

UNIVERSIDAD DE CUENCA



FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

“DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DEL PUENTE OCHOA LEÓN”

Trabajo de Titulación previo a la obtención
del Título de Ingeniero Civil

AUTOR:

DIEGO JOSUÉ LÓPEZ SALAMEA

C.I: 010403639-7

DIRECTOR:

ING. JUAN FERNANDO ZALAMEA LEÓN, PhD

C.I: 010205932-6

Cuenca – Ecuador

Mayo 2018



RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objeto realizar un diagnóstico del estado actual del puente Ochoa León y presentar una propuesta de intervención. Para ello, es necesario mediante una visita técnica aplicar una ficha de inspección visual, la misma que es propuesta debido a que no existe un formato normado; esta servirá para la identificación de las patologías que el puente presenta y poder determinar las posibles causas. La ficha de inspección aplicada dio como resultado que los daños graves se encuentran en los estribos y en las vigas del tablero. En los estribos se pudo determinar que la pantalla se encuentra fracturada, mientras que en las vigas los hierros inferiores de la armadura de refuerzo están expuestos y presentan agentes corrosivos, por lo tanto el estado actual del puente Ochoa León se determina como “Reparación” por lo que se requiere un análisis a mayor profundidad. En este estudio se encontraron las posibles causas de las patologías; para las vigas debido a problemas constructivos y para los estribos por una insuficiente capacidad a tracción. Se concluye con una propuesta de intervención con el fin de reparar y mejorar las condiciones actuales del puente encontradas en esta investigación.

Palabras claves: Diagnóstico, puente, patologías, vigas, estribos, grieta, tracción, propuesta.

ABSTRACT

The present certification project has an objective to diagnose the current status of the Ochoa León's Bridge and to expose an intervention proposal. In order to proceed with this plan, it is necessary, through a technical visit, to apply a visual inspection form, which is advised, because there is not a certified format; using this inspection will help to identify the pathologies that the bridge presents, and settle the possible causes or issues. The inspection form applied, showed that the greatest damage was found in the abutments and beams of the board. In the stirrups it was possible to determine that the screen is fractured, while in the beams the lower irons of the reinforcement armor are exposed and present corrosive agents, therefore the actual status of the Ochoa León's Bridge is determined as "Repair", therefore it requires an analysis in utmost depth. In this investigation the possible causes of the pathologies were found; for beams due to construction problems and for the abutments due to insufficient tensile capacity. As a result, it concludes with an intervention proposal in order to repair and improve the current bridge conditions found in this investigation.

Keywords: Diagnosis, bridge, pathologies, beams, stirrups, crack, traction, proposal.



ÍNDICE

RESUMEN	2
ABSTRACT	3
ÍNDICE	4
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE TABLAS	10
ÍNDICE DE ECUACIONES	10
CAPÍTULO I	15
1. <i>Aspectos generales</i>	15
1.1 Introducción	15
1.2 Justificación	17
1.3 Objetivos	17
1.3.1 Objetivo General.	17
1.3.2 Objetivos Específicos.	17
CAPÍTULO II	18
2. <i>Marco teórico</i>	18
2.1 Puente	18
2.2 Materiales	18
2.2.1 Madera.	18
2.2.2 Mampostería.	19
2.2.3 Hormigón.	19
2.2.4 Metal.	20
2.3 Partes de un puente	22
2.3.1 Superestructura.	23
2.3.2 Subestructura.	24
2.4 Clasificación de los puentes	26
2.4.1 Clasificación de puentes según su tipología.	27
2.5 Durabilidad	32

2.6	Patología estructural	32
2.7	Patologías estructurales en un puente	32
2.7.1	Patologías por diseño estructural.	33
2.7.2	Fisuras.	33
2.7.3	Segregación del hormigón.	39
2.7.4	Recubrimiento inadecuado.	39
2.7.5	Corrosión del acero de refuerzo.	40
2.7.6	Eflorescencia en el hormigón.	41
2.7.7	Contaminación del hormigón por microorganismos.	42
2.7.8	Socavación.	42
CAPÍTULO III		44
3.	Metodología	44
3.1	Información secundaria	44
3.2	Descripción del puente Ochoa León	44
3.2.1	Datos generales.	44
3.2.2	Ubicación.	44
3.2.3	Geometría.	45
3.2.4	Superestructura	45
3.2.5	Subestructura.	46
3.2.6	Equipamiento.	47
3.2.7	Descripción del estudio de suelo.	47
3.3	Inspección del puente Ochoa León.	48
3.3.1	Propuesta ficha de inspección visual para puentes.	48
3.3.2	Visita técnica y aplicación de la ficha de inspección visual para puentes.	51
3.4	Determinación del estado actual del puente	53
3.4.1	Identificación de patologías.	53
3.5	Resultados de la ficha de inspección visual.	68
3.6	Determinación de causas de las vigas del tablero y los estribos	69
3.6.1	Vigas del tablero.	69
3.6.2	Estribos.	69
3.7	Resultados del análisis conceptual estructural	77



CAPÍTULO IV	83
4. <i>Alternativa de intervención</i>	83
4.1 Alternativa de intervención para las vigas	83
4.2 Alternativa de intervención para los estribos	84
CAPÍTULO V	91
5. <i>Conclusiones y recomendaciones</i>	91
5.1 Conclusiones	91
5.2 Recomendaciones	93
BIBLIOGRAFÍA	94
ANEXOS	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Puente peatonal de madera.	18
Figura 2. Puente vehicular de piedra.	19
Figura 3. Puente vehicular con vigas rectas de hormigón armado.	20
Figura 4. Puente vehicular de vigas rectas pretensadas.	20
Figura 5. Puente ferroviario con estructura de hierro fundido.	21
Figura 6. Puente peatonal con estructura de hierro forjado.	22
Figura 7. Puente vehicular con estructura de acero.	22
Figura 8. Identificación de la superestructura y subestructura de un puente.	23
Figura 9. a) Secciones transversales de pilares tipo pared.	25
Figura 10. Estribo y ala de un puente.	26
Figura 11. Ejemplo de puente tipo viga. Puente vehicular con estructura portante constituida por vigas de hormigón armado	28
Figura 12. Ejemplo de puente en arco. Puente vehicular con estructura portante en arco de acero, donde el tablero se encuentra en la parte intermedia del arco.	29
Figura 13. Ejemplo de puente colgante. Puente vehicular con estructura portante colgante.	30
Figura 14. Ejemplo de puente atirantado. Puente vehicular con estructura portante atirantada.	31
Figura 15. Ejemplo de puente tipo pórtico. Puente vehicular con estructura portante tipo pórtico.	31
Figura 16. Comparación entre grieta y fisura.	34
Figura 17. Fisuras por tracción simple en un elemento, aplicando fuerza axial.	34
Figura 18. Diferencia entre fisuras por flexión, cortante y flexión-cortante.	35
Figura 19. Esquema de fisuras por torsión.	36
Figura 20. Fisuras por asentamiento grave de un estribo.	36
Figura 21. Fisuras por aplastamiento en un elemento de apoyo debido a la aplicación de una carga concentrada.	37
Figura 22. Fisura por volcamiento.	37
Figura 23. Fisuramiento en la cara superior de una losa por retracción hidráulica.	38
Figura 24. Fisura por asentamiento plástico.	39
Figura 25. Segregación del hormigón en la cara inferior de una losa.	39
Figura 26. Barras de acero de refuerzo de una viga expuestas por falta de recubrimiento.	40
Figura 27. Oxidación de la armadura de acero de refuerzo en una viga.	41
Figura 28. Eflorescencia visible en la cara inferior de la losa de un puente.	41
Figura 29. Ataque de microorganismos en el estribo de un puente.	42
Figura 30. Estribo afectado por una socavación grave.	43
Figura 31. Ubicación satelital del puente Ochoa León.	45
Figura 32. Parte superior de la superestructura del puente Ochoa León.	46

Figura 33. Parte inferior de la superestructura del puente Ochoa León.	46
Figura 34. a) Esquema de la sección transversal de los estribos del puente Ochoa León.	47
Figura 35. Numeral 1 - Información inicial de la ficha de inspección visual.	49
Figura 36. Numeral 2 - Información secundaria de la ficha de inspección visual.	49
Figura 37. Numeral 4 – Evaluación visual de las partes del puente.	50
Figura 38. Numeral 5 – Evaluación general del puente en función del índice de daño de sus partes.	50
Figura 39. Valorización de la infraestructura en la ficha de inspección visual.	52
Figura 40. Valorización de la superestructura en la ficha de inspección visual.	52
Figura 41. Ala derecha del puente Ochoa León, presencia de desgaste de hormigón.	53
Figura 42. Cara interior del Ala derecha del puente Ochoa León.	54
Figura 43. Estribo derecho del puente Ochoa León.	55
Figura 44. Grieta horizontal en el estribo derecho del puente Ochoa León.	55
Figura 45. Grietas inclinadas en el estribo derecho del puente Ochoa León.	55
Figura 46. Desprendimiento de hormigón ciclópeo en el estribo derecho del puente Ochoa León.	56
Figura 47. Estribo izquierdo del puente Ochoa León.	56
Figura 48. Contaminación de microorganismos en el estribo derecho del puente Ochoa León.	57
Figura 49. a) Apoyo entre viga y estribo de la viga del extremo izquierdo.	58
Figura 50. a) Cara inferior de la zona central de la losa del puente Ochoa León.	59
Figura 51. Presencia de eflorescencias en la cara inferior de la losa del puente Ochoa León.	59
Figura 52. a) Cara inferior de la viga del extremo izquierdo del puente Ochoa León.	61
Figura 53. Oxidación de los aceros de refuerzo de las vigas del puente Ochoa León.	62
Figura 54. Cara lateral de la viga izquierda del puente Ochoa León.	62
Figura 55. a) Diafragmas del extremo izquierdo del puente Ochoa León.	63
Figura 56. Cara interior del diafragma derecho del puente Ochoa León.	63
Figura 57. Pilas pertenecientes a los barandales del puente Ochoa León.	64
Figura 58. Tubos de acero pertenecientes a los barandales del puente Ochoa León.	64
Figura 59. Tubo de acero afectado por un impacto, perteneciente a los barandales del puente Ochoa León.	65
Figura 60. Vista frontal final del puente Ochoa León.	65
Figura 61. Vista frontal inicial del puente Ochoa León.	66
Figura 62. Calzada del puente Ochoa León.	66
Figura 63. Muestra de la acumulación de lodo en el extremo de la calzada del puente Ochoa León.	67
Figura 64. a) Vereda izquierda del puente Ochoa León.	67
Figura 65. Esquema de patologías graves encontradas.	69
Figura 66. Estructura metálica tipo cercha, colindante con el puente Ochoa León.	70
Figura 67. Suposición del movimiento de suelo hacia los estribos.	71

