

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

1.1 El Problema

1.1.1 Planteamiento

A nivel mundial, las vías de comunicación son muy importantes para la sociedad en general y sobre todo para el desarrollo social, político y económico de los países. En nuestro país las instituciones que están a cargo de la construcción de puentes tienen muy poca concientización en el tema de mantenimiento y conservación de los puentes.

En nuestra ciudad el puente de Tomatitas es necesaria la evaluación estructural y funcional debido a que es un puente muy antiguo fue construido en el año 1922, fue ampliado su calzada para dos vías en el año 1996 el mismo se encuentra en condiciones deterioradas por el permanente tránsito vehicular sobre todo vehículos pesados y también por las grandes riadas que genera el río Guadalquivir en épocas de lluvia.

Se propuso estudiar minuciosamente las patologías más relevantes, como existen varias patologías las que se van a estudiar son las causas físicas, mecánicas y químicas como por ejemplo los impactos ambientales, desgaste, fisuras, grietas, problemas de corrosión, filtraciones, deflexiones, desprendimiento, etc. una vez analizada las patologías realizar propuestas de rehabilitación para su mantenimiento y conservación, evitando así daños mayores, juntamente con un análisis estructural al puente bóveda para verificar si resiste las nuevas solicitaciones (cargas) que le exigen en la actualidad.

1.1.2 Formulación

¿Cómo incide la evaluación estructural de las patologías del puente de Tomatitas de la ciudad de Tarija?

1.1.3 Sistematización

El permanente tránsito vehicular por ser una principal vía a nivel nacional y la falta de un mantenimiento al puente de Tomatitas que tiene más de 90 años de antigüedad se encuentra en condiciones deterioradas por lo tanto se realiza una evaluación estructural de las patologías para su mantenimiento y conservación.

En base a la evaluación estructural de las patologías físicas, mecánicas, químicas como por ejemplo los impactos ambientales, desgaste, grietas, fisuras, problemas de corrosión, filtraciones, deflexiones, desprendimiento del recubrimiento del material. Se podrá planificar el mantenimiento y conservación del puente de Tomatitas.

1.2 Objetivos

1.2.1. General

- ✓ Analizar la estabilidad del puente de Tomatitas; realizando un inventario de las patologías que se presentan en la estructura y analizando las más relevantes como: las patologías físicas, las patologías mecánicas y las químicas. Posteriormente realizando un análisis estructural al puente bóveda si resiste las nuevas solicitaciones actuales.

1.2.2. Específicos

- ✓ Realizar el relevamiento plano altimétrico del puente de Tomatitas identificando los componentes estructurales.
- ✓ Describir y mencionar todos los componentes del puente.
- ✓ Realizar un inventario de las patologías físicas, químicas y mecánicas detectadas por una inspección visual por medio de una ficha de inspección para determinar y evaluar cada uno de los componentes aplicando la (Guía Para Inspección, Evaluación y Mantenimiento de Puentes del Perú).
- ✓ Proponer recomendaciones técnicas para el mantenimiento y conservación.
- ✓ Realizar un relevamiento de información sobre el volumen de vehículos que pasa por el puente de Tomatitas.

1.3 Justificación

1.3.1 Técnica

Es necesaria la evaluación estructural de las patologías de los puentes por la importancia, en nuestro país se ha podido advertir que existen muy poca concientización en el mantenimiento de puentes solamente toman en cuenta algunos aspectos generales básicos.

El puente de Tomatitas se encuentra en condiciones deterioradas por el permanente tránsito vehicular sobre todo por los vehículos pesados y por la falta de un plan de mantenimiento eficiente.

Con la presente investigación se pretende facilitar toda la información a la institución encargada a fin de tomar decisiones más adecuadas para su mantenimiento y conservación ya que es más económico prevenir y mantener los puentes que esperar un grave accidente para poder iniciar una reconstrucción o reparación.

1.3.2 Académica

Al realizar esta investigación se pretende profundizar más los conocimientos de evaluación, mantenimiento y conservación en las obras civiles específicamente en puentes bóveda, determinando las patologías y sus posibles causas.

1.3.3 Social

Los beneficios directos del presente proyecto de investigación serán los usuarios particulares y los del transporte público que circulan diariamente facilitando así la conectividad entre las provincias de Cercado y Méndez de la ciudad de Tarija.

1.4 Alcance del Estudio

1.4.1 Tipo de Estudio

Esta investigación se centra en la evaluación estructural y su relación con las patologías físicas, mecánicas y químicas del puente, de esta manera se propuso técnicas apropiadas para su mantenimiento y conservación.

1.4.2 Hipótesis General

- El puente de Tomatitas de la ciudad de Tarija, presenta una alta vulnerabilidad estructural.
- El estudio de las patologías del puente de Tomatitas permitirá desarrollar un plan de mantenimiento y conservación.

1.4.3 Delimitación Espacial

El estudio se realizó entre la provincia de Cercado y Méndez del departamento de Tarija-Bolivia más exactamente en el puente de Tomatitas que une estas provincias.

Figura 1

Provincias del Departamento de Tarija



Nota. Tomada de www.familysearch.org/wiki/es/Departamento_de_Tarija,_Bolivia

Figura 2

Puente Tomatitas Vista Lateral



Fuente. Elaboración Propia

Figura 3

Puente Tomatitas Vista en Planta



Fuente. Elaboración Propia

1.4.4 Delimitación Temporal

El estudio se ha desarrollado durante el segundo semestre del año 2022 hasta el segundo semestre del año 2023, en el estudio se ha tomado en cuenta datos de la gestión 2022 al 2023.

1.4.5 Limitaciones de la Investigación

- ❖ Una de las limitaciones que presento esta investigación es el de contar con casi nada de información de la construcción del puente de Tomatitas, y la poca voluntad de algunas instituciones o personas para brindar alguna información.
- ❖ El estudio se realizó a nivel de superestructura y una parte de la subestructura, no se hizo un estudio de fundaciones, ni un estudio de socavación en los estribos.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Sobre Conservación de Puentes Históricos Tipo bóveda

La conservación de puentes de mampostería en el ámbito internacional ya posee un gran significado social y cultural por preservar este legado, así mismo existen diversas restauraciones de puentes de bóveda, por ejemplo podemos citar algunos: en España, el puente marmolejo, el puente de Segura y el puente de Alcántara; en Alemania el puente real, el puente con serie de arcos; en China el país en seguir construyendo algunos de sus puentes de mampostería hasta inicios del siglo XX y obviamente conservando aun la técnica de construcción y la manera correcta de darle un adecuado mantenimiento a estas estructuras.

En Latinoamérica, pese quizás a que este tipo de estructuras representaba el legado del viejo continente, podemos contar con varios puentes conservados como por ejemplo en Brasil el puente de Antonio Días, el puente del palacio antiguo; en Colombia el puente la libertad; en Perú el puente comba pata, en Arequipa el puente Grau y el puente Bolognesi.

En Bolivia tenemos escasos trabajos de conservación en puentes históricos como el puente de los libertadores en Cochabamba, por las características de su construcción; para los especialistas, la técnica empleada en el adoquinado de las piedras fue construida con argamasa preparada en base a la mezcla de cal y arena.

2.2 Puentes

2.2.1 Definición

La definición de puente según la AASTHO (American Association of State Highway and Transportation Officials, Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes es una estructura con longitud mayor a 6 metros diseñada y construida con el propósito de salvar un obstáculo natural (sea un río, un lago o una depresión del terreno, un barranco etc.) y/o artificial (una vía, canales, otro puente, etc.) entre dos puntos de interés, permitiendo así el tráfico peatonal y/o motorizado.

2.2.2 Partes o Componentes de un Puente

- Superestructura
- Dispositivo de apoyo
- Subestructura
- Fundaciones
- Accesorios

2.2.2.1 Superestructuras

En general, la superestructura representa la parte de un puente sobre los apoyos incluyendo la cubierta y vigas. En la cubierta transitan los vehículos, mientras que las vigas soportan la carga de la cubierta y las cargas que pasa sobre ella y las transmiten a las subestructuras por medio del dispositivo de apoyo.

2.2.2.2 Dispositivo de apoyo.

El dispositivo de apoyo transmite las cargas recibidas de la superestructura y permite el movimiento del puente por la variación de temperatura. Se ubican en estribos, en pilas y en voladizos de la superestructura, tanto apoyos fijos como apoyos móviles.

2.2.2.3 Subestructura.

La subestructura es la parte del puente debajo del dispositivo de apoyo, la subestructura del puente incluye los estribos, pilares, muros de contención.

2.2.2.4 Fundaciones.

Las fundaciones están ubicadas bajo los estribos y las pilas y sobre el suelo o roca subyacente. La fundación es una de las partes estructurales más importantes del puente, recibe todas las cargas del puente y las transfiere al suelo.

2.2.2.5 Accesorios.

Los accesorios de un puente son elementos, tales como parapetos, conductos de servicio y losas de vía (carpeta de rodadura). Se considera el peso muerto de los accesorios en el diseño, pero generalmente se ignora sus capacidades de carga.

2.3 Clasificación de Puentes

Debido a su gran variedad, son muchas las formas en que se pueden clasificar los puentes, siendo las más destacables las que se detallan a continuación:

- 1) Según los servicios que prestan
 - Puentes carreteros
 - Puentes ferroviarios
 - Puentes aeroportuarios
 - Puentes peatonales
 - Puentes para el paso de viaductos
 - Puentes mixtos

- 2) Según el material de construcción
 - Puentes de madera
 - Puentes de hormigón armado y pres-forzado
 - Puentes metálicos
 - Puente de mampostería (piedra o ladrillo)
- 3) Según la forma de la sección transversal del tablero
 - Puentes losa
 - Puentes sobre vigas simples
 - Puentes sobre vigas compuestas
 - Puentes cajón
- 4) Según el sistema estructural
 - Puentes isostáticos e hiperestáticos
 - Puentes tipo Gerber
 - Puentes arcos
 - Puentes de armaduras
 - Puentes suspendidos por cables
- 5) Según la geometría
 - Puentes rectos ortogonales
 - Puentes esviado
 - Puente curvo
 - Puentes horizontales
 - Puentes inclinados
 - Puentes en curva vertical

2.4 Puentes Arco y Bóveda

Los puentes en arco o bóveda tienen dos características estructurales esenciales: primero, soporta la carga completamente en compresión. La segunda es que un arco tiene reacciones tanto verticales como horizontales, el diseño de la bóveda o el arco desvía naturalmente el peso de las cargas hacia la base donde tiende a moverse hacia afuera, esa tendencia hacia afuera se llama empuje y el empuje debe ser resistido por algún tipo de soporte en caso de puentes los estribos y/o pilas.

Figura 4

Puente Bóveda de Tomatitas 1928



Nota. Tomada de Tarija Antigua, de Facebook. (12 de octubre 2012). – ⁽²⁶⁾

2.5 Tipos de puentes en arco

2.5.1 Según la Colocación del Tablero

2.5.1.1 Arco de Tablero Superior.

El puente con tablero superior representa un puente de arco en el que la plataforma está completamente sobre el arco. Pueden ser clasificados como tímpano cerrado o abierto, los puentes bóveda son con tímpano cerrado solido como se muestra en la figura 5. Los puentes en arco son con tímpano abierto están formados por varias columnas verticales como se muestra la figura 6.

Figura 5

Puente Bóveda Tablero Superior



Nota. Tomada de <https://www.alamy.com/stock-photo/thorp-arch-bridge.html>

Figura 6

Puente en Arco de Tablero Superior



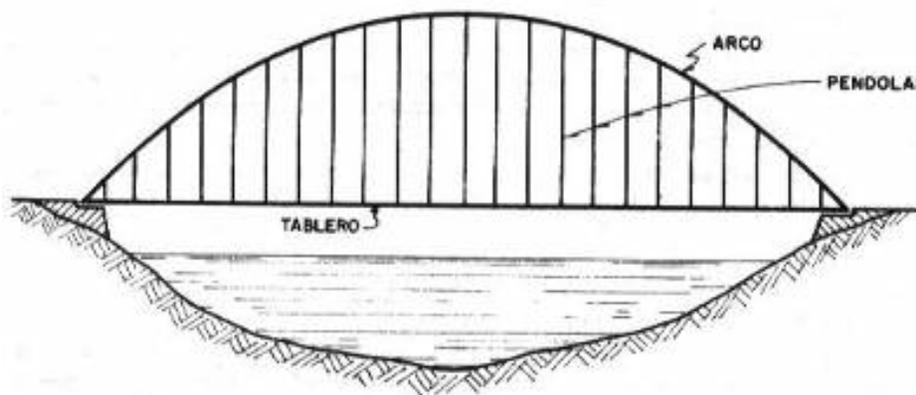
Nota. Tomada de https://hmong.es/wiki/Wanxian_Bridge

2.5.1.2 Arcos de Tablero Inferior.

Usados especialmente cuando la rasante del camino es muy baja y por razones de estética se desea construir un arco, normalmente la solución de este tipo de arcos es con tirantes, caso en el que se los conoce como arcos atirantados ver figura 7 y figura 8.

Figura 7

Puente en Arco de Tablero Inferior



Nota. Fuente <https://www.cuevadelcivil.com/2011/03/tipos-de-puentes-en-arcos.html>

Figura 8*Puente en Arco de Tablero Inferior*

Nota. Fuente <https://www.cuevadelcivil.com/2011/03/tipos-de-puentes-en-arcos.html>

2.5.1.3 Arcos de Tablero Intermedio.

Se los emplea en quebradas no muy profundas o en pasos superiores porque en su parte central se consigue el galibo necesario para el paso vehicular.

Figura 9*Puente en Arco de Tablero Intermedio*

Nota: Fuente <https://mobile.twitter.com/BlocIngenieria/status/1519935597300834305>

2.5.2 *Según Su Forma*

- Arco de medio punto
- Arco ojival
- Arco carpanel
- Arco conopial
- Arco rebajado
- Arco peraltado

2.6 Puentes Bóveda de Mampostería de Piedra

Los puentes de mampostería de piedra dominaron gran parte de la historia constructiva, con la técnica de la bóveda con dovelas, y que permaneció prácticamente invariable desde los romanos hasta el siglo XIX, es por eso que la mayoría de autores consideran al puente bóveda de piedra como el puente histórico por excelencia.

2.6.1 *Componentes de los Puentes Bóveda de Mampostería*

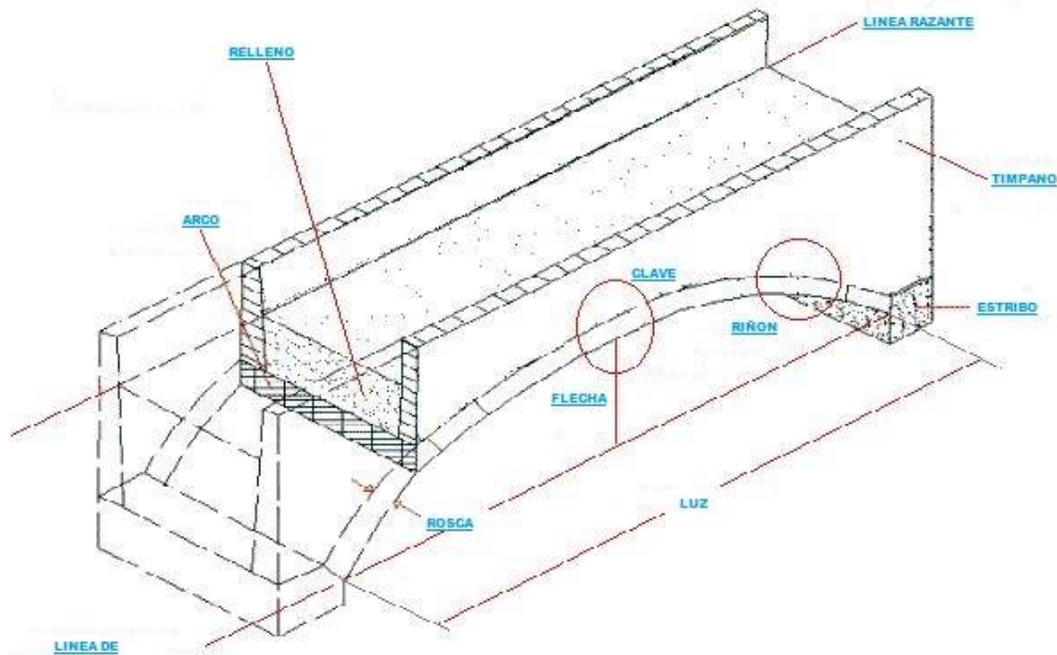
Los dos componentes básicos en un puente bóveda son: la bóveda y el relleno. La bóveda es el elemento resistente y el relleno tiene como función principal la de proporcionar la altura de tierras suficiente para materializar una superficie horizontal (calzada) por donde ha de transcurrir el tráfico.

2.6.1.1 Bóveda

La bóveda puede realizarse colocando bloques de piedra regulares llamados dovelas, mediante una o varias hileras de ladrillos concéntricos o de hormigón en el caso del puente de Tomatitas la bóveda es de hormigón. La clave es la dovela central que ayuda a la disposición simétrica en el caso de arcos conformados por dovelas, normalmente suele ser la de mayor tamaño y provee cierta estabilidad al arco. En algunos casos el espesor es variable desde la corana hasta el arranque como lo es en el puente de Tomatitas. En cada estribo se apoya la primera dovela de piedra utilizada en el arranque de una bóveda a esta dovela se denomina **salmer**, la superficie del salmer desde la que parte el arco se llama **arranque** y las líneas inferior y superior del contorno del arco se denominan **intradós** y **extradós** respectivamente.

Figura 10

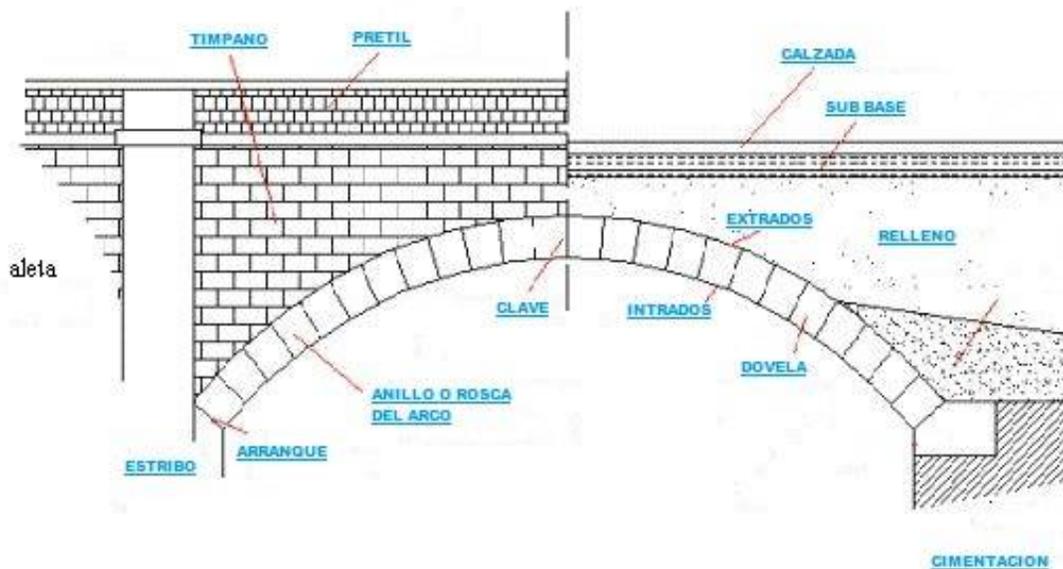
Partes de un Puesto en Arco de Mampostería vista Isométrica



Nota. Tomada de Conservación de Puentes de Piedra en el Perú, Héctor Bardales, 2013-⁽¹⁾

Figura 11

Partes de un Puesto en Arco de Mampostería vista de Perfil



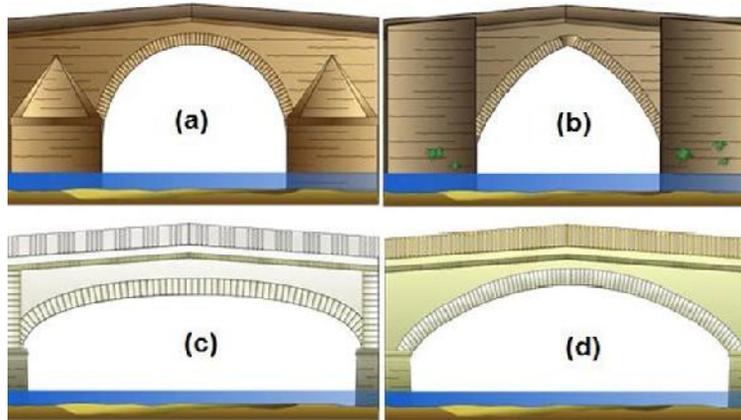
Nota. Tomada de Conservación de Puentes de Piedra en el Perú, Héctor Bardales, 2013-⁽¹⁾

El arco o bóveda es el principal elemento resistente del puente, que gracias a su forma geométrica resiste las cargas que actúan sobre él, mediante un mecanismo resistente donde predominan las compresiones, es por tanto la estructura más adecuada para materiales aptos que resisten compresiones, porque las tracciones se pueden evitar o reducir al mínimo, los tipos de bóvedas más comunes y representativos tenemos:

- a) Bóveda de medio punto o semicircular
- b) Bóveda apuntada
- c) Bóveda elíptica
- d) Bóveda rebajada

Figura 12

Tipos de Bóvedas más Comunes



Nota. Tomada de http://es.wikipedia.org/wiki/Puente_de_fabrica

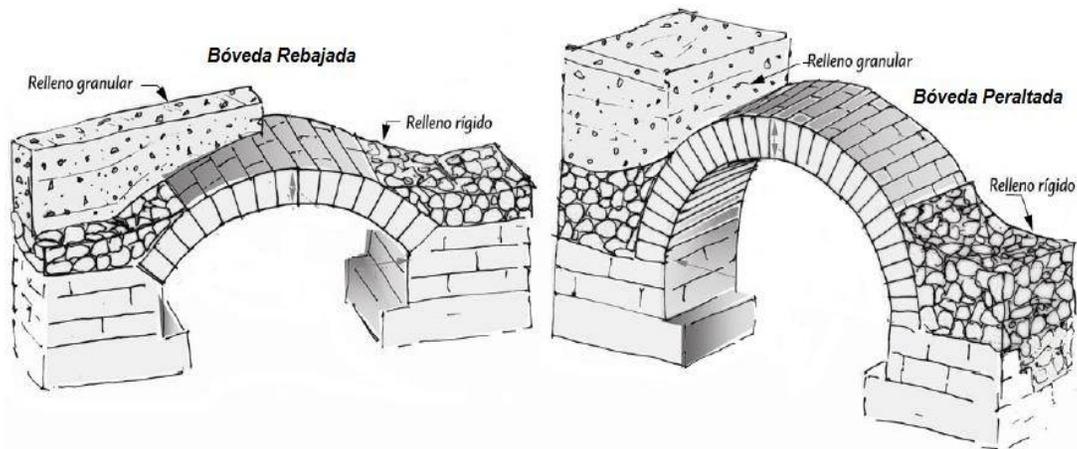
2.6.1.2 El Relleno.

El relleno empleado en los puentes de mampostería, cumplen un papel importante ya que afecta de modo significativo el comportamiento del conjunto por dos razones: el peso propio favorece a su estabilidad estructural y la masa ayuda a distribuir las cargas concentradas sobre la superficie de rodamiento.

En la gran mayoría, el relleno se encuentra situado entre la bóveda, tímpanos, estribos y superficie de rodadura. Por lo general el relleno es el material que se extrae durante la excavación de las cimentaciones y conformado por la composición de suelo negro, piedra de canto rodado y cascajo. El relleno presenta una resistencia elevada como resultado no sólo de su composición, sino también por el alto grado de compactación que puede alcanzar con los años.

Figura 13

Composición de los Rellenos en un Puente Bóveda de Mampostería



Nota. Tomada de Conservación de Puentes de Piedra en el Perú, Héctor Bardales, 2013-⁽¹⁾

En el caso del puente de Tomatitas no se pudo obtener la información del relleno que se utilizó para la construcción.

2.6.1.3 Los Tímpanos.

Los tímpanos son los elementos verticales que se disponen lateralmente y están apoyados sobre las dovelas de los arcos. En algunos casos son macizos y su función principal es la de contener y confinar lateralmente el relleno a modo de estructura de contención de tierras. En cuanto a su forma, la cara exterior de los tímpanos es plana y totalmente vertical, y su cara interna puede presentar un ligero talud o estar escalonada, de forma que aumenta el espesor del tímpano, de arriba hacia abajo, muy similar a la de un muro de contención de tierras, ya que obedece a la ley de empujes del relleno.

2.6.1.4 Los Estribos.

Los estribos son los elementos encargados de resistir por gravedad los empujes horizontales que provienen del arco o bóveda a causa de las cargas, por este motivo se debe tener estribos bien resistentes.

2.6.2 Materiales Constituyentes en los Puentes Bóveda de Mampostería

Básicamente los materiales empleados en un puente de piedra son la mampostería y el material de relleno. Teniendo en claro que la mampostería está compuesta por la piedra, con dimensiones regulares acordes a una disposición geométrica, y unidos entre sí por un mortero

de pega o argamasa, constituido esencialmente por una mezcla de arena y cal en proporciones variables.

2.6.2.1 La Piedra.

La piedra es importante ya que resiste los efectos de intemperismo (ciclos de hielo y deshielo), meteorización (alta contaminación especialmente en zonas urbanas) y la erosión tanto del viento como del agua. En la actualidad la protección de la piedra tiene la finalidad de proveer a la superficie expuesta a la intemperie una capa hidro repelente.

2.6.2.2 El Mortero.

El mortero tiene tres misiones dentro de la mampostería:

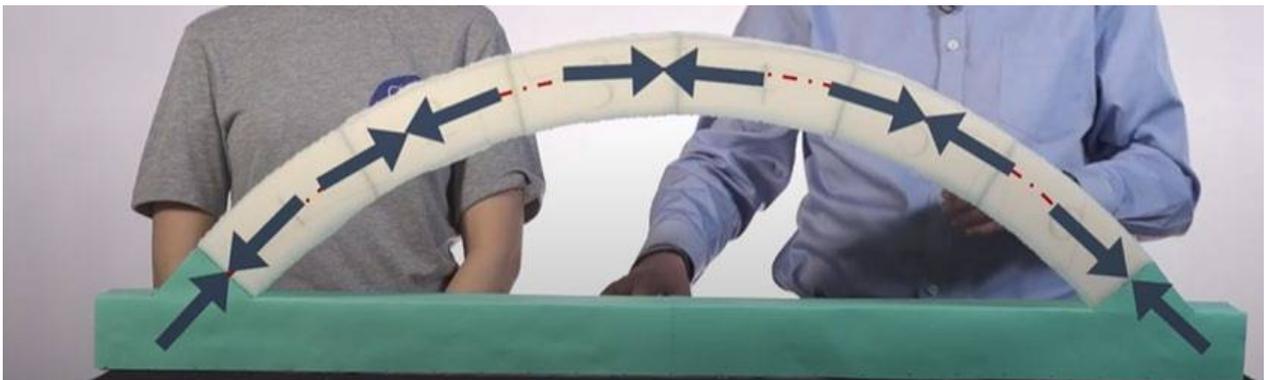
- Rellenar las juntas impidiendo el paso del agua.
- Regularizar el asiento entre bloques y repartir uniformemente las cargas.
- Colaborar en su caso, a conducir las sollicitaciones horizontales hasta la cimentación.

2.6.3 Análisis de los Esfuerzos de Compresión del Puente de Arco

Los puentes de arco o bóveda como ya se mencionó están siempre bajo compresión, la fuerza de la compresión empuja hacia fuera a lo largo de la curva del arco hacia los estribos como se puede observar en las imágenes.

Figura 14

Transmisión de los esfuerzos de compresión a los apoyos



Nota. canal engineering models. (27 Junio 2018). *Fun With Arches*. YouTube- ⁽¹¹⁾

En las siguientes imágenes podemos apreciar que colocando estribos solidos el puente puede soportar aproximadamente cuatro veces más el peso que sin colocar estribos.

Figura 15

Transmisión de los esfuerzos de compresión a los apoyos sin estribos



Nota. Tomado del canal Ramón Guarda Parera, (22 de enero 2013). YouTube-⁽¹⁶⁾

Figura 16

Transmisión de los esfuerzos de compresión a los apoyos con estribos



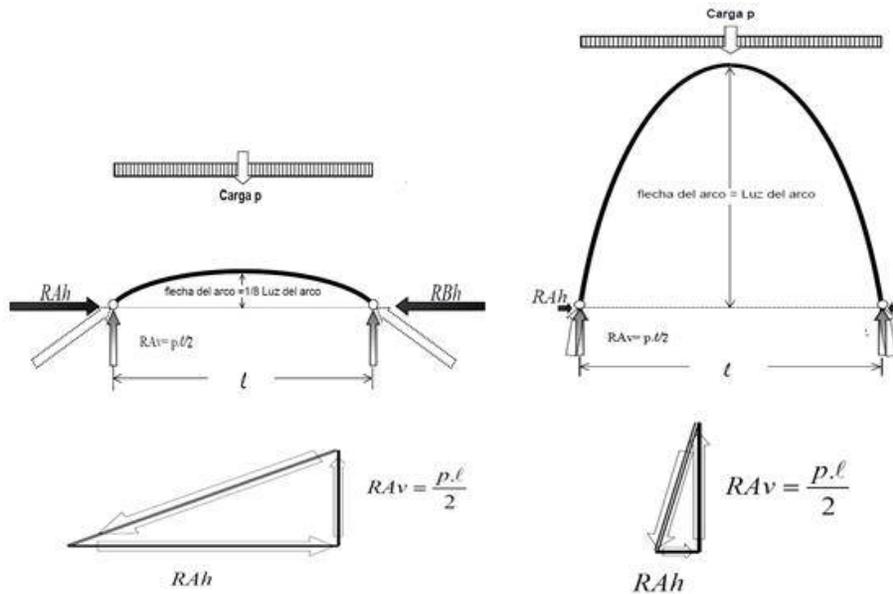
Nota. Tomado del canal Ramón guarda parera, (22 de enero 2013). YouTube-⁽¹⁶⁾

Analizando la variación de los esfuerzos en un arco figura 17, si mantenemos el valor de la carga (P) y la distancia entre los puntos de apoyo (L) como un valor constante y tan solo variamos la altura del arco, observaremos que para ambos casos la componente vertical de la reacción se mantiene constante: $RA_v = RB_v = P \cdot L / 2$, mientras que el valor de la

componente horizontal RA_h aumenta a medida que se reduce la altura (h). Por lo tanto, el valor del empuje horizontal es inversamente proporcional a la altura que posea.

Figura 17

Relación entre polígono funicular y arco funicular



Nota. Tomada de Conservación de Puentes de Piedra en el Perú, Héctor Bardales, 2013-⁽¹⁾

2.7 Patología estructural

La patología estructural es el estudio del comportamiento de las estructuras cuando presentan evidencias de fallas o comportamiento defectuoso, investigando sus causas (diagnostico) y planteando medidas correctivas para recuperar las condiciones de seguridad en el funcionamiento de la estructura.

La patología es el estudio de las características de las enfermedades o los defectos y daños que puede sufrir la estructura, sus causas, consecuencias y remedios.

La estructura puede sufrir, durante su vida, defectos o daños que alteran su estructura interna y comportamiento. Algunos pueden ser congénitos por estar presentes desde su construcción, otros pueden ser consecuencia de accidentes. Los síntomas que indican que se está produciendo daño en la estructura incluyen manchas, cambios de color, hinchamiento, fisuras u otros. El conjunto de agentes responsables del deterioro de una estructura es tan amplio, que se hace necesaria su clasificación, que por practicidad se ha agrupado en causas físicas (por cambios volumétricos), mecánicas (deformaciones por cargas excesivas) y químicas (reacciones químicas).

