calculado otras fuerzas como el viento y el sismo y se superpusieron a las cargas muertas y vivas siguiendo las especificaciones de las AASHTO. Incluyendo las modificaciones que se hayan podido realizar al puente por cuenta de las reparaciones y posibles reforzamientos.

En cuanto a los elementos de la infraestructura, las pilas y los estribos, no trabajan a cabalidad por cuanto las acciones sísmicas generan esfuerzos grandes y las normas y la sana ingeniería exigen un refuerzo importante de confinamiento el cual definitivamente no existe; se puede inferir que la infraestructura es incapaz de resistir solicitaciones sísmicas y para volverla apta deberían emprenderse acciones complejas y costosas.

La estructura está en condiciones deficientes de resistencia y rigidez, pero es más grave su condición de fatiga; el número de vehículos que han pasado sobre el puente y la gran magnitud de las cargas actuales con respecto a las de diseño sin temor a equivocaciones la estructura no es competente a largo plazo pensando en reforzamientos.

Esto en cuanto a la superestructura y la infraestructura, pues aunque en ésta última la fatiga tiene menos importancia, tiene problemas acentuados de comportamiento bajo cargas inerciales.

La vida útil del puente ha llegado a su final y es necesario la construcción de un nuevo

puente. Sin embargo, mientras pasa el tiempo correspondiente para lograrlo, es necesario diseñar reparaciones, reforzamientos y algunos de emergencia, para mantener el paso de los usuarios y garantizar la transitabilidad en el corredor Cúcuta – El Zulia.

Tipo de obra a realizar, estructura y el nivel de intervención.

Debido al tipo de piso y a la edad del puente, se presenta en este un deterioro constante, generando necesidad de reparaciones permanentes con la consecuente molestia, por las suspensiones del tráfico. Por otra parte, los baches que se presentan en la losa de piso producen impactos al paso de los camiones que puede originar deterioros considerables en la estructura.

Se efectuaron monitoreos en el puente para evaluar el estado de carga viva, se trata de una composición de camiones de 14 toneladas (buses, camiones 600), 40 toneladas (volquetas dobles Truck) y 52 toneladas (tractomulas).

Cabe aclarar que en las entradas al puente se encuentran colocados avisos sobre el particular, indicando “Sólo una tractomula dentro del puente”.

Se estableció que algunas partes de la viga de rigidez y las torres presentan sobreesfuerzos.

Estos sobreesfuerzos se contrarrestarán mediante el reforzamiento con láminas de acero estructural de calidad A-36 adheridos a las secciones existentes mediante soldaduras de electrodos revestidos de calidad E70XX.

Las deformaciones del puente se encontraron bastante altas, muy por encima de las admisibles. Consideramos que la razón del valor de estas deformaciones obedece a la carga que se estableció para el cálculo de la repotenciación y que corresponde a una carga que, aunque poco frecuente, se presenta sobre la estructura y a la necesidad de aumentar el número de cables para disminuir la elástica del puente colgante.

Aumentar entonces el número de cables dando así mayor capacidad a la estructura y

disminuyendo al 50 % las deformaciones, que, aunque un poco altas, consideramos que no representan problema teniendo en cuenta que la estructura conserva un buen porcentaje del cámbier original con que fue construido.

La estructura del tramo de aproximación fue reforzada en años anteriores para camión C-40-95, el cual cubre la carga de diseño propuesta. Esta estructura se encuentra en perfectas condiciones, aunque ha presentado deterioros.

Se considera la imposibilidad de conocer el tipo y dimensiones de la cimentación. El aumento de carga viva es despreciable frente a la suma de cargas muertas, más peso propio de elementos de apoyo, más rellenos, más cargas vivas originales.

El macizo de anclaje de cables nuevos se ha calculado en forma preliminar teniendo en cuenta que se desconoce la geometría del existente. El diseño se debiera ajustar durante las actividades de obra a medida que se vaya conociendo la conformación del macizo existente y las posibilidades de acomodamiento de uno nuevo.

Se realizó una inspección visual detallada de la estructura y se estableció que en general se encuentra en condiciones aceptables, salvo algunos puntos de deterioro con falla visible y que se han corregido en días pasados en una acción de emergencia.