Figura 68. Diagrama de fuerzas consideradas para el modelamiento del estribo derecho del puente Ochoa León.	72
Figura 69. Disposición de elementos Shell-Thick para recrear el estribo.	74
Figura 70. Conformación de los ejes del modelo del estribo.	74
Figura 71. Vista en 3D de perfil del estribo modelado.	75
Figura 72. a) Discretización del elemento Shell perteneciente a la base del estribo.	75
Figura 73. Representación del empuje activo aplicado en la cara externa del estribo. Escala en Kg/m ² .	76
Figura 74. Cuerpo de estribo donde se muestra las restricciones en los extremos y la representación del coeficiente de balasto en el sentido del movimiento horizontal.	77
Figura 75. Deformación del estribo modelado aplicado una escala de amplificación de 15.	78
Figura 76. Diagrama de momentos con respecto al eje 2 de la cara interna del elemento. Escala en Kg-cm/cm	79
Figura 77. Diagrama de momentos con respecto al eje 2 de la cara interna del estribo aplicado un empuje uniforme adicional. Escala en Kg-cm/cm	81
Figura 78. Deformación del estribo modelado con el empuje adicional y aplicado una escala de amplificación de 2.	82
Figura 79. Esquema de apuntalamiento para intervención en las vigas del puente Ochoa León.	84
Figura 80. Esquema de la alternativa de intervención para los estribos del puente Ochoa León.	86
Figura 81. Esquema del armado anclaje entre las losas y el estribo.	87
Figura 82. Detalle de anclaje entre losa y estribo.	88
Figura 83. Dimensiones del muro de contención.	89
Figura 84. Esquema del armado del muro de contención.	90



ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Criterios y clasificación de puentes.</i>	27
<i>Tabla 2. Índice de valorización para la gravedad del daño.</i>	50
<i>Tabla 3. Índice de valorización de daño y posibles acciones a tomar en cuenta.</i>	51
<i>Tabla 4. Resumen de resultados de la aplicación de la ficha de inspección visual.</i>	51
<i>Tabla 5. Resumen de patologías graves identificadas.</i>	68
<i>Tabla 6. Resumen de pesos considerados de la superestructura.</i>	73
<i>Tabla 7. Descripción de elementos que conforman los puentes.</i>	84

ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1. a) Coeficiente K activo de Rankine.</i>	72
<i>Ecuación 2. Aproximación de la resistencia a tracción, (Rodríguez, 2014).</i>	79
<i>Ecuación 3. Esfuerzo de tracción.</i>	80

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 PROPUESTA DE FICHA DE INSPECCION VISUAL PARA PUENTES	97
ANEXO 2 FICHA DE INSPECCION VISUAL APLICADA AL PUENTE OCHOA LEON	101
ANEXO 3 PLANILLAJE DEL PUENTE OCHOA LEÓN	113



Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, DIEGO JOSUÉ LÓPEZ SALAMEA autor del trabajo de titulación “DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DEL PUENTE OCHOA LEÓN”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 07 de Mayo del 2018

DIEGO JOSUÉ LÓPEZ SALAMEA

C.I: 010403639-7



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo, DIEGO JOSUÉ LÓPEZ SALAMEA en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DEL PUENTE OCHOA LEÓN”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 07 de Mayo del 2018

DIEGO JOSUÉ LÓPEZ SALAMEA

C.I: 010403639-7



DEIDCATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico a Dios, por ser mi fortaleza, quien me guía en cada paso de mi vida y me ha acompañado en todo momento en el transcurso de esta etapa universitaria.

Con mucho cariño a mis padres, mi mami Nélida quien ha sido mi ejemplo de esfuerzo y dedicación y siempre estuvo a mi lado para darme ánimo, apoyo incondicional y valentía para seguir adelante y cumplir mis metas; mi papi Marcelo quien con sus consejos y apoyo me mantuvo en pie y perseverante para culminar mi carrera profesional.

A mis hermanas, Jennifer y Marcela quienes me han brindado su apoyo, cariño incondicional y me han regalado la alegría más grande de ser tío de Alexis, José Xavier y Omar quienes me transmitieron la ilusión y el deseo de conseguir esta meta.



AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por darme las herramientas necesarias para cursar cada momento de la vida universitaria.

Al Ingeniero Fernando Zalamea quien con paciencia y dedicación me brindó su apoyo, guía, tiempo, conocimiento y motivación desde el inicio y a lo largo del desarrollo de esta investigación.

A mis padres y hermanas por apoyarme en cada momento y quienes con paciencia y cariño me acompañaron a lo largo de la vida universitaria.

CAPÍTULO I

1. Aspectos generales

1.1 Introducción

Dentro de la red vial de una región se encuentran varios elementos que la conforman y cada uno de ellos cumple una función específica para garantizar la movilidad y la conexión zonal. De esta manera aspectos fundamentales como economía, educación, comercio, relaciones humanas, entre otros se ven aventajados gracias a la facilidad que representa la correcta implementación de carreteras y accesos para así aportar en el desarrollo de la región. Entre los elementos de la red vial se encuentran los puentes, estas son estructuras viales con trazado por encima de la superficie, que permiten vencer obstáculos como ríos, quebradas, hondonadas, canales, entrantes de mar, estrechos de mar, lagos, etc. (Villarino Otero, 2010); son de las más importantes para el funcionamiento vial debido al servicio y la utilidad que le brindan a la comunidad. Están constituidos por 2 elementos principales que son la subestructura y la superestructura teniendo una función específica de transmitir la carga al suelo de cimentación y soportar la carga vial respectivamente. Generalmente estos se encuentran en jurisdicción de la Administración Pública debido a la alta inversión necesaria para llevar a cabo un proyecto de esta magnitud y ya que son de uso común de la ciudadanía en general. Como en cualquier estructura, los puentes pueden presentar diferentes patologías estructurales, refiriéndose a patologías como el estudio sistemático de los procesos y características de las “enfermedades” o los “defectos y daños” que pueden sufrir una estructura, sus causas, consecuencia y remedios (Rivva López, 2006); por lo tanto para evitar estos fenómenos se requiere de un constante mantenimiento y supervisión, estos procesos representan un costo adicional, el cual generalmente no es considerado, y por lo tanto como resultado se presentan daños en donde la vida útil de la estructura se ve disminuida notablemente, normalmente resulta más costoso la reparación de la estructura que realizar un adecuado mantenimiento. Las patologías en los puentes se generan por distintas causas y en cualquiera de sus elementos, para poder determinar el estado actual de un puente y conocer si éste o cualquiera de sus componentes es adecuado para el uso pretendido,

se requiere de un diagnóstico seguido de la identificación de las posibles causas y como resultado generar una alternativa de intervención. Este procedimiento es realizado con frecuencia en puentes, debido a la importancia de obtener soluciones para poder preservar la vida útil de la estructura, como fue el trabajo de Tadeu Mascia & Lenz Sartorti (2011) quienes identificaron y analizaron patologías en puentes de carreteras urbanas y rurales, otro ejemplo es la evaluación realizada por Peñuela Bejarano & Sossa Espitia (2015) a los puentes ubicados en la localidad 9^a de Fontibon – Colombia, en donde se presentaron patologías importantes en los estribos y vigas de apoyo.

En este proyecto se abordará el diagnóstico del Puente Ochoa León debido a su deterioro visible en sus estribos. Está ubicado en el Cantón Cuenca de la Provincia del Azuay cuya jurisdicción es del Gobierno Provincial del Azuay. El proceso de diagnóstico se ha planteado en 3 etapas claramente diferenciadas, como primera etapa se recolectará información secundaria mediante la revisión bibliográfica de revistas científicas, libros, manuales, trabajos de titulación y artículos científicos relacionados con el tema propuesto, además el Gobierno Provincial del Azuay proporciona información disponible acerca del puente. En la segunda etapa se realiza visitas técnicas para una inspección visual la cual se documentará fotográficamente todos los daños que se encuentren, con esto se determina las patologías, se realiza un diagnóstico del estado actual del puente y se genera un modelo estructural en el software SAP2000 de los elementos estructurales que requieran ser analizados. Finalmente como una tercera etapa se realiza la documentación de patologías, su gravedad y la identificación de las posibles causas, con ello se determinará una posible propuesta de intervención. En otras palabras, con la aplicación de la metodología mencionada se espera obtener el diagnóstico actual del puente Ochoa León, identificar las patologías existentes, determinar las posibles causas de las patologías encontradas y presentar una propuesta de intervención.

El Gobierno Provincial del Azuay podrá analizar dicha propuesta y si la considera adecuada realizar la intervención con el objetivo de mejorar las condiciones de servicio y aumentar la vida útil de la estructura.

1.2 Justificación

El puente Ochoa León en la actualidad presenta deterioros visibles dentro de los componentes de la subestructura tales como los estribos y posibles problemas constructivos dentro de las vigas que conforman la superestructura, lo que significaría que presenta patologías estructurales importantes que pueden poner en peligro la vida útil y las condiciones de servicio del mismo, por lo tanto es indispensable determinar su magnitud y sus posibles causas. A pesar de lo mencionado la estructura se mantiene en operación pues permite la comunicación vehicular entre las parroquias Ricaurte y Sidcay con las parroquias Chiquintad y Sinincay siendo un acceso para el transporte de productos agrícolas que se generan en la zona, además de ser la vía de acceso para la ciudadanía que radica en este sector hacia la parte céntrica de la ciudad y sus aledaños.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General.

Realizar un diagnóstico del estado actual del puente Ochoa León y presentar una propuesta de intervención.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Formular una ficha de inspección y daño para puentes.
- Identificación y levantamiento de patologías del puente Ochoa León.
- Determinación de posibles causas de las patologías encontradas y el estado del puente.
- Establecer una posible propuesta de intervención del puente de reparación o reforzamiento si es el caso.

CAPÍTULO II

2. Marco teórico

2.1 Puente

Un puente es una obra que se construye para salvar un obstáculo dando así continuidad a una vía. Suele sustentar un camino, una carretera o una vía férrea, pero también puede transportar tuberías y líneas de distribución de energías (Rodríguez Sequén, 2016). En este trabajo se abordaran las estructuras que son concebidas para pasos viales de manera que se pueda atravesar obstáculos tales como riveras, quebradas, etc. y así optimizar el funcionamiento de las redes viales en función de las necesidades de la población.

2.2 Materiales

Entre los materiales comúnmente usados para la construcción de cada uno de los elementos de los puentes se pueden distinguir los siguientes:

2.2.1 Madera.

La madera es el material que utilizó el hombre para hacer sus primeras construcciones; un tronco de árbol sobre un río fue seguramente el primer puente artificial (Villarino Otero, 2010). Este material goza de bondades tales como facilidad y la rapidez para ser construido, da como resultado obras económicas y además que es de fácil acceso para obtenerlo como materia prima. Por otro lado su deterioro es a corta edad, su resistencia frente a crecidas de caudal de un río es baja y por lo tanto no se puede garantizar total resistencia, seguridad y sobre todo durabilidad, dependiendo del tipo de obra que se quiera realizar.



Figura 1. Puente peatonal de madera.