2.7.1 Acciones físicas

Se refieren esencialmente a los cambios volumétricos que experimenta el concreto, como consecuencia de cambios de humedad (agua líquida, vapor de agua, escarcha, hielo), y/o de temperatura (frio, calor, fuego). Pero también, las acciones físicas hacen referencia a las variaciones en su masa (cambios de peso unitario, porosidad, y permeabilidad). (Sánchez de Guzmán, 2011).

2.7.2 Acciones mecánicas

Las acciones mecánicas del concreto es la capacidad que tiene este para reaccionar ante una fuerza externa que coloca a este en un complejo estado ya sea tensional o en un estado de compresión dependiendo cual sea las condiciones en las que se encuentre sometida una estructura de concreto. La aplicación de una carga directa sobre un elemento constructivo implica una deformación. Si la carga provoca un esfuerzo mecánico demasiado intenso, la deformación tendrá como consecuencia la aparición de fisuras y grieta de hecho, este tipo de fenómeno es el que origina la mayor parte de estas lesiones en los elementos estructurales y en los materiales adheridos a ellos. (Sánchez de Guzmán, 2011).

2.7.3 Acciones químicas

Dentro de los factores de deterioro imputables a las acciones químicas están, el ataque de ácidos, la lixiviación por aguas blandas, la carbonatación, la formación de sales expansivas o ataque de sulfatos, eflorescencias y la expansión destructiva de las reacciones álcali – agregado. También se puede mencionar la corrosión de los metales, este se puede definir como un proceso de reacción entre el metal y alguna sustancia del medio ambiente que lo rodea y el resultado es una oxidación destructiva del material en cuestión. (Sánchez de Guzmán, 2011).

2.8 Patologías en puentes

Son lesiones o fallas que se presentan en los puentes, estas se pueden originar desde el momento de la construcción del puente o por los diversos agentes atmosféricos a los que se encuentran expuestos, generando daños o el colapso del mismo. Los puentes son estructuras importantes para la población y por lo tanto se deben conservar aplicando mantenimiento adecuado, para el buen funcionamiento.

Estas estructuras con el pasar del tiempo van presentando síntomas de patologías en sus elementos, las cuales si no se las revisa en el momento adecuado si no se realiza un buen mantenimiento se llega a un punto donde se vuelve una enfermedad grave.

Se da una síntesis de los diferentes daños o defectos que inciden en el deterioro de los elementos de un puente, daños por diseño, por construcción y daños durante el funcionamiento.

2.8.1 Daños por diseño

Estos daños están relacionados con la concepción y diseño del proyecto. Entre las fallas más comunes en esta etapa se tienen las siguientes causas:

- Ausencia de cálculos.
- Estimación inadecuada de cargas y condiciones de servicio.
- No considerar juntas de construcción.
- Uso inadecuado de los programas de computador.
- Mal dimensionamiento de los elementos estructurales.
- Falta de especificaciones y características de los materiales.
- Ausencia o falta de detalles constructivos y estructurales.
- Inapropiada disposición del acero de refuerzo o por insuficiencia del mismo.
- Uso de especificaciones obsoletas.

A continuación, se presentan las manifestaciones patológicas más comunes de este tipo:

2.8.1.1 Fisuras.

Las fisuras son el resultado de los esfuerzos que actúan sobre los elementos estructurales. Normalmente cualquier elemento de concreto reforzado es propenso a que presente fisuraciones bajo las cargas normales de servicio, sin embargo, cuando el ancho de las fisuras producidas es grande (mayor a 0.5 mm) se considera como una manifestación patológica y pueden afectar el funcionamiento de la estructura.

Un patrón de fisuramiento generalmente se debe describir mediante las siguientes dimensiones: el espesor, la longitud, la dirección de la fisura y la distancia entre éstas; anotando las observaciones que se consideren relevantes sobre el elemento en el cual se presentan las fallas.

Figura 18

Fisurómetro



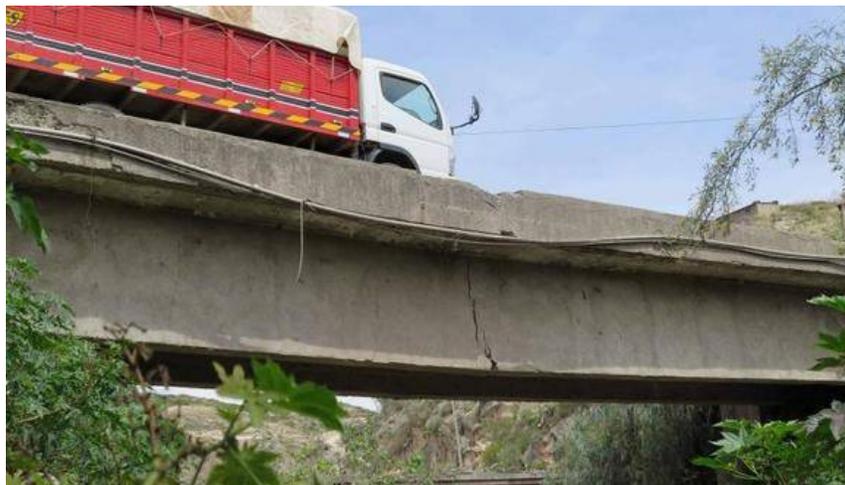
Nota. Fuente Sánchez de Guzmán, Durabilidad y Patología del Concreto 2011-⁽²³⁾

Fisuras por flexión. Las fisuras por flexión en una viga o una losa generalmente se presentan en la cara inferior de los elementos, se localizan en la zona central de la luz, nacen en la fibra inferior y se extienden hasta llegar al eje neutro de la sección; al principio crecen verticalmente y luego se inclinan bajo la influencia del esfuerzo cortante cuando se aproximan a los apoyos.

El ancho de las fisuras indica el nivel del esfuerzo de tracción al que han sido sometidas las barras de refuerzo; anchos pronunciados indican altos esfuerzos por exceso de carga y/o por insuficiencia de refuerzo longitudinal principal.

Figura 19

Puente Totorilla – Perú Fisuración por Flexión



Nota. Fuente Sánchez de Guzmán, Durabilidad y Patología del Concreto 2011-⁽²³⁾

Fisuras por Cortante. Los esfuerzos de corte en vigas y losas generan fisuras oblicuas generalmente formando un ángulo de 45° con la dirección del acero principal (longitudinal), las fisuras presentan un ancho variable y separación máxima correspondiente a la separación

del refuerzo transversal. Normalmente las fisuras por cortante se presentan en las zonas cercanas a los apoyos, sin embargo, también pueden presentarse en el centro de la luz del elemento si hay cargas puntuales o pocos estribos. Frecuentemente se presentan varias fisuras paralelas, con separación variable.

De acuerdo con Sánchez de Guzmán (2002), las fisuras de cortante, siempre atraviesan todo el espesor de la viga y su ancho depende de la sección de la viga (ancho grande en secciones altas y esbeltas) y/o la magnitud de los esfuerzos de cortante (más anchas si el esfuerzo es grande).

Figura 20

Fractura por Cortante en la Pila



Nota. Fuente Sánchez de Guzmán, Durabilidad y Patología del Concreto 2011-⁽²³⁾

Fisuras por Torsión. Son fisuras transversales e inclinadas similares a las fisuras por cortante, pero se diferencian en que las fisuras causadas por esfuerzos de torsión siguen un patrón de espiral o de tipo helicoidal que atraviesan toda la sección de los elementos. En estructuras de concreto armado los esfuerzos de torsión generan fisuras inclinadas en cada una de las caras del elemento, generalmente son fisuras continuas que van rodeando todo el elemento de concreto con una tendencia a seguir líneas a 45°.

2.8.1.2 Aplastamiento local.

Las fracturas y grietas por aplastamiento tienen su origen en la alta concentración de cargas que se presentan en las zonas de apoyo de los elementos simplemente apoyados, o en las zonas de anclaje para el pre esfuerzo de torones y cables.

Los daños producidos por aplastamiento tienden a fracturar la sección de concreto localizada directamente bajo la carga concentrada. Cuando en los elementos de apoyo no existe una transición adecuada mediante mecanismos de amortiguamiento, es común la presencia de fracturas por aplastamiento en el concreto del elemento de apoyo.

Figura 21

Fractura por Aplastamiento en el Pedestal



Nota. Fuente Sánchez de Guzmán, Durabilidad y Patología del Concreto 2011- ⁽²³⁾

Figura 22

Fractura por Aplastamiento en la Viga de Cimentación



Nota. Fuente Sánchez de Guzmán, Durabilidad y Patología del Concreto 2011- ⁽²³⁾

2.8.1.3 Asentamientos.

Hace referencia a los movimientos verticales diferenciales, que se pueden presentar en las estructuras cuando no existe un diseño apropiado de la cimentación. El patrón de daño por el asentamiento de las pilas de un puente, generalmente se relaciona con la presencia de fisuras en la parte superior o inferior de las vigas adyacentes, deflexiones y fracturas en los apoyos. Normalmente las fisuras por asentamiento, siguen la dirección vertical o con poca inclinación, de ancho y longitud variable.

2.8.1.4 Volcamiento.

Este proceso puede presentarse directamente en las estructuras por mal dimensionamiento de los elementos, por diseños inadecuados o insuficientes (cimentación – estructura), e indirectamente como consecuencia de la generalización de los daños presentes en la estructura (socavación, asentamientos diferenciales) y como resultado de eventos fortuitos no previstos tales como sismos, deslizamientos y explosiones, entre otros.

2.8.1.5 Vibración Excesiva.

Se refiere al movimiento que se percibe en la estructura debido a sobrecargas, fuerzas no consideradas en el diseño, falta de rigidez, y/o diseños deficientes. El efecto de la vibración excesiva en las estructuras es acumulativo, de ahí su importancia; si no se controla se produce fatiga en los diferentes elementos del puente, hasta ocasionar daños que puedan llevar al colapso. Normalmente en la práctica no es muy factible realizar estudios detallados para controlar el efecto de las vibraciones en las estructuras de concreto reforzado.

Las consecuencias de la vibración excesiva se manifiestan mediante deficiencias estructurales de acuerdo con la intensidad del mecanismo que la genera, desde micro fisuras o fisuras hasta el colapso de la estructura. En la inspección preliminar realizada a los puentes es posible detectar la vibración excesiva en la estructura a través de la percepción de los usuarios.

2.8.2 Daños Por Construcción

Estos daños pueden originarse por la utilización de los materiales con calidad inadecuada (cemento, agregados, agua), problemas en la dosificación, la producción, el transporte, la colocación y el curado. Las fallas más comunes durante el proceso de construcción se dan por las siguientes causas:

- Inadecuada interpretación de los planos.
- Equivocada localización del refuerzo.
- Deformaciones en los encofrados.
- Falta de control del encofrado antes y durante el vaciado del concreto.
- Apuntalamiento inadecuado o anticipado.
- Desplazamiento del acero de refuerzo durante el vaciado.
- Prácticas deficientes en la colocación y compactación del concreto.
- Empleo de concretos con dosificación inadecuada.
- Ausencia o mala protección y curado del concreto.
- Carga prematura de la estructura.
- Falta de control de calidad en los materiales.

A continuación, se presentan las manifestaciones patológicas más comunes de este tipo:

2.8.2.1 Oquedades.

El mal vibrado del concreto por falta de control cuando se funden las secciones en las obras, así como las malas condiciones de vaciado del concreto, muchas ocasiones generan secciones de concreto con oquedades con huecos internos que hacen reducir el área neta del elemento.

Figura 23

Presencia de Oquedades en la Viga Cabezal



Nota. Fuente Sánchez de Guzmán, Durabilidad y Patología del Concreto 2011- ⁽²³⁾

2.8.2.2 Segregación.

Separación no homogénea de los componentes del concreto, propiciando un desplazamiento de los agregados gruesos hacia la parte inferior. La segregación es ocasionada entre otros factores por una dosificación inadecuada, concreto vertido de alturas excesivas, falta o exceso de vibrado, empleo de agregados gruesos sin aparente cohesión, exceso de agregados gruesos o finos.

Figura 24

Segregación en el Concreto



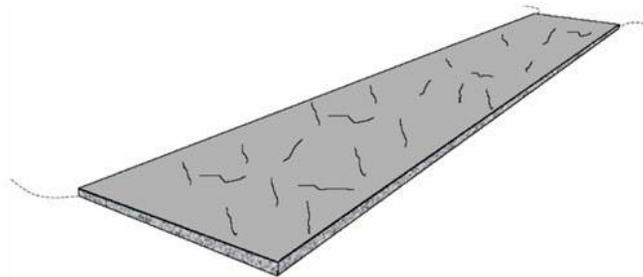
Nota. Fuente Sánchez de Guzmán, Durabilidad y Patología del Concreto 2011-⁽²³⁾

2.8.2.3 Fisuración por Retracción.

La fisuración por retracción plástica ocurre mientras el concreto está en estado fresco, generalmente se presentan en superficies horizontales, con relación superficie libre / volumen mayor a 3.50, entre la primera y las seis primeras horas después del vaciado, generando fisuras y micro fisuras que se extienden rápidamente.

Figura 25

Fisuras de Retracción Plástica



Nota. Fuente Sánchez de Guzmán, Durabilidad y Patología del Concreto 2011-⁽²³⁾

Generalmente son fisuras de poco espesor (0.2 mm a 0.4 mm) y su longitud puede variar desde unos cuantos centímetros hasta aproximadamente 1.5 metros. Comúnmente son fisuras en forma de línea recta que no siguen un mismo patrón y no presentan ninguna simetría.

La retracción por secado y la retracción hidráulica se manifiestan mediante fisuras que surgen durante las primeras horas después del vaciado del concreto, producto de la pérdida de agua por evaporación en el proceso de endurecimiento del concreto.

Figura 26

Fisuras de Retracción Plástica



Fuente: Manual Para la Inspección Visual de Puentes y Pontones- ⁽²²⁾

2.8.2.4 Construcción de las Juntas Frías.

La continuidad entre concretos vaciados en diferentes etapas que no se tratan correctamente, afectan directamente la durabilidad de la estructura; el diseño inadecuado de juntas o una mala construcción de las mismas permiten el ingreso de agentes agresivos como: sulfatos, cloruros, carbonatos, etc., los cuales atacan directamente al concreto o a las armaduras, reduciendo la vida útil de la estructura.

Figura 27

Juntas Entre Concreto en Diferentes Etapas



Fuente: Manual Para la Inspección Visual de Puentes y Pontones-⁽²²⁾

2.8.2.5 Recubrimiento Inadecuado y Exposición del Acero de Refuerzo.

Las barras de refuerzo deben de tener un recubrimiento adecuado de concreto según el ambiente al cual estarán sometidas y el tipo de elemento estructural que formen, cumpliendo con las especificaciones de Puentes.

Cuando, por error o malas prácticas de construcción, el recubrimiento es inadecuado, su disposición final termina afectando la durabilidad o la capacidad portante de la estructura, exponiendo el acero de refuerzo al ambiente y generando problemas de corrosión.

Figura 28

Recubrimiento Inadecuado en la Losa



Fuente: Manual Para la Inspección Visual de Puentes y Pontones-⁽²²⁾

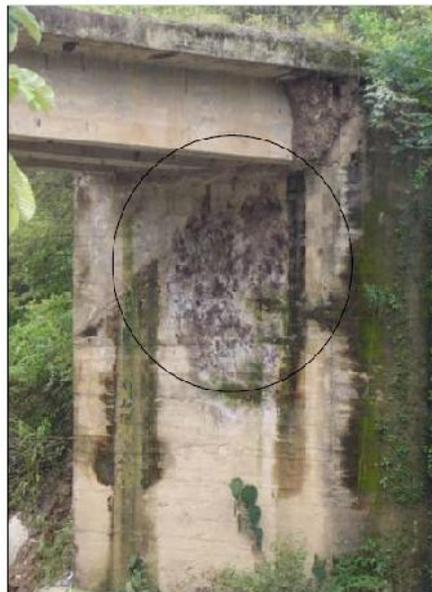
2.8.2.6 Infiltración y Eflorescencia.

De acuerdo con Sánchez de Guzmán (2002) y Calavera (1996), las eflorescencias consisten en el depósito de sales, cuando la sustancia en solución sale del interior del concreto, hacia la superficie en forma de sales color blanco azulado o color gris -blanco.

Las eflorescencias en sí mismas no constituyen un problema de durabilidad de las estructuras, sin embargo, además de afectar la estética, ocasionan un incremento de la porosidad del concreto y un aumento en la permeabilidad, permitiendo que el concreto sea más vulnerable a otras patologías que deterioran a la estructura.

Figura 29

Eflorescencia en el Estribo del puente



Fuente: Manual Para la Inspección Visual de Puentes y Pontones-⁽²²⁾

2.8.2.7 Carbonatación.

La carbonatación es la reacción que se presenta entre el dióxido de carbono (CO_2) del aire atmosférico o del suelo con los componentes alcalinos del concreto $\text{Ca}(\text{OH})_2$, generando carbonato de calcio (CaCO_3) y la disminución de la reserva de alcalina del concreto. La carbonatación es un proceso que avanza lentamente, pero de forma continua hacia adentro de la superficie expuesta del concreto, facilitando el proceso corrosión del acero de refuerzo de las estructuras de concreto y finalmente su mismo deterioro. La Carbonatación avanza más rápidamente cuando se tiene un contenido de humedad intermedio 40 a 70 %.

La carbonatación es una condición relativamente sencilla de identificar y diagnosticar, la manera más fácil de detectar la carbonatación en una estructura es romper un pedazo de concreto (preferentemente cerca de un borde) en donde se sospeche que hay carbonatación. Después de limpiar todo el polvo residual del espécimen o del sustrato, se pulveriza una solución de 2% de fenolftaleína en alcohol sobre el concreto. Las áreas carbonatadas del concreto no cambiarán de color, mientras que las áreas con un pH mayor de 9 a 9.5 adquirirán un color rosado brillante. Este cambio muy apreciable de color muestra cuán profundamente ha progresado el "frente" de carbonatación dentro del concreto. Existen otros métodos y otros indicadores para detectar la carbonatación, pero éste es el método más fácil y común de detección.

Figura 30

Carbonatación en el Concreto



Fuente: Manual Para la Inspección Visual de Puentes y Pontones-⁽²²⁾

2.8.2.8 Corrosión del acero de refuerzo

La corrosión de las armaduras es un proceso electroquímico que causa la oxidación del acero de refuerzo en el concreto. Los factores que favorecen el proceso de corrosión se relacionan con las características de hormigón, el espesor de recubrimiento, la localización de la armadura y el medio ambiente al cual está expuesta la estructura.

Los daños causados por el proceso de corrosión en armaduras generalmente se manifiestan a través de: fisuras en el concreto paralelas a la dirección del refuerzo, descaramiento y/o desprendimiento del recubrimiento. En elementos estructurales que tienen

un contenido de humedad alto, las primeras evidencias de corrosión son manchas de óxido en la superficie del concreto.

Figura 31

Corrosión del Acero en el Concreto



Fuente: Manual Para la Inspección Visual de Puentes y Pontones- ⁽²²⁾

De acuerdo con Sánchez de Guzmán (2002), los efectos de la corrosión, se manifiestan de cinco formas diferentes que pueden o no ser simultáneas.

- Expansión de acero de refuerzo.
- Fisuración interna del concreto.
- Disminución de la capacidad metálica del concreto.
- Baja adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo.

2.8.2.9 Contaminación del Concreto.

La presencia de microorganismos en las estructuras de concreto no solo afecta la estética, también puede inducir fallas de carácter físico o químico y aumenta el deterioro de daños preexistentes.

Usualmente los microorganismos de origen vegetal prefieren las superficies de concreto rugosas, porosas y húmedas, para establecer sus colonias. Durante el ciclo de vida de esa vegetación se producen sustancias que pueden ocasionar ataques químicos al concreto desencadenando desintegración de la pasta de cemento, entre estos se destacan algas, líquenes y musgos.

Los microorganismos, tales como hongos y bacterias, pueden afectar tanto la superficie del concreto como el interior de la estructura, ocasionando entre otros efectos cambios de color, manchas, incrustaciones de colonias, expansión de los materiales, agresión química por los fluidos o materiales excretados, disolución de los componentes del cemento o de los agregados del concreto, olores desagradables.

Figura 32

Contaminación del Concreto de las Aletas de un Puente



Fuente: Manual Para la Inspección Visual de Puentes y Pontones- (22)

2.8.2.10 Fallas Por Impacto.

El impacto de un cuerpo en una estructura puede generar diversas consecuencias, dependiendo de factores tales como: la velocidad y tamaño del elemento que impacta, la resistencia y estado del material que es impactado. Dependiendo de la magnitud del golpe se pueden provocar daños leves como fisuramiento y descascaramientos o fallas de consideración como propagación de grietas, pérdida de rigidez y colapso de la estructura.

Figura 33

Fallas por Impacto



Fuente: Manual Para la Inspección Visual de Puentes y Pontones- (22)

Normalmente este tipo de fallas son producidas por el impacto de vehículos en la superestructura del puente, por material que lo transporta el río a gran velocidad y que impacta los elementos de la subestructura del puente, o por la detonación de cargas explosivas.

2.8.2.11 Socavación.

Se define como socavación a la excavación y transporte de material del lecho como resultado de la acción erosiva del propio flujo de agua, la socavación es típica de los estribos, pilas y en la cimentación, la cual genera desgaste del concreto y fallas de estabilidad.

Figura 34

Socavación en Cimentación de las Pilas



Fuente: Manual Para la Inspección Visual de Puentes y Pontones- ⁽²²⁾

Se pueden presentar dos tipos de socavación: general y local. La socavación general es un proceso a largo plazo, normalmente se presenta en todo el lecho del río, mientras que la socavación local se presenta en sitios particulares y es ocasionada por el paso de la corriente.

2.9 Patologías en los puentes bóveda

El transcurrir de los años ha dejado su marca sobre la totalidad de los puentes históricos que aún perduran gracias a que son obras de ingeniería de gran utilidad en su entorno. En muchos es común el deterioro progresivo de sus partes por las condiciones ambientales, e incluso daños por algunas intervenciones realizadas para su continuo funcionamiento y estabilidad.

Nombraremos algunas de las patologías comúnmente presentadas en estas estructuras y que varios autores las consideran fundamentales como para permitir identificar los diversos factores externos e internos que más los afectan y donde se localizan las zonas vulnerables.

2.9.1 Grietas de separación entre bóveda-boquilla y bóveda-tímpano

Las grietas longitudinales en las uniones entre los bordes de la bóveda y las boquillas es una patología usual de las bóvedas. Las boquillas van unidas a los tímpanos configurando unas estructuras laterales de mucha rigidez longitudinal que la bóveda, todo ello favorece la aparición de grietas longitudinales.

Figura 35

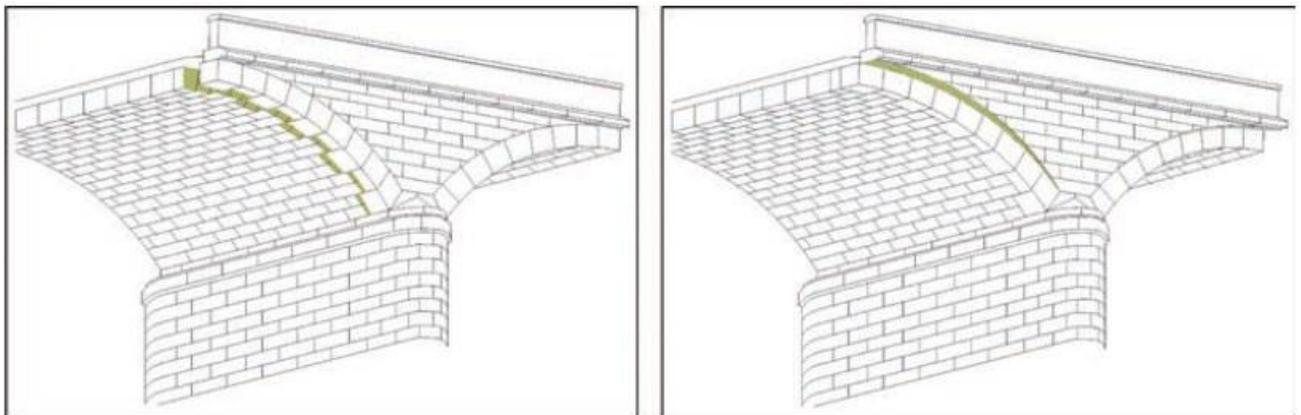
Grieta de separación entre bóveda y boquilla



Fuente: Guía Para la Realización de Inspecciones de obras de paso en carreteras-⁽⁹⁾

Figura 36

Grietas por diferente rigidez entre bóveda-boquilla y bóveda-tímpano



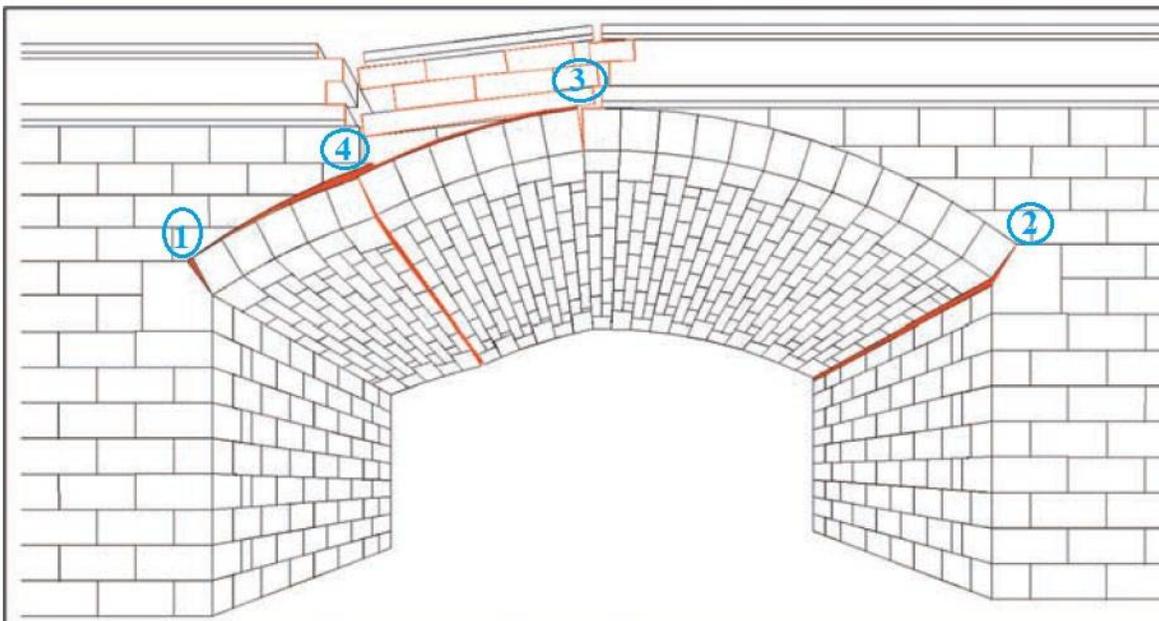
Fuente: Guía Para la Realización de Inspecciones de obras de paso en carreteras-⁽⁹⁾

2.9.2 Posible esquema de colapso por formación de una cuarta rotula

En los puentes bóveda, dado que la resistencia de compresión de la piedra es muy superior a las tracciones que han de soportar las dovelas de la bóveda, puede aceptarse que generalmente han de producirse al menos cuatro rotulas alternativas para que se produzca la situación extrema de colapso bajo la aplicación de una sobrecarga en una ubicación pésima.

Figura 37

Posible esquema de colapso por formación de una cuarta rotula



Fuente: Guía Para la Realización de Inspecciones de obras de paso en carreteras-⁽⁹⁾

2.9.3 Desprendimiento del tímpano por empuje excesivo del relleno de tierras

Con mucha frecuencia sobre todo en puentes estrechos sometidos a fuertes sobrecargas, aparecen grietas en la unión entre tímpanos y boquillas, que son claramente inducidas por los empujes horizontales transversales de los rellenos sobre los tímpanos. Si la magnitud de los empujes es superior se producirá un deslizamiento horizontal o giro del tímpano o ambos movimientos. Esta patología puede agravarse si se producen choques contra el pretil, pues normalmente este acompaña al tímpano en su despegue.

Figura 38

Desprendimiento del tímpano por empuje excesivo del relleno de tierras



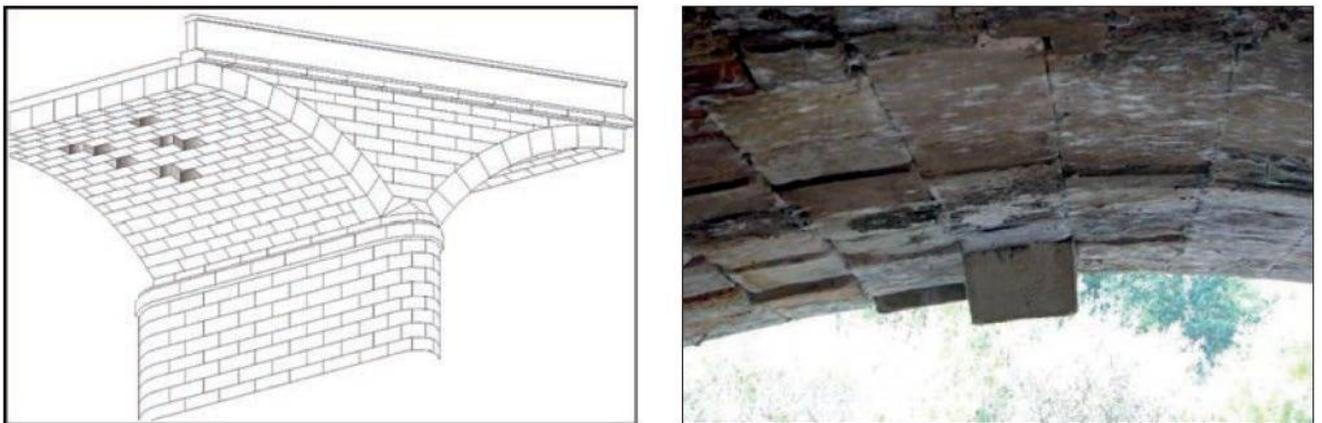
Fuente: Guía Para la Realización de Inspecciones de obras de paso en carreteras-⁽⁹⁾

2.9.4 Deslizamiento de dovelas en bóveda

Otra patología frecuente en los puentes de mampostería de piedra es el deslizamiento y caída de dovelas, la progresión de dichos desplazamientos puede llevar a la pérdida de sillares, con el consiguiente peligro para la estabilidad de la estructura.

Figura 39

Deslizamiento de dovelas en bóvedas



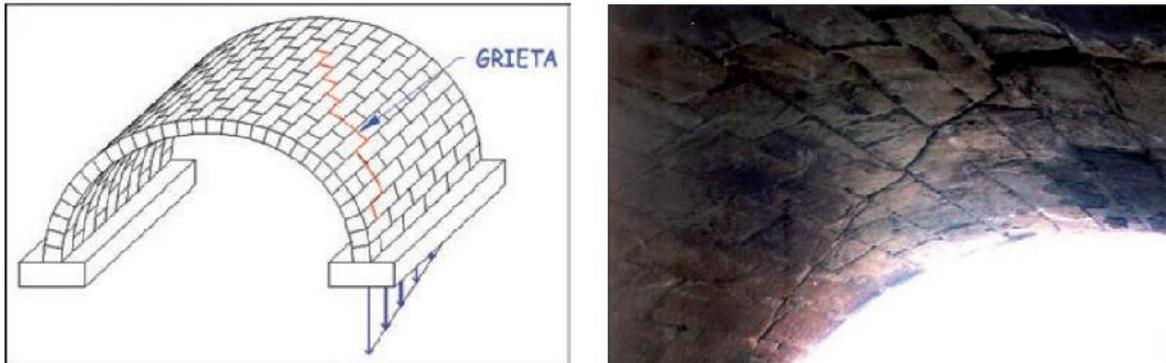
Fuente: Guía Para la Realización de Inspecciones de obras de paso en carreteras-⁽⁹⁾

2.9.5 Grieta en bóveda debido a asentamientos diferenciales

Los asentamientos diferenciales de la cimentación producen en la bóveda una grieta oblicua que puede seguir el camino de las juntas o incluso llegar a romper.