Además, de realizar una repotenciación se define las siguientes necesidades de mantenimiento:

- Reparación de los basculantes o disipadores de energía de la viga de rigidez.
- Compensación de tres cables principales por deterioro de hilos.
- Cambio de losa de piso para eliminar los baches de la existente, la cual requiere de reparaciones permanentes

Atención de emergencia:

Para la rotura de la cinta inferior de la viga de rigidez, margen izquierda aguas abajo y con el fin de evitar el cierre total del puente, la reparación en este elemento y los demás elementos con inicio de falla con láminas de calidad A-36 y electrodos revestidos de calidad E60XX y E70XX.

El elemento fallado se reemplaza temporalmente con láminas de colocación rápida mientras la sustitución de las láminas rotas.

Para permitir el paso de una tractomula, como único vehículo sobre el puente y a baja velocidad, bajo estricto control de la condición aliviando la incomodidad del tráfico restringido.

Tráfico Vehicular

En la entrada del puente en ambos márgenes se encuentra una pancarta informativa, sobre el tránsito de un sólo vehículo pesado sobre el puente de acuerdo a la resolución 316 de 2018. Se observó que esta resolución no se está cumpliendo, como tampoco la distribución de carga para la cual fue diseñado el refuerzo colocado, pues se evidencian hasta tres tractomulas cargadas sobre el puente.

Se pudo evidenciar también la velocidad excesiva con la que entran los vehículos pesados al puente, generando un factor de impacto mayor para el que está diseñado el puente y su refuerzo.

Es importante anotar que el refuerzo del puente no se puede garantizar si no se cumple con la resolución vigente, de un solo vehículo pesado sobre el puente.

Refuerzo:

El puente se reforzará de acuerdo a los diseños resultantes del cálculo estructural, incluido en los planos correspondientes. No sobra que se realicen verificaciones de dimensiones milimétricas en obra para la fabricación exacta de los elementos a colocar.

La repotenciación consistiría en llevar a cabo las siguientes actividades generales:

- Reforzar la viga de rigidez
- Reforzar las columnas de las torres
- Aumentar el número de cables
- Reparaciones generales de elementos deteriorados
- Limpieza y pintura de la estructura total
- Cambio de la losa de piso
- Construcción de juntas de tracción y de dilatación para compensar el efecto por las deformaciones generales del puente.

Para el cambio de la losa de piso se estima que se debe cerrar el puente durante un mes, tiempo durante el cual se propone utilizar la carretera por el corregimiento de Urimaco hasta la planta de la termoeléctrica de Termotasajero y San cayetano para conectar con El Zulia.

Los trabajos de reforzamiento y colocación de cables adicionales se deben realizar, en su gran mayoría en horario nocturno entre la 8 pm y la 4 am del siguiente día.

Toda la repotenciación y el cambio de losa de piso se puede llevar a cabo en un plazo estimado de 6 meses.

Considerando la edad del puente el estado de deterioro en que se encuentran algunos elementos de difícil intervención y lo argumentado en esta metodología, nos permitimos recomendar que la vida útil, a partir de la fecha de repotenciación, sea considerada para un tiempo mínimo.

Durante este tiempo, se deberá adelantar lo concerniente a reemplazar la estructura por un puente nuevo de por lo menos dos carriles y especificaciones modernas de carga.

El tráfico de tractomulas diarias es elevado y el número de vehículos menores es considerable.

La repotenciación es la única solución para mantener el puente en uso durante un tiempo perentorio mientras se construye un puente nuevo.



La concepción y construcción original del puente se logró usando conexiones 100% remachadas. Debido a las fallas localizadas que ha sufrido el puente de manera frecuente se han ido adicionando reforzamientos que combinan soldadura, uniones pernadas y perfilería variada. Razón por la cual, en la construcción de una nueva estructura, deberá considerarse la complejidad de usar híbridos en edad, materia prima, técnicas constructivas y configuración.