2.2.2 Mampostería.

Las estructuras de puentes construidas con mampostería se las utilizaba en el pasado, en la actualidad su uso y construcción es bajo o nulo debido a las nuevas tecnologías en materiales. Entre los más comunes esta la piedra y los ladrillos, en lo que se refiere a la piedra se la puede encontrar en la naturaleza directamente y puede ser usado sin la necesidad de un proceso adicional, por otro lado el ladrillo son elementos que se encuentran en el mercado y son de bajo costo adquisitivo. Permiten salvar luces no muy grandes y generalmente son concebidas como estructuras en arco debido a que este material trabaja únicamente a compresión.



Figura 2. Puente vehicular de piedra.

2.2.3 Hormigón.

Los puentes de hormigón se pueden diferenciar dos tipos, de hormigón armado y de hormigón precomprimido (pretensado y postensado).

2.2.3.1 Hormigón armado.

El hormigón armado es una colaboración del acero y el hormigón, adecuado especialmente para resistir esfuerzos de flexión (Instituto Español del cemento y sus aplicaciones, 2013). Generalmente con este material se realiza una estructura portante conformada por vigas rectas o vigas en T, poseen gran resistencia aunque se podría considerar como una estructura pesada; además su proceso constructivo normalmente requiere de la colocación de una obra falsa que facilite la colocación de encofrados y el vertido de hormigón.



Figura 3. Puente vehicular con vigas rectas de hormigón armado.

2.2.3.2 Hormigón precomprimido (pretensado y postensado).

Lo que este tipo de material le brinda a los elementos de un puente, que normalmente son las vigas de la estructura portante, es proveer de esfuerzos y deformaciones que contrarresten las generadas por la carga dinámica externa. Estos constan de varios cables tensores artificiales a compresión con el objetivo de eliminar los esfuerzos a tracción del hormigón. Existen varios procesos de elaborar y construir obras con este tipo de elementos pero en general son procesos rápidos y de un costo aceptable en función de la utilidad del puente. Con hormigón precomprimido se pueden realizar puentes de mayores luces que de hormigón armado.



Figura 4. Puente vehicular de vigas rectas pretensadas.

2.2.4 Metal.

Para la realización de puentes metálicos se pueden optar por tres diferentes opciones de materiales dentro de este grupo, los cuales están basados en el hierro y sus diferentes procesos y aleaciones:

2.2.4.1 Fundición.

Este material fue el primero en ser utilizado para la construcción de puentes metálicos. Se obtiene al generar una aleación del hierro bruto con el carbono y silicio principalmente, donde el carbono supera el 2% de proporción y el silicio más de 1%. Se comporta de manera que posee una ductilidad muy baja y no puede laminarse, estirarse o trabajarse en frío o en caliente (Díaz del Castillo, 2007). Su costo es relativamente económico y tiene una buena trabajabilidad al momento de su fabricación. Un ejemplo del uso de este material en puentes es el conocido Puente de Coalbrookdale, construido en 1777 el cual consta de una luz de 30 metros y se encuentra sobre el río Severn en Inglaterra. En la actualidad este material está en desuso.



Figura 5. Puente ferroviario con estructura de hierro fundido.

2.2.4.2 Hierro forjado.

Es un material que resulta de calentar el hierro a altas temperaturas, para así aumentar su resistencia y mediante golpeteos mejorar su regularidad, y enfriarlo rápidamente para endurecer el material. Por su proceso de fabricación tiene una extensa gama de perfiles que se pueden realizar. Se compone de una aleación de hierro con carbono, teniendo un porcentaje entre 0.05% y 0.25% de carbono. Al igual que el hierro fundido no posee mayor ductilidad, además que es un material duro y maleable. Actualmente este material está en desuso.



Figura 6. Puente peatonal con estructura de hierro forjado.

2.2.4.3 Acer.

El acero es uno de los materiales más usados en la actualidad para la construcción de estructuras. Posee gran ductilidad, durabilidad y una alta resistencia. Resulta de la aleación del hierro con el carbono, magnesio, fosforo, níquel, azufre, cromo, entre otros. Debido a sus características se pueden realizar elementos de varias longitudes dependiendo su tipología, por ejemplo para un puente con vigas rectas se pueden alcanzar longitudes entre 20 a 80 metros, para puentes con celosía se puede realizar de longitudes entre 50 a 100 metros y para puentes en arco se puede salvar longitudes entre 50 a 150 metros. Se pueden realizar varios tipos de perfiles dependiendo de lo requerido en la estructura, además de que su proceso constructivo es relativamente sencillo.



Figura 7. Puente vehicular con estructura de acero.

2.3 Partes de un puente

Los puentes constan de dos subdivisiones fundamentales la superestructura y la subestructura. En donde la superestructura está conformada por los elementos que reciben la carga móvil y al mismo tiempo la transmiten a los apoyos, es decir

está constituida por la parte superior del puente. La subestructura está compuesta por los elementos encargados de transmitir las cargas aplicadas a la cimentación y al suelo donde esté asentada la obra, es decir está constituida por la parte inferior de un puente. Esto se puede apreciar en la figura 8.

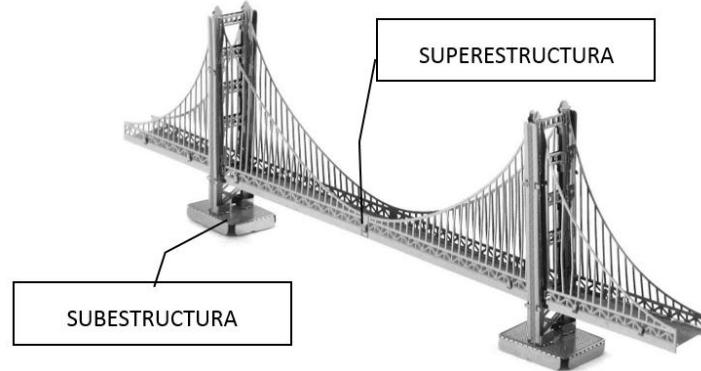


Figura 8. Identificación de la superestructura y subestructura de un puente.

2.3.1 Superestructura.

La superestructura generalmente está compuesta por distintos elementos según el tipo de puente. Entre los componentes más importantes y comunes están:

2.3.1.1 *Tablero.*

Este elemento estructural es el encargado de soportar las cargas móviles y dinámicas que son generadas por el tráfico vehicular, en general tiene una capa asfáltica para darle continuidad a la rasante de la vía que el puente conecta. Sobre los tableros, dependiendo el tipo de puente, se suele colocar bordillos que limitan la calzada, veredas para el tránsito peatonal acompañadas de barandas para seguridad tanto de los vehículos como de los peatones, dependiendo del tipo de vía que el puente vaya a salvar, en el tablero se puede colocar un parterre para separar los carriles que ingresan en el puente.

2.3.1.2 *Vano.*

Se refiere a la distancia que existe entre dos apoyos consecutivos de un puente.

2.3.1.3 *Estructura portante.*

Son elementos, que en función del tipo de puente, pueden ser vigas rectas, en forma de arco, a porticadas, vigas reticulares, cables tensores, entre otras. Tiene la función de salvar el vano y por lo tanto el tablero descansará sobre éstas.

2.3.1.4 *Diáframas.*

Son vigas que se encuentran transversales a las vigas principales con el objetivo de realizar la función de arrostramiento para generar mayor estabilidad y control de deformaciones del puente.

2.3.2 *Subestructura.*

La subestructura de un puente no varía de mayor manera según su tipología, a menos que se trate de una solución especial debido a condiciones adversas del sitio en donde se va a implantar la obra, entre los elementos que la conforman se tiene:

2.3.2.1 *Pilares.*

Son elementos de apoyo que se encuentran en la parte intermedia del puente, sobre estos descansan las vigas principales las cuales transmiten las cargas generadas en el tablero hacia los pilares y estos transmiten hacia la cimentación. Los pilares generalmente están en contacto directo con el río que el puente atraviesa por lo que deben ser capaces de resistir altas presiones hidráulicas, erosión y cargas de viento además de las solicitudes del puente. Estos pueden ser concebidos como pilares pared o pilares columna, pudiendo ser de sección transversal variable en caso de que se requieran grandes alturas (Ramirez Coria & Leon Avila, 2010), cada uno de estos se puede realizar de distintas formas como se puede observar en la figura 9.

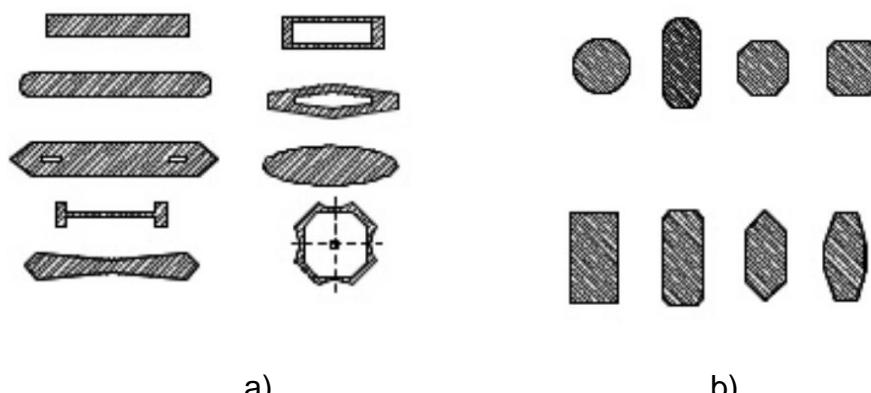


Figura 9. a) Secciones transversales de pilares tipo pared.

b) Secciones transversales de pilares tipo columna.

2.3.2.2 **Estríbos.**

Los estribos cumplen una función similar a la de las pilas con la diferencia de que además de transmitir las cargas generadas en el tablero hacia la cimentación, funcionan como muros de contención, debido a que estos están ubicados en los extremos del puente y deben resistir el empuje de tierra que se genera por los terraplenes de acceso al puente. Se define como cara externa aquella que está en contacto con el suelo y cara interna aquella que se encuentra en contacto con el río o cualquier obstáculo que el puente esté salvando.

2.3.2.3 **Alas.**

Son elementos estructurales que se encuentran adyacentes a los estribos, estos no soportan ni transmiten la carga dinámica del tablero, tienen la función de trabajar como muros de contención para resistir el empuje de tierra que se genera por los terraplenes de acceso al puente.



Figura 10. Estripo y ala de un puente.

2.3.2.4 *Cimientos.*

Son los elementos que se encuentran debajo de los estribos y las pilas. Son los encargados de transmitir toda la carga que se genere en el puente hacia el suelo donde está ubicada la obra. Están sujetos principalmente a dos condiciones: el asentamiento total y el asentamiento diferencial. Son parámetros que deben estar perfectamente controlados para mantener la seguridad de la estructura. Dependiendo de las condiciones del terreno y de la estructura la cimentación puede ser superficial, profunda, mediante pilotes, zapatas o cajones de cimentación (Ramirez Coria & Leon Avila, 2010).