Figura 40

Grieta en bóveda debido a asentamientos diferenciales de la cimentación



Fuente: Guía Para la Realización de Inspecciones de obras de paso en carreteras-⁽⁹⁾



Fuente: Guía Para la Realización de Inspecciones de obras de paso en carreteras-⁽⁹⁾

2.9.6 Humedades y eflorescencias en bóvedas de ladrillo

En bóvedas y arcos los defectos de los materiales y fallos de la estructura abren vías de filtración. Las filtraciones provocan problemas característicos, como alteraciones y manchas en paramentos y juntas.

Las eflorescencias constituyen depósitos de sales que pueden deteriorar los paramentos de piedra y ladrillo por ataque químico.

Figura 41

Humedades y eflorescencia en bóvedas de ladrillo



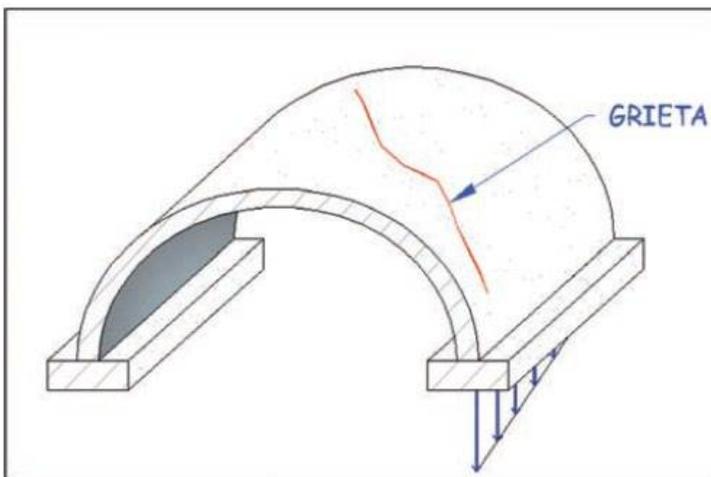
Fuente: Guía Para la Realización de Inspecciones de obras de paso en carreteras-⁽⁹⁾

2.9.7 Fisuras inclinadas en bóvedas de hormigón por asiento de la cimentación

Las bóvedas de hormigón en masa presentan una fisuración fácilmente reconocible cuando existen problemas de asientos, movimientos o giros de la cimentación. Se trata de fisuras inclinadas, que apuntan en su base a la parte de la cimentación que no ha sufrido el asiento.

Figura 42

Fisuras inclinadas en bóvedas de hormigón por asiento



Fuente: Guía Para la Realización de Inspecciones de obras de paso en carreteras-⁽⁹⁾

2.9.8 La socavación

Quizás el problema más presente en los puentes sea la socavación producida en la base de los pilares y los estribos, el cual se explica en un proceso de erosión provocado por la filtración de agua que arrastra su lecho, dándose en ciertas ocasiones un fenómeno complejo debido a la combinación de factores naturales tanto hidráulico y geotécnico.

En general no es un hecho fácil de detectar, ya que su intensidad aumenta con el incremento del caudal que dificulta el acceso visual a las fundaciones y hace que las cavidades formadas se rellenen con material aluvial de baja capacidad de carga.

La socavación total se produce por la conjugación simultánea de tres componentes que son: la degradación del lecho del río a largo plazo en la ubicación del puente, la socavación generalizada en una sección del puente y la socavación local junto a los pilares.

Figura 43

Socavación en un Pilar del Puente de Alcántara



Nota. Tomada de Conservación de Puentes de Piedra en el Perú, Héctor Bardales, 2013-⁽¹⁾

2.9.9 Degradación de Los Materiales

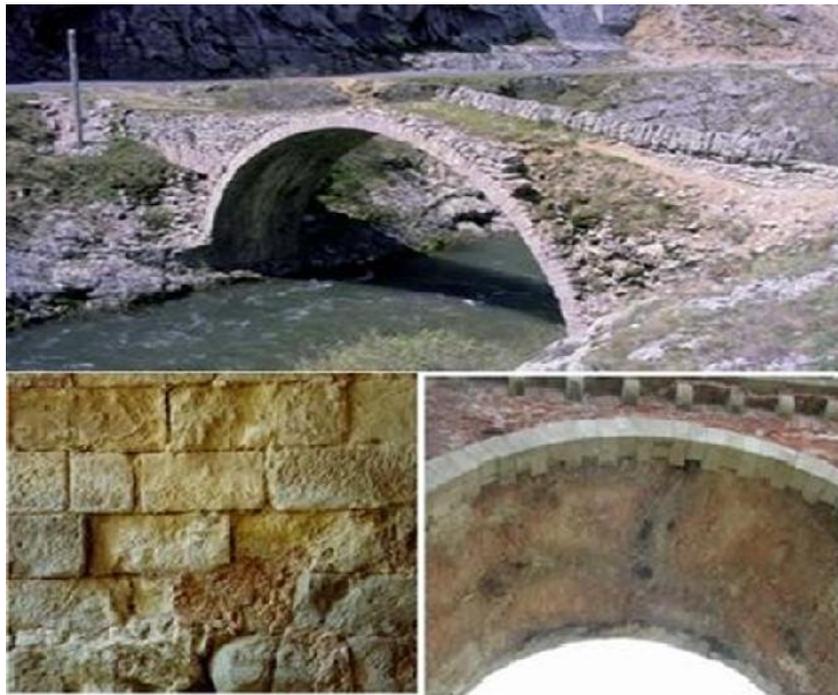
Otra de las patologías presentes es la degradación de los materiales constituyentes, y está relacionado con la impermeabilización de la superficie de rodadura para proteger los materiales de la mampostería y los rellenos de la acción del agua. La existencia de saturación de humedad en el interior de la mampostería favorece la formación de capas de vegetación, y desintegra los componentes de estos últimos por lavado de los más finos e hincha los suelos de relleno, contribuyendo a la degradación de la piedra y los morteros y en consecuencia

afectando la estabilidad de la estructura. Además, la presencia de infiltración de agua también puede ser origen a la aparición de eflorescencias.

El crecimiento de vegetación en la propia estructura puede causar acciones mecánicas importantes a medida que van penetrando en las juntas y hendiduras, contribuyendo a acelerar la degradación de los materiales y por ende de la estructura en conjunto. Quizás la vegetación rastrera no tiene efectos nocivos importantes, pero las que desarrollan raíces con predominio de penetrar por entre las juntas de la mampostería puede producir daños considerables a mediano plazo

Figura 44

Degradación en los Puentes de Mampostería



Nota. Tomada de Maestría Conservación de Puentes de Piedra en el Perú-⁽¹⁾

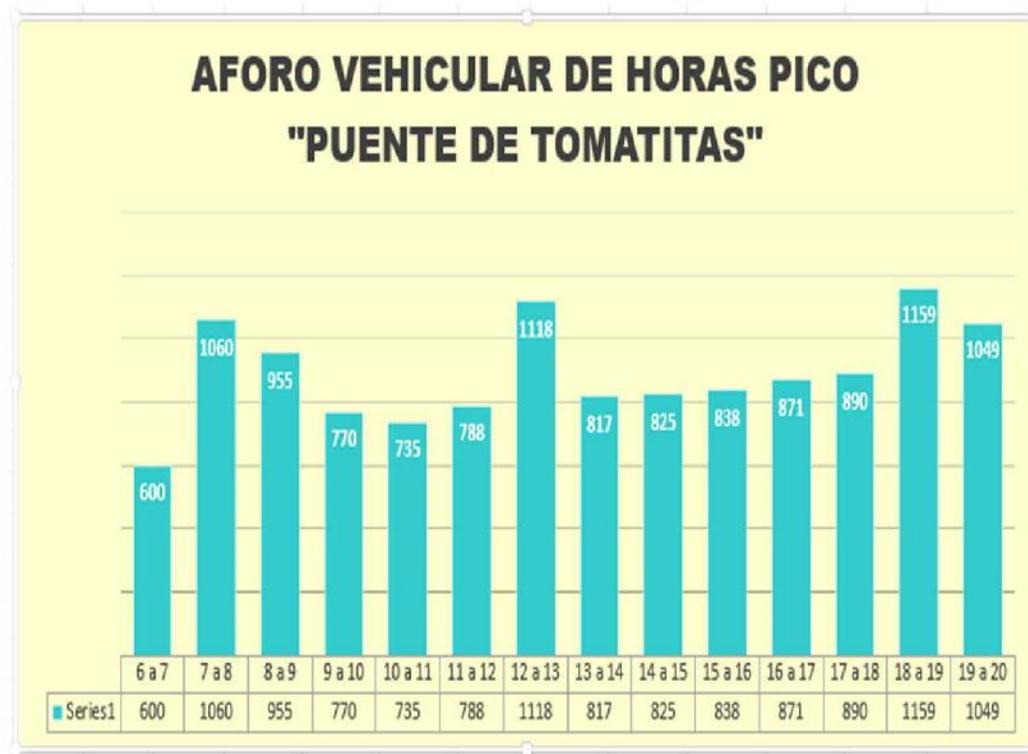
2.10. Tránsito de vehículos sobre el puente

El tránsito de vehículos sobre el puente de Tomatitas es otro factor que impacta sobre la capacidad estructural y funcional de esta estructura. Aspectos como el número de vehículos que transitan por la misma, sus características físicas y operativas, su peso bruto, la presión de sus neumáticos, tienen enorme influencia sobre este tipo de estructuras además de las características geométricas de la carretera a la entrada y salida de la estructura.

Para conocer el aforo vehicular, la cantidad de vehículos que pasa por el puente de Tomatitas según el proyecto de grado realizado por (Aldhair Limachi, 2017) “Comparación de Técnicas de Series Temporales Aplicado a la Salida Sur y Norte de la Ciudad de Tarija” el procedimiento del aforo se obtuvo por el método de la AASTHO donde se estudió horas pico del tráfico vehicular, se realizó el aforo desde las horas 06:00 am a 08:00 pm cuyo objetivo fue el de conseguir los picos del flujo vehicular obteniendo los siguientes resultados.

Figura 45

Aforo vehicular puente Tomatitas



Nota. Tomada de, comparación de técnicas de series temporales aplicado a la salida sur y norte de la ciudad de Tarija, 2017- ⁽²⁰⁾

Como se puede observar las horas con mayor circulación de vehículos son 7 a 8 de la mañana, 12 a 13 de la tarde y de 6 a 7 de la noche, una vez obtenido las horas de mayor circulación realizo un aforo de dos días hábiles y un día no hábil durante tres semanas tanto del ingreso como salida del puente obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 1

Datos de vehículos de ingreso al puente en dos días hábiles y uno no hábil

| mañana | tarde | noche | mañana | tarde | noche |
|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Lunes 07:00 a 08:00 | Lunes 12:00 a 13:00 | Lunes 18:00 a 19:00 | Martes 07:00 a 08:00 | Martes 12:00 a 13:00 | Martes 18:00 a 19:00 |
| 580 | 603 | 635 | 585 | 618 | 635 |
| 574 | 617 | 654 | 579 | 601 | 654 |
| 583 | 607 | 600 | 583 | 60 | 600 |
| 579 | 609 | 630 | 582 | 609 | 630 |

| mañana | tarde | noche |
|----------------------|----------------------|----------------------|
| Sabado 07:00 a 08:00 | Sabado 12:00 a 13:00 | Sabado 18:00 a 19:00 |
| 455 | 466 | 533 |
| 450 | 470 | 564 |
| 462 | 475 | 585 |
| 456 | 470 | 561 |

Tabla 2

Datos de vehículos de salida del puente en dos días hábiles y uno no hábil

| mañana | tarde | noche | mañana | tarde | noche |
|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Lunes 07:00 a 08:00 | Lunes 12:00 a 13:00 | Lunes 18:00 a 19:00 | Martes 07:00 a 08:00 | Martes 12:00 a 13:00 | Martes 18:00 a 19:00 |
| 475 | 501 | 531 | 478 | 525 | 509 |
| 481 | 495 | 521 | 480 | 489 | 525 |
| 478 | 517 | 535 | 467 | 512 | 517 |
| 478 | 504 | 529 | 475 | 509 | 517 |

| mañana | tarde | noche |
|----------------------|----------------------|----------------------|
| Sabado 07:00 a 08:00 | Sabado 12:00 a 13:00 | Sabado 18:00 a 19:00 |
| 365 | 372 | 481 |
| 375 | 385 | 488 |
| 393 | 412 | 498 |
| 378 | 390 | 489 |

Nota. Tomada de, comparación de técnicas de series temporales aplicado a la salida sur y norte de la ciudad de Tarija, 2017- ⁽²⁰⁾

Tabla 3

Promedio de los datos de dos días hábiles y un día no hábil

| | | |
|--------------|----------------|---------------|
| | INGRESO | SALIDA |
| Día hábil | 606 | 504 |
| Día hábil | 601 | 500 |
| Día no hábil | 496 | 419 |

Con estos datos que son promedio de vehículos del ingreso y salida del puente de Tomatitas de dos días hábiles y un día no hábil, realizo la proyección del tráfico vehicular a futuro para (1, 3, 5, 7 y 10 años) usando los diferentes modelos de series temporales obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 4

Proyección del tráfico vehicular en diferentes años "ingreso"

| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
|---------|----------|----------|----------|-----------|
| 644 | 719 | 794 | 869 | 982 |
| 639 | 713 | 788 | 863 | 975 |
| 526 | 588 | 649 | 711 | 803 |

Tabla 5

Proyección del tráfico vehicular en diferentes años "salida"

| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
|---------|----------|----------|----------|-----------|
| 535 | 598 | 660 | 723 | 817 |
| 531 | 593 | 656 | 718 | 811 |
| 445 | 497 | 549 | 601 | 679 |

Por los resultados que pudo obtener en su proyecto de grado por (Aldhair Limachi, 2017) "Comparación de Técnicas de Series Temporales Aplicado a la Salida Sur y Norte de la Ciudad de Tarija" para el año 2024 estarían ingresando aproximadamente 870 vehículos desde la ciudad, con estos estudios se nota lo importante que es el puente de Tomatitas para la ciudad de Tarija.

2.11 Conservación

Es el conjunto de operaciones y trabajos necesarios para que una obra se mantenga con las características funcionales, resistentes e incluso estéticas con las que fue proyectada y construida. Y se puede dividir este conjunto de operaciones y trabajos en tres fases íntimamente ligadas:

- a) Inspección
- b) Evaluación
- c) Mantenimiento

2.11.1 Inspección Visual de las Patologías

Dentro de los programas de conservación de puentes, las inspecciones tienen una importancia crucial.

Se entiende por inspección al conjunto de acciones de gabinete y campo, desde recopilación de información, historia del puente, expedientes técnicos del proyecto, inspecciones previas, etc. hasta la toma de datos en campo, a fin de conocer el estado del puente.

Con la inspección visual detallada se obtendrá un levantamiento gráfico de las patologías en la edificación. El propósito de realizar un detallado inventario de los daños mediante un levantamiento gráfico, es determinar el grado de compromiso de la estructura por tales efectos.

Todo lo observado y datos obtenidos durante la inspección, deben ser registrados ordenadamente en formularios preparados.

2.11.2 Evaluación

Se reúne y ordena toda la información obtenida en campo, junto con la documentación aportada por la entidad administradora si es que se podría obtenerlas.

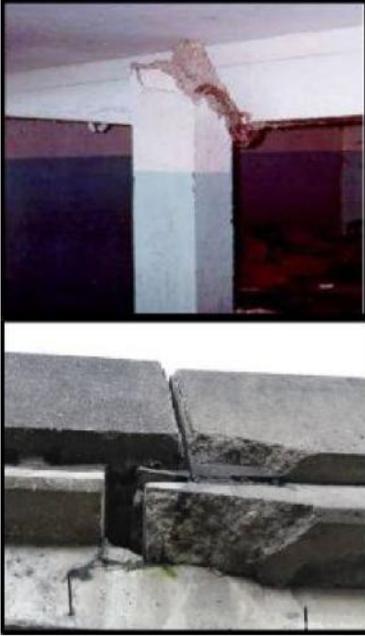
Se realiza una selección de datos, se analiza toda la información recabada, con ello y la comprensión del funcionamiento de cada elemento, se obtiene indicios, indicadores, etc.

En este proyecto se va evaluó las patologías más relevantes que podrían ocasionar serios problemas a la estructura, se presenta el siguiente cuadro acerca de las patologías que se evaluó en esta investigación

Tabla 6

Cuadro General de Lesiones Patológicas a Evaluar

| PATOLOGIAS : LESIONES | | |
|-----------------------|---|--|
| TIPOS | CLASES | IMAGEN |
| FÍSICAS | <ul style="list-style-type: none"> ▪ CAMBIOS DE HUMEDAD ▪ CAMBIOS DE TEMPERATURA ▪ EXPOSICIÓN DE AGUA EN LA ESTRUCTURA |  |

| | | |
|------------------|--|---|
| <p>MECÁNICAS</p> | <ul style="list-style-type: none"> ▪ DESPRENDIMIENTOS ▪ IMPACTOS • VIBRACIONES EXCESIVAS • EROSIÓN POR ABRASIÓN • SOCAVACIÓN • FISURAS • GRIETAS ▪ FRACTURAS |  |
| <p>QUÍMICAS</p> | <ul style="list-style-type: none"> • ATAQUE DE SULFATOS • ATAQUE DE ACIDOS ▪ SEGREGACIÓN ▪ HORMIGUEROS • CARBONATACIÓN • EFLORESCENCIA • OXIDACIÓN ▪ CORROSIÓN |  |

Nota. Tomada de Carlos Farfán, evaluación de las patologías del puente simón Rodríguez, 2018-⁽¹³⁾

2.11.3 Mantenimiento

Conjunto de actuaciones programadas de antemano o decididas como consecuencia de la evaluación del estado de un puente, que permiten conservarlo en un estado aceptable de servicio, para el que fue diseñado y construido.

2.12 Necesidad de conservar los puentes

Numerosos puentes de la red nacional de carreteras presentan daños importantes, como consecuencia de la acción agresiva de los agentes naturales y del crecimiento desmesurado de las cargas.

El deterioro causado por los agentes naturales es común a todas las obras de la ingeniería civil y es el resultado de un proceso mediante el cual la naturaleza trata de revertir el procedimiento artificial de elaboración de los materiales de construcción y llevarlos nuevamente a su estado original. De esta manera, el concreto, roca artificial formada por agregados pétreos unidos con cemento y agua, por efecto de los cambios de temperatura, el intemperismo y otros agentes, se agrieta y se desconcha y tiende otra vez a convertirse en arena, grava y cemento separados. Así mismo, el acero, formado por hierro con un pequeño agregado de carbono, es un material artificial inexistente en la naturaleza, que por efecto de la oxidación tiende a convertirse en un material más estable.

Por lo que se refiere a las cargas rodantes, el desarrollo tecnológico ha propiciado la aparición de vehículos cada vez más pesados en respuesta a la demanda de los transportistas que encuentran más lucrativa la operación de vehículos de mayor peso y, por otra parte, el desarrollo económico se ha reflejado en un notable incremento del parque vehicular. Esta situación explica los daños en las estructuras de pavimentos y puentes, causados por el aumento de las sollicitaciones mecánicas al aumentar el peso de las cargas rodantes y por la disminución de resistencia por efecto de la fatiga estructural ocasionada por el efecto de frecuencia en la aplicación de esas cargas.

Por estas razones, las entidades responsables de la operación de redes carreteras deben considerar la conservación de los puentes como una parte obligada de su quehacer a fin de mantener los niveles adecuados de seguridad y servicio de las estructuras.

Desafortunadamente, existe una considerable tardanza en la conservación de los puentes que se traduce en un deterioro creciente de su estado físico. Entre las razones que explican, pero no justifican esta tardanza, pueden señalarse las siguientes:

- *Escasez de recursos.* La crisis económica en la que se ve inmerso nuestro país, motiva a un considerable descenso del gasto público y una minimización de recursos disponibles para llevar a cabo la conservación. Por el contrario, la crisis debe ser motivo para conservar con

mayor esmero la infraestructura existente ya que, de destruirse, sería imposible restituirla por la escasez de recursos.

- *Preferencia a la estructura de pavimento.* Los limitados recursos asignados a la conservación de la red se han canalizado en el pasado fundamentalmente a la atención de la estructura de pavimentos, debido a que los materiales que la conforman son más vulnerables que los predominantes en los puentes, lo que motiva daños más extensos y más frecuentes. Los materiales de los puentes son ciertamente más durables, pero no son eternos y su falta de conservación puede destruirlos, ocasionando pérdidas económicas cuantiosas e interrupciones más prolongadas del tránsito que con los pavimentos.

- *Impopularidad de la conservación.* El crecimiento demográfico, la urbanización creciente generan una gran demanda de diversas obras nuevas de infraestructura, ante las cuales la conservación de las obras ya existentes resulta una tarea poco atrayente para la sociedad y sus dirigentes por tal motivo existe un descuido de estas estructuras.

- *Carencia de cultura de conservación.* En una sociedad subdesarrollada existe poca conciencia sobre la necesidad de conservar las obras, tanto públicas como privadas.

Su colapso ocasiona, frecuentemente, pérdidas de vidas y cuantiosas pérdidas económicas, tanto por la obra destruida como por la interrupción o demora de la operación. Por estas razones, conservarlos es una necesidad esencial.

2.13 Intervención en los puentes históricos

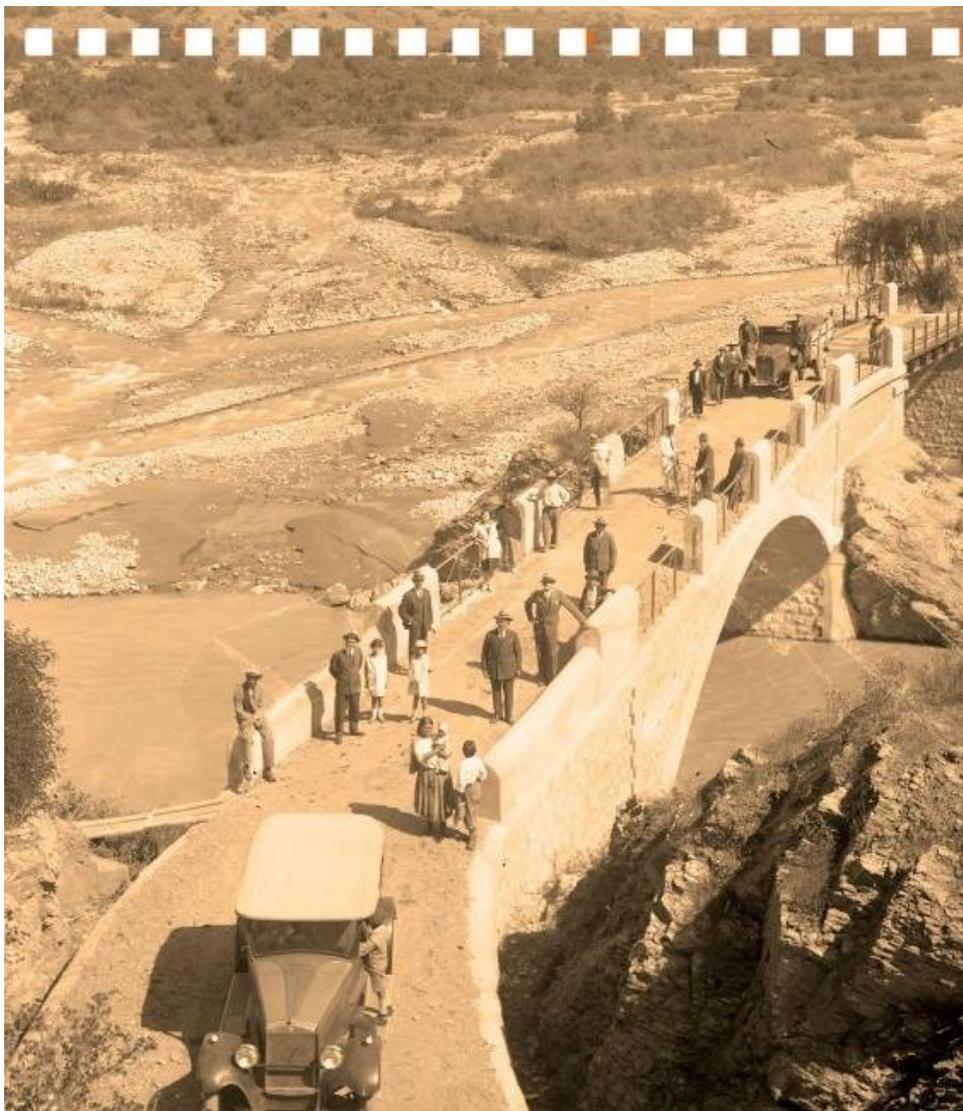
El gran número de puentes históricos que se conservaron, poseen intervenciones exclusivamente dirigidas para dar continuidad a la función que cumplen en su entorno, sin duda la principal función requerida fue la necesidad creciente de tráfico, y esto produjo que muchos puentes modifiquen su rasante o en el peor de los casos ensanchen su plataforma.

Se especifica tres grupos claramente definidos de trabajos de intervención en los puentes históricos, las cuales se menciona a continuación:

- a) Intervenciones de adaptación hacia las nuevas necesidades funcionales.
- b) Las reparaciones, reconstrucciones o restauraciones.
- c) Sustituirlos por nuevos puentes cuando les es imposible sostener su tráfico

Figura 46

Fotografía del Puente de Tomatitas 1940



Nota. Tomada de Tarija antigua, de Facebook (16 de septiembre 2015).- ⁽²⁶⁾

CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Desarrollo de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

La investigación es cuantitativa se ha desarrollado de tipo descriptivo y explicativo, porque en la investigación se describió y explico la situación actual del puente de Tomatitas, para lo cual se recogió información necesaria para el análisis de esta investigación.

3.1.2 Diseño de investigación

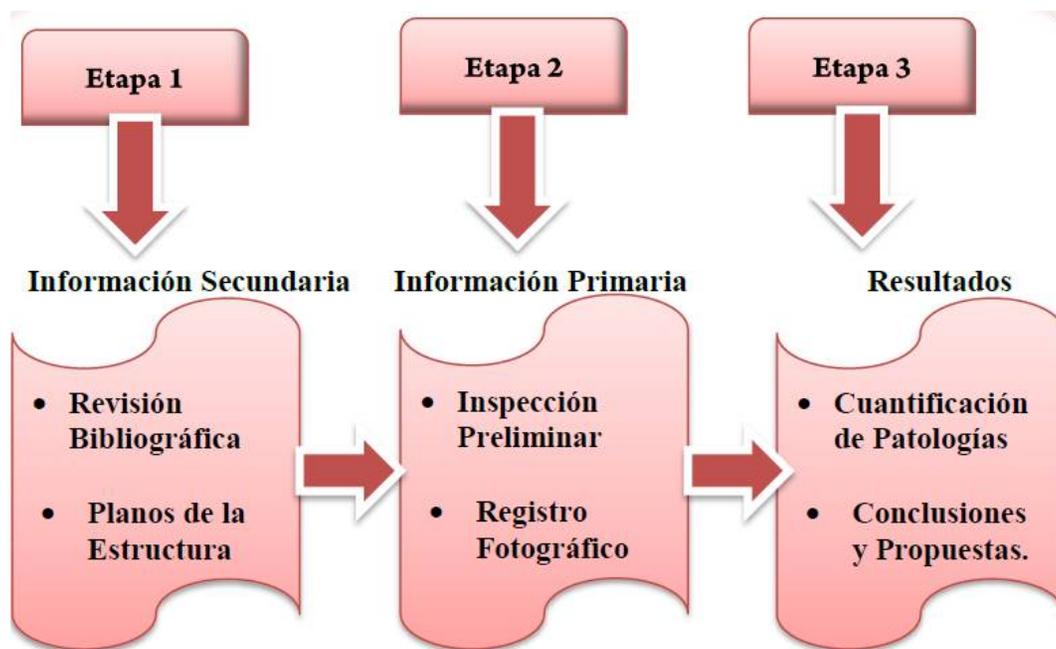
El diseño de la investigación que se ha empleado en esta investigación fue no experimental transaccional, porque esta investigación se centró en evaluar el nivel de daño del puente, para cual se recolecto información en un solo momento, siendo el propósito describir las patologías y analizar los mismos para determinar su incidencia en la estructura.

3.1.3 Procedimiento de la investigación

El estudio consistió en 3 etapas

Figura 47

Estudio de las etapas de la investigación



Nota. Tomada de Carlos Farfán, evaluación de las patologías del puente simón Rodríguez, 2018-⁽¹³⁾

1) Etapa 1 Información secundaria

En esta etapa se seleccionó toda información disponible en, libros, manuales, trabajos de tesis y documentos relacionados con diagnóstico patológico y conservación de puentes, así como también se realizó un levantamiento topográfico obteniendo los planos del puente de Tomatitas con todas sus dimensiones, medidas, vistas en planta en perfil y corte.

2) Etapa 2 Información primaria

En esta etapa resulta de un trabajo de recolección de información en campo, los cuales se realizaron a partir de constantes visitas técnicas donde se realizó una inspección visual detallada para llevar un registro fotográfico de cada uno de los daños y fallas patológicas.

3) Etapa 3 Resultados

A partir de la información obtenida en la inspección visual detallada se identifica, localiza y caracteriza las patologías presentes en el puente, con el objetivo de diagnosticar el estado actual de los elementos del puente. Se siguió la metodología de la Guía Para Inspección, Evaluación y mantenimiento de Puentes del Perú, donde nos da procedimientos de cálculo para encontrar un número que califique la condición, sea de un elemento como del puente mediante una ficha de inspección, para luego proponer la propuesta de rehabilitación.

3.2 Equipos y/o herramientas para la inspección

- Wincha, regla para medir las longitudes y las áreas de los daños
- Cámara fotográfica, para evidencias patológicas
- Cuaderno de campo, lapicero, lápiz, regla de dibujo para bosquejos, etc.
- Estación total
- Equipo de dron para fotografías aéreas
- Manual de inspección de puentes
- Escalera

3.3 Método de la investigación

- Recopilación de información
- Inspección de campo y toma de datos
- Analizar y evaluar toda la información
- Describir e interpretar los resultados
- Establecer el diagnóstico de cada elemento estructural del puente
- Evaluar las conclusiones y recomendaciones

CAPÍTULO IV CARACTERIZACIÓN DEL PUENTE

4.1 Análisis de Planos del Puente

Como complemento de la inspección, generalmente se examinan planos de diseño, o planos de como quedo construido el puente, para entender la estructuración del mismo y para buscar recolectar información ya que en ocasiones no se tiene acceso físico y/o visual a algunos componentes del puente.

El puente de Tomatitas en particular no se pudo encontrar planos del puente, por ese motivo se realizó un levantamiento topográfico para obtener los planos de diferentes vistas con sus dimensiones y detalles, obteniendo también imágenes en 3D renderizadas (ver en anexos).

4.2 Descripción del Puente Tomatitas

Se encuentra conformado por dos tipologías de puentes una de mayor relevancia que la otra, el de mayor relevancia es de tipo puente bóveda de mampostería de 22,50 m de longitud donde fue modificada la geometría del puente aproximadamente entre los años 1996-1997 se ensancho la plataforma (calzada) como se ve en la figura 48 para hacerla de dos carriles por el incremento del tráfico.