Figura 67. Reposición de cinta inferior de viga de rigidez



Figura 68. Reparación de cinta inferior de viga de rigidez



Figura 72. Reparación de primera diagonal en viga de rigidez

Figura 71. Reparación de unión de viga

Terapéutica de la estructura:

De todo lo anterior, la aplicación patológica de nuestra propuesta será Geriátrica y Preventiva; para mantener en uso el puente durante un tiempo perentorio mientras se construye un nuevo puente en cuanto a las condiciones en que se encuentra el puente, se puede suponer:

- Refuerzo de vigas de rigidez
- Mantenimiento. Reparación de los basculantes o disipadores de energía de la viga de rigidez.
- Refuerzo de las columnas de las torres
- Aumento y/o compensación de los cables principales
- Reparaciones generales en elementos deteriorados
- Contrarrestar deformaciones. Construcción de juntas de tracción y de dilatación
- Cambio de losa de piso
- Limpieza y pintura de la estructura

En general, el mantenimiento correctivo resulta mucho más costoso que el mantenimiento preventivo y que el predictivo. Se trata de un criterio eminentemente cultural, que requiere la conciencia fehaciente de preservar el patrimonio en este caso del Estado, como es la infraestructura vial compuesta también por los puentes, y proteger los activos e inversiones de los ciudadanos como usuarios.

Repotenciación:

Considerando la edad del puente el estado de deterioro en que se encuentran algunos elementos de difícil intervención, la vida útil, a partir de la fecha de repotenciación, debe ser considerada para un tiempo mínimo.

Durante este tiempo se debe reemplazar la estructura por un puente nuevo de por lo menos dos carriles y especificaciones modernas de carga.

El tráfico de tractomulas diarias es elevado y el número de vehículos menores es considerable.

La repotenciación es la alternativa para mantener el puente en uso durante un tiempo perentorio mientras se construye un puente nuevo.

El refuerzo del puente se realiza de acuerdo con los diseños resultantes del cálculo estructural. No obstante, el constructor deberá realizar las verificaciones de dimensiones milimétricas en obra para la fabricación exacta de los elementos a instalar.

El cambio de la losa de piso se debe cerrar el puente durante un mes, tiempo durante el cual se propone utilizar la carretera por el corregimiento de Urimaco hasta la planta de la termoeléctrica de Termotasajero y San Cayetano para conectar con El Zulia.

Los trabajos de reforzamiento y colocación de cables adicionales se deben realizar, en su gran mayoría en horario nocturno entre la 8 pm y la 4 am del siguiente día.

Toda la repotenciación y el cambio de losa de piso se pueden llevar a cabo en un plazo estimado de 6 meses.

Tras el anuncio del “inminente colapso” del puente, el INVIAS emitió una resolución en la que los vehículos de carga pesada, con una capacidad mayor a 20 toneladas, debían transitar de a uno y sin más vehículos, por sobre el puente.

Se realizó el cierre total de la Vía en horas de la noche y se demolió la carpeta asfáltica. Se apalancó la Viga Principal y se procedió a realizar la soldadura en el nodo de la estructura. Se realizó el refuerzo en la zona superior con platinas y el sello de la cavidad con material reciclado de manera temporal. A la madrugada, se dio paso sobre el puente, nuevamente.

Dado la afluencia de tráfico por este corredor vial, se coordinaron los trabajos de reparación de los elementos estructurales en el horario de 10:00 pm a 6:00 am.

Los trabajos iniciaron con la demolición de la carpeta asfáltica; luego se apalanco la viga



principal y se procedió a realizar la soldadura en el nodo de la estructura al igual con la viga transversal. Finalmente, se realizó el refuerzo en la zona superior con platinas y el sello de la cavidad con material de reciclado de manera temporal.



Figura 73. Estado de deterioro



En la junta de dilatación de la torre de la margen izquierda del Puente - aproche del lado de Zulia, se genera un desprendimiento de concreto, que se repara con grout, para evitar un mayor desprendimiento del mismo, que termine afectado toda la junta de dilatación (proceso de 15 horas incluida la nivelación de la losa del aproche con pavimento entre el pavimento existente y el concreto de la junta de dilatación).