2.4 Clasificación de los puentes

La clasificación de los puentes se puede realizar en base a varios criterios. En la tabla 1 se presentan estos y su respectiva clasificación.

Tabla 1. Criterios y clasificación de puentes.

CRITERIO	CLASIFICACIÓN	CRITERIO	CLASIFICACIÓN
Naturaleza de la vía soportada	Vehiculares Peatonales Ferroviarios Acueductos	Tiempo de vida previsto	Definitivos Temporales
Material de construcción	Madera Mampostería Hormigón Metalicos	Tipo de tablero	Rasculantes Levadizos Giratorios Elevación vertical Transbordador
Tipología	Tipo viga En arco Colgantes Atirantados Tipo pórtico	Trazo geométrico	Recto Oblícuo Curvo
		Proceso Constructivo	Vaciados en sitio Compuestos Prefabricados Dovelas

2.4.1 Clasificación de puentes según su tipología.

Para este trabajo se especificará la clasificación más general entre los diferentes criterios, según su tipología.

2.4.1.1 *Puentes tipo viga.*

Es el tipo de puente más elemental de todos y los más utilizados, pues están constituidos por una estructura portante de una serie de vigas rectas horizontales apoyadas en dos o más puntos, las cuales poseen capacidad de flexión que está en función del material, su altura, refuerzo y su momento de inercia. Pueden estar como vigas simplemente apoyadas, vigas continuas apoyadas en diversos puntos o vigas Gerber. Están en la capacidad de resistir luces de hasta 200 metros. Generalmente se construyen de madera, hormigón armado o pretensado, acero o mixtos entre los anteriores mencionados. Existen varios procesos constructivos desde la utilización de elementos prefabricados, vertido

en sitio, mediante obra autoportante, con voladizos sucesivos y puente empujado (Cabrera Martínez, 2005); requiriéndose cada uno de ellos en función de la luz libre de la obra y condiciones del sitio donde se va a implantar la estructura.



Figura 11. Ejemplo de puente tipo viga. Puente vehicular con estructura portante constituida por vigas de hormigón armado

2.4.1.2 *Puentes en arco.*

Es una estructura la cual obtiene resistencia y capacidad mediante la forma que tiene, ya que el arco produce compresiones en todas sus partes repartiendo las tensiones, es decir que este tipo de estructuras se diseña con el objetivo de resistir esfuerzos a compresión ya que las tracciones se reducen al mínimo posible, de esta manera es posible la utilización de materiales que no se resistan tracciones como la mampostería, la madera y el hormigón, aunque en la actualidad uno de los materiales más utilizados es el acero. Se pueden diferenciar tres maneras para la colocación del tablero; la primera en la que el tablero se encuentra en la parte superior del arco, la segunda en la que el tablero se encuentra en la parte intermedia del arco y la última en la que el tablero se encuentra en la parte inferior. Es una tipología con la cual se pueden salvar luces de hasta 500 metros por lo que es una solución aceptable para luces grandes. En lo que se refiere a los procesos constructivos se tienen varios y entre los más utilizados se tiene: la utilización de voladizos sucesivos, mediante obra falsa y con el abatimiento de los semiarcos (Cabrera Martínez, 2005).



Figura 12. Ejemplo de puente en arco. Puente vehicular con estructura portante en arco de acero, donde el tablero se encuentra en la parte intermedia del arco.

2.4.1.3 *Puentes colgantes.*

Los elementos principales de esta tipología de puentes son los cables. Poseen características especiales tales como que trabajan únicamente a tracción, la misma que es de alta resistencia debido a las tecnologías actuales existentes, gozan de una gran flexibilidad lo que favorece a que estén en la capacidad de deformarse transversalmente sin causar flexiones, lo que genera que se utilice toda la capacidad de la sección transversal y por último están conformados por varios hilos y cordones lo que permite tener a disposición cualquier diámetro de cable requerido según las condiciones de servicio del puente. Generalmente estos puentes están conformados de manera que los cables principales se fijan a los extremos del vano y poseen la flecha requerida para soportar las tracciones generadas por las cargas dinámicas del tablero. En la actualidad cuando se desea construir un puente de luz libre grande, las primeras opciones a considerar son las de puente colgante o atirantado que son de similares características, ya que estos están en la capacidad de salvar luces considerablemente grandes y su comportamiento ante las cargas de viento es estable. En lo que se refiere al proceso constructivo de estas estructuras normalmente en primer lugar se construyen las torres en los extremos del puente, después se realiza el montaje de los cables principales y por último el montaje del tablero (Cabrera Martínez, 2005).



Figura 13. Ejemplo de puente colgante. Puente vehicular con estructura portante colgante.

2.4.1.4 *Puentes atirantados.*

Fundamentalmente esta tipología está compuesta por tirantes, que son cables rectos que atirantan el tablero. Para poder colocar estos elementos se requieren las torres en donde se anclaran los tirantes y se dispondrán hacia el tablero tomando una forma inclinada. Debido a que los tirantes se encuentran inclinados, en el comportamiento del puente interviene también el tablero pues ya que estos introducen fuerzas verticales, las mismas que se deben equilibrar mediante el tablero. Los tirantes se pueden encontrar tan juntos o separados como se quiera, al igual que las torres pueden estar al inicio o medio del puente, dando una versatilidad arquitectónica para que el diseño de estas estructuras sea más apreciable y a la vez pueden alcanzar grandes luces siendo una tipología preferida para obras de gran magnitud. En lo referido al sistema de construcción se pueden denotar los más importantes como la construcción mediante voladizos sucesivos, construcción sobre apoyos provisionales y traslación del puente mediante movimientos horizontales (Cabrera Martínez, 2005).



Figura 14. Ejemplo de puente atirantado. Puente vehicular con estructura portante atirantada.

2.4.1.5 Puentes tipo pórtico.

Se puede describir este tipo de estructura como una intermedia entre la tipología de puente tipo viga y en arco, pues tiene características similares a las de estos anteriores mencionados. Tienen pilas y tablero igual que los puentes tipo viga pero estos son solidarios, lo que da lugar a un mecanismo resistente complejo porque en él interviene la resistencia a flexión de sus elementos; al mismo tiempo se produce un efecto pórtico debido a las reacciones horizontales que aparecen en sus apoyos (Cabrera Martínez, 2005). Estos pueden ser construidos tanto de madera, hormigón y metal. Para los procesos constructivos se realizan de manera similar a los nombrados en los apartados 2.4.1.1 y 2.4.1.2, debido a la similitud que presenta.



Figura 15. Ejemplo de puente tipo pórtico. Puente vehicular con estructura portante tipo pórtico.

2.5 Durabilidad

La durabilidad de una estructura se refiere a la conservación de los aspectos de seguridad, rigidez, estabilidad y resistencia dentro de la vida útil que fue considerada para el diseño de la misma, es decir que dentro de este tiempo esta no alcance ningún estado límite, no genere daños o patologías de manera prematura que afecten a las condiciones de servicio. Para conseguir dicho resultado cada uno de los elementos que componen la obra debe estar en la capacidad de resistir agresiones mecánicas, físicas, biológicas, químicas y atmosféricas. Se ve claramente que el concepto de durabilidad introduce el factor tiempo en las características mecánicas de resistencia, rigidez y estabilidad (Treviño Treviño, 1998). Cabe recalcar que dentro de los métodos de diseño por estados límite, no se considera de una manera práctica y eficaz la durabilidad de una estructura, por lo que esta dependerá en gran parte de los factores externos al diseño.

2.6 Patología estructural

La patología estructural es una ciencia que se encarga del estudio, diagnóstico de daños, evaluación de las causas y formulación de los procesos de reparación (Montejo Fonseca , Montejo Piratova , & Montejo Piratova, 2013). Por lo tanto, se requiere realizar un levantamiento de fallas evidentes para poder proceder a un estudio del comportamiento de la estructura y definir las causas de dichas patologías y en medida de lo posible generar soluciones o acciones de mantenimiento o correctivas según sea el caso.

2.7 Patologías estructurales en un puente

Dentro de la estructura de un puente existen varias patologías estructurales que se pueden generar en cualquiera de sus elementos, lo que produce su deterioro e interviene en la disminución de la durabilidad. Estas varían dependiendo del material de construcción del puente. En este trabajo se considerarán las relacionadas a puentes de hormigón; a continuación se describen las más comunes.

2.7.1 Patologías por diseño estructural.

Estos daños son ocasionados por las consideraciones tomadas al momento de realizar el diseño del puente. Estos son los daños que generalmente se producen:

- Falta de cálculos para el diseño.
- Errónea concepción de condiciones de servicio y cargas sobre el puente.
- Falta de comprobación de resultados obtenidos mediante software estructural.
- Uso de normativa antigua.
- Detalles constructivos no descritos.
- Ausencia de especificaciones en los planos.
- Planos mal elaborados o ilegibles.

2.7.2 Fisuras.

Dentro de los elementos de concreto armado, la aparición de fisuras puede asumirse como un comportamiento normal del mismo, ya que puede ser evidencia de que estos elementos están trabajando correctamente, debido a la baja resistencia a tensión del hormigón por lo que se generan fisuras con bajos esfuerzos de tensión. Basado en ello se puede decir que los límites son barreras subjetivas y pueden cambiar de acuerdo con el tipo de construcción, la región, el uso de la edificación, entre otros (AIS, 2011). Generalmente cuando una fisura se puede observar más prominente y de considerable espesor, se considera como una grieta y es recomendable realizar una evaluación para determinar si requiere un análisis con mayor detalle y valorar si los elementos estructurales involucrados ya no trabajan con las condiciones de servicio contempladas para su diseño. Normalmente una fisura o una grieta son caracterizadas por su longitud, dirección, espesor y distancia entre ellas.

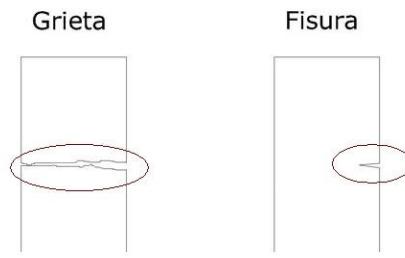


Figura 16. Comparación entre grieta y fisura.

Entre las causas más comunes que generan fisuramiento, son aquellas producidas por esfuerzos de tracción por las cargas aplicadas cuando los elementos ya se encuentran en estado endurecidos:

2.7.2.1 *Fisuras por tracción simple.*

Este tipo de fisuras se presentan en elementos de hormigón armado, las cuales son perpendiculares a la dirección de la tensión (Corral, 2004). Este tipo de patología no es común en los elementos, pero cuando se genera se encuentra normalmente en la zona de los estribos. El hormigón como material de construcción es muy favorable en lo que se refiere a la resistencia a compresión, pero por otro lado en la resistencia a tracción esta alrededor del 10% de la compresión, por lo que basado en lo dicho, normalmente esta pequeña resistencia a tracción no es considerada en los diseños con el objetivo de obtener elementos sin fisuras de este tipo.