Figura 48

Ensanchamiento del puente Tomatitas



En la figura 48 se puede notar claramente el cambio, el ensanchamiento de la plataforma que es el lado derecho viniendo de la ciudad de Tarija, el ensanchamiento tiene una medida de 2m

Figura 49

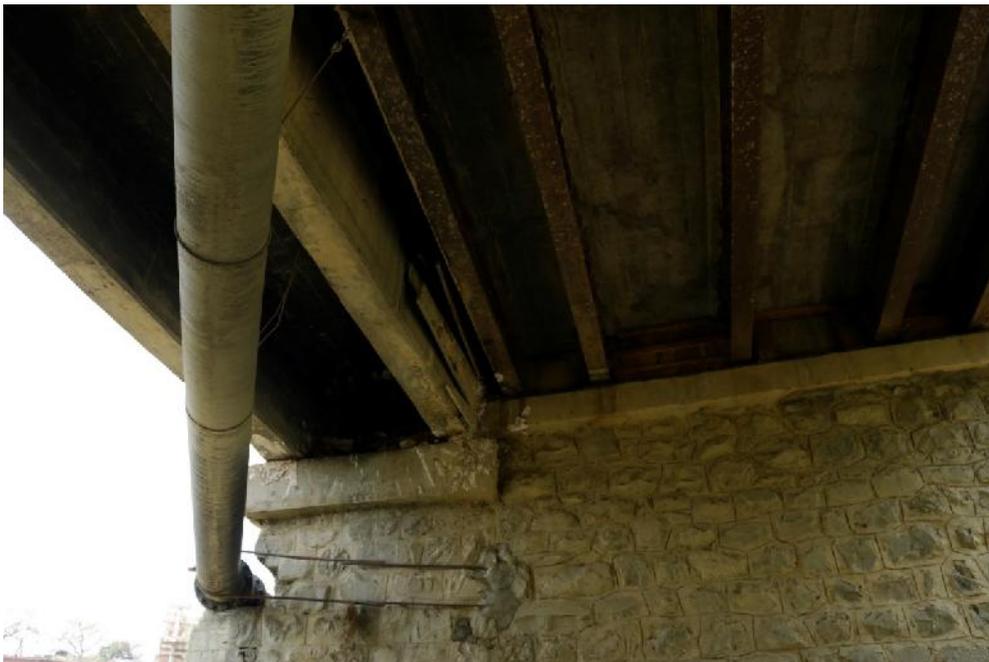
Vista General del Puente



El OTRO TRAMO del puente es de mucho menos longitud se trata de un puente viga losa de vigas metálicas de 8m de longitud donde fue también ensanchado la plataforma con vigas de hormigón armado se puede observar en la figura 50

Figura 50

vista del ensanchamiento del tramo puente de vigas



En la figura 51 se observa todo el puente en vista lateral modelado, donde se puede alcanzar a distinguir el tramo de puente boveda que es el mas relevante y el tramo de puente de viga

Figura 51

vista lateral general del puente Tomatitas modelado

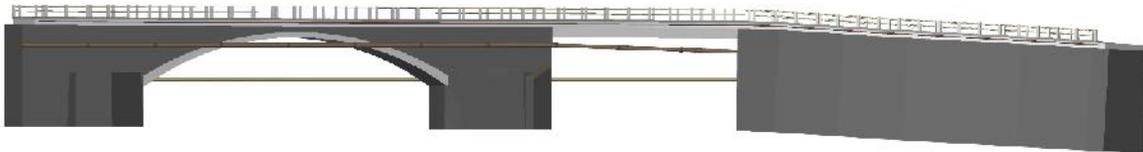


Figura 52

Vista lateral general del puente de Tomatitas modelado y renderizado



Figura 53

Vista lateral general del puente de Tomatitas foto real



4.3 Descripción de los Elementos del Puente de Tomatitas

4.3.1 Accesorios

4.3.1.1 Entradas de Aproximación al puente

Las entradas del puente para que exista cierta comodidad al entrar al puente, cuentan con una capa bien compactada tanto viniendo de la ciudad y como también con una rampa al venir de la provincia de Méndez ver figura 54 y 55

Figura 54

Entrada al Puente Viniendo de la Ciudad



Figura 55

Entrada al Puente Desde la Provincia de Méndez



4.3.1.2 Superficie de Rodamiento

Es muy importante el estado de la calzada ya que al momento de evacuar las aguas de lluvia si no se encuentra en buenas condiciones la calzada puede afectar considerablemente al puente, por lo tanto, el pavimento es un factor colaborante en las condiciones de evacuación superficial.

La calzada del puente de Tomatitas existía un grave deterioro debido al tránsito pesado de automotores, por lo tanto, se realizó una nueva capa asfáltica en septiembre del año 2021 con estos trabajos realizados al momento de la inspección visual no se encontraron fallas o daños, la calzada tiene como ancho 6 m.

Figura 56

Calzada del puente de Tomatitas



4.3.1.3 Aceras

Las aceras son de hormigón tienen diferentes dimensiones, son muy estrechas en la parte izquierda la acera es de 0.80 m y descontando los postes de las barandas queda una distancia para circular de 0.60 m que es muy estrecha y peligrosa para circular un peatón la parte derecha viniendo de la ciudad tiene 1 m de ancho descontado 0.80 m para circular.

Figura 57

Acera lado izquierdo y acera lado derecho



4.3.1.4 Barandas y Postes

Las barandas del puente de Tomatitas son metálicas y los postes de hormigón armado, su estilo es muy antiguo no cumple con la normativa actual, la altura de los postes es aproximadamente de 0.83 m, la separación de poste a poste no es una distancia regular varia, sacando un promedio la separación es de 1.70 m

Figura 58

Barandas y Postes del puente vista lateral



4.3.1.5 Drenaje

El sistema de drenaje asegura la correcta evacuación del agua desde la superficie del tablero, es tan importante ya que constituye un aspecto básico para la durabilidad del puente en especial si se trata de un puente de mampostería.

En el puente de Tomatitas no existe sistema de drenaje en el puente mismo, existe una ligera y poca pendiente para el escurrimiento que no es suficiente por ese motivo hubo en ocasiones cuando llovió demasiado caudales elevados sobrepasando el puente quedando inundado. Solo existe una rejilla de drenaje al final de la rampa.

Figura 59

Crecida del rio Guadalquivir





4.3.1.6 Señalización y Seguridad del Trafico

En lo que se refiere a la seguridad en el puente de Tomatitas, existió en su momento un pórtico de altura para que no circularan el transporte pesado, debido al mal estado de las carreteras alternas el transporte pesado nuevamente circula por el puente de Tomatitas, en la parte de la señalización es muy escasa solo se cuenta con un letrero guía de las rutas.

Figura 60*Señalización del Puente de Tomatitas***4.3.1.7 Iluminación**

En iluminación existen tres postes en todo el puente uno en la parte derecha viniendo de la ciudad de Tarija y otros dos en la parte izquierda, la iluminación no alcanza a alumbrar eficientemente toda la calzada del puente.

Figura 61

Iluminación puentes de Tomatitas

**4.3.2 Super Estructura (puente bóveda)****4.3.2.1 losa**

Si bien no existe alguna documentación de la forma de construcción del puente junto con sus materiales, basándonos de la forma de construcción de puentes similares la losa de un puente bóveda es una capa de hormigón en masa que se lo coloca encima del relleno compactado, cuando se realizó la nueva capa de asfalto en el año 2021 se pudo observar la losa de hormigón.

Figura 62

Losa del Puente en Arco



4.3.2.2 Servicios Públicos Instalados

En el puente de Tomatitas sostiene varias tuberías que son de abastecimiento de agua tanto en la parte lateral derecha como lateral izquierda, si bien es común que pasen tuberías sobre un puente, estas tuberías se deben colocarlas de manera correcta, en el caso del puente de Tomatitas su forma de colocación es muy básica, se lo sostiene las tuberías por alambres sostenidos por los postes de las barandas, como también por fierros incrustados en los tímpanos que dañan a la mampostería de piedra dejando grietas donde puede infiltrar agua y ocasionar muchos daños.

Figura 63

Servicios Públicos Instalados



4.3.3 Super estructura (puente viga-losa con vigas metálicas)

4.3.3.1 Losa

La losa de puente de vigas es de hormigón tiene una longitud de 8 metros con un espesor de 20 cm aproximadamente.

Figura 64

Losa del Puente de Vigas



4.3.3.2 Vigas de Acero

Son 5 vigas de acero de forma VIGA I de longitud de 8m aproximadamente con una altura o peralte de 40cm, ancho o patín de 16.5cm, espesor del patín 2cm y un espesor del alma de 2.5cm.

Figura 65

Vigas de Acero puente de Tomatitas



4.3.3.3 Vigas de hormigón

Son dos vigas de hormigón armado que tienen 1m de altura y un ancho de 30cm y un espaciamiento de cara externa a cara externa de 116cm como se observa en la figura.

Figura 66

Vigas de Hormigón Armado Puente de Tomatitas



4.3.3.4 Aparatos de Apoyo

En el puente existe dos tipos de aparatos de apoyo para las vigas de acero el aparato de apoyo son láminas de acero, para las vigas de hormigón son neoprenos.

Figura 67

Aparatos de Apoyo Puente de Tomatitas



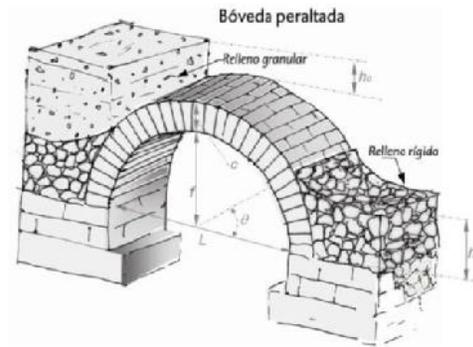
4.3.4 Sub estructura

4.3.4.1 Relleno

El relleno se encuentra situado entre el arco, tímpanos, estribos y superficie de rodadura, el relleno está conformado por terrenos granulares que se encontrase en el lugar y momento de la construcción del puente, por lo general es del terreno extraído durante la excavación de las cimentaciones.

Figura 68

Relleno de un Puente en Arco



4.3.4.2 Tímpanos

Los tímpanos del puente son de mampostería la combinación de piedras con el mortero, la piedra le da mayor durabilidad a la estructura como por ejemplo a los efectos de intemperismo, a la contaminación y la erosión tanto del viento como del agua, por otra parte, el mortero rellena las juntas impidiendo el paso del agua y reparte uniformemente las cargas.

Figura 69

Mampostería del puente de Tomatitas



4.3.4.3 bóveda

La bóveda es el principal elemento resistente del puente, que gracias a su forma geométrica resiste las cargas que actúan sobre él, mediante un mecanismo resistente donde predominan las compresiones, el puente bóveda de Tomatitas es de hormigón su espesor tiene una ligera variación desde el arranque hacia la clave.

Figura 70

Vista del Puente bóveda de Tomatitas



4.3.4.4 Estribos

Los estribos son los elementos encargados de resistir por gravedad los empujes horizontales que provienen de la bóveda, en el puente bóveda de Tomatitas los estribos son un elemento fundamental por el cual todavía sigue funcionando a pesar de los muchos años en funcionamiento transitando vehículos muy pesados, los estribos son de mampostería de piedra y mortero, están contruidos junto con la roca del lugar los dos estribo están apoyados en roca que eso es uno de los principales motivos por el cual el puente es muy resistente ya que todo el peso se transmite a la bóveda y la bóveda transmite hacia los estribos en forma de una fuerza horizontal muy grande que tiende a abrir al puente.

Figura 71

Estribo situado en la parte de la Provincia de Cercado



Figura 72

Estribo situado en la parte de la Provincia de Méndez



4.4 Descripción estructural puente en arco

A la hora de realizar una evaluación estructural de un puente existente, resulta vital conocer la definición geométrica real de la estructura a evaluar, así como las propiedades de los materiales que la componen y el terreno sobre el que se cimienta.

Geometría

El puente bóveda de Tomatitas es de único vano, de longitud de 22,57m y su flecha de 3.5m, un espesor de bóveda variable con 40cm en el centro y 100cm en el arranque, un espesor de relleno en clave (en el centro) de 60cm, es un puente recto cuyo ancho de calzada es de 6m.

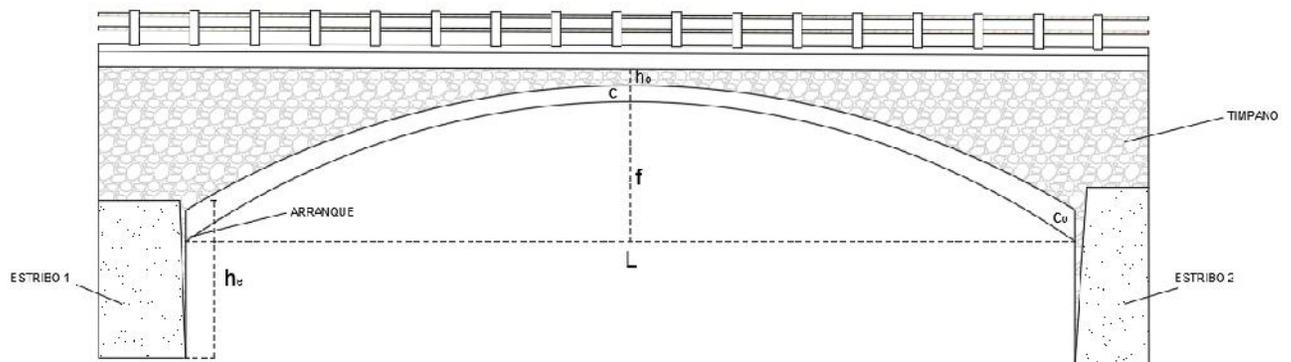
Los estribos tienen un ancho de 6.30m ligeramente más anchos que la bóveda y una altura de 4.20m.

A continuación, se presenta una tabla resumen con las relaciones geométricas más relevantes del puente:

| | | | |
|------------------|-------------------------------|-----|-------|
| c: | (valor del canto en clave) | [m] | 0.40 |
| c ₀ : | (valor del canto en arranque) | [m] | 1.00 |
| L: | (luz libre) | [m] | 22.57 |
| f: | (flecha) | [m] | 3.50 |
| h ₀ : | (sobre espesor en clave) | [m] | 0.60 |
| h _e : | (altura del estribo) | [m] | 4.20 |

Figura 73

Geométrica del Puente en Arco



Materiales

La bóveda está formada por hormigón, no se sabe si contiene acero en la bóveda para esta investigación hemos supuesto una cantidad mínima de acero, los estribos y los tímpanos mismo tipo de material de sillería de piedra con juntas de mortero, a continuación, se van a resaltar aquellas propiedades que son de importancia directa en la evaluación estructural:

- Peso específico de la piedra (mampostería) $\gamma_p = 1900 \text{ Kg/m}^3$
- Peso específico del hormigón en masa $\gamma_h = 2400 \text{ Kg/m}^3$
- Peso específico del pavimento $\gamma_{pavi} = 2200 \text{ Kg/m}^3$
- Peso específico del relleno $\gamma_{re} = 1800 \text{ Kg/m}^3$
- Resistencia a compresión simple de la mampostería $f_c = 1500 \text{ Kg/m}^2$
- Resistencia a tracción simple de la mampostería $f_t = 0 \text{ Kg/m}^2$

4.5 Bases de calculo

El objetivo de la evaluación de la estructura existente es determinar si el nivel de seguridad y el comportamiento son aceptables.

Los puentes ejecutados durante el siglo XX fueron dimensionados según la teoría del comportamiento elástico, de este modo se desarrollaron modelos simplificados sometidos a las cargas permanentes y sobrecargas, afectadas por sus coeficientes de seguridad correspondientes en esa época.

Es importante resaltar que las normativas de acciones van evolucionando incrementando las cargas y velocidades cada cierto tiempo obedeciendo a los cambios y requerimientos de la actualidad mientras las estructuras existentes atienden a dichos cambios con expectación.

En la época que se construyó el puente de Tomatitas 1928 la carga a soportar por el puente era de 1500 kg a 2000 kg, peso de los vehículos en esa época con un ancho de calzada de 4m antes del ensanchamiento, en la actualidad el vehículo más pesado que transita en el puente con un ancho de calzada de 6m es de 50 000 kg, 25 veces más de peso desde el año que se construyó.

Se comprueba el aumento de los esfuerzos debido a las sobrecargas, las normativas antiguas para puentes, los criterios de seguridad se planteaban en términos de tensiones admisibles, limitando las tensiones máximas en los materiales de los puentes y minorando sus resistencias.

4.6 Metodología de la evaluación estructural

Para el cálculo se consideró el estado límite de resistencia relacionado con la resistencia y la estabilidad durante la vida de diseño, para verificar su seguridad y servicio.

4.6.1 Cargas

Las cargas son de dos tipos: cargas permanentes y cargas transitorias.

4.6.1.1 Cargas permanentes

DC= Peso propio de todos los componentes estructurales y accesorios no estructurales

DW= Peso propio de las superficies de rodamiento e instalaciones para servicios públicos.

4.6.1.2 Cargas transitorias

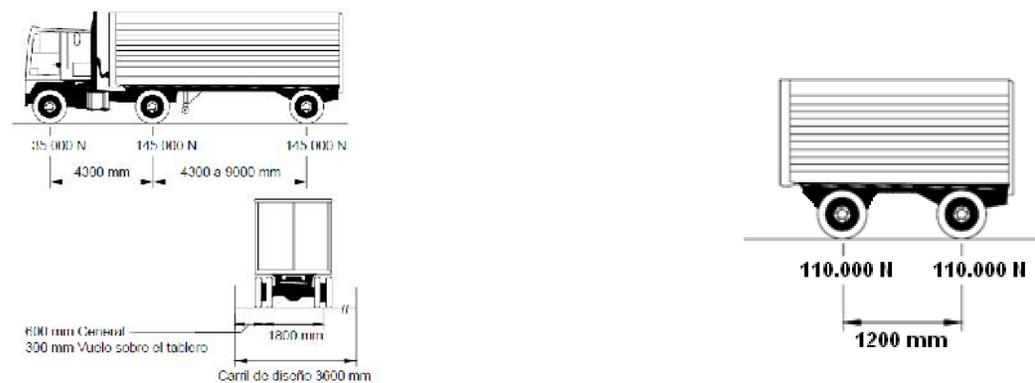
1.- Sobrecarga gravitatoria

Según el reglamento AASHTO LRFD (Asociación Estadounidense de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transporte) se tomó el camión de diseño HL-93 que consiste en una combinación de:

- Camión de diseño o tándem de diseño, sujeta al incremento de carga dinámica.
- Carga de carril de diseño, el cual consiste en una carga de 9.300 N / mm , distribuida longitudinalmente y transversalmente en un ancho de 3000 mm sin efecto de carga dinámica

Figura 74

Camión HL-93, Tándem de diseño y Carga de carril



La sollicitación extrema equivale al efecto mayor existente entre el camión de diseño con el carril de diseño o el tándem de diseño con el carril de diseño.

2.- Incremento por carga dinámica: IM

Es un incremento que se aplica a las cargas vehiculares tanto al camión o tándem de diseño, pretende considerar el efecto del golpe dinámico de los vehículos sobre elementos del puente expuestos directamente al tránsito de vehículos, su valor para todos los estados límites es 33%.

4.6.2 Combinaciones y Factores de cargas

Se deben de mayorar las cargas según especifica la normativa AASHTO LRFD para el estado de RESISTENCIA I que es la combinación básica de cargas que representa el paso de un vehículo normal en el puente sin la consideración del viento.

Los factores de carga para las distintas cargas de diseño serán tomados de acuerdo a lo indicado en la siguiente tabla.

Tabla 7

Factores de Carga y Combinaciones

| Combinación de Cargas Estado Límite | DC DD DW EH EV ES EL PS CR SH | LL IM CE BR PL LS | WA | WS | WL | FR | TU | TG | SE | Usar sólo uno por vez | | | | |
|--|--|----------------------------------|------|------|-----|------|-----------|---------------|---------------|-----------------------|------|------|------|------|
| | | | | | | | | | | EQ | BL | IC | CT | CV |
| Resistencia I (excepto notas) | γ_p | 1.75 | 1.00 | — | — | 1.00 | 0.50/1.20 | γ_{TG} | γ_{SE} | — | — | — | — | — |
| Resistencia II | γ_p | 1.35 | 1.00 | — | — | 1.00 | 0.50/1.20 | γ_{TG} | γ_{SE} | — | — | — | — | — |
| Resistencia III | γ_p | — | 1.00 | 1.40 | — | 1.00 | 0.50/1.20 | γ_{TG} | γ_{SE} | — | — | — | — | — |
| Resistencia IV | γ_p | — | 1.00 | — | — | 1.00 | 0.50/1.20 | — | — | — | — | — | — | — |
| Resistencia V | γ_p | 1.35 | 1.00 | 0.40 | 1.0 | 1.00 | 0.50/1.20 | γ_{TG} | γ_{SE} | — | — | — | — | — |
| Evento Extremo I | γ_p | γ_{EQ} | 1.00 | — | — | 1.00 | — | — | — | 1.00 | — | — | — | — |
| Evento Extremo II | γ_p | 0.50 | 1.00 | — | — | 1.00 | — | — | — | — | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Servicio I | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.30 | 1.0 | 1.00 | 1.00/1.20 | γ_{TG} | γ_{SE} | — | — | — | — | — |
| Servicio II | 1.00 | 1.30 | 1.00 | — | — | 1.00 | 1.00/1.20 | — | — | — | — | — | — | — |
| Servicio III | 1.00 | 0.80 | 1.00 | — | — | 1.00 | 1.00/1.20 | γ_{TG} | γ_{SE} | — | — | — | — | — |
| Servicio IV | 1.00 | — | 1.00 | 0.70 | — | 1.00 | 1.00/1.20 | — | 1.0 | — | — | — | — | — |
| Fatiga I— LL, IM & CE solamente | — | 1.50 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Fatiga II— LL, IM & CE solamente | — | 0.75 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

Nota. Tomada de ing. Antonio Singuri, *Análisis y diseño de Superestructura de puente-* (25)

Tabla 8

Factores de Carga para Cargas Permanentes

| Tipo de Carga, Fundación y Método Usado para Calcular Fricción Negativa (Downdrag) | | Factor de Carga | |
|--|--|-----------------|--------|
| | | Máximo | Mínimo |
| <i>DC</i> : Elemento y Accesorios | | 1.25 | 0.90 |
| <i>DC</i> : Sólo Resistencia IV | | 1.50 | 0.90 |
| <i>DD</i> : Downdrag | Pilotes, Método Tomlinson α | 1.4 | 0.25 |
| | Pilotes, Método λ | 1.05 | 0.30 |
| | Ejes perforados, Método O'Neil and Reese (1999) | 1.25 | 0.35 |
| <i>DW</i> : Superficies de Rodamiento e Instalaciones para Servicios | | 1.50 | 0.65 |
| <i>EH</i> : Presión Horizontal del Terreno: | | | |
| | • Activa | 1.50 | 0.90 |
| | • En Reposo | 1.35 | 0.90 |
| | • AEP para muros anclados | 1.35 | N/A |
| <i>EL</i> : Tensiones Residuales en Construcción | | 1.00 | 1.00 |
| <i>EV</i> : Presión Vertical del Terreno | | | |
| | • Estabilidad Global | 1.00 | N/A |
| | • Muros de Sostenimiento y Estribos | 1.35 | 1.00 |
| | • Estructura Rígida Enterrada | 1.30 | 0.90 |
| | • Marcos Rígidos | 1.35 | 0.90 |
| | • Estructuras Flexibles Enterradas | | |
| | ○Alcantarillas Cajón Metálicas y de Placas Estructurales con Corrugaciones Profundas | 1.5 | 0.9 |
| | ○Alcantarillas Termoplásticas | 1.3 | 0.9 |
| | ○Todas las demás | 1.95 | 0.9 |
| <i>ES</i> : Sobrecarga de Suelo | | 1.50 | 0.75 |

Nota. Tomada de ing. Antonio Singuri, *Análisis y diseño de Superestructura de puente*-⁽²⁵⁾

CAPÍTULO V EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PUENTE BOVEDA

5.1 Modelo y Idealización de la Estructura

Figura 75

Modelo real del puente bóveda a analizar



El análisis se realiza para 1m de ancho.

Datos:

- Puente bóveda
- Longitud 22,57m
- Flecha 3.5m
- Resistencia característica del hormigón $f_c=180 \text{ kg/cm}^2$
- Resistencia característica del acero $f_y= 4079 \text{ kg/cm}^2$
- Peso específico para el hormigón $\gamma_h=2400 \text{ kg/m}^3$
- Peso específico del pavimento $\gamma_a= 2200 \text{ kg/m}^3$
- Peso específico del relleno $\gamma_r=1800 \text{ kg/m}^3$

5.2 Condiciones de Borde

Bóveda biempotrado, una estructura hiperestática de 3er grado, hay momentos negativos grandes en el arranque por ese motivo se requiere una mayor sección para cubrir esas solicitaciones.

5.3 Relación Flecha y Luz [f/L]

Se tiene una flecha de 3.5m y una luz de 22,57m con una relación de $f/L = 0.155$ que se encuentra dentro del rango ideal entre 0.25 como máximo y 0.1 como mínimo, es decir las dimensiones geométricas del puente, su curva parabólica está dentro del rango ideal para presentar menores valores de esfuerzos especialmente de momentos para las distintas combinaciones de carga.

5.4 Forma del Arco

Ecuación de la parábola:

$$y = \frac{4hx(L-x)}{L^2} \quad \dots(1)$$

Donde:

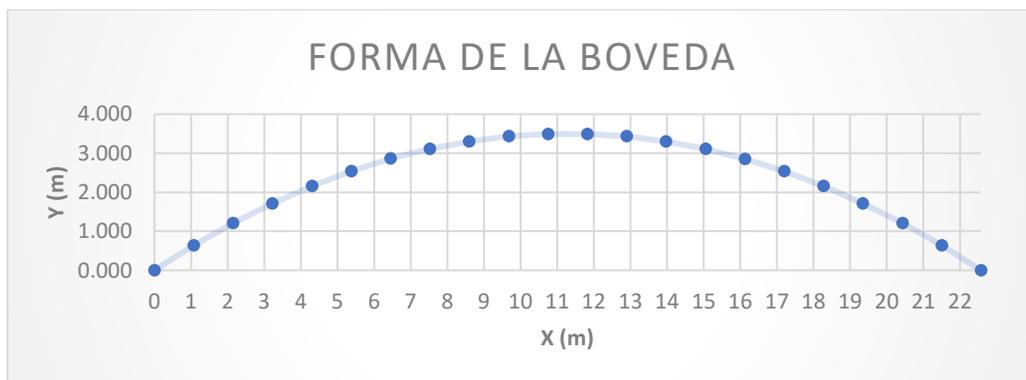
| | | |
|---|-----------------------|-----|
| y | Coordenada del eje y | [m] |
| h | Altura de la bóveda | [m] |
| L | Longitud de la bóveda | [m] |
| x | Coordenada del eje x | [m] |

Reemplazando valores se obtuvo la ecuación de la parábola:

$$y = -0.027x^2 + 0.62x + 0$$

Figura 76

Forma del Puente Bóveda



5.5 Análisis de carga

El análisis se realizó para 1m de ancho de profundidad de la bóveda, el puente está sometido a diferentes tipos de carga, se analizó las cargas por peso propio de la estructura, peso de accesorios y las cargas vivas como carga de camión HL-93 y carga de carril.

5.5.1 Peso propio

La distribución transversal del peso propio de la bóveda es bastante compleja debido al espesor variable del arco. Sin embargo, esta carga se puede resolver en cargas parabólicas uniformes y complementarias, para ello primeramente se determinó el peso del arco calculando su volumen como un prismoide.

$$V = \frac{s(a_1 + 4a + a_2)}{6} \quad \dots (2)$$

Donde:

| | | |
|----------------|--|-------------------|
| V | Volumen de la bóveda | [m ³] |
| s | Longitud de la bóveda | [m] |
| a ₁ | Área transversal del inicio de la bóveda | [m ²] |
| a | Área transversal de ¼ de la bóveda | [m ²] |
| a ₂ | Área transversal del centro de la bóveda | [m ²] |

Cálculo de la longitud del arco utilizando calculo diferencial e integral obteniendo la siguiente formula:

$$s = \int_{-a}^a \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx$$

Derivando la ecuación de la parábola: $y = -0.027x^2 + 0.62x$

$$\frac{dy}{dx} = -0.054x + 0.62$$

$$s = \int_0^{22.57} \sqrt{1 + (-0.054x + 0.62)^2} dx$$

$$s = 23.90\text{m}$$

Cálculo de las áreas transversales:

$$a_1 = \text{área transversal en el arranque} = 1\text{m} * 1\text{m} = 1\text{m}^2$$

$$a = \text{área transversal de } \frac{1}{4} \text{ de la bóveda} = 0.56\text{m} * 1\text{m} = 0.56\text{m}^2$$

$$a_2 = \text{área transversal del centro de la bóveda} = 0.40\text{m} * 1\text{m} = 0.40\text{m}^2$$

reemplazando en la ecuación 2:

$$V = \frac{23.90(1 + 4 * 0.56 + 0.40)}{6}$$

$$V = 14.50 \text{ m}^3$$

Cálculo del peso total:

$$w_{total} = \gamma_h * V \quad \dots(3)$$

Donde:

| | | |
|-------------|------------------------------|--------------------------|
| w_{total} | Peso total del arco | $[\text{kg}/\text{m}^3]$ |
| γ_h | Peso específico del hormigón | $[\text{kg}]$ |
| V | Volumen total del arco | $[\text{m}^3]$ |

$$w_{total} = 2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 14.50 \text{ m}^3$$

$$w_{total} = 34800 \text{ kg}$$

Carga distribuida con espesor del centro de la bóveda:

$$q_{a2} = \gamma_h * A_{a2} \quad \dots(4)$$

Donde:

| | | |
|------------|---|--------------------------|
| q_{a2} | Carga distribuida con espesor del centro de la bóveda | $[\text{kg}/\text{m}]$ |
| γ_h | Peso específico del hormigón | $[\text{kg}/\text{m}^3]$ |
| A_{a2} | Área transversal del centro de la bóveda | $[\text{m}^2]$ |

$$q_{a2} = 2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} (0.40 \text{ m} * 1 \text{ m})$$

$$\boxed{q_{a2} = 960 \frac{\text{kg}}{\text{m}}}$$

Cálculo del peso de la carga distribuida, representa una parte del peso de la bóveda

$$w_1 = q_{a2} * L \quad \dots(5)$$

Donde:

| | | |
|----------|---|------------------------|
| w_1 | Peso de la carga uniformemente distribuida | $[\text{kg}]$ |
| q_{a2} | Carga distribuida con espesor del centro de la bóveda | $[\text{kg}/\text{m}]$ |
| L | Longitud horizontal del arco | $[\text{m}]$ |

$$w_1 = 960 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * 22.57 \text{ m}$$

$$w_1 = 21667.2 \text{ kg}$$

Cálculo de la otra parte del peso de la bóveda, es una carga parabólica complementaria, la diferencia entre el peso total de la bóveda menos el peso de la carga distribuida.



$$W_{carga\ parab.} = 34800\ kg - 21667.2\ kg$$

$$W_{carga\ parab.} = 13132.8\ kg$$

Calculo carga parabólica distribuida complementaria

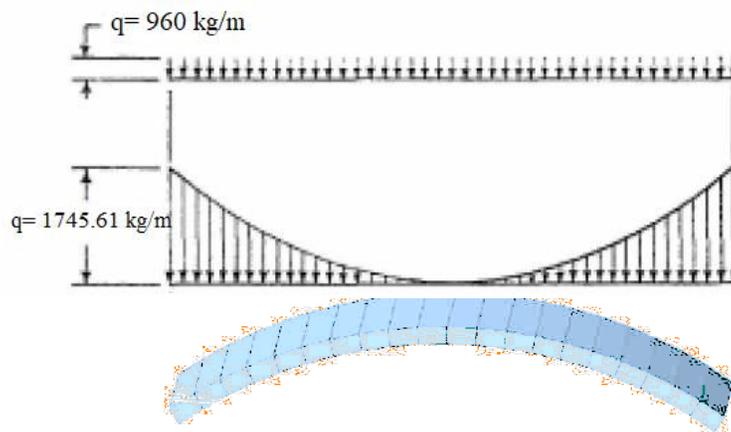
$$q_{carga\ parab.} = \frac{3 * W_{carga\ parab.}}{L}$$

$$q_{carga\ parab.} = \frac{3 * 13132.8\ kg}{22.57\ m}$$

$$q_{carga\ parab.} = 1745.61 \frac{kg}{m}$$

Figura 77

Carga por peso propio



5.5.2 Peso Carpeta de Hormigón y Carpeta Asfáltica

$$q_{ch} = [\gamma_h * A] \quad \dots(7)$$

Donde:

| | | |
|------------|---------------------------------------|----------------------|
| q_{ch} | Carga distribuida carpeta de hormigón | [kg/m] |
| γ_h | Peso específico del hormigón | [kg/m ³] |
| A | Área transversal carpeta de hormigón | [m ²] |

$$q_{ch} = \left[2400 \frac{kg}{m^3} * (1m * 0.10m) \right]$$

$$q_{ch} = 240 \frac{kg}{m}$$

$$q_{ca} = [\gamma_a * A] \quad \dots(8)$$

Donde:

| | | |
|------------|-------------------------------------|----------------------|
| q_{ca} | Carga distribuida carpeta asfáltica | [kg/m] |
| γ_h | Peso específico del asfalto | [kg/m ³] |
| A | Área transversal carpeta asfáltica | [m ²] |

$$q_{ca} = \left[2200 \frac{kg}{m^3} * (1m * 0.05m) \right]$$

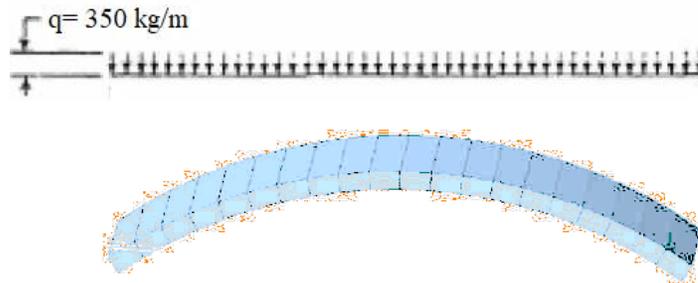
$$q_{cA} = 110 \frac{kg}{m}$$

$$q_{Total} = q_{ch} + q_{cA}$$

$$q_t = 350 \frac{kg}{m}$$

Figura 78

Cargas por Peso carpeta de hormigón y Asfáltica uniformemente distribuida



5.5.3 Peso del Relleno

La carga se divide en dos partes una con el espesor que se encuentra encima de la corona (carga rectangular distribuida) y otra con (carga parabólica distribuida).