Reparación. Aplicación de mortero cementoso de para alcanzar altas resistencias y endurecimiento rápido (Sikaquick 2500 o equivalente); requiere cierre total del tráfico durante 6 horas.

Reparaciones con concreto asfáltico convencional serán insuficientes por la persistencia del daño, producido por la vibración, la pérdida de continuidad, la rigidez de la losa de concreto y la de la viga transversal (apoyo).



Figura 74. Desprendimiento de material en junta de dilatación junto a la torre del lado Zulia



Figura 75. Superficie de rodadura

Ante la rotura de la cinta inferior de la viga de rigidez de la margen izquierda aguas abajo, para evitar la cancelación de servicio del puente, se realizó la reparación pertinente; se utilizaron láminas de calidad A-36 y electrodos revestidos de calidad E60XX y E70XX y el elemento fallado se reemplazó por láminas de colocación rápida.

Reparación de la junta de dilatación en la torre de la margen izquierda para evitar la rotura total de la misma.

Continuar con el control de tráfico, el peso de los vehículos de carga e inspecciones máximo cada 6 meses, para verificar el deterioro y el comportamiento de la estructura metálica y cables.

Reparaciones requeridas

Limpieza para áreas pequeñas y de difícil acceso

Limpieza con herramienta manual SSPC-SP2

Remover escamas sueltas, herrumbre y pintura desprendida por medio de cepillado, lijado, raspado y desbastado manual o con herramientas manuales de impacto. No se pretende remover todas las escamas, herrumbre y pintura con este proceso, sino solamente las que estén sueltas y cualquier otra materia extraña perjudicial presente.

Limpieza para grandes áreas

Limpieza manual motriz SSPC-SP3

Remoción de escamas, herrumbre y pinturas sueltas o mal adheridas con cepillos de alambre mecánicos, herramientas de impacto, esmeriladoras mecánicas o una combinación de estos métodos. Al término de la limpieza la superficie debe presentarse rugosa y con un claro brillo metálico. Se debe cuidar de no bruñir la superficie metálica para lograr una buena adherencia de la pintura a la base.

Aplicación de pintura base anticorrosiva y acabado: Para que las reparaciones sean efectivas y duraderas a través del tiempo; se deben de realizar siguiendo paso a paso las recomendaciones de uso del producto dadas por el fabricante de las pinturas.

Todos los materiales empleados en un sistema de pintura deberán cumplir con las normas aplicables.

Asimismo, todos los materiales estarán envasados en los recipientes originales del fabricante, perfectamente cerrados, no deteriorados o abollados, claramente identificados y dentro de su periodo de validez.

El almacenamiento se hará a cubierto, con suficiente ventilación y alejados del calor, del fuego, de las chispas y de los rayos solares.

La dilución, mezclado y aplicación de las pinturas se hará de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

Los envases de las pinturas deberán llevar las etiquetas de los fabricantes, así como las instrucciones para su aplicación.

Las diferentes capas aplicadas en un sistema de pintado serán del mismo fabricante para asegurar su compatibilidad.

Aquellos productos que tengan una vida limitada deberán mostrar en sus envases la fecha de fabricación y de caducidad. Los productos que caduquen antes deberán ser usados primero.

- Condiciones de aplicación

La pintura no se aplicará cuando la temperatura de la superficie esté por debajo de los 5°C, o sea superior a los 50°C.

Cuando se trate de pinturas Epoxi, los límites de temperatura para su aplicación estarán entre 10°C (mínimo) y 35°C (máximo).

Las pinturas con aluminio para altas temperaturas no deberán aplicarse cuando la humedad relativa sea superior al 65%.

La imprimación deberá ser aplicada tan pronto como sea posible después de la preparación de la superficie, y nunca luego de pasadas 8 horas desde que se aplicó el chorreado.

No deberá aplicarse ninguna capa de pintura hasta que la anterior esté completamente seca.

Cada capa de pintura deberá estar exenta de porosidades, ampollas u otros defectos visibles.

La primera capa de pintura (imprimación) se aplicará inmediatamente después de haber limpiado las superficies metálicas, y no más tarde de las 4/6 primeras horas siguientes a ser limpiados.