Figura 17. Fisuras por tracción simple en un elemento, aplicando fuerza axial.

2.7.2.2 *Fisuras por flexión y cortante.*

Las fisuras generadas por flexión o cortante son unas de las frecuentes en elementos de hormigón armado, tales como columnas, vigas, losas, etc. La flexión puede ser pura o combinada, por ejemplo con el esfuerzo cortante generalmente en vigas. Suponiendo una viga de hormigón armado, las fisuras

por flexión pura se generan en la zona central del elemento, inician en la cara contraria a la que es aplicada la carga, por ejemplo en una viga con carga aplicada en la cara superior las fisuras por flexión aparecerán desde la cara inferior, mientras que las fisuras por cortante se generan en los extremos, en las zonas de los apoyos, estas empiezan en el acero de refuerzo longitudinal contrario a la carga aplicada y se extienden con una inclinación de aproximadamente 45 grados hasta llegar a la cara superior del elemento. En la zona transitoria entre las fisuras por flexión pura y las fisuras por cortante se pueden distinguir las fisuras por esfuerzos combinados, en este caso la flexión y el cortante, las cuales que en medida que se van alejando de la zona central adoptan una inclinación hacia el centro del elemento hasta llegar a los extremos donde se constituirán como fisuras por cortante a 45 grados.

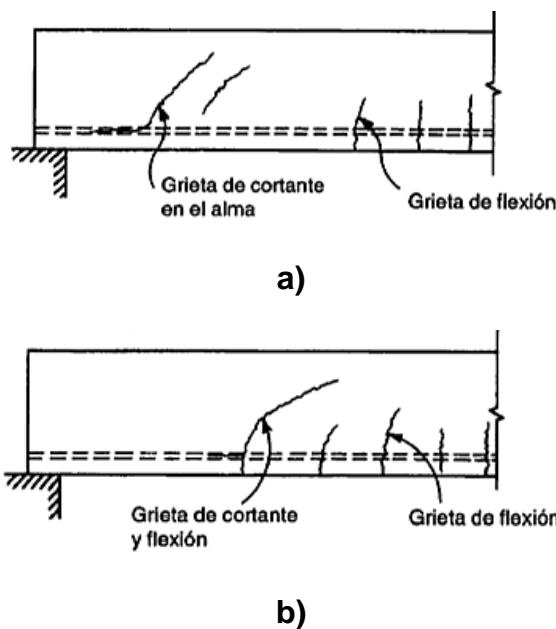


Figura 18. Diferencia entre fisuras por flexión, cortante y flexión-cortante.

a) Fisuras generadas por flexión y cortante respectivamente.

b) Fisuras generadas por esfuerzos combinados, flexión y cortante.

2.7.2.3 *Fisuras por torsión.*

La torsión es un esfuerzo que generalmente se contempla como secundario a menos que la estructura no tenga la suficiente resistencia torsionante (Corral, 2004). Al suponer que la rigidez a la torsión sea nula de uno o varios elementos,

siendo así se tomaría como un requisito principal para el diseño. El fisuramiento por este esfuerzo de los elementos es semejante al cortante pues se trata de fisuras que aproximadamente se encuentran a 45 grados pero con la diferencia de que estas son continuas y rodean al elemento.

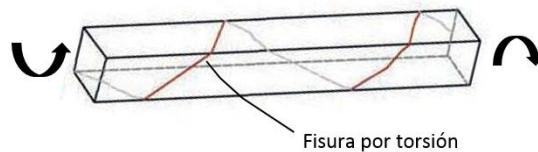


Figura 19. Esquema de fisuras por torsión.

2.7.2.4 *Fisuras por asentamiento.*

Los elementos pueden sufrir asentamientos en sus cimentaciones, los cuales pueden ser diferenciales, generalmente debido a la mala concepción de las características del suelo de cimentación y por lo tanto un mal diseño de ella. Este fenómeno genera grietas en los elementos que normalmente presentan una dirección vertical con ligeras inclinaciones (INVIAS, 2006). Por ejemplo en las pilas se pueden observar fisuras en la parte inferior o superior de las vigas adyacentes a estas acompañadas de fracturas en los apoyos. La gravedad del asentamiento se puede cuantificar en función del espesor de las grietas que se presenten.

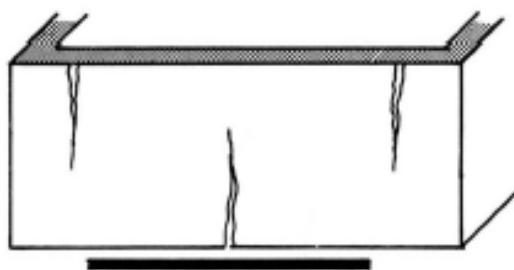


Figura 20. Fisuras por asentamiento grave de un estribo.

2.7.2.5 *Fisuras por aplastamiento.*

Esta patología se puede distinguir en las partes de las estructura destinadas para el anclaje de cables presforzados o en los elementos de apoyo (INVIAS, 2006). Estas fisuras son originadas cuando estos elementos no poseen la capacidad de

transmitir adecuadamente la carga, por lo que se generan fisuras justamente en la zona donde esta es aplicada. Mientras más elementos se vean afectados por esta patología la gravedad de la patología aumenta considerablemente.

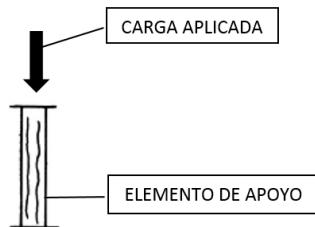


Figura 21. Fisuras por aplastamiento en un elemento de apoyo debido a la aplicación de una carga concentrada.

2.7.2.6 *Fisuras por volcamiento.*

Generalmente son fisuras verticales que diferencian el elemento o la parte del elemento en donde se está generando el volcamiento, esta patología es producto del mal dimensionamiento o diseño de los elementos estructurales. Fenómenos como la socavación, erosión o asentamientos pueden aportar en la estructura para que se produzca esta patología (Díaz, 2012). Se puede apreciar normalmente en los estribos y las alas de los puentes.

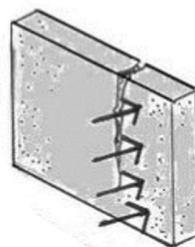


Figura 22. Fisura por volcamiento.

Por otro lado también se pueden considerar las fisuras que se generan en los elementos de hormigón cuando aún se encuentra en estado plástico, es decir se encuentra en el proceso de fraguado y endurecimiento. Entre las más comunes se tiene:

2.7.2.7 Fisuras por retracción hidráulica.

Este tipo de fisuras normalmente no presentan un peligro a la estructura, ya que no afectan la capacidad resistente de los elementos (Corral, 2004). Esta patología es común en elementos planos como losas o pisos. Un factor determinante es el clima, debido a que este fisuramiento se genera a raíz de la rápida evaporación del agua en el hormigón, por lo que en zonas cálidas esta patología se encontrará con mayor frecuencia. Se puede distinguir por fisuras que se encuentran en la superficie del elemento o en su defecto en su cara inferior, dependiendo la ubicación del elemento, son rectas pero no poseen una dirección uniforme y son de profundidad considerable.

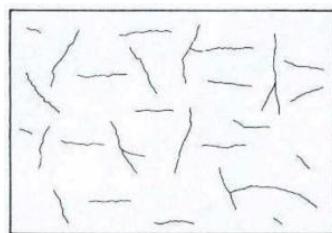


Figura 23. Fisuramiento en la cara superior de una losa por retracción hidráulica.

2.7.2.8 Fisuras por asentamiento plástico.

Estas fisuras se presentan debido a que el hormigón después de ser vertido en el encofrado y vibrado comienza su proceso de fraguado pero en el transcurso de este, mientras el material aún se encuentra en estado plástico, este tiende a asentarse y se puede notar una disminución en su volumen y por lo tanto un pequeño descenso en el nivel del hormigón, esto debido a que se produce un reacomodo de los componentes del material. En lo que se realiza esta recolocación el hormigón puede verse restringido por las armaduras de refuerzo por lo que en el material que se encuentra por encima no se genera el asentamiento (Catalá, 2012). Por la tanto considerando aquello descrito, en estas zonas se produce tensiones de tracción lo que dan origen a las fisuras.

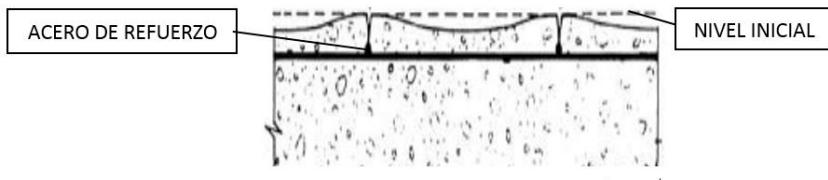


Figura 24. Fisura por asentamiento plástico.

2.7.3 Segregación del hormigón.

Esta patología se refiere a la distribución no uniforme de las partículas que comprenden la mezcla de hormigón, lo que genera que el agregado se asiente en la parte inferior del elemento separándose relativamente de la pasta de cemento, con lo que se puede observar zonas porosas de pasta y otras de agregado. Este fenómeno es causado por varios factores como la mala dosificación, el tipo de árido y su granulometría, el vertido del hormigón y la falta o exceso de vibración (INVIAS, 2006).



Figura 25. Segregación del hormigón en la cara inferior de una losa.

2.7.4 Recubrimiento inadecuado.

Determinar el recubrimiento óptimo para cada elemento depende estrictamente de la norma estructural que se esté utilizando para el diseño ya que en este se encuentra especificado los valores correctos que se deben utilizar. Además de que en el código se consideran factores como el ambiente al que estará sometido el elemento y el tipo de elemento estructural que se está diseñando (INVIAS, 2006). Si el recubrimiento refuerzo no es el correcto puede causar disminución en la vida útil del elemento, la capacidad de este se puede ver disminuida o las barras de acero pueden quedar expuestas lo que produce problemas de

corrosión en las mismas. En general se produce esta patología cuando al momento de construir el elemento se usan deficientes técnicas, no se toman las suficientes precauciones para asegurar un recubrimiento uniforme o al momento de diseñar no se toman en cuenta factores del medio externo por los cuales el elemento se puede ver afectado sin un recubrimiento adecuado.



Figura 26. Barras de acero de refuerzo de una viga expuestas por falta de recubrimiento.

2.7.5 Corrosión del acero de refuerzo.

En términos generales se puede decir que la corrosión del acero de refuerzo es un proceso electroquímico, el cual causa la oxidación de las armaduras presentes en los elementos de hormigón armado (INVIAS, 2006). Esta patología se puede considerar como consecuencia de la falta de recubrimiento de hormigón, el mismo que tiene el objetivo de proteger el acero de refuerzo de agentes dañinos externos, aunque también puede ser causado por la composición del hormigón. Este proceso hace que las barras de acero de refuerzo incrementen su volumen lo que causa fisuramientos en el concreto hasta llegar al desprendimiento del recubrimiento de hormigón.