Si bien el espesor de relleno que está encima de la corona es de 0.60 m, se aumentó un 0.20 m más de peso de relleno para considerar los pesos tanto de tuberías como de las aceras.

Carga rectangular uniformemente distribuida:

$$q_{cr} = [\gamma_r * A] \quad \dots(9)$$

Donde:

| | | |
|------------|--|----------------------|
| q_{cr} | Carga rectangular uniformemente distribuida del relleno | [kg/m] |
| γ_r | Peso específico del relleno | [kg/m ³] |
| A | Área transversal rectangular del relleno (centro de la bóveda) | [m ²] |

$$q_{pr} = \left[1800 \frac{kg}{m^3} * (1m * 0.80m) \right]$$

$$q_{cr} = 1440 \frac{kg}{m}$$

Carga parabólica distribuida:

$$q_{cp} = [\gamma_r * A] \quad \dots(10)$$

Donde:

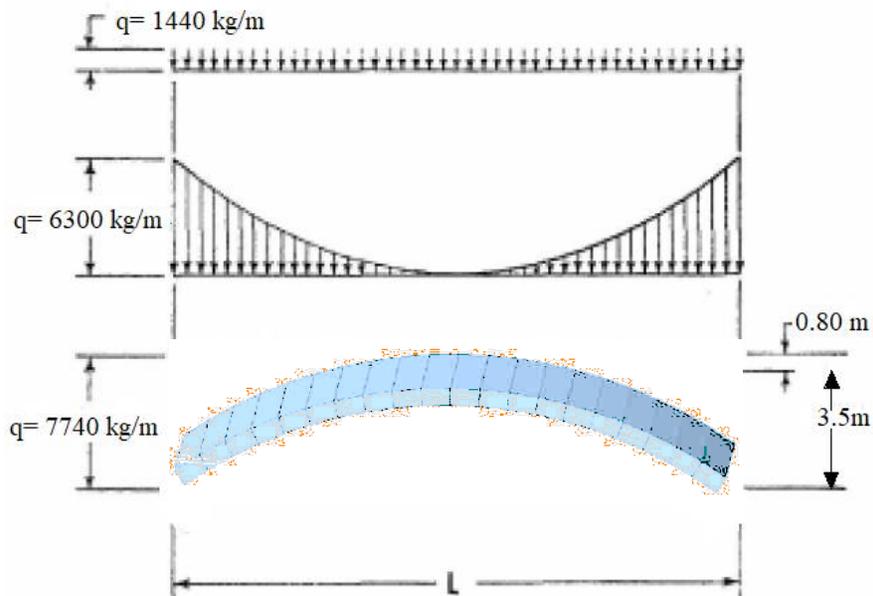
| | | |
|------------|--|----------------------|
| q_{cp} | Carga parabólica distribuida del relleno | [kg/m] |
| γ_r | Peso específico del relleno | [kg/m ³] |
| A | Área transversal rectangular del relleno (arranque de la bóveda) | [m ²] |

$$q_{cp} = \left[1800 \frac{kg}{m^3} * (1m * 3.5m) \right]$$

$$q_{cp} = 6300 \frac{kg}{m}$$

Figura 79

Cargas por peso del relleno



5.5.4 Carga camión HL-93

Para el análisis carga de camión, se determinó el punto más crítico y la ubicación del camión en el puente bóveda que genere el MOMENTO DE FLEXIÓN MÁXIMO POSITIVO por medio de las líneas de influencia con el programa Ftool. También se analizó por líneas de influencia el punto más crítico y la ubicación del camión que genere la cortante máxima positiva, cortante máxima negativa y las fuerzas normales máximas negativas.

Se analizo principalmente las fuerzas internas de momentos porque son las fuerzas que genera más daño a este tipo de estructuras, en la siguiente figura se muestran las líneas de influencia, punto más crítico y la ubicación que genera el momento de flexión máximo positivo.

Figura 80

Punto más crítico y Ubicación del Camión para Momento Máximo Positivo

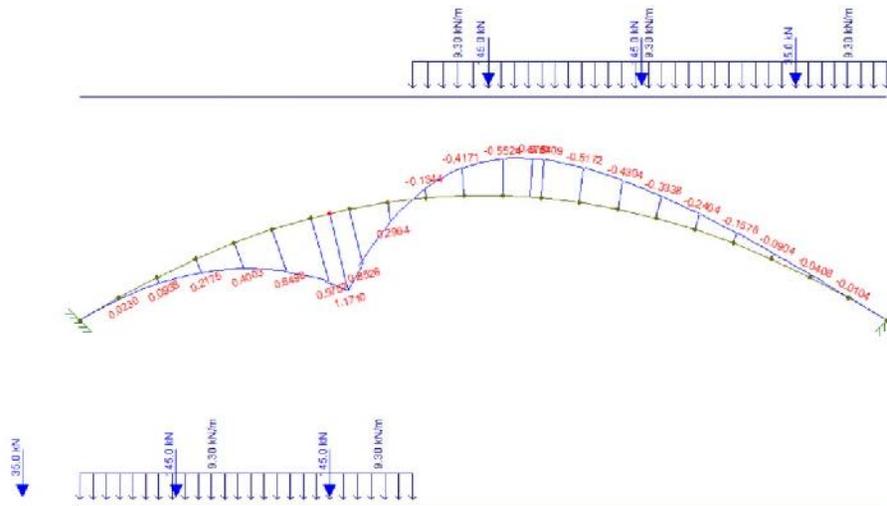


Figura 81

Diagrama de momentos con la Ubicación del Camión que genera Momento Máximo (+)

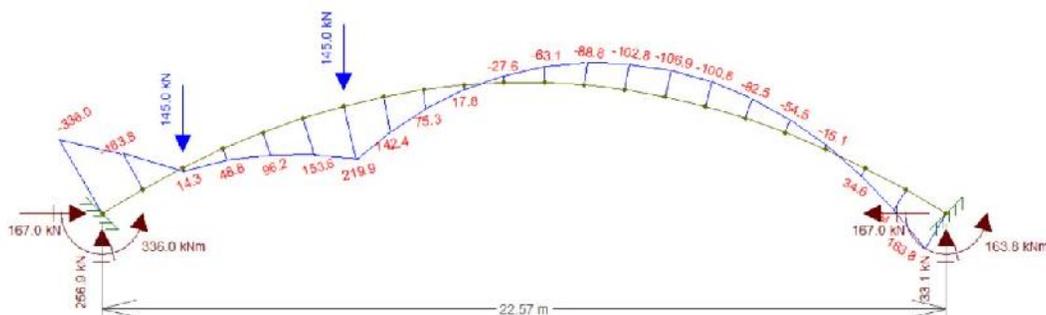
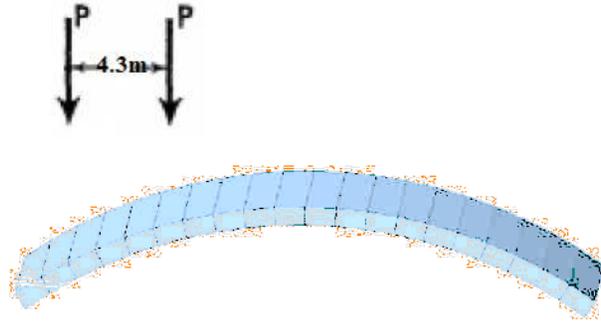
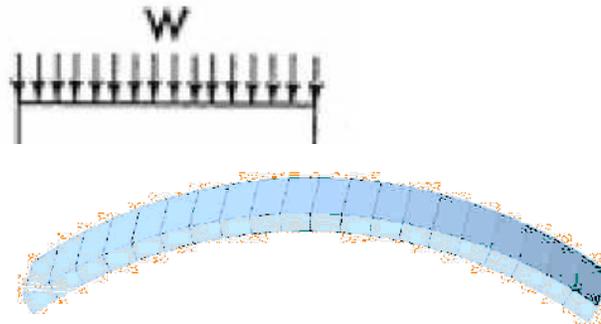


Figura 82*Cargas Camión HL-93***5.5.5 Carga de carril**

Se evaluó la carga de carril, carga móvil distribuida en una determinada posición, la carga de carril para 1m de ancho $w=317.33$ kg/m, la posición más crítica se consideró la mitad de la estructura.

Figura 83*Carga de Carril***5.6 Solicitaciones de la estructura**

Se determino las fuerzas internas como momentos, cortantes y fuerzas axiales que se ejercen en la estructura hiperestática de 3er grado, se utilizó las investigaciones que realizo Valerian Leontovich determinando así soluciones condensadas para el análisis de los arcos parabólicos de 3er grado sometidas a las cargas indicadas.

5.6.1 Análisis Carga Distribuida Uniformemente (una parte del peso propio +una parte del relleno)

Se sumo las cargas distribuidas uniformemente como una parte del peso propio de la estructura, más carga rectangular uniformemente distribuida de una parte del relleno.

$$q_{total} = p \cdot p_{propio} + p \cdot p_{rectangular\ relleno}$$

$$q_{total} = 960 \frac{kg}{m} + 1440 \frac{kg}{m}$$

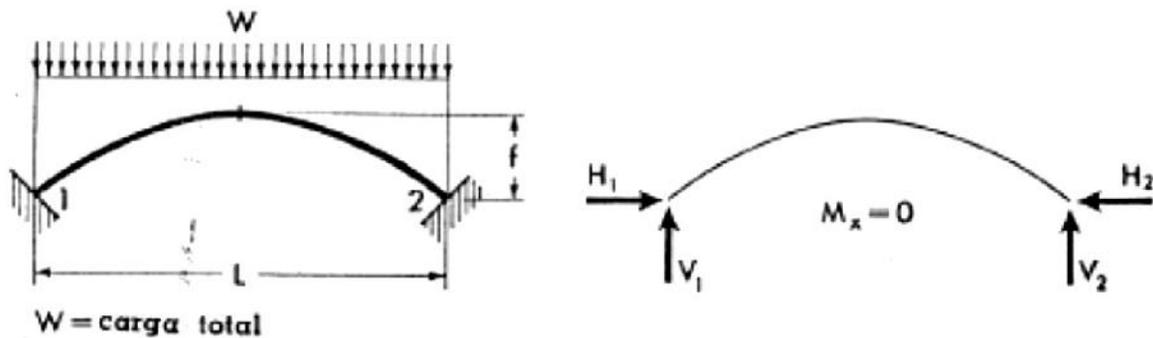
$$q_{total} = 2400 \frac{kg}{m} \text{ carga vertical distribuida uniformemente}$$

$$W = q_{total} * L$$

$$W = 2400 \frac{kg}{m} * 22.57m = 54168 kg$$

Figura 84

Solución condensada para una carga uniformemente distribuida



Fuente: Pórticos y Arcos-Valerian Leontovich-⁽¹⁹⁾

Momentos y cortantes son cero en cualquier sección del arco para una carga uniformemente distribuida.

Reacciones:

$$H_1 = H_2 = \frac{WL}{8f}$$

$$V_1 = V_2 = \frac{W}{2}$$

Fuerzas internas:

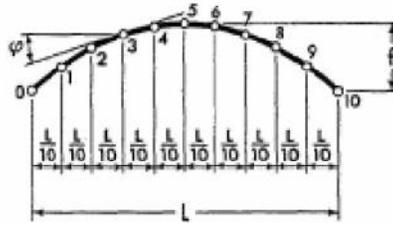
$$\text{Cuando } x \leq \frac{L}{2} \quad N_x = H_1 \cos \varphi + \frac{W}{2} \left(1 - \frac{2x}{L}\right) \text{sen} \varphi$$

$$\text{Cuando } x > \frac{L}{2} \quad N_x = H_1 \cos \varphi - \frac{W}{2} \left(1 - \frac{2x}{L}\right) \text{sen} \varphi$$

Para emplear estas ecuaciones deben conocerse las funciones trigonométricas del ángulo de inclinación para cualquier sección del arco en la tabla siguiente se muestra los diferentes valores para diferentes secciones del arco, que están en función de $f/L=0.15$

Figura 85

Ángulos de Inclinación para Cualquier Sección del Arco



| Relacion de arco f/L | Secciones | | | | | |
|-------------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|---|
| | 0 y 10 | 1 y 9 | 2 y 8 | 3 y 7 | 4 y 6 | 5 |
| 0.05 | 11°19' | 9°05' | 6°51' | 4°34' | 2°17' | 0 |
| 0.10 | 21°48' | 17°45' | 13°30' | 9°05' | 4°34' | 0 |
| 0.15 | 30°58' | 25°38' | 19°48' | 13°30' | 6°51' | 0 |
| 0.20 | 38°40' | 32°37' | 25°38' | 17°45' | 9°05' | 0 |
| 0.25 | 45°00' | 38°40' | 30°58' | 21°48' | 11°19' | 0 |
| 0.30 | 50°12' | 43°50' | 35°45' | 25°38' | 13°30' | 0 |
| 0.35 | 54°28' | 48°14' | 40°02' | 29°15' | 15°39' | 0 |
| 0.40 | 58°00' | 52°00' | 43°50' | 32°37' | 17°45' | 0 |
| 0.45 | 60°57' | 55°13' | 47°12' | 35°45' | 19°48' | 0 |
| 0.50 | 63°26' | 58°00' | 50°12' | 38°40' | 21°48' | 0 |
| 0.55 | 65°33' | 60°24' | 52°51' | 42°21' | 23°45' | 0 |
| 0.60 | 67°23' | 62°29' | 55°13' | 43°50' | 25°38' | 0 |

Fuente: Pórticos y Arcos-Valerian Leontovich-⁽¹⁹⁾

Con las ecuaciones condensadas de Valerian Leontovich se obtuvo las fuerzas internas actuantes como momentos, cortantes y normales de una carga uniformemente distribuida.

Tabla 9

Fuerzas Internas que se Genera una Carga uniformemente distribuida

| | PUNTO | | ANGULO (ϕ) | M | Q | Nx |
|---------|-------|---|-------------------|--------|------|-----------|
| | X | Y | (°) | (KG-M) | (KG) | (KG) |
| X ≤ L/2 | 0 | 0 | 30.97 | 0 | 0 | -51375.64 |
| | 2.257 | 0 | 25.63 | 0 | 0 | -48739.40 |
| | 4.514 | 0 | 19.80 | 0 | 0 | -46586.56 |
| | 6.771 | 0 | 13.50 | 0 | 0 | -44985.91 |
| | 9.028 | 0 | 6.85 | 0 | 0 | -43997.66 |
| | 11.29 | 0 | 0.00 | 0 | 0 | -43663.28 |
| X > L/2 | 13.54 | 0 | 6.85 | 0 | 0 | -43997.66 |
| | 15.8 | 0 | 13.50 | 0 | 0 | -44985.91 |
| | 18.06 | 0 | 19.80 | 0 | 0 | -46586.56 |
| | 20.31 | 0 | 25.63 | 0 | 0 | -48739.40 |
| | 22.57 | 0 | 30.97 | 0 | 0 | -51375.64 |

$$H_1 = H_2 = \frac{W * L}{8 * f} = 43663.28 \text{ kg}$$

$$V_1 = V_2 = \frac{W}{2} = 27084 \text{ kg}$$

Multiplicando las fuerzas internas por el factor de mayoración de cargas de 1.25 a cargas permanentes se obtiene las siguientes fuerzas internas:

Tabla 10

Fuerzas Internas que se Genera una Carga uniformemente distribuida mayoradas

| | M | Q | Nx |
|------------|---------------|-------------|-------------|
| | (KG-M) | (KG) | (KG) |
| | 0 | 0 | -64219.55 |
| | 0 | 0 | -60924.25 |
| | 0 | 0 | -58233.21 |
| | 0 | 0 | -56232.39 |
| | 0 | 0 | -54997.08 |
| | 0 | 0 | -54579.10 |
| | 0 | 0 | -54997.08 |
| | 0 | 0 | -56232.39 |
| | 0 | 0 | -58233.21 |
| | 0 | 0 | -60924.25 |
| | 0 | 0 | -64219.55 |
| MAXIMO (+) | 0 | 0 | -54579.10 |
| MAXIMO (-) | 0 | 0 | -64219.55 |

5.6.2 Análisis Carga Distribuida Uniformemente (Peso Carpeta de Hormigón y Asfáltica)

Se sumo las cargas distribuidas uniformemente como peso carpeta de hormigón, más peso carpeta asfáltica.

$$q_{total} = p. \text{carpeta hormigon} + p. \text{carpeta asfaltica}$$

$$q_{total} = 240 \frac{kg}{m} + 110 \frac{kg}{m}$$

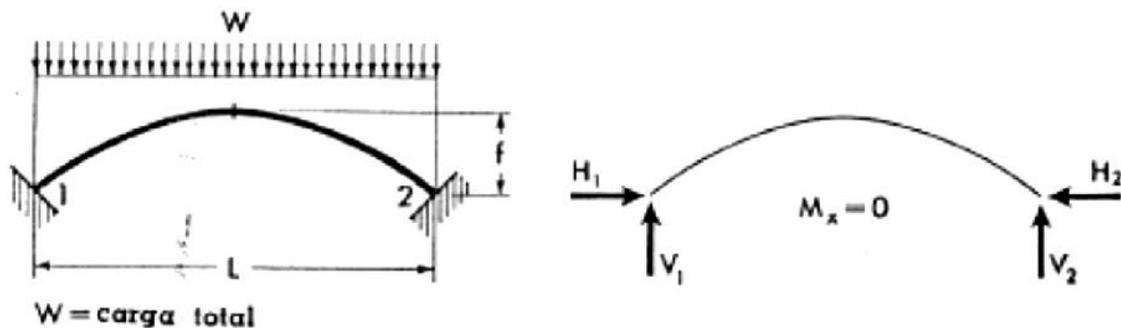
$$q_{total} = 350 \frac{kg}{m} \text{ carga vertical distribuida uniformemente}$$

$$W = q_{total} * L$$

$$W = 350 \frac{kg}{m} * 22.57m = 7899.5 \text{ kg}$$

Figura 86

Solución condensada para una carga uniformemente distribuida



Como es una carga uniformemente distribuida como 5.6.1 se utilizó las mismas ecuaciones y tablas para encontrar las fuerzas internas obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 11

Fuerzas Internas que se Genera una Carga uniformemente distribuida

| | PUNTO | | ANGULO (ϕ) | M | Q | Nx |
|---------|-------|---|-------------------|--------|------|----------|
| | X | Y | (°) | (KG-M) | (KG) | (KG) |
| x ≤ L/2 | 0 | 0 | 30.97 | 0 | 0 | -7492.28 |
| | 2.257 | 0 | 25.63 | 0 | 0 | -7107.83 |
| | 4.514 | 0 | 19.80 | 0 | 0 | -6793.87 |
| | 6.771 | 0 | 13.50 | 0 | 0 | -6560.45 |
| | 9.028 | 0 | 6.85 | 0 | 0 | -6416.33 |
| | 11.29 | 0 | 0.00 | 0 | 0 | -6367.56 |
| x > L/2 | 13.54 | 0 | 6.85 | 0 | 0 | -6416.33 |
| | 15.8 | 0 | 13.50 | 0 | 0 | -6560.45 |
| | 18.06 | 0 | 19.80 | 0 | 0 | -6793.87 |
| | 20.31 | 0 | 25.63 | 0 | 0 | -7107.83 |
| | 22.57 | 0 | 30.97 | 0 | 0 | -7492.28 |

$$H_1 = H_2 = \frac{W*L}{8*f} = 6367.56 \text{ kg}$$

$$V_1 = V_2 = \frac{W}{2} = 3949.75 \text{ kg}$$

Multiplicando las fuerzas internas por el factor de mayoración de cargas de 1.50 a cargas de superficie de rodaduras se obtiene las siguientes fuerzas internas:

Tabla 12

Fuerzas Internas que se Genera una Carga uniformemente distribuida mayoradas

| | M | Q | Nx |
|------------|--------|------|-----------|
| | (KG-M) | (KG) | (KG) |
| | 0 | 0 | -11238.42 |
| | 0 | 0 | -10661.74 |
| | 0 | 0 | -10190.81 |
| | 0 | 0 | -9840.67 |
| | 0 | 0 | -9624.49 |
| | 0 | 0 | -9551.34 |
| | 0 | 0 | -9624.49 |
| | 0 | 0 | -9840.67 |
| | 0 | 0 | -10190.81 |
| | 0 | 0 | -10661.74 |
| | 0 | 0 | -11238.42 |
| MAXIMO (+) | 0 | 0 | -9551.34 |
| MAXIMO (-) | 0 | 0 | -11238.42 |

5.6.3 Análisis Carga Parabólica

Se tiene una carga parabólica de una parte del peso propio más una parte del relleno:

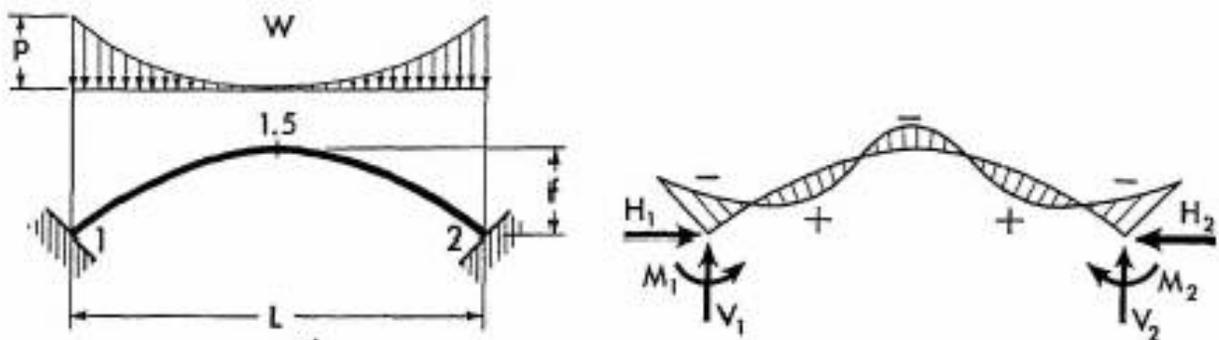
$$q_{cp} = 1745.61 \frac{kg}{m} + 6300 \frac{kg}{m} = 8045.61 \text{ kg/m}$$

$$\text{Para el peso total } W = \frac{q \cdot L}{3}$$

$$W = \frac{8045.61 \cdot 22.57}{3} = 60529.80 \text{ kg}$$

Figura 87

Solución Condensada para una Carga Parabólica



Fuente: Pórticos y Arcos-Valerian Leontovich-⁽¹⁹⁾

Reacciones:

$$M_1 = M_2 = -\frac{WL}{70}$$

$$H_1 = H_2 = \frac{3WL}{56f}$$

$$V_1 = V_2 = \frac{W}{2}$$

Fuerza interna de momento en el centro

$$M_{1.5} = -\frac{3WL}{560}$$

Fuerzas internas:

$$\text{Cuando } x \leq \frac{L}{2} \quad M_x = M_1 + \frac{WL}{16} \left[1 - \left(\frac{L-2x}{L} \right)^4 \right] - H_1 y \quad [\text{Kg-m}]$$

$$N_x = \frac{W}{2} \left(\frac{L-2x}{L} \right)^3 \text{sen} \varphi + H_1 \text{cos} \varphi \quad [\text{Kg}]$$

$$Q_x = \frac{W}{2} \left(\frac{L-2x}{L} \right)^3 \text{cos} \varphi + H_1 \text{sen} \varphi \quad [\text{kg}]$$

Los momentos y las fuerzas axiales en las secciones correspondientes de la mitad derecha del arco, son idénticos a los de la mitad izquierda. Las fuerzas cortantes en las secciones correspondientes de la mitad derecha tienen los mismos valores numéricos que las de la mitad izquierda, pero tienen signo contrario.

Tabla 13*Fuerzas Internas que se Generan de una Carga Parabólica*

| | PUNTO | | ANGULO (ϕ) | M | Q | Nx |
|---------|-------|------|-------------------|----------|----------|-----------|
| | X | Y | ($^{\circ}$) | (KG-M) | (KG) | (KG) |
| x ≤ L/2 | 0 | 0 | 30.97 | -19516.5 | 15189.9 | -33503.49 |
| | 2.26 | 1.26 | 25.63 | 4547.4 | 4925.9 | -25555.86 |
| | 4.51 | 2.24 | 19.80 | 7962.7 | -932.5 | -21888.76 |
| | 6.77 | 2.94 | 13.50 | 2205.4 | -2998.0 | -20784.99 |
| | 9.03 | 3.36 | 6.85 | -4527.8 | -2253.6 | -20790.19 |
| | 11.3 | 3.5 | 0.00 | -7318.7 | 0.0 | -20910.58 |
| x > L/2 | 8.8 | 3.36 | 6.85 | -4592.0 | 2253.6 | -20799.86 |
| | 6.6 | 2.94 | 13.50 | 1854.8 | 2998.0 | -20838.35 |
| | 4.4 | 2.24 | 19.80 | 7198.5 | 932.5 | -22002.51 |
| | 2.2 | 1.26 | 25.63 | 3655.7 | -4925.9 | -25683.62 |
| | 0 | 0 | 30.97 | -19516.5 | -15189.9 | -33503.49 |

$$M_1 = M_2 = -\frac{W*L}{70} = -19516.5388 \text{ kg-m}$$

$$V_1 = V_2 = \frac{W}{2} = 30264.903 \text{ kg}$$

$$H_1 = H_2 = \frac{3*W*L}{56*f} = 20910.5773 \text{ kg}$$

$$M_{1.5} = \frac{3*W*L}{560} = -7318.70207 \text{ kg-m}$$

Multiplicando las fuerzas internas por el factor de mayoración de cargas de 1.25 a cargas permanentes se obtiene las siguientes fuerzas internas:

Tabla 14*Fuerzas Internas que se Generan de una Carga Parabólica mayoradas*

| | M (KG-M) | Q (KG) | Nx (KG) |
|------------|-------------|------------|------------|
| | -24395.6736 | 18987.358 | -41879.36 |
| | 5684.19194 | 6157.4008 | -31944.83 |
| | 9953.43481 | -1165.5773 | -27360.96 |
| | 2756.71111 | -3747.5522 | -25981.24 |
| | -5659.79627 | -2817.0288 | -25987.74 |
| | -9148.37758 | 0 | -26138.22 |
| | -5739.97828 | 2817.0288 | -25999.82 |
| | 2318.5613 | 3747.5522 | -26047.94 |
| | 8998.08975 | 1165.5773 | -27503.13 |
| | 4569.62812 | -6157.4008 | -32104.53 |
| | -24395.6736 | -18987.358 | -41879.36 |
| MAXIMO (+) | 9953.43481 | 18987.358 | -25981.24 |
| MAXIMO (-) | -24395.6736 | -18987.358 | -41879.36 |

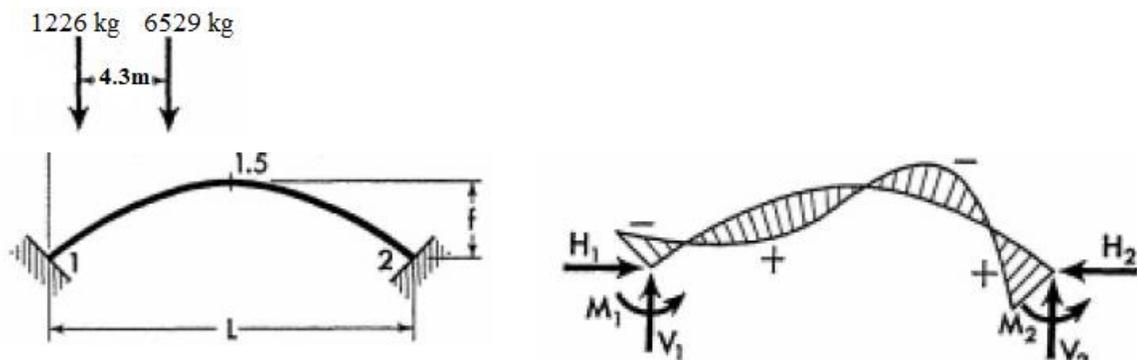
5.6.4 Análisis Carga De Camión

El valor de las cargas de los ejes se redujo por motivo que las cargas que se aplican en la superficie de rodadura se transmiten a través de los rellenos hasta la bóveda atenuando con un efecto de reparto de forma que la carga se distribuye.