Las capas de pintura se aplicarán mediante pistola, brocha, rodillo, inmersión o combinación de estos métodos, dependiendo de la calidad del material, pero siempre con el equipo recomendado por el fabricante para asegurar el espesor exigido en cada capa.

No se aplicará la pintura cuando la temperatura ambiente sea inferior a 5°C, con la excepción de las pinturas que seque por evaporación de un disolvente, pinturas éstas que se pueden aplicar incluso con temperatura ambiente de 2°C.

No se aplicará pintura sobre acero, a una temperatura superior a 52°C, a menos que se trate de una pintura específicamente indicada para ello. Cuando se pinte acero en tiempo cálido, deberán tomarse las precauciones necesarias para asegurar que se alcanza el espesor de pintura adecuado.

Todas las tuberías y estructuras que lleven pintura deberán ser montadas con la capa de imprimación excepto soldaduras que deban ser inspeccionadas en prueba hidráulica.

Las distintas capas de pintura deberán hallarse en el estado apropiado de curado y secado antes de aplicarse de modo que no se produzca ningún defecto en la capa anterior, tal como levantamiento o desprendimiento, descascarillado, etc. según las instrucciones del fabricante.

En la medida de lo posible, las capas de pintura se aplicarán de modo que queda una capa continua y uniforme en espesor y libre de poros, gotitas o áreas de mala aplicación; si se produce este último caso, se repintará la zona y se dejará secar antes de aplicar la siguiente capa de pintura.

En caso de aplicación de pinturas que sean todas del mismo color, se contrastarán las capas alternativamente, siempre que sea factible, y en un trecho suficiente que permita comprobar el recubrimiento efectivo de la superficie.

Cuando los puntos en los que se vaya a verificar una soldadura se encuentren pintados la pintura se quitará con los métodos mencionados anteriormente para la limpieza de superficie. Tampoco deben ser pintadas aquellas soldaduras que deben ser inspeccionadas en prueba.

Si en el manejo de las superficies pintadas para las funciones mencionadas anteriormente, la pintura resultase dañada se limpiarán y retocarán estas partes dañadas nuevamente dándoles el mismo número de capas que tenían originalmente.

Métodos de aplicación: La pintura podrá ser aplicada con brocha, rodillo o pistola de acuerdo con la siguiente tabla:



Método de Aplicación	Imprimación	Capas intermedias	Capa de acabado	Pinturas de gran viscosidad
Brocha	Sí	Sí	Sí	No ⁽²⁾
Rodillo	No	Sí	Sí	No
Pistola convencional (atomización x aire)	No ⁽¹⁾	Sí	Sí	No
Pistola sin aire (Airless)	No	Sí	Sí	No
Pistola en caliente	No	Sí	Sí	Sí
Atomización con pistola de alta presión	No	No	No	Sí
Espátula	No	No	No	Sí

Tabla 6. Norma técnica americana SAE

Observaciones generales a las estructuras metálicas

Puente atirantado con una gran viga de rigidez que adscribe las deflexiones, por lo tanto, se deben de realizar las reparaciones en forma inmediata a los soportes de unión de las vigas longitudinales ya que estas forma parte fundamental de la superestructura que recibe las cargas y las disipa en todos sus componentes, se dejan las observaciones del caso y se plantea un refuerzo que debe de resultar del diseño de acuerdo a las patologías encontradas en la inspección.

RECOMENDACIÓN. De acuerdo a lo observado en campo y las patologías presentadas es que los soportes de las vigas longitudinales y los pernos funcionan adecuadamente, sin embargo las fallas se presentan por fatiga en los ángulos de conexión los cuales se cambian de 4" x 4" x ¼" a 4" x 4" x 3/8" y pernos de 7/8" x 3 1/2" conservando los pernos en diámetro y cambiándolos a Grado 8 apretados con torcómetro digital y la tuerca debe de ser de seguridad.