Figura 27. Oxidación de la armadura de acero de refuerzo en una viga.

2.7.6 Eflorescencia en el hormigón.

Las eflorescencias consisten en el depósito de sales que son lixiviadas fuera del concreto, las cuales se cristalizan luego de la evaporación del agua que las transportó (Sanchez de Guzman, 2002). Normalmente se presentan como una especie de mancha de color blanquecino. La afección de esta patología hacia la estructura no es directa, debido a que, además de generar un desagradable aspecto estético y alta humedad, aumenta la permeabilidad y la porosidad del hormigón, por lo que los elementos afectados se ven vulnerables a otras patologías que podrían dañar la estructura. Normalmente son visibles en la superficie de la estructura en las zonas donde el agua puede transitar libremente ya sea de manera permanente o intermitente.



Figura 28. Eflorescencia visible en la cara inferior de la losa de un puente.

2.7.7 Contaminación del hormigón por microorganismos.

Cuando una estructura de hormigón presenta microorganismos, además de degenerar su aspecto estético, puede generar fallas físicas o químicas dentro de sus elementos o agravar el daño de patologías existentes (INVIAS, 2006). Entre los microorganismos que comúnmente afectan a las estructuras de concreto se pueden diferenciar los de origen vegetal y los biológicos, los mismo que normalmente se presentan agrupados en colonias. Los microorganismos de origen vegetal se caracterizan por generar afecciones químicas dentro de los compuestos del hormigón armado causando daños como desintegración del concreto. Por otro lado los biológicos afectan a la impermeabilidad de la estructura por lo que se vuelve vulnerable al ataque químico de fluidos, ya sea en la superficie o en el interior, provocando transformaciones en la composición del hormigón y olores desagradables.

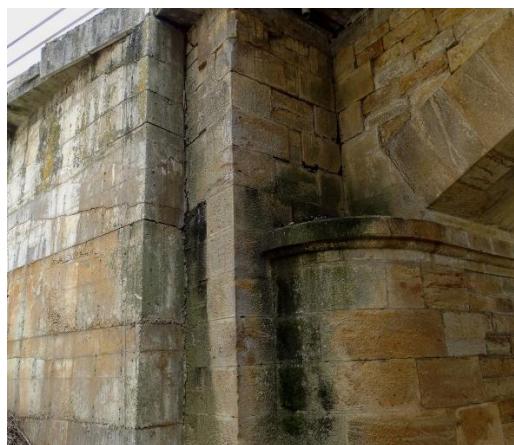


Figura 29. Ataque de microorganismos en el estribo de un puente.

2.7.8 Socavación.

La socavación está relacionada al tránsito de sedimentos, debido a que resulta de la erosión causada por el agua y los materiales que en ella transporta (Arancibia, 2009). La principal falla sobre las estructuras es la inestabilidad que puede generar, debido al desgaste al que están expuestos. Los elementos que ataca directamente esta patología son los cimientos, las pilas, los estribos y las alas. Dentro de este fenómeno se pueden diferenciar 2 tipos, la socavación general y la local (INVIAS, 2006). En lo que se refiere a la general es la erosión que se genera a lo largo y ancho de todo el lecho del río, mientras que la local

es la que afecta a elementos de una estructura específica, esto ocasionado por la corriente que circula.



Figura 30. Estribo afectado por una socavación grave.

CAPÍTULO III

3. Metodología

3.1 Información secundaria

Además de la información recolectada y expuesta en el capítulo 2, el Gobierno Provincial del Azuay ha proporcionado información importante que ha permitido caracterizar y describir al Puente Ochoa León. Entre los documentos entregados se tiene el archivo de “CARPETA # 111-02 – CONTRATO # 152-02” perteneciente a la obra: “CONSTRUCCION DEL PUENTE OCHOA LEON DE 25.00 m. DE LUZ Y 7.20 m. DE ANCHO, SOBRE EL RIO MACHANGARA”, en donde se encuentra el planillaje, dimensión de elementos y cantidades de obra utilizadas en la estructura, y “ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS” perteneciente a la zona sobre la que está construido el puente.

3.2 Descripción del puente Ochoa León

La descripción y dimensiones de los elementos del puente Ochoa León se basó en las encontradas en el archivo “CARPETA # 111-02 – CONTRATO # 152-02” perteneciente a la obra: “CONSTRUCCION DEL PUENTE OCHOA LEON DE 25.00 m. DE LUZ Y 7.20 m. DE ANCHO, SOBRE EL RIO MACHANGARA”, las mismas que fueron verificadas en función de la accesibilidad posible. Se debe tener en cuenta que no existen los planos estructurales pertenecientes a este puente.

3.2.1 Datos generales.

El puente Ochoa León pertenece a la jurisdicción del Gobierno Provincial del Azuay, su construcción dio inicio en el año 2002 y entró en operación en el año 2003. Su uso es tanto vehicular como peatonal.

3.2.2 Ubicación.

Se encuentra ubicado en la provincia del Azuay, en el cantón Cuenca, en la parroquia Sidcay. Dentro del cantón el puente se encuentra ubicado en la Avenida Paseo Río Machangara. Este puente atraviesa el Río Machangara.

3.2.2.1 Coordenadas geográficas.

Las coordenadas geográficas son: $2^{\circ} 50' 01''$ SUR – $78^{\circ} 59' 08''$ ESTE.

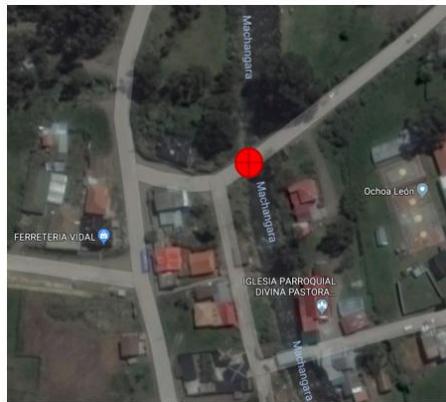


Figura 31. Ubicación satelital del puente Ochoa León.

3.2.3 Geometría.

El puente cuenta con un solo claro que posee una luz de 25.00 metros. El ancho de la calzada es de 7.20 metros, posee vereda en ambos extremos con un ancho de 0.60 metros cada una. Consta con un esviajamiento de 72 grados.

3.2.4 Superestructura

Es un puente tipo viga conformado por una superestructura de hormigón armado con un $f'c$ de 210 kg/cm^2 y para las barras de acero un fy de 4200 kg/cm . Está suspendido por 4 vigas de 0.30×1.60 metros, las mismas que están entrelazadas por tres diafragmas de $1.80 \times 1.35 \times 0.25$ metros. Cuenta con una losa de hormigón armado de $7.70 \times 25 \times 0.20$ metros, la cual sostiene la capa asfáltica de rodadura y las veredas. Se puede distinguir que posee dos juntas de dilatación térmica, las cuales están ubicadas en el inicio y fin de la calzada. Consta de barandales en ambos extremos de la calzada sobre las veredas, están compuestas por pilas de hormigón y barandas de tubos de acero.



Figura 32. Parte superior de la superestructura del puente Ochoa León.



Figura 33. Parte inferior de la superestructura del puente Ochoa León.

3.2.5 Subestructura.

La subestructura está construida de hormigón ciclópeo con una composición de 60% de hormigón con un $f'c$ de 180 kg/cm^2 y 40% de piedra. Está compuesta por dos estribos de 9.28×5.20 metros con una sección transversal variable entre 3.30 metros en su parte inferior hasta 0.93 metros en su parte superior, cada uno cuenta con alas inclinadas hacia la parte externa del río con una dimensión de 5.00×6.10 metros con una sección variable entre 2.80 metros en su parte inferior hasta 0.40 metros en su parte superior. En la parte superior de los estribos cuenta con 4 placas de neopreno donde se asientan las vigas pertenecientes a

la superestructura, también en la cara interior cuenta con 5 drenes de PVC de un diámetro de 100 milímetros.

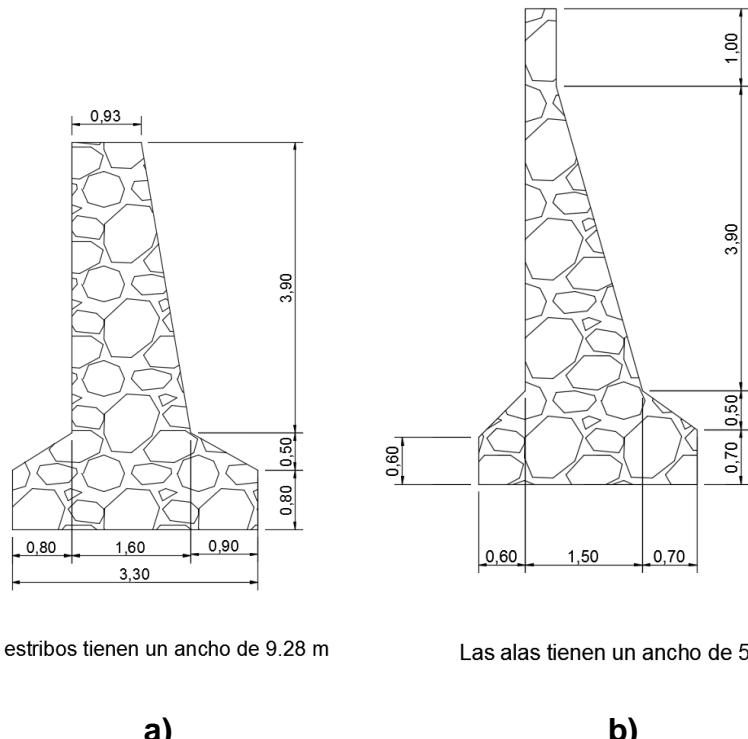


Figura 34. a) Esquema de la sección transversal de los estribos del puente Ochoa León.

b) Esquema de la sección transversal de las alas del puente Ochoa León.

3.2.6 Equipamiento.

El puente cuenta con alumbrado para facilitar el tránsito nocturno. Además se puede distinguir un letrero informativo acerca del mismo. Posee barandales constituidos de concreto y tubos de acero en las dos veredas existentes. Cabe indicar que no tiene señalización de tránsito.

3.2.7 Descripción del estudio de suelo.

Basado en el “ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS” entregado por el Gobierno Provincial del Azuay, se puede mencionar la siguiente información de interés.

La correspondiente zona en estudio está constituido por suelos gravo arenosos de baja compresibilidad. Su capacidad portante depende de la profundidad y

ancho de cimentación. Por tratarse de suelos permeables la excavación realizada para la cimentación fue con presencia de agua, por lo que se requirió el uso de bombas de succión.

También se puede distinguir que el ángulo de fricción de este suelo es $\phi = 32$ y el peso específico unitario saturado es $\gamma_{sat} = 1.7 \text{ ton/m}^3$.