La ubicación del camión para el análisis y las fuerzas internas son las siguientes:

Figura 88

Solución Condensada Para tres Cargas Puntuales



Fuente: Pórticos y Arcos-Valerian Leontovich-⁽¹⁹⁾

Tabla 15

Fuerzas Internas por carga de camión

| | PUNTO | | ANGULO (ϕ) | M | Q | Nx |
|--------------|-------|------|-------------------|-----------|----------|----------|
| | X | Y | ($^\circ$) | (KG-M) | (KG) | (KG) |
| X \leq L/2 | 0 | 0 | 30.97 | -13490.84 | 2783.82 | -8524.83 |
| | 2.26 | 1.26 | 25.63 | -5853.17 | 2457.52 | -7709.05 |
| | 4.51 | 2.24 | 19.80 | 764.79 | 3222.30 | -7423.53 |
| | 6.77 | 2.94 | 13.50 | 6985.05 | -2345.35 | -5526.86 |
| | 9.03 | 3.36 | 6.85 | 2222.98 | -1702.93 | -5761.40 |
| | 11.3 | 3.5 | 0.00 | -897.35 | -1009.52 | -5924.55 |
| X > L/2 | 8.8 | 3.36 | 6.85 | -2345.35 | -316.11 | -5995.93 |
| | 6.6 | 2.94 | 13.50 | -2110.81 | 377.29 | -5995.93 |
| | 4.4 | 2.24 | 19.80 | -295.72 | 1019.72 | -5914.35 |
| | 2.2 | 1.26 | 25.63 | 3212.11 | 1611.15 | -5781.79 |
| | 0 | 0 | 30.97 | 8351.47 | 2131.21 | -5618.64 |

$$\begin{aligned}
 M_1 &= -13490.84 \text{ kg-m} \\
 M_2 &= 8351.47 \text{ kg-m} \\
 V_1 &= 6740.32 \text{ kg} \\
 V_2 &= 1009.52 \text{ kg} \\
 H_1 &= H_2 = 5924.55 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Multiplicando las fuerzas internas por el factor de incremento por carga dinámica 1.33 y por el factor de mayoración de cargas transitorias de 1.75 se obtiene las siguientes fuerzas internas:

Tabla 16

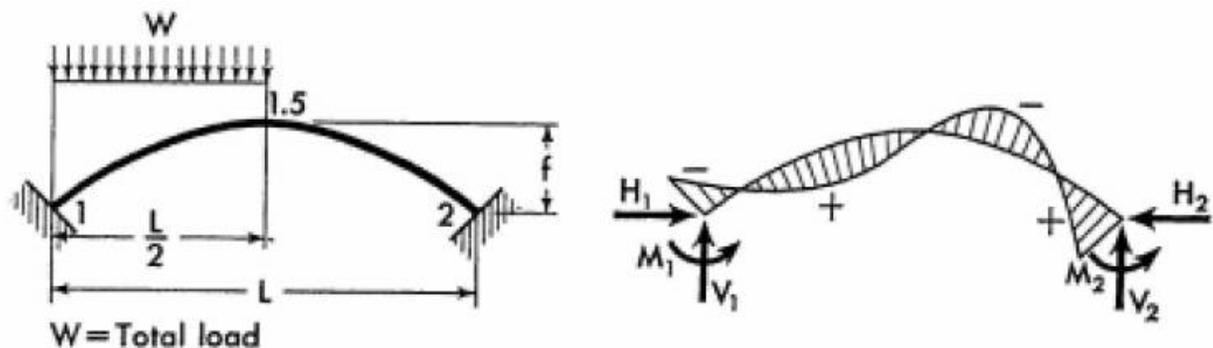
Fuerzas Internas por carga de camión mayoradas

| | M | Q | Nx |
|------------|---------------|-------------|-------------|
| | (KG-M) | (KG) | (KG) |
| | -31399.93 | 6479.34 | -19841.54 |
| | -13623.25 | 5719.88 | -17942.81 |
| | 1780.05 | 7499.90 | -17278.27 |
| | 16257.70 | -5458.80 | -12863.77 |
| | 5173.99 | -3963.57 | -13409.66 |
| | -2088.58 | -2349.66 | -13789.39 |
| | -5458.80 | -735.75 | -13955.53 |
| | -4912.91 | 878.14 | -13955.53 |
| | -688.29 | 2373.40 | -13765.65 |
| | 7476.19 | 3749.95 | -13457.12 |
| | 19438.05 | 4960.39 | -13077.38 |
| MAXIMO (+) | 19438.05 | 7499.90 | -12863.77 |
| MAXIMO (-) | -31399.93 | -5458.80 | -19841.54 |

5.6.5 Análisis Carga De Carril

Figura 89

Solución Condensada Carga Distribuida Repartida Sobre La Mitad del Arco



Fuente: Pórticos y Arcos-Valerian Leontovich-⁽¹⁹⁾

Reacciones:

$$M_1 = -\frac{WL}{32} \quad M_2 = \frac{WL}{32} \quad H_1 = H_2 = \frac{WL}{8f} \quad V_1 = \frac{13}{16} W \quad V_2 = \frac{3W}{16}$$

Fuerza interna de momento en el centro

$$M_{1.5} = 0$$

Cuando $x \leq \frac{L}{2}$

$$M_x = M_1 + Wx \left(\frac{13}{16} - \frac{x}{L} \right) - H_1 y$$

$$N_x = H_1 \cos \varphi + \left(V_1 - \frac{2Wx}{L} \right) \operatorname{sen} \varphi$$

$$Q_x = -H_1 \operatorname{sen} \varphi + \left(V_1 - \frac{2Wx}{L} \right) \cos \varphi$$

Cuando $x > \frac{L}{2}$

$$M_x = M_2 + \frac{3W}{16} (L - x) - H_1 y$$

$$N_x = H_1 \cos \varphi + (W - V_1) \operatorname{sen} \varphi$$

$$Q_x = H_1 \operatorname{sen} \varphi - (W - V_1) \cos \varphi$$

Tabla 17

Fuerzas Internas que se Generan uniformemente sobre la mitad del claro

| | PUNTO | | ANGULO (ϕ) | M | Q | Nx |
|--------------|-------|------|-------------------|---------|--------|----------|
| | X | Y | ($^\circ$) | (KG-M) | (KG) | (KG) |
| X \leq L/2 | 0 | 0 | 30.97 | -2462.0 | 983.9 | -3872.01 |
| | 2.26 | 1.26 | 25.63 | -393.9 | 710.6 | -3461.66 |
| | 4.51 | 2.24 | 19.80 | 886.3 | 401.7 | -3135.10 |
| | 6.77 | 2.94 | 13.50 | 1378.7 | 64.4 | -2909.11 |
| | 9.03 | 3.36 | 6.85 | 1083.3 | -292.3 | -2798.82 |
| | 11.3 | 3.5 | 0.00 | 0.0 | -654.5 | -2813.70 |
| X $>$ L/2 | 13.2 | 3.36 | 6.85 | -859.4 | -314.2 | -2871.67 |
| | 15.4 | 2.94 | 13.50 | -1117.6 | 20.4 | -2888.74 |
| | 17.6 | 2.24 | 19.80 | -587.9 | 337.3 | -2869.06 |
| | 19.8 | 1.26 | 25.63 | 729.7 | 627.0 | -2819.95 |
| | 22 | 0 | 30.97 | 2835.0 | 886.7 | -2749.36 |

$$M_1 = -\frac{W*L}{32} = -2461.98 \text{ kg-m}$$

$$M_2 = \frac{W*L}{32} = 2461.98 \text{ kg-m}$$

$$V_1 = \frac{13}{16} * W = 2836.14 \text{ kg}$$

$$V_2 = \frac{3*W}{16} = 654.493 \text{ kg}$$

$$H_1 = H_2 = \frac{W*L}{8*f} = 2813.70 \text{ kg}$$

Multiplicando las fuerzas internas por el factor de mayoración de cargas transitorias de 1.75 se obtiene las siguientes fuerzas internas:

Tabla 18

Fuerzas Internas que se Generan uniformemente sobre la mitad del claro mayoradas

| | M | Q | Nx |
|------------|---------------|-------------|-------------|
| | (KG-M) | (KG) | (KG) |
| | -4308.47 | 1721.84 | -6776.02 |
| | -689.36 | 1243.47 | -6057.91 |
| | 1551.05 | 702.89 | -5486.42 |
| | 2412.75 | 112.73 | -5090.95 |
| | 1895.73 | -511.47 | -4897.93 |
| | 0.00 | -1145.36 | -4923.97 |
| | -1504.01 | -549.90 | -5025.43 |
| | -1955.75 | 35.76 | -5055.30 |
| | -1028.77 | 590.29 | -5020.85 |
| | 1276.93 | 1097.24 | -4934.92 |
| | 4961.33 | 1551.75 | -4811.38 |
| MAXIMO (+) | 4961.33 | 1721.84 | -4811.38 |
| MAXIMO (-) | -4308.47 | -1145.36 | -6776.02 |

5.6.6 Fuerzas internas Finales

Tabla 19

Resultados de todas las Fuerzas Internas Actuantes que se Generan en la bóveda

| | PUNTO | | ANGULO (ϕ) | M | Q | Nx |
|--------------------------------|--------------|----------|-----------------------------------|---------------|-------------|-------------|
| | X | Y | ($^{\circ}$) | (KG-M) | (KG) | (KG) |
| x \leq L/2 | 0 | 0 | 30.97 | -60104.08 | 27188.54 | -143954.90 |
| | 2.2 | 1.26 | 25.63 | -8628.42 | 13120.75 | -127531.54 |
| | 4.4 | 2.24 | 19.80 | 13284.53 | 7037.22 | -118549.66 |
| | 6.6 | 2.94 | 13.50 | 21427.16 | -9093.62 | -110009.01 |
| | 8.8 | 3.36 | 6.85 | 1409.92 | -7292.07 | -108916.90 |
| | 11 | 3.5 | 0.00 | -11236.96 | -3495.02 | -108982.02 |
| x > L/2 | 13.2 | 3.36 | 6.85 | -12702.79 | 1531.38 | -109602.35 |
| | 15.4 | 2.94 | 13.50 | -4550.09 | 4661.46 | -111131.82 |
| | 17.6 | 2.24 | 19.80 | 7281.04 | 4129.26 | -114713.65 |
| | 19.8 | 1.26 | 25.63 | 13322.74 | -1310.21 | -122082.55 |
| | 22 | 0 | 30.97 | 3.70 | -12475.22 | -135226.10 |
| | | | | MAXIMO (+) | 21427.16 | 27188.54 |
| | | | MAXIMO (-) | -60104.08 | -12475.22 | -143954.90 |

5.7 Análisis de Resistencia de la bóveda

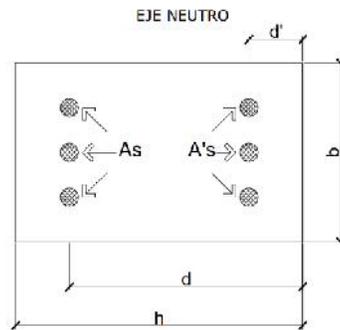
El puente bóveda está sometido a flexocompresión para su análisis de resistencia se lo realizo, por medio del diagrama de interacción que es el límite o frontera que resiste el elemento a flexocompresión, por su diagrama de interacción vamos a saber la resistencia de la bóveda respecto a las sollicitaciones.

5.7.1 Demostración de las fórmulas:

Partimos de una sección de hormigón como la mostrada a continuación, donde las dimensiones de la sección, h , b , d , d' , y las cantidades de acero A_s y A'_s son conocidas:

Figura 90

Sección de una Columna de Hormigón Armado



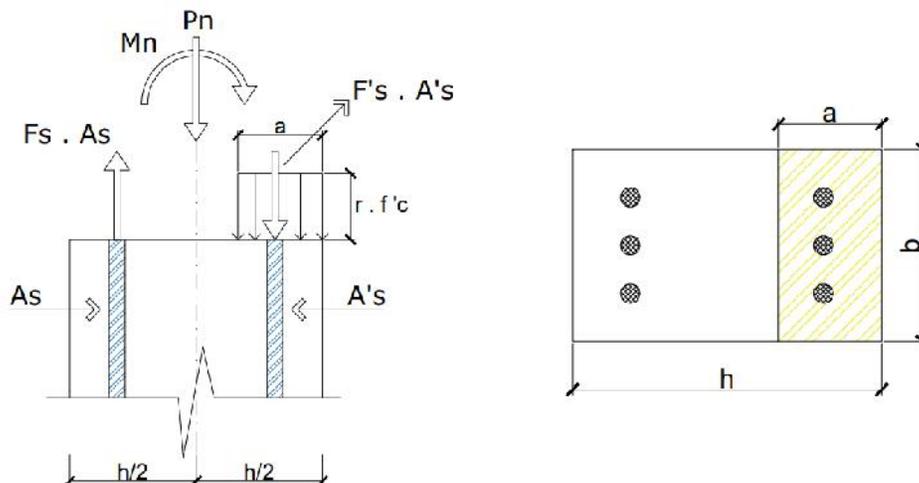
Donde:

- h Altura de la columna
- b Ancho de la columna
- d Altura efectiva
- d' Distancia desde el acero a compresión hasta la fibra más comprimida
- A_s Acero a tracción
- A'_s Acero a compresión

Equilibrio de fuerzas:

Figura 91

Equilibrio de Fuerzas de una Columna Sometida a Flexocompresión



Nota. Fuente ing. Marcelo Pardo Ingeniería-⁽²¹⁾

Donde:

$$\text{Fuerza de acero a compresión} = A'_s * f'_s$$

$$\text{Fuerza de acero a tracción} = A_s * f_s$$

$$\text{Fuerza de compresión del hormigón} = \gamma_H * f'_c * a * b$$

$$\text{Altura del bloque a compresión} = a$$

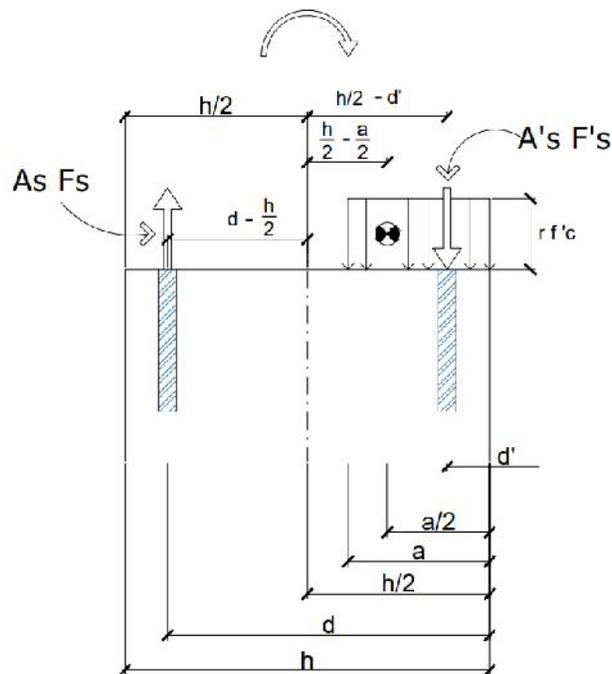
$$\text{Resistencia axial nominal de la sección} = P_n$$

Del equilibrio:

$$P_n = 0.85 * f'_c * a * b + f'_s * A'_s - f_s * A_s$$

Equilibrio de momentos:

Si tomamos como pivote el centro de la columna, las fuerzas excéntricas al centro generan brazos y a la vez momentos de fuerza. Al equilibrar estos momentos de fuerza se tiene



$$M_n = A_s * f_s \left(d - \frac{h}{2} \right) + A'_s * f'_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + 0.85 * f'_c * a * b \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right)$$

Por lo tanto, las ecuaciones de resistencia Axial y Momento nominales son:

$$P_n = 0.85 * f'_c * a * b + f'_s * A'_s - f_s * A_s$$

$$M_n = A_s * f_s \left(d - \frac{h}{2} \right) + A'_s * f'_s \left(\frac{h}{2} - d' \right) + 0.85 * f'_c * a * b \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right)$$

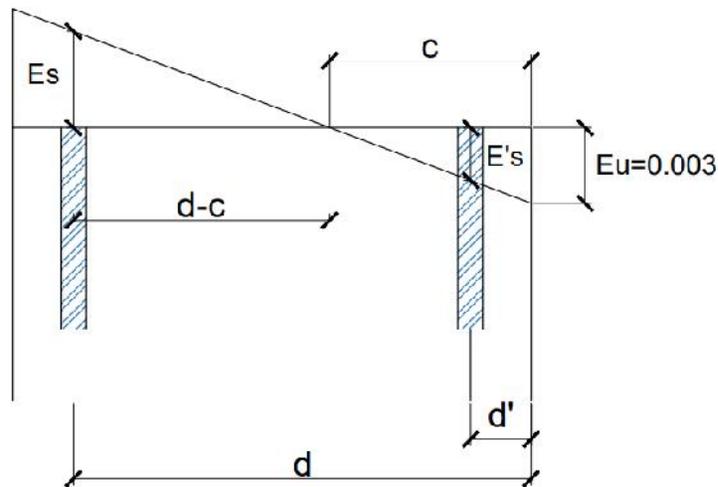
Ambas ecuaciones están en función a variables desconocidas como son:

- La altura del bloque de compresión «a»
- El esfuerzo de los aceros a tracción f_s
- El esfuerzo de los aceros a compresión f'_s

Para encontrar estas variables desconocidas vamos acudir al diagrama de compatibilidad de deformaciones, por geometría podemos deducir cuanto se deforma el acero a tracción y el acero a compresión en función de la posición del eje neutro «C» y asumiendo en todos los casos que el hormigón entra en fluencia a una deformación unitaria igual a 0.003 (asumimos que el hormigón entra en fluencia en todos los casos pues llevamos a este material al límite de su compresión. Solo de esta manera podemos establecer que la pieza falla).

Figura 92

Diagrama de Compatibilidad de Deformaciones



Nota. Fuente Ing. Marcelo Pardo Ingeniería-⁽²¹⁾

Por relación de triángulos:

$$\frac{\epsilon'_s}{c-d'} = \frac{\epsilon_u}{c}$$

$$\frac{\epsilon_s}{d-c} = \frac{\epsilon_u}{c}$$

$$\epsilon'_s = \epsilon_u \left(\frac{c-d'}{c} \right)$$

$$\epsilon_s = \epsilon_u \left(\frac{d-c}{c} \right)$$

El esfuerzo es igual al módulo elástico del material E por la deformación unitaria ξ . cambiando las variables para el acero, con E_s = módulo elástico del acero = 200GPa, se tiene:

$$\sigma = E * \epsilon$$

$$f_s = E_s * \varepsilon_s \quad ; \quad f'_s = E_s * \varepsilon'_s$$

Reemplazando las ecuaciones obtenidas por deformación de compatibilidad

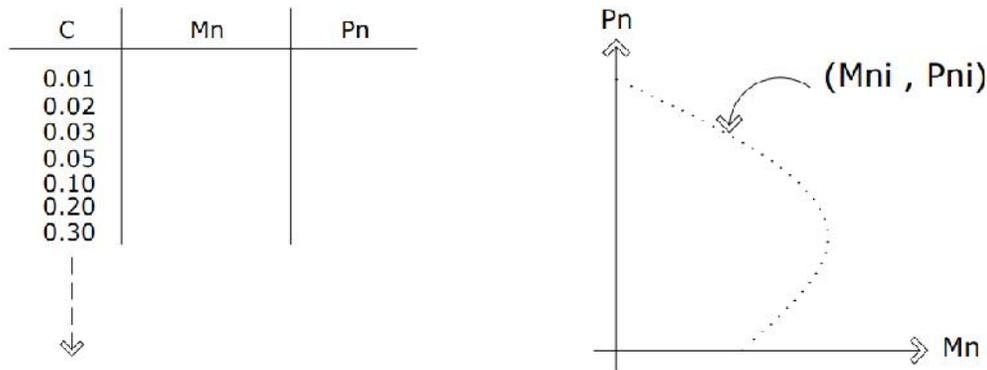
$$f'_s = E_s * \varepsilon_u \left(\frac{c-d'}{c} \right)$$

$$f_s = E_s * \varepsilon_u \left(\frac{d-c}{c} \right)$$

Ya encontrado las variables desconocidas se reemplaza a las ecuaciones de Mn momento nominal y Pn fuerza axial nominal quedando la única variable desconocida «c» que es la distancia desde el eje neutro hasta la fibra más comprimida, asignando valores a «c» desde muy pequeños hasta valores mayores, para cada valor de «c» le corresponde un valor de «Mn» y «Pn». Se forman entonces pares ordenados [Mn, Pn] que se irán graficando en un sistema coordenado cartesiano.

Figura 93

Diagrama de Interacción - elemento flexocompresión



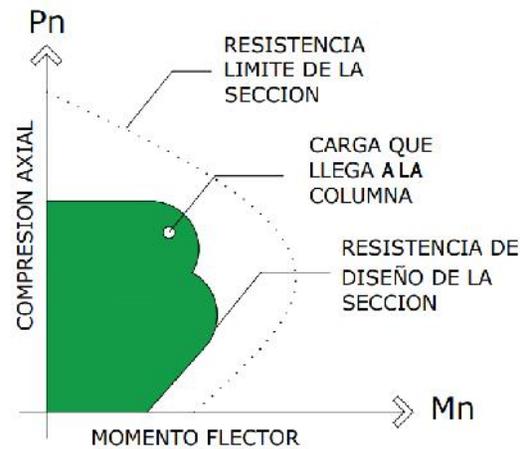
Nota. Fuente Ing. Marcelo Pardo Ingeniería-⁽²¹⁾

Factores de seguridad:

Se debe aplicar factores de seguridad a la resistencia nominal de momento y fuerza axial [Mn, Pn] ya que al tratarse de un elemento importante que en caso de colapso pone en riesgo la integridad de toda la estructura, estos factores de seguridad reducen la resistencia de la columna casi a la mitad. Por ejemplo, en el caso de vigas los factores de reducción de resistencia son $\phi=0.9$ en cambio para nuestro elemento en estudio con predominante compresión axial, el factor de seguridad será de $\phi=0.65$ multiplicado además por 0.8 para salvar excentricidades no previstas, de esta manera la gráfica queda de la siguiente manera:

Figura 94

Diagrama de interacción con su Factor de seguridad



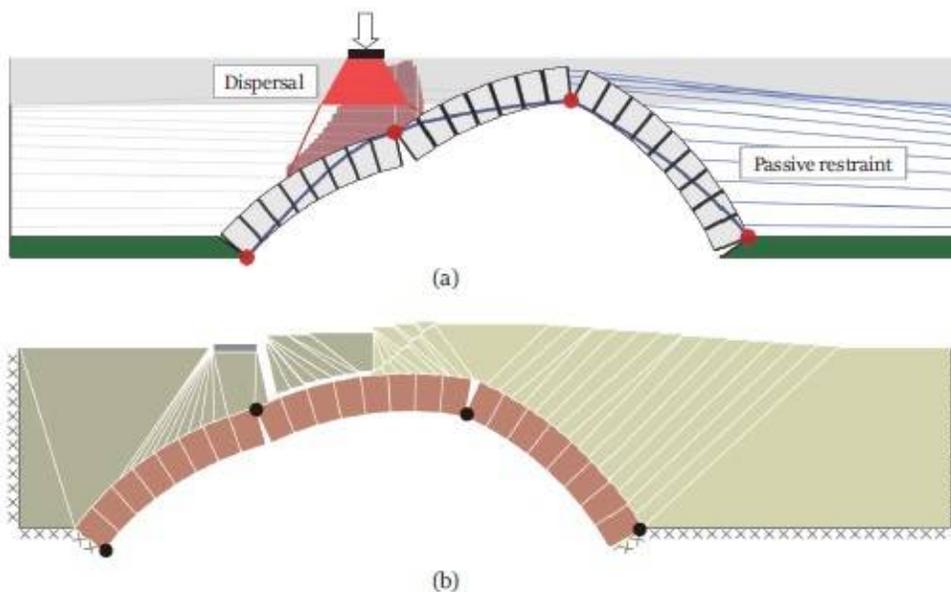
Nota. Fuente Ing. Marcelo Pardo Ingeniería

5.7.2 Resistencia del arco o bóveda en la sección más crítica

Observando las fuerzas internas finales específicamente los momentos se puede observar que el momento más grande es un momento negativo y se da en el arranque de la parte izquierda, si bien es el momento más grande no es la sección más crítica, la sección más crítica se encuentra aproximadamente a cuartos de la luz y es el modo de fallo provocado por la formación de cuatro rotulas como se puede observar en las figuras siguientes:

Figura 95

Modo de fallo o colapso más identificado de los puentes bóveda





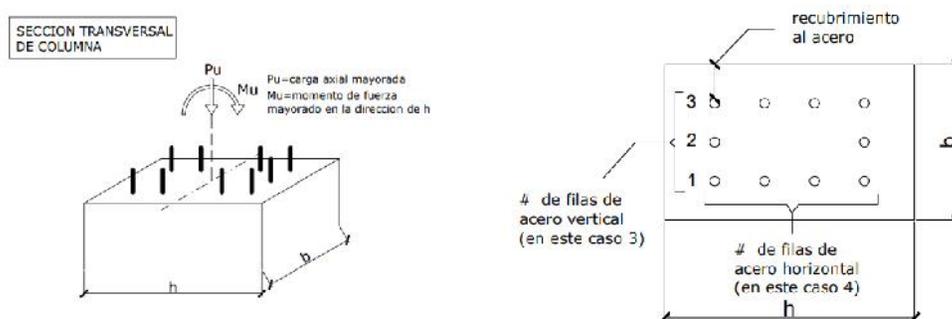
Fuente. Cianmarco de F., A review of experimental investigations and assessment methods for masonry arch bridges -2016- ⁽⁶⁾

Por tal motivo se analizó principalmente la sección aproximada a cuartos de la luz para obtener la resistencia de la bóveda o del arco, a la vez también se analizó por el diagrama de interacción el momento negativo en el arranque.

Se necesitó las dimensiones geométricas en esta sección crítica, para nuestro caso se analizó para 1m de ancho y 0.70 m de altura, el momento se genera en la dirección de la altura como se ve en la figura 96, también se necesitó las resistencias características de los materiales, para el puente de bóveda no existe ningún dato de la resistencia característica del hormigón que se utilizó, ni el dato si se utilizó acero o no en la bóveda, para el análisis de resistencia se trabajó con una resistencia característica del hormigón de $180 \text{ Mpa} = 1835 \text{ kg/cm}^2$ considerando la antigüedad del puente, a la vez se asumió una cantidad de acero mínima en este caso número de filas de acero horizontal igual a 2 y numero de filas de acero vertical igual a 5 considerando también la antigüedad de la época de construcción con una resistencia del acero de $400 \text{ Mpa.} = 4079 \text{ kg/cm}^2$.

Figura 96

Sección transversal de columna



Los resultados de las fuerzas internas finales mayoradas en la sección más crítica aproximadamente a cuartos de la luz nos dieron como momento máximo positivo $M_n=210$ kN-m y una fuerza axial de compresión de $P_n=-1079$ kN.

| | |
|---|------|
| Ancho sección b [m] | 1 |
| Altura de sección h [m] | 0.70 |
| Recubrimiento al acero d' [m] | 0.05 |
| # de filas acero horizontal | 2 |
| # de filas acero vertical | 5 |
| Solicitación axial P_u [kN] | 1079 |
| Momento solicitante M_u [kN-m] | 210 |
| Resistencia del hormigón f'_c [Mpa] | 18 |
| Resistencia del acero f_y [Mpa] | 400 |
| \varnothing de acero longitudinal[mm] | 12 |

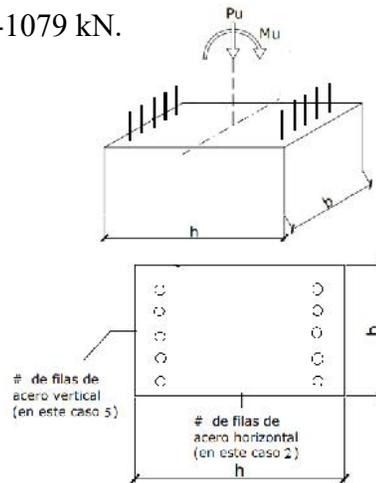
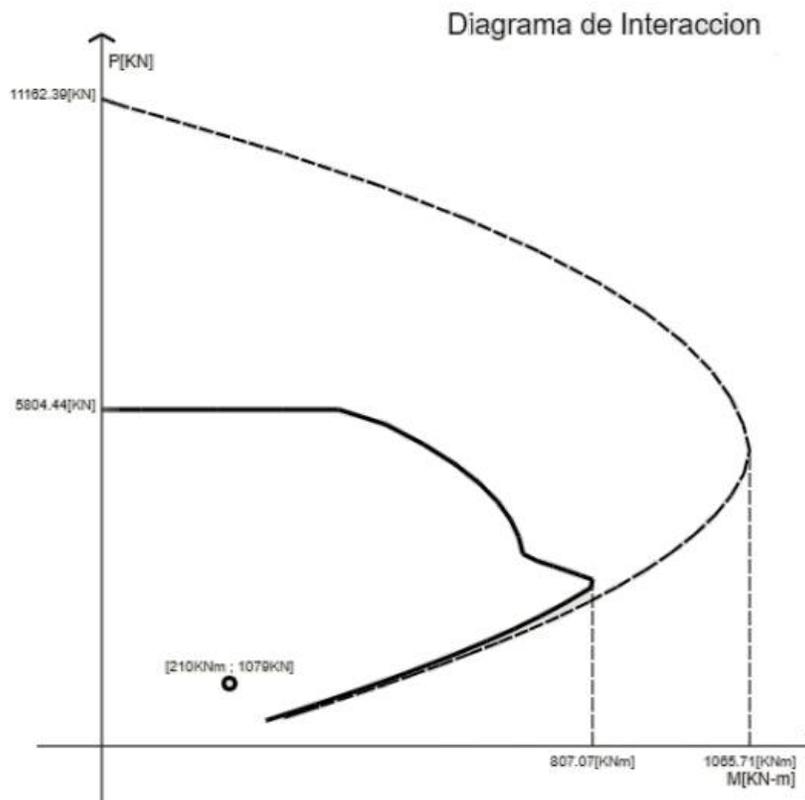


Figura 97

Diagrama de Interacción en Sección Crítica



Observando los resultados en el diagrama de interacción las solicitaciones en la sección crítica están dentro de la zona segura, por lo tanto, el puente bóveda de Tomatitas según los resultados obtenidos resiste sus cargas actuales y puede resistir aún más carga.

Los resultados de las fuerzas internas finales mayoradas en la sección de arranque donde se genera el momento máximo negativo igual a $M_n = -589.42$ kN-m y una fuerza axial de compresión de $P_n = -1411.72$ kN. Para este caso en el arranque las dimensiones geométricas son 1 m de ancho y 1 m de altura.

| | |
|---|---------|
| Ancho sección b [m] | 1 |
| Altura de sección h [m] | 1 |
| Recubrimiento al acero d' [m] | 0.05 |
| # de filas acero horizontal | 2 |
| # de filas acero vertical | 5 |
| Solicitación axial P_u [kN] | 1411.72 |
| Momento solicitante M_u [kN-m] | 589.42 |
| Resistencia del hormigón f'_c [Mpa] | 18 |
| Resistencia del acero f_y [Mpa] | 400 |
| \varnothing de acero longitudinal[mm] | 12 |

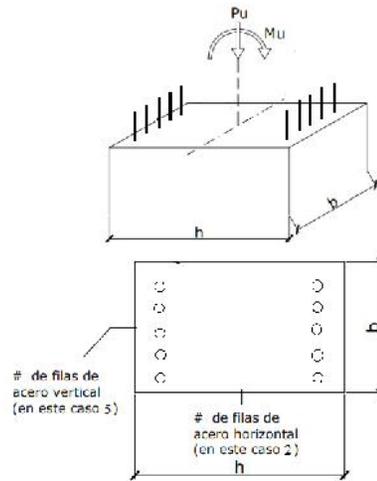
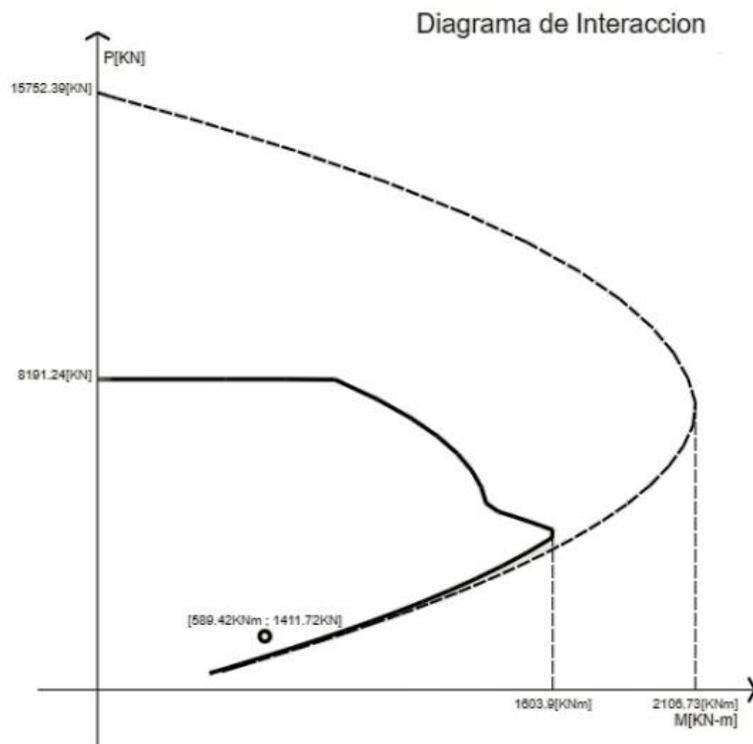


Figura 98

Diagrama de Interacción en Sección Arranque



Los resultados en el diagrama de interacción las solicitaciones en la sección de arranque están dentro de la zona segura.