Hay un aspecto fundamental que afecta la solidez del módulo de unión de la viga y es que los tornillos son apretados manualmente y al aflojarse se produce el movimiento de la viga transversal sobre la superficie del tornillo operando como un cizalla sobre este elemento, es necesario diseñar las fuerzas de torque en las uniones para darles la solidez de un elemento compacto el cual debe de trabajar a tensión uniformemente con toda la estructura, las soldaduras de los soportes deben ser de acuerdo a la norma AWS siguiendo todos los protocolos de una soldadura principal sometida a tensión.

Los elementos principales del puente cumplen adecuadamente con las a solicitudes a flexo compresión de forma adecuada de acuerdo las exigencias del CCP-14.

A la estructura metálica del puente debe realizársele mantenimiento de limpieza y pintura pues esta se encuentra deteriorada y debe realizarse este mantenimiento para proteger la estructura del puente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En términos generales la estratigrafía del área del proyecto corresponde depósitos aluviales, conformados por cantos rodados, gravas, arenas y limos en proporciones variables de compacidad muy suelta a muy densa, seguidos del macizo rocoso conformado por areniscas de color pardo a gris, limolitas y arcillolitas.
- En función de la resistencia del depósito es clara la existencia de dos (2) estratos bien definidos, el primero con valores de N (SPT) entre 25 y 50 golpes/pie, correspondiente a Arenas con presencia de gravas redondeadas medianas a gruesas, con matriz areno limosa. El segundo, correspondiente al nivel de roca, conformado por limolitas grises y moradas, areniscas de grano medio y arcillolita de color gris y rojizo, con valores de N (SPT) iguales al rechazo y valores de RQD hasta del 100%, lo que indica que la roca es de calidad media a muy buena, con algunos sectores en donde se encuentra fracturada.
- Teniendo en cuenta las características del depósito aluvial, se plantean dos alternativas de cimentación para el nuevo puente, mediante la utilización de elementos profundos tipo pilotes pre excavados o caissons.
- Ante la importancia de realizar un estricto control de las diferentes etapas del proceso constructivo, tendiente a identificar posibles condiciones atípicas en el comportamiento de la estructura, se recomienda monitorear los asentamientos de los elementos de cimentación y de los

accesos. Para lo cual, se recomienda la instalación de extensómetros en los terraplenes en caso de requerirse y la colocación de niveletas en la cabeza de los elementos de cimentación.

•Dentro de la investigación, se considera que el puente no cumple con las especificaciones del Código colombiano de puentes, referentes al programa de exploración del subsuelo, para la construcción de un nuevo puente en el lugar, deberá completarse y actualizarse en la etapa de diseño a Fase III.

Análisis del TPD: Nivel soportable de esfuerzos de fatiga equivalente al 50 % del esfuerzo de la fluencia.

Siguiendo el procedimiento descrito en AASHTO, considerando elementos y conexiones de los Tipos D y E para evitar la fatiga en un periodo de 75 años el TPD no debe ser mayor que 1.875 vehículos. Haciendo una proyección desde 62 años atrás hasta la fecha de la información de TPD, obtenida de INVIAS, para los últimos 10 años, se estima que el Puente lo han cruzado unos 45 millones de vehículos. Según el estimado del método AASHTO la falla podría producirse si en 75 años circulan más de 50 millones de vehículos. Haciendo una regla de tres, se observa que con el tráfico actual, en teoría el puente estaría a punto de colapsar por fatiga.



Figura 78. Puente Mariano Ospina Pérez

La repotenciación realizada permite contar con un lapso de vida útil de cinco años más en

servicio, de los cuales ya se cuenta uno.

El Puente Mariano Ospina hoy cuenta con una restricción vehicular a un carril por resolución con paso controlado uno a uno, evitando una falla súbita del puente.

Con una inspección visual se puede establecer las condiciones en general del Puente el cual presenta deterioro constante, con necesidades de reparación permanentes como acciones de emergencia.

Revisión de la estructura a la luz de los lineamientos de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes – LRFD, Código Colombiano de diseño sísmico de Puentes - CCOP, Normas Colombianas de diseño y construcción Sismo Resistente – NSR10 y las especificaciones americanas AASHTO – Especificaciones para puentes (Soldaduras AWS).