Basado en la descripción anterior y en la zona de la ciudad en la que se encuentra el puente, se podría considerar un coeficiente de balasto para el sentido vertical de **2 Kg/cm³** y para el sentido horizontal de **0.4 Kg/cm³** (Labad, 2002).

3.3 Inspección del puente Ochoa León.

3.3.1 Propuesta ficha de inspección visual para puentes.

Debido a que en la normativa local no existe una ficha para inspección visual de puentes aprobada, certificada y legalizada; en este trabajo de titulación además de realizar el diagnóstico del puente, se propondrá un modelo para dicha ficha, con el afán de emprender el proceso para generar un documento con criterios estandarizados para la cuantificación de daños patológicos presentes sobre los puentes de la urbe. Es indispensable contar con una ficha como esta ya que no se requiere que quien la aplique sea un especialista en este tipo de estructuras para conseguir un buen resultado. Además que la información que este documento puede brindar será de gran ayuda para tener una idealización clara del estado actual de un puente.

3.3.1.1 Descripción de la ficha de inspección propuesta.

En función de lo descrito se ha planteado una ficha de inspección visual para puentes mediante la herramienta de software Microsoft Excel la cual consta de seis numerales y se puede observar en el ANEXO 1. Esta cuenta de tres hojas en donde se requiere información pertinente para llegar a tener una primera aproximación del estado estructural del puente y de sus partes en específico. A pesar de no contar con la precisión de un análisis o un cálculo previo para determinar la gravedad de patologías presentes en un puente, esta ficha será de gran utilidad para concebir en primera instancia si una estructura requiere un

mantenimiento, reparación o sustitución de una de sus partes o del puente en su totalidad; lo cual después de obtener los resultados de dicha ficha se realizará un análisis más profundo en base a un modelo idealizado de la estructura del puente.

Para iniciar con la ficha se encuentra toda la información general acerca del puente en discusión. En el numeral 1 se tiene información que permitirá conocer la ubicación, en que parte del país se encuentra, a que institución pública o privada pertenece, entre otros como se puede apreciar en la figura 35.

1. DATOS GENERALES					
PUENTE				CODIGO DEL PUENTE	
Provincia		Cantón		Parroquia	
Via principal		Km de via		Cruza sobre	
Coordenadas			Altitud (m.s.n.m.)		
Año de construccion		Pertenece a			
Existen planos estructurales		Número de intervenciones anteriores			

Figura 35. Numeral 1 - Información inicial de la ficha de inspección visual.

A manera de información secundaria, en el numeral 2 se describe brevemente la tipología y dimensiones del puente, como se puede observar en la figura 36, además de incluir una foto del estado actual del puente en el numeral 3.

2. DESCRIPCION GENERAL						
Tipología estructural						
Longitud del puente		m	Número de vanos		Número de carriles	
Ancho del puente		m	Gálibo del puente		m	Esvajamiento

Figura 36. Numeral 2 - Información secundaria de la ficha de inspección visual.

En el numeral 4 se implementa la evaluación de las partes del puente en función de su tipología, está dividido en cuatro secciones, la primera es la infraestructura después la superestructura, equipamiento y para finalizar una evaluación general de las partes anteriormente mencionadas. En cada una de estas secciones se puede evaluar las partes que se crean convenientes, como se puede observar en la figura 37, asignándoles el porcentaje de importancia que se crea pertinente, para así obtener un índice de daño automáticamente de cada parte del puente, esto servirá para obtener un índice de daño general en el numeral 5 como se presenta en la figura 38.

4. EVALUACION DEL ESTADO ACTUAL DEL PUENTE

INFRAESTRUCTURA				
<u>ELEMENTO</u>	<u>% Importancia(I)</u>	<u>Gravedad (G)</u>	<u>Observaciones</u>	
-	0%	0		Índice de daño
-	0%	0		0,00
-	0%	0		Mantenimiento
-	0%	0		

Figura 37. Numeral 4 – Evaluación visual de las partes del puente.

5. EVALUACION GENERAL				
<u>ELEMENTO</u>	<u>% Importancia(I)</u>	<u>Gravedad (G)</u>	<u>Observaciones</u>	
INFRAESTRUCTURA	60%	0,00		Índice de daño
SUPERESTRUCTURA	30%	0,00		0,00
EQUIPAMIENTO	10%	0,00		Mantenimiento

Figura 38. Numeral 5 – Evaluación general del puente en función del índice de daño de sus partes.

En el numeral 4 en el apartado de gravedad se debe ingresar una valoración del 0 al 5 en función de la apreciación de quien esté realizando de manera que represente el estado de cada una de las partes en función de la tabla 2. Consecuentemente en este mismo apartado en el numeral 5 se encontraran los índices de daños determinados en el numeral 4.

Tabla 2. Índice de valorización para la gravedad del daño.

<i>Indicador</i>	<i>Gravedad de daño</i>
0	Ninguno
1	Leve
2	Moderado
3	Fuerte
4	Severo
5	Colapso total

Con la utilización de estos valores se genera un índice de daño como ya se ha mencionado, este índice representa las posibles acciones que se deberían tomar para cada una de sus partes y para el puente en general en función de un rango de resultados como se puede visualizar en la tabla 3.

Tabla 3. Índice de valorización de daño y posibles acciones a tomar en cuenta.

<i>Indicador</i>	<i>Índice de daño</i>
0 – 2	Mantenimiento
2 – 4	Reparación
4 – 5	Sustitución

Para finalizar la ficha de inspección visual se adjunta un anexo fotográfico para respaldar los criterios tomados al momento de describir la gravedad de cada una de las partes del puente en el numeral 4. Así mismo este numeral se encuentra dividido en 3 secciones para insertar las fotografías correspondientes a los elementos de la infraestructura, superestructura y equipamiento respectivamente.

3.3.2 Visita técnica y aplicación de la ficha de inspección visual para puentes.

La ficha de inspección visual propuesta fue aplicada mediante una visita técnica. En el ANEXO 2 se puede observar los resultados obtenidos de la visita y aplicación de la ficha. Los mismos que en resumen se pueden observar en la tabla 4.

Tabla 4. Resumen de resultados de la aplicación de la ficha de inspección visual.

<i>Elemento</i>	<i>Índice de daño</i>	<i>Descripción</i>
<i>Infraestructura</i>	<u>3.00</u>	Reparación
<i>Superestructura</i>	2.80	Reparación
<i>Equipamiento</i>	1.90	Mantenimiento
<u>Puente en general</u>	<u>2.79</u>	Reparación

Se puede percibir que la ficha arroja un resultado de manera que nos anticipa que el puente requiere una reparación la cual es a nivel de infraestructura, pues de las tres partes esta es la que tiene un índice de daño que representa una reparación.

En la figura 39 se puede observar cual fue la valoración que se optó en el apartado de gravedad del numeral 4 para la infraestructura que resulta ser la

parte del puente de interés. Se puede observar que se inspeccionaron las alas, estribos y apoyos pertenecientes al puente en estudio. El elemento de mayor importancia en este caso son los estribos con un **60%** del total y casualmente es el que cuenta con una gravedad valorizada en **4**, la misma que representa un daño severo según la tabla 2. Por lo tanto es este elemento el que será sujeto de análisis para la determinación de sus patologías, posibles causas y finalmente una propuesta de intervención.

INFRAESTRUCTURA				
<u>ELEMENTO</u>	<u>% Importancia(I)</u>	<u>Gravedad (G)</u>	<u>Observaciones</u>	
Alas	20%	2,00	Pocas fisuras menor profundas / Hormigon desgastado	Índice de daño
Estribos	60%	4,00	Grietas profundas / Hormigon desprendido	3,00
Apoyos	20%	1,00	Pocas fisuras leves / Hormigon poco desgastado	Reparación
-	0%	0,00		

Figura 39. Valorización de la infraestructura en la ficha de inspección visual.

Un índice de daño que llama la atención es el de la superestructura pues este representa una posible reparación. En la figura 40 se puede observar que las vigas del tablero se han cuantificado con una gravedad de **4**, lo que representa una afección grave a estos elementos. Por lo antes mencionado estos elementos también serán sujetos de un análisis similar al descrito anteriormente para los estribos.

SUPERESTRUCTURA				
<u>ELEMENTO</u>	<u>% Importancia(I)</u>	<u>Gravedad (G)</u>	<u>Observaciones</u>	
Losa del tablero	30%	1	Hormigón desgastado	Índice de daño
Vigas del tablero	55%	4	Acero de refuerzo visible y con corrosión	2,80
Diáfragmas	15%	2	Pocas fisuras / Hormigón desgastado	Reparación
-	0%			
-	0%			

Figura 40. Valorización de la superestructura en la ficha de inspección visual.

3.4 Determinación del estado actual del puente

3.4.1 Identificación de patologías.

En este apartado se procede a determinar las posibles patologías que cada uno de los elementos inspeccionados pudiera presentar basado en la ficha de inspección visual, para después realizar su respectivo análisis teniendo en cuenta aquellos que sean de interés. Cabe recalcar que no se dispone de planos estructurales.

3.4.1.1 *Infraestructura.*

3.4.1.1.1 *Alas.*

Este elemento presenta un desgaste considerable del hormigón, deformando los cantos de sus aristas. Este fenómeno pudo generarse por fallas en los métodos constructivos. En la figura 41 se puede observar el ala derecha del extremo derecho del puente, donde se muestran los daños mencionados.



Figura 41. Ala derecha del puente Ochoa León, presencia de desgaste de hormigón.

En su cara interior, se puede notar que el elemento se encuentra en buen estado, con pequeñas fisuras debido a su utilidad. Por falta de acceso al lugar no se pudo generar contenido fotográfico de las otras tres alas del puente, pero es necesario señalar que dichos elementos se encontraban en igual estado al presentado en la figura 42.



Figura 42. Cara interior del ala derecha del puente Ochoa León.

3.4.1.1.2 *Estríbos.*

Este es uno de los elementos que más ha llamado la atención, debido a sus visibles y preocupantes daños. El estríbo derecho del puente se encuentra fracturado debido a que presenta una grieta horizontal de gran profundidad visible que aparentemente atraviesa todo el elemento estructural, con espesor variable entre 7 cm a 12 cm y se encuentra a 1.60 m desde la parte superior del elemento. También se puede observar 2 grietas pronunciadas inclinadas en el extremo derecho del estríbo las cuales se unen a la anterior mencionada. La grieta inclinada superior tiene un espesor promedio de 10 cm y es de profundidad considerable, mientras que la inferior es superficial y tiene un espesor promedio de 4 cm. En la parte superior de la primera grieta se puede notar que existe un desprendimiento grande del hormigón ciclópeo, además de una falla en la conexión de este elemento con el ala, pues debería existir una junta para ello. A continuación en las figuras 43, 44, 45 y 46 se puede apreciar lo antes descrito.



Figura 43. Estribo derecho del puente Ochoa León.



Figura 44. Grieta horizontal en el estribo derecho del puente Ochoa León.



Figura 45. Grietas inclinadas en el estribo derecho del puente Ochoa León.