CAPÍTULO VI EVALUACION DE PATOLOGÍAS

6.1 Evaluación de la condición global del puente

Ante la necesidad de que los trabajos de inspección y evaluación puedan realizarse de manera cuantitativa, e incluso, en forma automática, y que la toma de decisiones sea hecha lo más apegada posible a las condiciones reales de la estructura, se dio origen a un campo muy activo denominado “Evaluación de la condición global del puente”.

La presente metodología reúne los criterios de la Guía de Inspección, Evaluación y Mantenimiento de Puentes del Perú, la metodología de evaluación que aplica consiste en estimar de manera cuantitativa la condición actual del puente mediante la evaluación por condición estadística de los elementos y globalmente del puente, calificando al elemento y al puente con un valor cuantitativo, pudiendo ser desde 0 (muy bueno) hasta 5 (pésimo).

6.2 Definición de la Condición Global del Puente

La condición global del Puente define el Grado de Daño del Puente, es una calificación del estado de la estructura. El grado de daño es el valor cuantitativo que se califica al elemento o puente, esta calificación que se le da a la estructura puede ser de 0 a 5 (muy bueno – pésimo).

Figura 99

Grado de daño y Condición del Puente (Según norma)

| CALIFICACIÓN | CONDICIÓN O ESTADO | RANGO CONDICIÓN | DESCRIPCIÓN DE LA CONDICIÓN |
|--------------|--------------------|-----------------|---|
| 0 | Muy bueno | 0.00-0.99 | El puente no tiene problemas |
| 1 | Bueno | 1.00-1.99 | El puente solo muestra un deterioro mínimo, no hay necesidad de reparaciones, pero ciertas actividades de mantenimiento pueden ser necesarias. |
| 2 | Regular | 2.00-2.99 | Existe deterioro, desprendimientos, socavación no afectan la capacidad portante. Necesidad de reparaciones menores. |
| 3 | Malo | 3.00-3.99 | Existe pérdida de sección, deterioro, desprendimiento que afecta seriamente los componentes principales de la estructura. La capacidad portante y/o de servicio pueden estar afectados. Hay necesidad de reparaciones mayores. |
| 4 | Muy Malo | 4.00-4.99 | Necesita repararse, pero se puede mantener abierto al tráfico restringido, el deterioro de elementos principales afecta la capacidad portante y/o de servicio. Avanzado deterioro de los elementos estructurales primarios. Grietas de fatiga en acero o grietas de corte de concreto, conviene cerrar el puente al menos que este monitoreado. |
| 5 | Pésimo | 5.00-5.99 | La capacidad portante y/o de servicio está afectada y presenta un peligro inminente. Gran deterioro o pérdida de sección presente en elementos estructurales críticos. Desplazamientos horizontales o verticales afectan la estabilidad de la estructura. El puente debe cerrarse al tráfico. |

Fuente. Guía para Inspección, Evaluación y Mantenimiento de Puentes – (27)

6.3 Condición Estadística

6.3.1 Concepto de condición estadística

Se define como aquel procedimiento de evaluación para obtener un número que califique su estado de cada uno de sus elementos como también del puente. Este valor se deduce comenzando por la condición en campo.

6.3.2 Condición en Campo

En la condición en campo, se evalúa cada elemento del puente según sus patologías y está definida por porcentajes para cada nivel de condición de 0 (muy bueno) hasta 5 (pésimo) la suma de cada elemento nos debe de dar 100%.

6.4 Calculo de la Condición Estadística de los Elementos del Puente Tomatitas

Lo primero que se realizó es el porcentaje de evaluación de campo de cada elemento, se evaluó en campo la condición de cada elemento del puente guiándonos por el criterio de la guía de inspección que se expresa como porcentajes para cada nivel de condición, desde 0 (muy bueno), hasta 5 (pésimo).

En la guía cada uno de los elementos se han agrupado en ítems de evaluación que nos ayuda a evaluar cada elemento, cada ítem de evaluación, adopta una severidad de daños, que categoriza y describe los daños por elemento del 1 al 4, las categorías y descripciones extremas 0 (muy bueno) y 5 (pésimo) no están consideradas.

Con la ayuda de los ítems de evaluación se procedió a analizar cada elemento:

A. Estructuras expuestas en mampostería de piedra

Tabla 20

Grado de Severidad de daños en Mampostería de piedra

| Calificación | Descripción de los grados de severidad de daños |
|--------------|--|
| 0 | El elemento no presenta deterioro. |
| 1 | Puede haber decoloración y otros efectos del intemperismo y abrasión superficial. Puede haber disgregación o desprendimiento, no mayor de 25mm de profundidad. Puede haber fisuración menor de 1.5mm de separación. |
| 2 | Puede haber efectos del intemperismo. Puede haber rajaduras menores de 3mm de separación. Puede haber disgregación del mortero o desprendimientos no mayores de 50mm de profundidad. |
| 3 | Puede haber rajaduras menores de 5mm de separación. Puede haber desprendimientos no mayores de 100mm de profundidad. Ligero desplome o asentamiento de la cimentación sin afectar las condiciones de tránsito en calzada de puente. Socavación de la cimentación sin afectar la estabilidad del estribo, pilar o muro. |

| | |
|---|--|
| 4 | Puede haber rajaduras mayores de 5mm de separación Avanzado estado de deterioro y/o desprendimientos mayores de 100mm de profundidad. Desplomes, asentamientos o desplazamiento lateral que afectan las condiciones de tránsito en calzada de puente. Socavación de la cimentación que afecta la estabilidad del estribo, pilar o muro |
| 5 | Colapso del elemento |

Fuente. Guía para Inspección, Evaluación y Mantenimiento de Puentes – (27)

Tabla 21

Valoración del grado de daño en campo (Tímpano Derecho)

| VALORACIÓN DEL ELEMENTO | | |
|----------------------------|---|---------------------|
| ELEMENTO - Tímpano derecho | | Patología = humedad |
| CALIFICACIÓN | DESCRIPCIÓN | % DE CALIFICACIÓN |
| 0 | Si cumple con el criterio de severidad de daño | 97.86% |
| 1 | No cumple con el criterio de severidad de daño | 0% |
| 2 | Si cumple con el criterio de severidad de daño | 2.14% |
| 3 | No cumple con el criterio de severidad de daño | 0% |
| 4 | No cumple con el criterio de severidad de daño | 0% |
| 5 | No cumple con el criterio de severidad de daño | 0% |
| | | 100% |

Tabla 22

Valoración del grado de daño en campo (Tímpano Izquierdo)

| VALORACIÓN DEL ELEMENTO | | |
|------------------------------|---|-------------------------------|
| ELEMENTO - Tímpano izquierdo | | Patología = Grietas en juntas |
| CALIFICACIÓN | DESCRIPCIÓN | % DE CALIFICACIÓN |
| 0 | Si cumple con el criterio de severidad de daño | 92.74% |
| 1 | Si cumple con el criterio de severidad de daño | 7.26% |
| 2 | No cumple con el criterio de severidad de daño | 0% |
| 3 | No cumple con el criterio de severidad de daño | 0% |
| 4 | No cumple con el criterio de severidad de daño | 0% |
| 5 | No cumple con el criterio de severidad de daño | 0% |
| | | 100% |

Tabla 23

Valoración del grado de daño en campo (Tímpano Derecho)

| VALORACIÓN DEL ELEMENTO | | |
|----------------------------|---|---------------------------------|
| ELEMENTO - Tímpano derecho | | Patología = Grieta Arco-Tímpano |
| CALIFICACIÓN | DESCRIPCIÓN | % DE CALIFICACIÓN |
| 0 | Si cumple con el criterio de severidad de daño | 68.54% |
| 1 | No cumple con el criterio de severidad de daño | 0% |
| 2 | Si cumple con el criterio de severidad de daño | 31.46% |
| 3 | No cumple con el criterio de severidad de daño | 0% |
| 4 | No cumple con el criterio de severidad de daño | 0% |
| 5 | No cumple con el criterio de severidad de daño | 0% |
| | | 100% |

B. Estructuras expuestas en concreto armado

Tabla 24

Grado de Severidad de daños en Concreto Armado

| Calificación | Descripción de los grados de severidad de daños |
|--------------|--|
| 0 | El elemento no presenta deterioro. |
| 1 | Puede haber decoloración, eflorescencia y otros efectos del intemperismo y abrasión superficial. Puede haber disgregación o desprendimiento, no mayor de 12mm (6mm en losas) de profundidad. Puede haber fisuración menor de 0.25mm de separación. No hay exposición de pilotes. |
| 2 | Puede haber fisuras menores de 1.5mm de separación. Puede haber disgregación del mortero o desprendimientos no mayores de 25mm (12mm en losas) de profundidad del concreto, sin exposición de las armaduras o evidencia de corrosión de las mismas. Exposición incipiente de pilotes por socavación de la cimentación. |
| 3 | Puede haber rajaduras menores de 3mm de separación. Puede haber alguna delaminación y/o desprendimientos del concreto no mayores de 40mm (20mm en losas) de profundidad, con exposición de armaduras. Puede haber corrosión en las armaduras, pero con pérdidas de sección menores a 10%, y que no afectan significativamente la capacidad resistente y/o de servicio del elemento. En muros, cuerpo y alas de estribos o pilares, ligero desplome sin afectar las condiciones de tránsito en calzada de puente. Ligero asentamiento de la cimentación sin afectar las condiciones de tránsito en calzada. Socavación de la cimentación sin afectar la estabilidad del estribo o pilar. Exposición moderada de pilotes por socavación de la cimentación, sin riesgo para la estabilidad de la estructura. |
| 4 | Puede haber rajaduras mayores de 3mm de separación. Avanzado estado de deterioro y/o desprendimientos del concreto mayores de 40mm de profundidad, con exposición de las armaduras. En columnas y pilotes, pandeo del elemento, con una deflexión lateral perceptible a simple vista. Corrosión severa de las armaduras con pérdida significativa de sección de acero, mayores a 10%, como para exigir un análisis estructural para verificar la capacidad resistente y/o de servicio del elemento. En muros, cuerpo y alas de estribos o pilares, desplomes, asentamientos o desplazamiento lateral que afectan las condiciones de tránsito en calzada de puente. Socavación de la cimentación que afecta la estabilidad del estribo o pilar o muro. Exposición excesiva de pilotes por socavación de la cimentación poniendo en peligro la estabilidad de la estructura. |
| 5 | Colapso del elemento |

Fuente. Guía para Inspección, Evaluación y Mantenimiento de Puentes – ⁽²⁷⁾

Tabla 25*Valoración del grado de daño en campo (Postes de la Baranda)*

| VALORACIÓN DEL ELEMENTO | | |
|---------------------------------|--|---|
| ELEMENTO – Postes de la Baranda | | Patología = Desprendimientos y impactos |
| CALIFICACIÓN | DESCRIPCIÓN | % DE CALIFICACIÓN |
| 0 | Si cumple con el criterio de severidad de daño | 77.78% |
| 1 | Si cumple con el criterio de severidad de daño | 12.96% |
| 2 | Si cumple con el criterio de severidad de daño | 9.26% |
| 3 | No cumple con el criterio de severidad de daño | 0% |
| 4 | No cumple con el criterio de severidad de daño | 0% |
| 5 | No cumple con el criterio de severidad de daño | 0% |
| | | 100% |

Tabla 26*Valoración del grado de daño en campo (Losa)*

| VALORACIÓN DEL ELEMENTO | | |
|-------------------------|--|---------------------|
| ELEMENTO – Losa | | Patología = Humedad |
| CALIFICACIÓN | DESCRIPCIÓN | % DE CALIFICACIÓN |
| 0 | Si cumple con el criterio de severidad de daño | 90.33% |
| 1 | No cumple con el criterio de severidad de daño | 0% |
| 2 | Si cumple con el criterio de severidad de daño | 9.67% |
| 3 | No cumple con el criterio de severidad de daño | 0% |
| 4 | No cumple con el criterio de severidad de daño | 0% |
| 5 | No cumple con el criterio de severidad de daño | 0% |
| | | 100% |

*C. Barandas de acero***Tabla 27***Grado de Severidad de daños en Barandas de Acero*

| Calificación | Descripción de los grados de severidad de daños |
|--------------|--|
| 0 | El elemento no presenta deterioro. |
| 1 | Corrosión superficial y se han formado o están por formarse picaduras superficiales. Rajaduras no asociadas a un esfuerzo principal. |
| 2 | Hay una pérdida de sección perceptible, no mayor de 10%, debido a corrosión por picaduras profundas y laminación del acero, pero en áreas delimitadas. Presencia de rajaduras debido a sobre esfuerzo. Deterioro por impacto, sin afectar la capacidad portante del elemento. Omisión de conexiones no mayor del 10%. Soldadura defectuosa no mayor del 10%. |
| 3 | La corrosión por picaduras y laminación es avanzada, cubriendo áreas extensas, con pérdida de sección mayor del 10%. Rajaduras asociadas a fenómenos de fatiga del material. Deterioro por impacto, afectando la capacidad portante del elemento. Omisiones de conexiones, mayor del 10%. Soldadura defectuosa, mayor del 10%. |
| 4 | Elemento o parte del elemento fuera de funcionamiento |
| 5 | Elemento fuera de funcionamiento |

Fuente. Guía para Inspección, Evaluación y Mantenimiento de Puentes – ⁽²⁷⁾

Tabla 28*Valoración del grado de daño en campo (Barandas)*

| VALORACIÓN DEL ELEMENTO | | |
|-------------------------|--|--------------------------------------|
| ELEMENTO – Barandas | | Patología = Deformaciones y Impactos |
| CALIFICACIÓN | DESCRIPCIÓN | % DE CALIFICACIÓN |
| 0 | Si cumple con el criterio de severidad de daño | 96.02% |
| 1 | Si cumple con el criterio de severidad de daño | 2.27% |
| 2 | No cumple con el criterio de severidad de daño | 0% |
| 3 | No cumple con el criterio de severidad de daño | 0% |
| 4 | Si cumple con el criterio de severidad de daño | 1.71% |
| 5 | No cumple con el criterio de severidad de daño | 0% |
| | | 100% |

*D. Aparatos de Apoyo***Tabla 29***Grado de Severidad de daños en Apoyos de Neopreno*

| Calificación | Descripción de los grados de severidad de daños |
|--------------|--|
| 0 | El elemento no presenta deterioro. |
| 1 | El dispositivo de apoyo muestra mínimo deterioro. No se observan abultamientos laterales del neopreno. Puede haber oxidación superficial en las planchas de acero. |
| 2 | Abultamiento lateral (bulging) del neopreno, dentro de los límites tolerables. Indicios de cristalización del neopreno. Puede haber corrosión incipiente de las planchas de acero. En apoyos deslizantes, desplazamiento por corte ligeramente en exceso. ($D < \frac{1}{4} H$) En apoyos fijos, puede observarse separación entre las planchas de neopreno y acero. |
| 3 | Abultamiento lateral excesivo (bulging) del neopreno, fuera de los límites tolerables. Corrosión avanzada de las planchas de acero. Se observa cristalización del neopreno. En apoyos fijos, puede haber cedido la barra de fijación del apoyo. En apoyos deslizantes, puede haberse movido el apoyo, fuera de su posición. En apoyos deslizantes, desplazamiento por corte excesivo ($D > \frac{1}{4} H$). Pueden haberse desprendido las planchas de acero del neopreno. |
| 4 | Elemento fuera de funcionamiento |
| 5 | Elemento fuera de funcionamiento |

Fuente. Guía para Inspección, Evaluación y Mantenimiento de Puentes – ⁽²⁷⁾

Tabla 30*Grado de Severidad de daños en Apoyos de Acero*

| Calificación | Descripción de los grados de severidad de daños |
|--------------|--|
| 0 | El elemento no presenta deterioro. |
| 1 | Mínimo deterioro de elementos. Puede haber oxidación superficial del acero. No se observa deterioro en el elemento de soporte del dispositivo de apoyo. La lubricación está funcionando adecuadamente. |
| 2 | Puede observarse corrosión incipiente con picaduras superficiales. Se observan deterioros menores en el elemento de soporte del dispositivo de apoyo. La lubricación está funcionando defectuosamente Se observa acumulación de desperdicios que obstruyen el libre movimiento de los apoyos. El apoyo puede haberse desplazado ligeramente de su posición. Los pines están por salirse de su posición en puente con apoyos articulados. |
| 3 | Hay corrosión avanzada del acero, que traban el libre desplazamiento del apoyo. Se observan deterioros mayores en el elemento de soporte del dispositivo de apoyo. Se ha perdido lubricación del apoyo. El apoyo se ha salido de su posición. En apoyos, deslizantes, rocker y roller, los reparos o topes para el desplazamiento del dispositivo han sido destruidos. La acumulación de desperdicios hace inoperativo el dispositivo de apoyo. |
| 4 | Elemento fuera de funcionamiento |
| 5 | Elemento fuera de funcionamiento |

Fuente. Guía para Inspección, Evaluación y Mantenimiento de Puentes – ⁽²⁷⁾

Tabla 31*Valoración del grado de daño en campo (Aparatos de Apoyo)*

| VALORACIÓN DEL ELEMENTO | | |
|----------------------------|---|---|
| ELEMENTO – Apoyos neopreno | | Patología = Degradación y obstrucciones |
| CALIFICACIÓN | DESCRIPCIÓN | % DE CALIFICACIÓN |
| 0 | No cumple con el criterio de severidad de daño | 0% |
| 1 | No cumple con el criterio de severidad de daño | 0% |
| 2 | Si cumple con el criterio de severidad de daño | 100% |
| 3 | No cumple con el criterio de severidad de daño | 0% |
| 4 | No cumple con el criterio de severidad de daño | 0% |
| 5 | No cumple con el criterio de severidad de daño | 0% |
| | | 100% |

En la tabla 32 se colocó todos los porcentajes representados de cada elemento, estos porcentajes provienen de un análisis de las fichas de inspección al asignar un grado de deterioro a las patologías que se presentan y haciendo un cálculo de metrados para encontrar el porcentaje de cantidad afectada y el porcentaje de cantidad no afectada (ver ficha de inspección).

Tabla 32

Porcentaje de Evaluación de Campo de cada Elemento del Punte

| Elemento | NIVEL DE LA CONDICION | | | | | | TOTAL % |
|----------------------|-----------------------|---------|------|---------|-------|-----------|---------|
| | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | |
| | PESIMO | MUY MAL | MALO | REGULAR | BUENO | MUY BUENO | |
| Timpano derecho | 0 | 0 | 0 | 2.14 | 0 | 97.86 | 100 |
| Timpano izquierdo | 0 | 0 | 0 | 0 | 7.26 | 92.74 | 100 |
| Union Arco-Timpano | 0 | 0 | 0 | 31.46 | 0 | 68.54 | 100 |
| Postes de la baranda | 0 | 0 | 0 | 9.26 | 12.96 | 77.78 | 100 |
| Barandas | 0 | 1.71 | 0 | 0 | 2.27 | 96.02 | 100 |
| Losa | 0 | 0 | 0 | 9.67 | 0 | 90.33 | 100 |
| Aparatos de apoyo | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 100 |

Obteniendo la condición de los elementos se procedió a calcular la condición estadística de los elementos y la condición estadística del puente como se presenta en la (Guía Para Inspección, Evaluación y Mantenimiento de Puentes), el procedimiento es el siguiente:

a) El primer paso corresponde a ajustar la distribución de porcentajes, a condiciones umbral. Este ajuste se basa en la percepción de que, si un porcentaje significativo de un elemento está en un nivel dado de condición, entonces el elemento debiera ser evaluado como si totalmente estuviera en esa condición. El proceso de ajuste corresponde a dividir el porcentaje de distribución de campo por aquel umbral, y multiplicar el resultado por 100. Adoptamos un umbral del 3% para el nivel de condición 5, y 25% para los otros estados. Esto significa, por ejemplo, que basta que el 3% del elemento este en la condición 5 (pésimo), para considerar está situación como la del total del elemento. El resultado se presenta en la Tabla 33

Tabla 33

*Ajuste según Porcentaje Umbral (%Campo*100/%Umbral)*

| N de elemento | porcentajes ajustados de la condicion para cada elemento | | | | | |
|----------------------|--|---------|------|---------|-------|-----------|
| | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| | PESIMO | MUY MAL | MALO | REGULAR | BUENO | MUY BUENO |
| Timpano derecho | 0 | 0 | 0 | 8.56 | 0 | 391.44 |
| Timpano izquierdo | 0 | 0 | 0 | 0 | 29.04 | 370.96 |
| Union Arco-Timpano | 0 | 0 | 0 | 125.84 | 0 | 274.16 |
| Postes de la baranda | 0 | 0 | 0 | 37.04 | 51.84 | 311.12 |
| Barandas | 0 | 6.84 | 0 | 0 | 9.08 | 384.08 |
| Losa | 0 | 0 | 0 | 38.68 | 0 | 361.32 |
| Aparatos de apoyo | 0 | 0 | 0 | 400 | 0 | 0 |

Tabla 34*Umbrales Adoptados para cada Condición*

| Condición | %Umbral |
|-----------|---------|
| 0 | 25 |
| 1 | 25 |
| 2 | 25 |
| 3 | 25 |
| 4 | 25 |
| 5 | 3 |

b) En el segundo paso, se acumulan los porcentajes ajustados, desde la condición más pobre a aquella muy buena. La suma se detiene al sobrepasar 100%. Es importante considerar que el proceso debe efectuarse desde la condición más desfavorable, desde la 5 a la 0. Se establece un criterio conservador al cálculo de la condición estadística del elemento. El resultado se presenta en la Tabla 35

Tabla 35*Porcentajes Ajustados Acumulados de la Condición*

| Elemento | NIVEL DE LA CONDICION | | | | | |
|----------------------|-----------------------|---------|------|---------|-------|-----------|
| | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| | PESIMO | MUY MAL | MALO | REGULAR | BUENO | MUY BUENO |
| Timpano derecho | 0 | 0 | 0 | 8.56 | 0 | 400 |
| Timpano izquierdo | 0 | 0 | 0 | 0 | 29.04 | 400 |
| Union Arco-Timpano | 0 | 0 | 0 | 125.84 | 0 | 0 |
| Postes de la baranda | 0 | 0 | 0 | 37.04 | 88.88 | 400 |
| Barandas | 0 | 6.84 | 0 | 0 | 15.92 | 400 |
| Losa | 0 | 0 | 0 | 38.68 | 0 | 400 |
| Aparatos de apoyo | 0 | 0 | 0 | 400 | 0 | 0 |

c) Como tercer paso, los porcentajes son reajustados nuevamente, tal que la suma sea igual a 100, que corresponde al total del elemento. El resultado se muestra en la Tabla 36 Se obtiene así, la condición de umbral.

Tabla 36*Reajuste de Valores hasta Sumar 100%*

| Elemento | NIVEL DE LA CONDICION | | | | | |
|----------------------|-----------------------|---------|------|---------|-------|-----------|
| | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| | PESIMO | MUY MAL | MALO | REGULAR | BUENO | MUY BUENO |
| Timpano derecho | 0 | 0 | 0 | 8.56 | 0 | 91.44 |
| Timpano izquierdo | 0 | 0 | 0 | 0 | 29.04 | 70.96 |
| Union Arco-Timpano | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 |
| Postes de la baranda | 0 | 0 | 0 | 37.04 | 62.96 | 0 |
| Barandas | 0 | 6.84 | 0 | 0 | 15.92 | 77.24 |
| Losa | 0 | 0 | 0 | 38.68 | 0 | 61.32 |
| Aparatos de apoyo | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 |

d) Para el último paso, se requiere reducir esta condición de umbral a un solo número que constituirá precisamente la condición estadística del elemento. Se adopta un criterio para la obtención de un promedio pesado por elemento. A fin de darle mayor participación o peso a los valores más desfavorables, se está usando el denominado quinto momento en estadística. Se obtiene de la siguiente manera

- Los productos del nivel de condición de umbral (elevado a la quinta) por ejemplo nivel de condición malo es igual a tres elevado a la quinta 3^5
- Luego realizamos la sumatoria de todos estos productos.
- Después se saca la raíz quinta de esta suma.

El procedimiento se ilustra en la tabla 37

Tabla 37

Condición Estadística de cada Elemento, Utilizando el Quinto Momento

| Elemento | NIVEL DE LA CONDICION | | | | | | condicion estadistica |
|----------------------|-----------------------|---------|------|---------|--------|-----------|-----------------------|
| | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | |
| | PESIMO | MUY MAL | MALO | REGULAR | BUENO | MUY BUENO | |
| Timpano derecho | 0 | 0 | 0 | 2.7392 | 0 | 0 | 1.22 |
| Timpano izquierdo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.2904 | 0 | 0.78 |
| Union Arco-Timpano | 0 | 0 | 0 | 32 | 0 | 0 | 2.00 |
| Postes de la baranda | 0 | 0 | 0 | 11.8528 | 0.6296 | 0 | 1.66 |
| Barandas | 0 | 70.0416 | 0 | 0 | 0.1592 | 0 | 2.34 |
| Losa | 0 | 0 | 0 | 12.3776 | 0 | 0 | 1.65 |
| Aparatos de apoyo | 0 | 0 | 0 | 32 | 0 | 0 | 2.00 |

6.5 Condición estadística del puente

A partir del cálculo de la condición estadística de los elementos, será posible calcular la condición estadística para el puente. El método procedimiento es el siguiente:

- ❖ Se determina el número de elementos del puente (N)
- ❖ Se determina el factor de importancia que el elemento tiene en relación con el puente
- ❖ Se multiplica la condición estadística de cada elemento, por su correspondiente factor de importancia. Este producto es denominado contribución del elemento al puente
- ❖ Se identifica el mayor valor entre la contribución de los elementos. Se tiene la mayor contribución.
- ❖ La contribución remanente se obtiene como la suma de la contribución de los otros elementos.
- ❖ La fracción de la contribución remanente, se obtiene como la contribución remanente, dividida entre el producto de la mayor contribución por el número de elementos menos 1.

- ❖ La condición estadística del puente, se obtiene como la suma de la mayor contribución y la fracción de la contribución remanente.

Tabla 38*Condición Estadística del Puente*

| N de elemento | condicion estadistica del elemento | factor de importancia del elemento | contribucion del elemento al puente | condicion estadistica del puente |
|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| Timpano derecho | 1.22 | 1 | 1.22 | 2.45 |
| Timpano izquierdo | 0.78 | 1 | 0.78 | |
| Union Arco-Timpano | 2.00 | 1 | 2.00 | |
| postes de la baranda | 1.66 | 0.4 | 0.66 | |
| barandas | 2.34 | 0.4 | 0.94 | |
| losa | 1.65 | 0.6 | 0.99 | |
| aparatos de apoyo | 2.00 | 0.4 | 0.80 | |

Tabla 39*Datos para Calculo de Condición Estadística del Puente*

| | |
|---------------------|------|
| numero de elementos | 7 |
| mayor | 2.00 |
| sumatoria | 7.40 |
| suma mayor | 5.40 |

- Para encontrar el número de elementos son todos los elementos estudiados que presentan patologías.
- Se visualiza en la tabla 26 y se encuentra la mayor contribución del elemento
- Sumatoria: es la suma de todas las contribuciones de los elementos al puente.
- Suma mayor: Es la resta de la sumatoria menos la mayor.

$$\text{condicion estadistica del puente} = \text{mayor} + \frac{\text{suma mayor}}{(\text{Nro elementos} - 1) * \text{mayor}}$$

$$\text{condicion estadistica del puente} = 2 + \frac{5.40}{(7 - 1) * 2} = 2.45$$

Tabla 40*Rango de Condición Estadística*

| Calificación | Condición | Rango de la Condición |
|--------------|-------------|-----------------------|
| 0 | EXCELENTE | 0.00 - 0.99 |
| 1 | BUENA | 1.00 - 1.99 |
| 2 | REGULAR | 2.00 - 2.99 |
| 3 | PREOCUPANTE | 3.00 - 3.99 |
| 4 | MALA | 4.00 - 4.99 |
| 5 | PÉSIMA | 5.00 - 5.99 |

El Puente se encuentra en un estado REGULAR, ya que los cálculos salen un valor de 2.45 y están dentro del rango de esa condición.