Algunas partes de la viga de rigidez y las torres son afectadas por sobreesfuerzos que son contrarrestados con las láminas de acero estructural (A-36) adheridos a las secciones existentes mediante soldaduras de electrodos revestidos (E70XX).

Deformaciones por encima de las admisibles. Aumentar el número de cables para disminuir la elástica del puente y disminuir las deformaciones.



Figura 79. Puente Mariano Ospina Pérez

Tráfico Vehicular: En la entrada del puente en ambas márgenes se encuentra una pancarta informativa, de acuerdo a la resolución 316 de 2018 restringe el tránsito a un sólo vehículo pesado sobre el puente. Pero los usuarios hacen caso omiso, como se observa en las fotografías, lo cual agrava la condición de distribución de carga para la cual fue diseñado el refuerzo colocado.

También es una desventaja la velocidad con la que entran los vehículos pesados al puente, que genera un factor de impacto mayor para el diseño del puente y su refuerzo; el efecto se ve reflejado sobre los ángulos de las juntas de dilatación.

El deterioro en el tablero del puente y el impacto al paso de la carga aumenta el deterioro en la estructura completa (alto riesgo de falla por fatiga y fractura). La fatiga es usualmente un problema invisible. El material desarrolla grietas en su microestructura que conllevan a una falla por fractura súbita.

El refuerzo del puente no es garantía mientras no se cumpla la resolución vigente (un solo vehículo pesado sobre el puente).



Figura 80. Puente Mariano Ospina con restricción de carga

La fatiga de un material normalmente se da en niveles de esfuerzos muy inferiores al nivel de fluencia. Es usual tomar un nivel de esfuerzo de menos del 50% del valor de fluencia, se espera que el elemento se pueda someter a infinitas repeticiones de bajos esfuerzos sin acusar fallas en su estructura interna. Sin embargo, cuando los esfuerzos aumentan en magnitud, la capacidad que tiene el acero para soportar las repeticiones de esfuerzos se reduce drásticamente.

Debido a la complejidad del fenómeno en el cual la sección y la forma de conexión de los elementos, la velocidad de aplicación de los esfuerzos, entre otros, inducen una alta variabilidad; las normas AASHTO proponen procedimientos y expresiones simplificados que apuntan a usar niveles de esfuerzos bajos como el 35% del esfuerzo de fluencia, para considerar que un material pueda soportar infinitas repeticiones de esfuerzos.

Teóricamente se podría repotenciar nuevamente la estructura. Sin embargo, prácticamente no es la solución. Ampliar la calzada y adosar andenes, infieren un aumento importante de estructura de acero.

El costo de un nuevo puente con las mismas características puede resultar similar al costo de una nueva repotenciación. Lo que permite concluir, que la alternativa de un reforzamiento no es competitiva desde el punto de vista económico.

Construcción de un nuevo puente:

Dadas las condiciones delicadas de uso del Puente Mariano Ospina que hoy cuenta con una restricción vehicular a un carril por resolución con paso controlado uno a uno, evitando una falla súbita del puente, se le han realizado reparaciones reiteradas.

Los expertos estructurales manifestaron que el tiempo estimado de la última repotenciación sería de 5 años, de los cuales ya se cuentan cerca de dos años en uso.

Es importante realizar la construcción del nuevo puente, dada las condiciones de riesgo del uso del puente que en la situación más crítica dejaría incomunicado a Cúcuta con el resto del

Departamento y la Costa Norte, por donde salen todos los productos del Departamento como el Carbón y la arcilla.

El Puente metálico, cables originales y adicionales, presentan un comportamiento estructural adecuado.

Se requiere construir un puente nuevo, de doble calzada previendo la construcción de la doble calzada Cúcuta - El Zulia. El se puede inferir que deberá estar ubicado aguas arriba del puente existente y que tendría una luz de 120 metros si fuera en arco o 150 metros si fuera en voladizos sucesivos (eso lo determinarán los estudios que se deben realizar).

De acuerdo con las revisiones del caso, el puente nuevo con sus accesos podría tener un valor estimado de \$12.000 millones sin contar las gestiones prediales y sociales pertinentes.

Los estudios y diseños fueron contratados por el Estado a través del Instituto Nacional de Vías con el proceso CMA-DT-SEI-034-2019 el pasado 4 de junio de 2019.

El alcance de los estudios y diseños, del nuevo puente y sus accesos, deberá cumplir en su totalidad las condiciones geométricas, geológicas, geotécnicas, hidrológicas, hidráulicas, ambientales y sociales del sector, estableciendo las obras que se requieran, de tal forma que se pueda viabilizar y materializar el proyecto y sus componentes en campo.

Adelantar los estudios y diseños de los accesos al nuevo puente, es otro aspecto clave, dada las condiciones geológicas y geotécnicas de la zona y deberá conectar al puente con la vía nacional, cumpliendo en su totalidad las condiciones geométricas, geológicas, geotécnicas, hidrológicas, hidráulicas, ambientales y sociales del sector.

Elaborar el programa de adaptación de la guía ambiental – PAGA, y adelantar todas las gestiones y trámites para la obtención de los permisos y autorizaciones (como, por ejemplo, el permiso de ocupación de cauces, playas y lechos, permiso o autorización para aprovechamiento forestal, y demás que se requieran para la construcción del proyecto). Igualmente, de la gestión social, las fichas prediales de todos las unidades habitacionales que se puedan ver afectadas por

la ejecución del proyecto de construcción del nuevo puente y sus accesos.

De acuerdo con lo publicado en el portal de contratación del estado, el Instituto Nacional de Vías, espera tener los productos de los estudios y diseños, en el primer semestre del 2020.

REFERENCIAS

- Agencia Nacional de Infraestructura. (2015). *INFORME ESPECIAL PUENTE PR59+280 – MARIANO OSPINA PÉREZ*.
- Agencia Nacional de Infraestructura. (Abril de 2016). *REVISIÓN A FONDO DEL PUENTE MARIANO OSPINA PÉREZ DE CÚCUTA*. Obtenido de <https://www.ani.gov.co/revision-fondo-del-puente-mariano-ospina-perez-de-cucuta>
- ANI confirma el peaje en la vía Cúcuta-El Zulia. (2005). Obtenido de Skyscrapercity: <https://www.skyscrapercity.com/showthread.php?p=157027984>
- Areacucuta. (25 de Enero de 2018). *Un solo vehículo de carga sobre el puente. Restricción del paso “UNO A UNO” para vehículos de carga sobre el puente mariano Ospina Pérez*. Obtenido de <https://www.areacucuta.com/un-solo-vehiculo-de-carga-sobre-el-puente-mariano-ospina-perez/>
- Castillo, J. (2011). *RECOMENDACIONES PARA LA SELECCION DE TIPO DE SUPERESTRUCTURA DE PUENTES EN COLOMBIA*. Universidad de los Andes, Bogotá.
- Consorcio Estructuración Vial. (2014). *Puente Mariano Ospina Pérez*. Ministerio de Transporte, Bogotá.
- Gerencia de Logísticas, Transporte e Infraestructura. (2016). *Boletín*. Obtenido de <http://www.andi.com.co/Uploads/Bolet%C3%ADn%2004%20-%20245.%20Convenio%20de%20Seguridad%20Mar%C3%ADtima%20SOLAS.pdf>
- ICETEX. (2013). *CONVENIO ÍTERADMINISTRATIVO DE COOPERACION N°2013-0170* |.
- Oficina de Prensa Norte de Santander. (8 de Febrero de 2019). *En 6 meses se conocerán estudios, diseños y costos del puente que reemplazaría al Mariano Ospina Pérez*.

Obtenido de <http://www.nortedesantander.gov.co/Noticias-Gobernaci%C3%B3n-Norte-de-Santander/Article ID/12365/mesa-t%C3%A9cnica>

Pabón, R. (29 de Septiembre de 2019). *CONSULTORÍA. Puente Mariano Ospina tiene problemas de fatiga y no se recomienda rehabilitarlo*. Obtenido de Revista Contra Luz: <http://contraluzcucuta.co/consultoria-puente-mariano-ospina-tiene-problemas-de-fatiga-y-no-se-recomienda-rehabilitarlo/>