Esta condición global del puente define el grado de daño del puente, es una calificación del estado de la estructura. Esta calificación de valor 2.45 la norma nos describe la condición de la siguiente manera:

Figura 100

Grado de daño y Condición del Puente (Según norma)

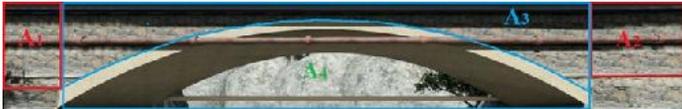
| CALIFICACIÓN | CONDICIÓN O ESTADO | RANGO CONDICIÓN | DESCRIPCIÓN DE LA CONDICIÓN |
|--------------|--------------------|-----------------|---|
| 0 | Muy bueno | 0.00-0.99 | El puente no tiene problemas |
| 1 | Bueno | 1.00-1.99 | El puente solo muestra un deterioro mínimo, no hay necesidad de reparaciones, pero ciertas actividades de mantenimiento pueden ser necesarias. |
| 2 | Regular | 2.00-2.99 | Existe deterioro, desprendimientos, socavación no afectan la capacidad portante. Necesidad de reparaciones menores. |
| 3 | Malo | 3.00-3.99 | Existe pérdida de sección, deterioro, desprendimiento que afecta seriamente los componentes principales de la estructura. La capacidad portante y/o de servicio pueden estar afectado. Hay necesidad de reparaciones mayores. |
| 4 | Muy Malo | 4.00-4.99 | Necesita repararse, pero se puede mantener abierto al tráfico restringido, el deterioro de elementos principales afecta la capacidad portante y/o de servicio. Avanzado deterioro de los elementos estructurales primarios. Grietas de fatiga en acero o grietas de corte de concreto, conviene cerrar el puente al menos que este monitoreado. |
| 5 | Pésimo | 5.00-5.99 | La capacidad portante y/o de servicio está afectada y presenta un peligro inminente. Gran deterioro o pérdida de sección presente en elementos estructurales críticos. Desplazamientos horizontales o verticales afectan la estabilidad de la estructura. El puente debe cerrarse al tráfico. |

Fuente. Guía para Inspección, Evaluación y Mantenimiento de Puentes – (27)

Ficha de Inspección 1

INVENTARIO PATOLÓGICO**DATOS TÉCNICOS**

| | | |
|---|---|-----------------------------|
| FUENTE: INVESTIGACION DE CAMPO REALIZADO POR EL AUTOR | | Sep./23 |
| Parte del Puente: Sub estructura | | Elemento: Tímpano (derecho) |
| Tipo de Patología | Infiltración - Humedad | |
| Descripción de la patología | - El muro o tímpano lado derecho se encuentra con manchas de humedad debido a las grietas, el agua entra por estas grietas especialmente en épocas de crecidas. | |
| Probables causas | - grietas hechas por la perforación para sostener la tubería - mal sistema de drenaje | |
| Grados de Deterioro Calificación | MUY BUENO=0 BUENO=1 REGULAR=2 MALO=3 MUY MALO=4 PESIMO=5 | |

| METRADO | | | | | | | |
|---|-----------------|----------------------------|-----------------------|---------------|-------------------------------------|---|------------------------|
|  | | | | | | | |
| ANCHO (m) | | ALTURA (m) | | AREA m2 | | $A_{TOTAL} = A_1 + A_2 + A_3 - A_4$ $A_{TOTAL} = 6.6 + 15.4 + 78.99 - 54.44$ $A_{TOTAL} = 46.55m^2$ | |
| 3 | | 2.2 | | $A_1 = 6.6$ | | | |
| 7.2 | | 2.2 | | $A_2 = 15.4$ | | | |
| 22.57 | | 3.5 | | $A_3 = 78.99$ | | | |
| $\int_0^{22.57} (-0.027 * X^2 + 0.62 * X) dx$ $\left[-\frac{0.027(x^3)}{3} + \frac{0.62(x^2)}{2} \right]$ $\left[-\frac{0.027(22.57^3)}{3} + \frac{0.62(22.57^2)}{2} \right]$ | | | | $A_4 = 54.44$ | | | |
| ESTADO GENERAL | | | | | | | |
| N° | COMPONENTE | CANTIDAD (m ²) | GRADO DE DETERIORO | PATOLOGIAS | CANTIDAD AFECTADA (m ²) | % CANTIDAD AFECTADA | % CANTIDAD NO AFECTADA |
| 1 | TIMPANO DERECHO | 46.55 | Regular (2) | Humedad | 1 | $\frac{1}{46.55} * 100 = 2.14\%$ | 100-2.14 = 97.86 % |
| CONDICION ESTADISTICA DEL PUENTE VER TABLA 38 | | | | | | | |
| CONDICION ESTADISTICA | | | FACTOR DE IMPORTANCIA | | CONTRIBUCION AL PUENTE | | |
| 1.22 | | | 1 | | 1.22 | | |

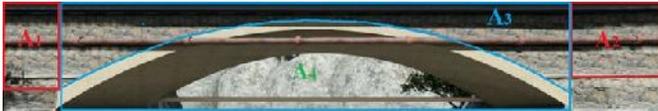
Nota. El detalle de metrados de la cantidad afectada se encuentra en ANEXOS (CROQUIS Y METRADO DE PATOLOGIAS) PLANO 1

INVENTARIO PATOLÓGICO



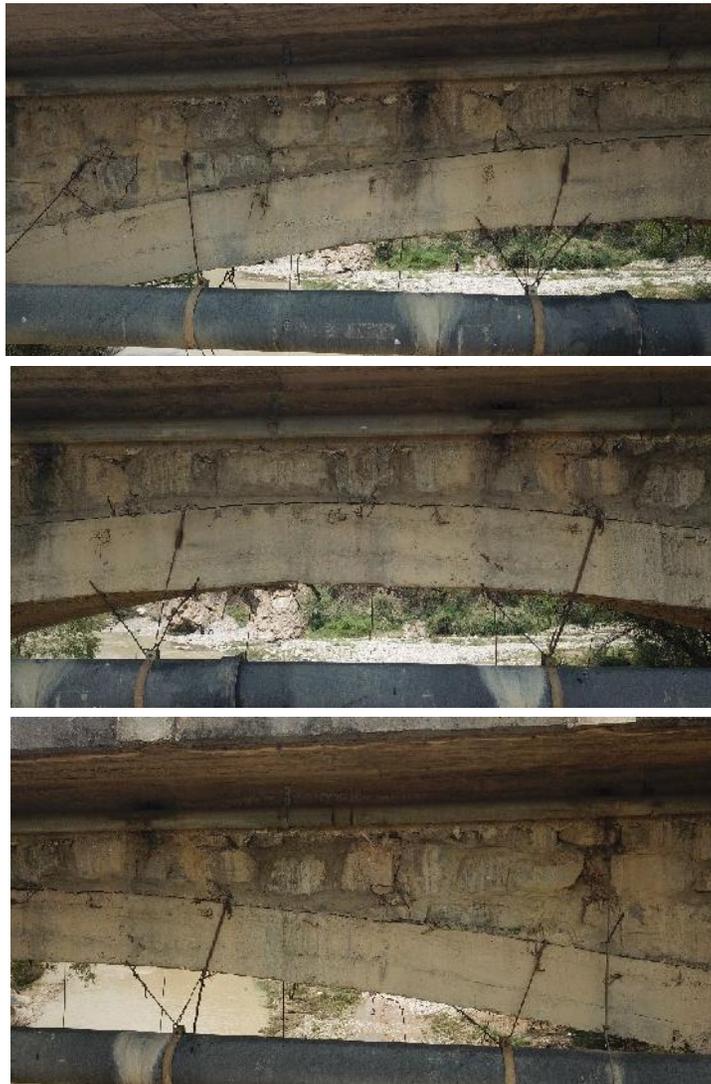
DATOS TÉCNICOS

| | | |
|---|---|---------------------------------------|
| FUENTE: INVESTIGACION DE CAMPO REALIZADO POR EL AUTOR | | Sep./23 |
| Parte del Puente: Sub estructura | | Elemento: Tímpano antiguo (izquierdo) |
| Tipo de Patología | Grietas en las juntas | |
| Descripción de la patología | - El tímpano lado izquierdo las primeras filas de piedras de mampostería presentan grietas en las juntas, grietas verticales y escalonadas | |
| Probables causas | <ul style="list-style-type: none"> - Grietas hechas por la perforación para sostener las tuberías - Mala ejecución en su construcción - Disgregación del mortero | |
| Grados de Deterioro Calificación | MUY BUENO=0 BUENO=1 REGULAR=2 MALO=3 MUY MALO=4 PESIMO=5 | |

| METRADO | | | | | | | |
|---|-------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------------------|---|------------------------|
|  | | | | | | | |
| ANCHO (m) | | ALTURA (m) | | AREA m2 | | | |
| 3 | | 2.2 | | $A_1 = 6.6$ | | | |
| 7.2 | | 2.2 | | $A_2 = 15.4$ | | | |
| 22.57 | | 3.5 | | $A_3 = 78.99$ | | | |
| $\int_0^{22.57} (-0.027 * X^2 + 0.62 * X) dx$ $\left[-\frac{0.027(x^3)}{3} + \frac{0.62(x^2)}{2} \right]$ $\left[-\frac{0.027(22.57^3)}{3} + \frac{0.62(22.57^2)}{2} \right]$ | | | | $A_4 = 54.44$ | | $A_{TOTAL} = A_1 + A_2 + A_3 - A_4$ $A_{TOTAL} = 6.6 + 15.4 + 78.99 - 54.44$ $A_{TOTAL} = 46.55m^2$ | |
| ESTADO GENERAL | | | | | | | |
| N° | COMPONENTE | CANTIDAD (m ²) | GRADO DE DETERIORO | PATOLOGIAS | CANTIDAD AFECTADA (m ²) | % CANTIDAD AFECTADA | % CANTIDAD NO AFECTADA |
| 2 | TIMPANO IZQUIERDO | 46.55 | Bueno (1) | Grietas en juntas | 3.38 | $\frac{3.38}{46.55} * 100 = 7.26\%$ | $100 - 7.26 = 92.74\%$ |
| CONDICION ESTADISTICA DEL PUENTE VER TABLA 38 | | | | | | | |
| CONDICION ESTADISTICA | | | FACTOR DE IMPORTANCIA | | CONTRIBUCION AL PUENTE | | |
| 0.78 | | | 1 | | 0.78 | | |

Nota. El detalle de metrados de la cantidad afectada se encuentra en ANEXOS (CROQUIS Y METRADO DE PATOLOGIAS) PLANO 2

INVENTARIO PATOLÓGICO



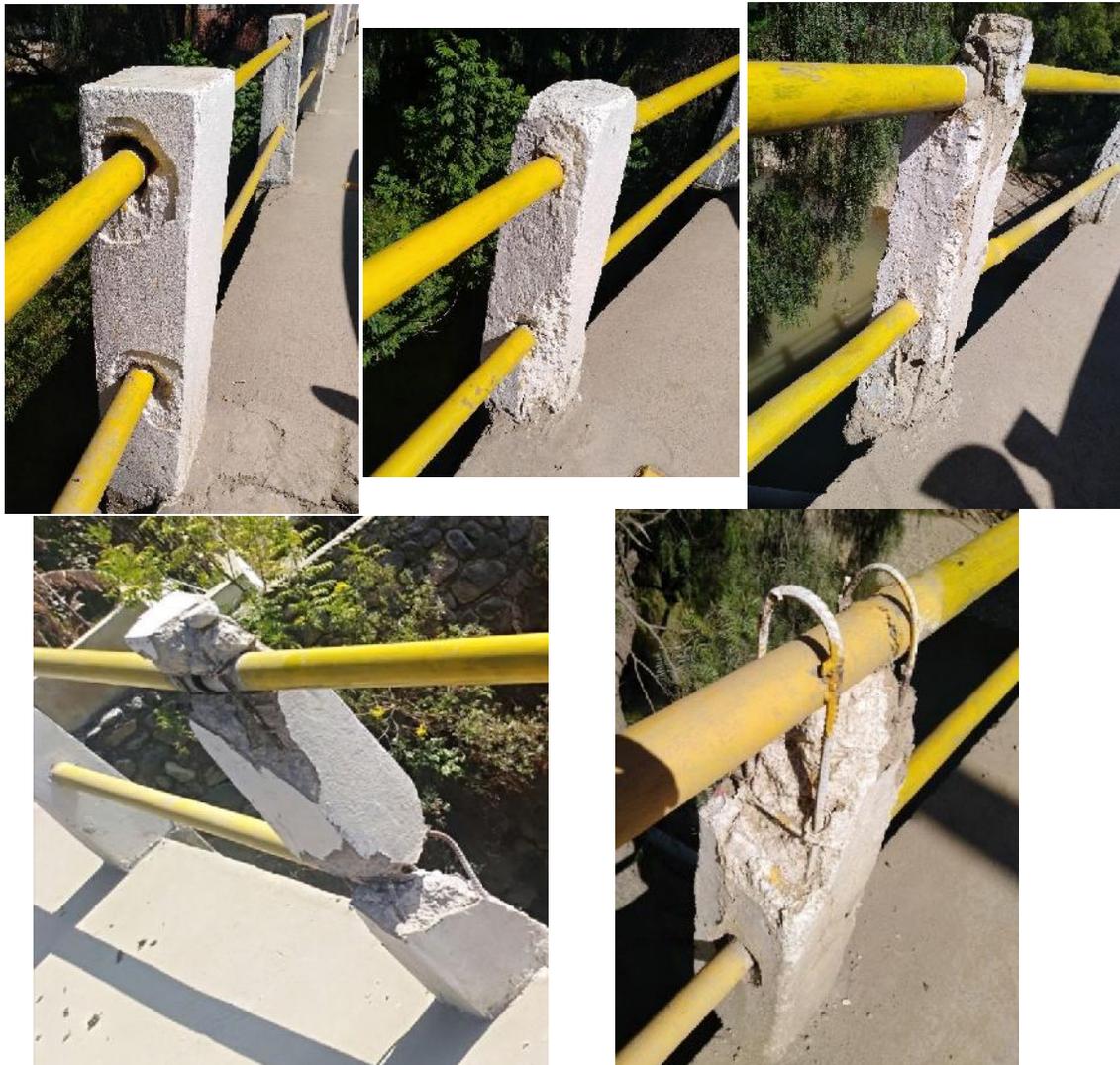
DATOS TÉCNICOS

| | | |
|---|---|---------------------------------------|
| FUENTE: INVESTIGACION DE CAMPO REALIZADO POR EL AUTOR | | Sep./23 |
| Parte del Puente: Sub estructura | | Elemento: Unión Arco- Tímpano derecho |
| Tipo de Patología | Grieta entre Arco - Tímpano | |
| Descripción de la patología | - Grieta entre la unión del muro y del arco en la parte central del puente bóveda, tiene un espesor aproximado de 4mm y una longitud de 5m | |
| Probables causas | <ul style="list-style-type: none"> - Por la perforación entre la unión de arco- tímpano para el sostenimiento de tuberías - Empuje lateral del relleno lo que provoca esfuerzos horizontales. | |
| Grados de Deterioro Calificación | MUY BUENO=0 BUENO=1 REGULAR=2 MALO=3 MUY MALO=4 PESIMO=5 | |

| METRADO | | | | | | | |
|---|------------|--------------|-----------------------|--------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
|  | | | | | | | |
| Calculo de la longitud del arco $s = \int_{-a}^a \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx$ ecuacion de la parabola $y = -0.027x^2 + 0.62x + 0$ derivando la ecuacion de la parabola $\frac{dy}{dx} = -0.054x + 0.62$ $s = \int_0^{22.57} \sqrt{1 + (-0.054x + 0.62)^2} dx$ | | | | LONGITUD TOTAL DEL ARCO S=23.90 m | | | |
| ESTADO GENERAL | | | | | | | |
| Nº | COMPONENTE | CANTIDAD (m) | GRADO DE DETERIORO | PATOLOGIAS | CANTIDAD AFECTADA (m) | % CANTIDAD AFECTADA | % CANTIDAD NO AFECTADA |
| 3 | ARCO | 23.9 | Regular (2) | Grieta Arco-Timpano | 7.5 | $\frac{7.5}{23.90} * 100 = 31.46\%$ | $100 - 31.46 = 68.54\%$ |
| CONDICION ESTADISTICA DEL PUENTE VER TABLA 38 | | | | | | | |
| CONDICION ESTADISTICA | | | FACTOR DE IMPORTANCIA | | CONTRIBUCION AL PUENTE | | |
| 2 | | | 1 | | 2 | | |

Nota. El detalle de metrados de la cantidad afectada se encuentra en ANEXOS (CROQUIS Y METRADO DE PATOLOGIAS) PLANO 3

INVENTARIO PATOLÓGICO



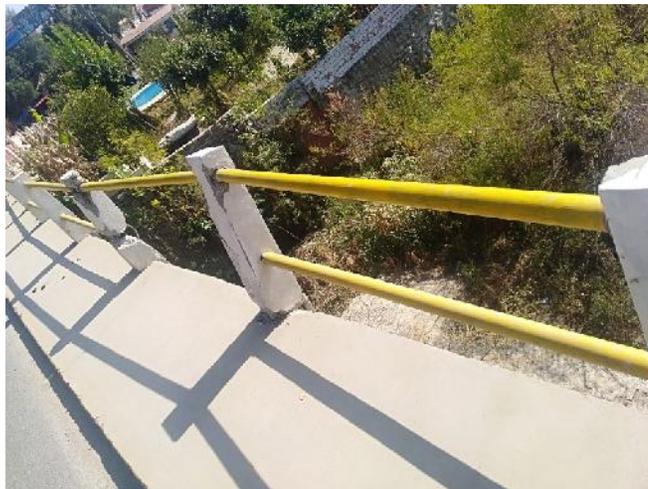
DATOS TÉCNICOS

| | | |
|---|---|--------------------------------|
| FUENTE: INVESTIGACION DE CAMPO REALIZADO POR EL AUTOR | | Sep/23 |
| Parte del Puente: Superestructura | | Elemento: postes de la baranda |
| Tipo de Patología | desprendimientos-impactos vehiculares | |
| Descripción de la patología | - Patologías que ocasionan pérdidas de sección del poste de la baranda dejando en algunos casos el acero expuesto | |
| Probables causas | <ul style="list-style-type: none"> - Golpes por los vehículos - Pérdida de sección en los bordillos, debido a las acciones del ambiente como también malas acciones de algunos peatones (vandalismo) - Falta de conservación - Desprendimiento por grandes esfuerzos generados por las barandas | |
| Grados de Deterioro Calificación | MUY BUENO=0 BUENO=1 REGULAR=2 MALO=3 MUY MALO=4 PESIMO=5 | |

| METRADO | | | | | | | |
|---|---------------------|---------------------------------|--------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| DESCRIPCION | N° DE POSTES EN | ALTURA (m) | | LONGITUD POR METRO LINEAL | | | |
| LADO DERECHO | 27 | 0.83 | | 27*0.83=22.41 | | | |
| LADO IZQUIERDO | 27 | 0.83 | | 27*0.83=22.41 | | | |
| | | CANTIDAD TOTAL POR METRO LINEAL | | 44.82 m | | | |
| ESTADO GENERAL | | | | | | | |
| N° | COMPONENTE | CANTIDAD (m) | GRADO DE DETERIORO | PATOLOGIAS | CANTIDAD AFECTADA (m) | % CANTIDAD AFECTADA | % CANTIDAD NO AFECTADA |
| 4 | POSTES DE BARANDADO | 44.82 | Bueno (1) | Desprendimiento | 5.81 | $\frac{5.81}{44.82} * 100 = 12.96\%$ | 100-12.96-9.26 = 77.78 % |
| | | | Malo (3) | Impacto | 4.15 | $\frac{4.15}{44.82} * 100 = 9.26\%$ | |
| CONDICION ESTADISTICA DEL PUENTE VER TABLA 38 | | | | | | | |
| CONDICION ESTADISTICA | | FACTOR DE IMPORTANCIA | | CONTRIBUCION AL PUENTE | | | |
| 1.66 | | 0.4 | | 0.66 | | | |

Nota. El detalle de metrados de la cantidad afectada se encuentra en ANEXOS (CROQUIS Y METRADO DE PATOLOGIAS) PLANO 4

INVENTARIO PATOLÓGICO



DATOS TÉCNICOS

| | | |
|---|--|--------------------|
| FUENTE: INVESTIGACION DE CAMPO REALIZADO POR EL AUTOR | | Sep./23 |
| Parte del Puente: Superestructura | | Elemento: Barandas |
| Tipo de Patología | Deformación - Impactos | |
| Descripción de la patología | - Patología debido a grandes esfuerzos externos que generan deformaciones y/o rotura de las barandas | |
| Probables causas | <ul style="list-style-type: none"> - Por acciones de impacto de vehículos - Vandalismo | |
| Grados de Deterioro Calificación | MUY BUENO=0 BUENO=1 REGULAR=2 MALO=3 MUY MALO=4 PESIMO=5 | |

| METRADO | | | | | | | |
|---|----------------|----------------------------|--------------------|-------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| DESCRIPCION | N° DE BARANDAS | LONGITUD DE LA BARANDA (m) | | | LONGITUD TOTAL (m) | | |
| | 4 | 43.95 | | | 4*43.95 = 175.8 | | |
| ESTADO GENERAL | | | | | | | |
| N° | COMPONENTE | CANTIDAD (m) | GRADO DE DETERIORO | PATOLOGIAS | CANTIDAD AFECTADA (m) | % CANTIDAD AFECTADA | % CANTIDAD NO AFECTADA |
| 5 | BARANDADO | 175.8 | Bueno (1) | Deformacion | 4 | $\frac{4}{175.8} * 100 = 2.27\%$ | 100-2.27-1.71 = 96.02 % |
| | | | Muy Malo (4) | Impacto | 3 | $\frac{3}{175.8} * 100 = 1.71\%$ | |
| CONDICION ESTADISTICA DEL PUENTE VER TABLA 38 | | | | | | | |
| CONDICION ESTADISTICA | | FACTOR DE IMPORTANCIA | | | CONTRIBUCION AL PUENTE | | |
| 2.34 | | 0.4 | | | 0.94 | | |

INVENTARIO PATOLÓGICO

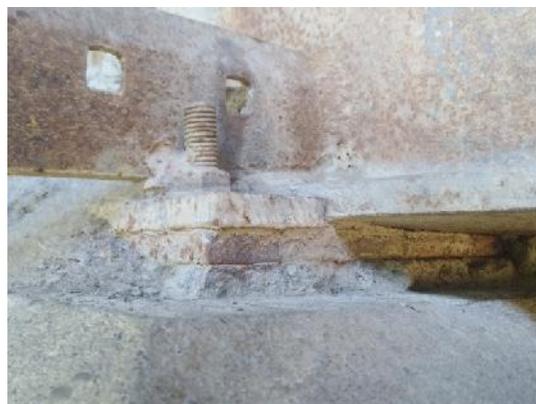


DATOS TÉCNICOS

| | | |
|---|--|----------------|
| FUENTE: INVESTIGACION DE CAMPO REALIZADO POR EL AUTOR | | Sep./23 |
| Parte del Punte: Superestructura | | Elemento: Losa |
| Tipo de Patología | Humedad – Defectos constructivos – Descascaramientos - Fisuras | |
| Descripción de la patología | -Debajo de la losa por humedad existe una mancha negra de gran dimensión, también fisuras por retracción y algunos defectos constructivos | |
| Probables causas | <ul style="list-style-type: none"> - Infiltración de agua (manchas negras) - Mal encausamiento de escurrimiento de agua en la calzada - falta de un sistema de drenaje - Malas técnicas constructivas durante su ejecución | |
| Grados de Deterioro Calificación | MUY BUENO=0 BUENO=1 REGULAR=2 MALO=3 MUY MALO=4 PESIMO=5 | |

| METRADO | | | | | | | |
|---|--------------|-----------------------|--------------------|------------------------|-----------------------------|----------------------------------|------------------------|
| DESCRIPCION | LONGITUD (m) | ANCHO (m) | | AREA m^2 | | | |
| | 8 | 6 | | 8*6 = 48 | | | |
| ESTADO GENERAL | | | | | | | |
| N° | COMPONENTE | CANTIDAD (m^2) | GRADO DE DETERIORO | PATOLOGIA | CANTIDAD AFECTADA (m^2) | % CANTIDAD AFECTADA | % CANTIDAD NO AFECTADA |
| 6 | LOSA | 48 | Regular (2) | Humedad | 4.64 | $\frac{4.64}{48} * 100 = 9.67\%$ | 100-9.67 = 90.33 % |
| CONDICION ESTADISTICA DEL PUENTE VER TABLA 38 | | | | | | | |
| CONDICION ESTADISTICA | | FACTOR DE IMPORTANCIA | | CONTRIBUCION AL PUENTE | | | |
| 1.65 | | 0.6 | | 0.99 | | | |

INVENTARIO PATOLÓGICO



DATOS TÉCNICOS

| | | |
|---|--|-----------------------------|
| FUENTE: INVESTIGACION DE CAMPO REALIZADO POR EL AUTOR | | Sep./23 |
| Parte del Puente: Superestructura | | Elemento: Aparatos de apoyo |
| Tipo de Patología | Degradación-Obstrucciones | |
| Descripción de la patología | - Elementos de apoyo degradados por el tiempo, un aparato de apoyo de acero oxidado y otro de neopreno obstruido por piedras, tierra y basura | |
| Probables causas | <ul style="list-style-type: none"> - Envejecimiento - Ataque químico - Climatología extrema - Falta de supervisión | |
| Grados de Deterioro Calificación | MUY BUENO=0 BUENO=1 REGULAR=2 MALO=3 MUY MALO=4 PESIMO=5 | |

| METRADO | | | | | | | |
|---|-------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------|---------------------------|---------------------|------------------------|
| DESCRIPCION | | N° DE APARATO FIJO NEOPRENO | N° DE APARATO FIJO ACERO | | TOTAL APARATOS DE APOYO | | |
| | | 4 | 10 | | 4+10 = 14 | | |
| ESTADO GENERAL | | | | | | | |
| N° | COMPONENTE | CANTIDAD (unidad) | GRADO DE DETERIORO | PATOLOGIAS | CANTIDAD AFECTADA (unid.) | % CANTIDAD AFECTADA | % CANTIDAD NO AFECTADA |
| 7 | APARATOS DE APOYO | 14 | Regular (2) | Degradacion | 14 | 100 | 0 |
| CONDICION ESTADISTICA DEL PUENTE VER TABLA 38 | | | | | | | |
| CONDICION ESTADISTICA | | FACTOR DE IMPORTANCIA | | | CONTRIBUCION AL PUENTE | | |
| 2 | | 0.4 | | | 0.8 | | |

CAPÍTULO VII PROPUESTA DE REHABILITACIÓN

En esta propuesta de rehabilitación se detalla la solución técnica, para subsanar las patologías ordenando de mayor a menor urgencia.

7.1 Propuesta para grieta entre arco-tímpano y grietas en tímpano derecho

Esta es la patología de mayor relevancia, de no darse un mantenimiento adecuado a la larga esta patología podría empeorarse causando graves daños en la estructura, especialmente el daño se da en épocas de lluvia cuando llega caudales máximos del río, el agua penetra por las grietas del tímpano donde puede ocasionar socavación en el relleno.

La causa principal de la grieta que esta justamente entre la unión arco-tímpano es por la perforación de fierros entre esta unión, para sostener mediante alambres la tubería.

Para solucionar este problema una posible solución es mover la tubería y colocarlo de manera que no dañe a la estructura haciendo los siguientes procedimientos:

1) Mover la tubería de acero galvanizado que se encuentra en la parte de arriba que no está en funcionamiento como se ve en la figura.



2) En ese espacio donde se movió la tubería de acero esta la capa de losa de hormigón donde se puede empotrar fierros sin dañar la mampostería de piedra, empotramos a cada 80cm como esta en el tímpano lado izquierdo ver figura, para después colocar la tubería grande



3) Una vez colocado la tubería grande procedemos al sellado de las grietas que dejo por la mala colocación de la tubería, primero limpieza de tierra o polvo dentro de las grietas seguido colocado manual inyección de mortero de reparación en una combinación de resinas epóxicas.

7.2 Propuesta para la evacuación de aguas en el puente

La humedad en algunos sectores se debe a un deficiente sistema de drenaje, para solucionar este problema se debe de mejorar el sistema de drenaje siguiendo los siguientes procedimientos:

1) Realizar una limpieza de los bordes de la calzada sacando toda la tierra



2) Aprovechando las juntas de las aceras, realizar una limpieza y si es necesario calar generando como un conducto para que drenen las aguas a cierta distancia de los timpanos para no dañarlos con el agua.



7.3 Propuesta para desprendimiento y descascaramientos en postes de barandas

1) Sacar mecánicamente el hormigón deteriorado hasta llegar a un soporte firme y limpio de polvo



2) Sacar el óxido de las armaduras mediante un cepillo de púas



3) Una vez limpia la armadura de óxido y polvo se aplica un producto para protección del acero



4) Aplicar producto Sika como puente de unión



5) Colocación de mortero de reparación hasta recuperar las dimensiones originales de los bordes.

7.4 Propuesta para degradación en aparatos de apoyo

1) Realizar una limpieza de todos los aparatos de apoyo quitando piedras, tierra, basura acumulada alrededor de los mismos etc.

2) Protegemos el aparato de apoyo tipo neopreno mediante la aplicación de mortero de impermeabilización.

3) Protección del aparato de apoyo de acero aplicando producto anticorrosivo.

CAPÍTULO VIII PRESUPUESTO PROPUESTA DE REHABILITACIÓN

| Ítem | Descripción | Unidad | Cantidad | Precio Unitario (Numeral) | Precio Unitario (Literal) | Precio Total (Numeral) Bs |
|-------------------------------|--|--------|----------|---------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| 1 | Mover tubería acero galvanizado | glb | 1 | 610 | Seiscientos diez | 610 |
| 2 | Empotrados de fierros en mampostería para sostener la tubería hdpe | ml | 40 | 85 | Ochenta y cinco | 3400 |
| 3 | Colocación de tubería hdpe | glp | 1 | 2010 | Dos mil diez | 2010 |
| 4 | Sellado de las grietas de las juntas de la mampostería | ml | 5 | 50 | cincuenta | 250 |
| 5 | Limpieza de los bordes de la calzada | glb | 1 | 120 | Ciento veinte | 120 |
| 6 | Cortar y calar conducto de drenaje | glb | 1 | 300 | trecientos | 300 |
| 7 | Reparación de los postes de barandas | glb | 1 | 455 | Cuatrocientos cincuenta y cinco | 455 |
| 8 | Limpieza y protección de aparatos de apoyo | glb | 1 | 650 | seis | 650 |
| PRECIO TOTAL (Numeral) | | | | | | 7795 |

Son: Siete mil setecientos noventa y cinco bolivianos

CAPÍTULO IX CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 Conclusiones

- El desarrollo de la presente investigación siguiendo la metodología propuesta se ha logrado identificar cada patología física, química y mecánica presente en el puente, las patologías que más se presentan son manchas de humedad por infiltración, deterioro de juntas, grietas, descascaramientos, impactos de vehículos, deformaciones y fisuras, todas estas patologías se las describió en una ficha de inspección elaboradas personalmente donde están el tipo de patología, las probables causas, las posibles soluciones y el grado de riesgo.
- Se realizó el análisis estructural al puente bóveda de Tomatitas con el objetivo de determinar si resiste las nuevas solicitaciones actuales para su seguridad, los resultados dieron que el puente bóveda si resiste las actuales sobrecargas, incluso puede llegar a soportar mucha más carga de la actual, esto se comprobó con un análisis a flexocompresión en un diagrama de interacción, esto se debe posiblemente debido a:
 1. Los puentes ejecutados antiguamente sus normativas utilizaban la teoría del comportamiento elástico se planteaban en términos de esfuerzos admisibles considerando un comportamiento elástico del material, limitando los esfuerzos máximos en los materiales y minorando sus resistencias, utilizando coeficientes de seguridad un poco elevados, por el cual es una de las posibles causas que en la actualidad soporta mayores cargas.
 2. La bóveda tiene un buen comportamiento estructural, gracias a que la relación flecha y luz se encuentra dentro del rango adecuado entre $1/4$ como máximo y $1/10$ como mínimo, el puente bóveda tiene una relación de $1/6$, por el cual hace que los momentos se disminuyan y que actúen más las fuerzas axiales de compresión.
 3. A menor flecha mayor es su fuerza horizontal y el esfuerzo axial máximo ocurre en los apoyos toda la carga se transfiere a los estribos y los estribos del puente bóveda están contruidos juntos con las rocas del lugar.
- De acuerdo con la evaluación estructural y funcional del puente de Tomatitas el más grande daño actual que se presenta y afecta al puente es que no existe un sistema de

drenaje pluvial y las varias tuberías que están sujetas al puente de una forma incorrecta son los principales motivos que están ocasionando daños considerables al puente.

- Se pudo obtener de una forma aproximada la cantidad de vehículos que pasa por el puente de Tomatitas según los resultados para el año 2024 estarían pasando aproximadamente 870 vehículos desde la ciudad diariamente entre estos vehículos transitan vehículos muy pesados.
- En general, se alcanzaron todos los objetivos tanto general como específicos propuestos al iniciar esta investigación, con el fin de corroborar el estado actual del puente, considerando personalmente importante los resultados observados ya que pueden servir como base en un futuro para una posible intervención del puente de Tomatitas para su mantenimiento y conservación.

9.2 Recomendaciones

- ❖ Al corroborarse que existen ciertas patologías y las más considerables es por motivo que no existe un sistema de drenaje pluvial y por las tuberías que están sujetas al puente de una forma incorrecta, se da como primera recomendación que se realice los trabajos de un sistema de drenaje adecuado y mover las tuberías y colocarlo de manera que no dañe a la estructura.
- ❖ También sería recomendable que se realice inspecciones periódicas realizadas cada dos años o cinco como máximo, por los profesionales inspectores de puentes, para asegurar su conservación y funcionamiento con seguridad.
- ❖ Por ultimo las instituciones encargadas de la administración de estas estructuras cuenten con un adecuado modelo de guía para la inspección, evaluación y mantenimiento de puentes para que guarden concordancia al realizar la inspección con otros puentes.