Figura 46. Desprendimiento de hormigón ciclópeo en el estribo derecho del puente Ochoa León.

En lo que se refiere al estribo izquierdo, las patologías encontradas son concordantes con las del estribo derecho, es decir cuenta con una grieta prominente en dirección horizontal y en su extremo derecho en la parte superior se puede visualizar el desprendimiento de una porción de hormigón ciclópeo. Por motivos de accesibilidad y piedras de gran tamaño que dificulta su visibilidad, no se pudo caracterizar correctamente las grietas y de la misma manera no se pudo distinguir otras patologías que pudiera presentar este elemento. A pesar de ello en la figura 47 se puede apreciar lo antes mencionado.

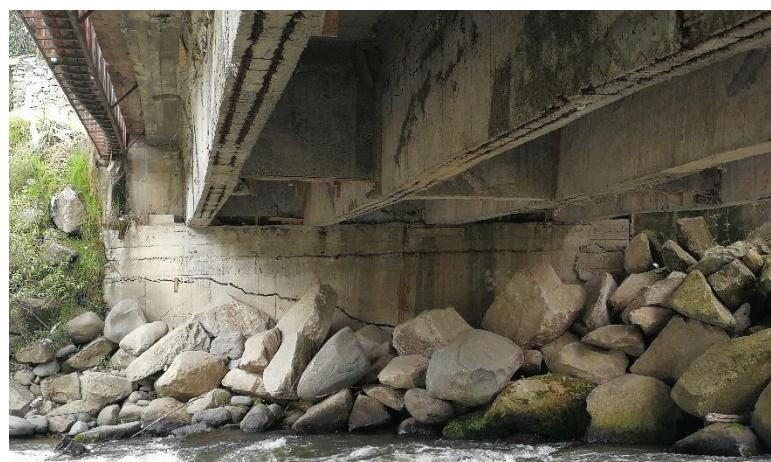


Figura 47. Estribo izquierdo del puente Ochoa León.

Otra patología existente en el estribo derecho del puente es la contaminación considerable de microorganismos sobre su superficie como se puede observar en la figura 48.



Figura 48. Contaminación de microorganismos en el estribo derecho del puente Ochoa León.

Basado en las patologías determinadas a partir de la visita técnica y la aplicación de la ficha de inspección, se requiere un análisis estructural a profundidad de estos elementos para determinar las posibles causas.

3.4.1.1.3 Apoyos.

Estos elementos no se pudieron visualizar correctamente, por lo tanto no se pudo comprobar el estado actual de los apoyos de neopreno o si se encuentran presentes en el estribo pero se presume que no presentan mayores patologías que puedan requerir un análisis o estudio adicional. En la figura 49 se puede notar que a más de un desgaste del hormigón ciclópeo, el apoyo de la viga en el estribo no presenta anomalías que puedan generar preocupación.

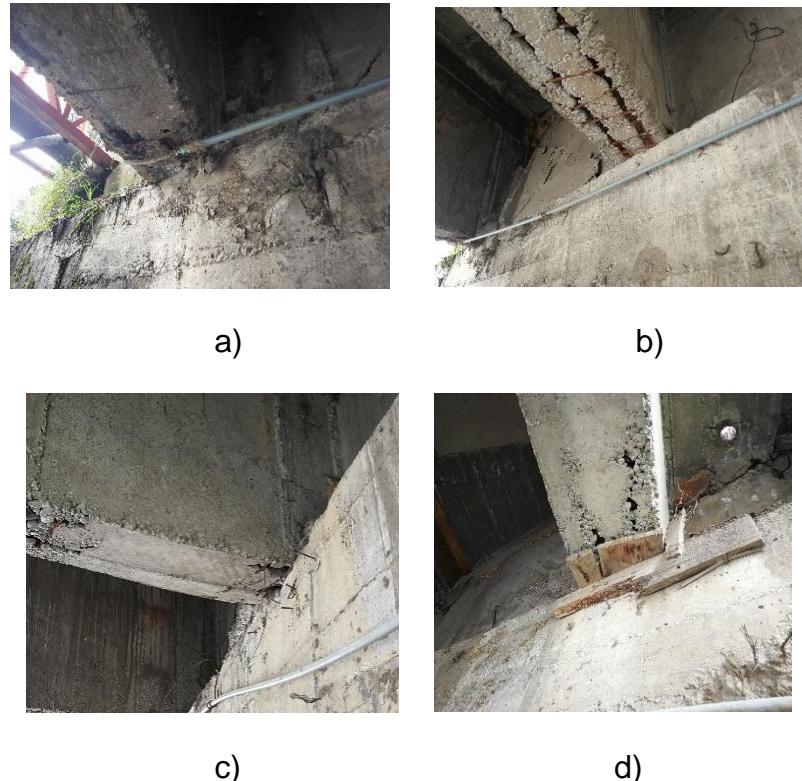


Figura 49. a) Apoyo entre viga y estribo de la viga del extremo izquierdo.

- b) Apoyo entre viga y estribo de la viga intermedia izquierda.
- c) Apoyo entre viga y estribo de la viga intermedia derecha.
- d) Apoyo entre viga y estribo de la viga del extremo derecho.

3.4.1.2 Superestructura.

3.4.1.2.1 Losa del tablero.

Este elemento no presenta síntomas de patologías emergentes. Por otro lado es visible fallas en procesos constructivos como se puede apreciar en la figura 50, lo que posiblemente ha generado grietas y desgaste del concreto. También son evidentes estas malas prácticas debido a que se encuentran pequeños fragmentos de madera que posiblemente fueron parte del encofrado.



a)



b)

Figura 50. a) Cara inferior de la zona central de la losa del puente Ochoa León.

b) Cara inferior del extremo de la losa del puente Ochoa León.

Otra patología que se puede observar es la presencia de eflorescencias en algunas zonas de la losa. En general no se aprecia un área considerable de esta presencia patológica, como se puede observar en la figura 51.



Figura 51. Presencia de eflorescencias en la cara inferior de la losa del puente Ochoa León.

Cabe recalcar que este elemento no presenta deformaciones o fisuras que puedan poner en evidencia un exceso de carga o en su defecto baja capacidad portante.

3.4.1.2.2 *Vigas del tablero.*

En lo que se refiere a las vigas se puede notar claramente que existieron falencias en su diseño o en su proceso constructivo, debido a que los aceros de estos elementos se encuentran expuestos básicamente en su totalidad, como se puede observar en la figura 52. Esto puede deberse a la mala consideración del recubrimiento en el diseño o al manejo erróneo del encofrado al momento de construir las vigas.



a)



b)



c)



d)

Figura 52. a) Cara inferior de la viga del extremo izquierdo del puente Ochoa León.

- b) Cara inferior de la viga central izquierda del puente Ochoa León.
- c) Cara inferior de la viga central derecha del puente Ochoa León.
- d) Cara inferior de la viga del extremo derecho del puente Ochoa León.

Esta exposición de los aceros de refuerzo hacia el medio ambiente ha llevado a que estos sufran una oxidación grave, como se puede apreciar en la figura 53, a lo largo de todas las zonas expuestas. Además se puede observar que la armadura no se encuentra centrada, es decir en ciertas zonas esta hacia un lado y en otras zonas esta hacia el otro, esto consecuencia de una deficiente construcción.



Figura 53. Oxidación de los aceros de refuerzo de las vigas del puente Ochoa León.

Es necesario detallar que las vigas no presentan deformaciones ni fisuras que puedan evidenciar de falencia en su capacidad portante, pero cabe recalcar que como se muestra en la figura 54, el contorno de los elementos no es uniforme lo que vendría a ser otro indicativo de la mala práctica en los procesos de construcción.



Figura 54. Cara lateral de la viga izquierda del puente Ochoa León.

3.4.1.2.3 *Diafragmas.*

En estos elementos se pueden distinguir pocas patologías, como se puede apreciar en la figura 55, por lo que en general se encuentran en buen estado. Se presenta una excepción ya que uno de los diafragmas centrales presenta una grieta horizontal de una dimensión aproximada de la mitad del diafragma, en donde se expone ligeramente el acero de refuerzo tal y como se muestra en la figura 55 b).



a)

b)

c)

Figura 55. a) Diafragmas del extremo izquierdo del puente Ochoa León.

b) Diafragmas centrales del puente Ochoa León.

c) Diafragmas del extremo derecho del puente Ochoa León.

Otro detalle que se puede apreciar en la figura 55 c) y figura 56, es que parte del encofrado aún se encuentra presente en el elemento, lo que pone en evidencia la posible mala práctica de procesos constructivos. Por otro lado también es posible visualizar pequeñas áreas de concreto segregado en las cara interiores de estos elementos como se observa en la figura 56, esto debido posiblemente a la falta o exceso de vibrado al momento de verter el hormigón.



Figura 56. Cara interior del diafragma derecho del puente Ochoa León.

3.4.1.3 *Equipamiento.*

3.4.1.3.1 *Barandas.*

Este elemento se encuentra en la actualidad prestando el servicio para el cual fue requerido, es decir resguarda la seguridad de los peatones y de los automóviles en caso de un accidente. Pero por otro lado estos se encuentran en mal estado, como se puede observar en la figura 57, el concreto de las pilas se encuentra desgastado al igual que la pintura tanto de las pilas como de los tubos de acero como se presenta en la figura 58.



Figura 57. Pilas pertenecientes a los barandales del puente Ochoa León.



Figura 58. Tubos de acero pertenecientes a los barandales del puente Ochoa León.

También se puede destacar que un tubo de acero se encuentra curvo, posiblemente por impactos considerablemente fuertes como se muestra en la figura 59.



Figura 59. Tubo de acero afectado por un impacto, perteneciente a los barandales del puente Ochoa León.

Además de lo antes mencionado y como se puede visualizar en las figuras 57, 58 y 59 estos elementos se encuentran sucios y descuidados, lo cual afecta directamente en la estética y armonía de la obra con el entorno en que se encuentra.

3.4.1.3.2 Señalización.

En lo que se refiere a este apartado, se puede decir que la señalización existente en el puente Ochoa León es nula, como se muestra en la figura 60. No existe ningún indicador de tránsito pertinente para el uso de vehículos y peatones del puente. Este es un tema importante en lo que respecta al ámbito de la seguridad de la ciudadanía que utiliza esta obra, pero desde una perspectiva estructural no es de mayor relevancia.



Figura 60. Vista frontal final del puente Ochoa León.

Lo que se podría rescatar en la estructura es que presenta un poste de alumbrado público como se puede observar en la figura 61. Cabe recalcar que

este no es suficiente, ya que debido a la longitud del puente, éste no alcanza a alumbrar toda la calzada de la estructura.



Figura 61. Vista frontal inicial del puente Ochoa León.

3.4.1.3.3 Calzada.

Es necesario recalcar que la vía de ingreso al puente es de lastre, mientras que la de salida es de asfalto. Por otro lado la calzada presente en el puente es de asfalto, pero el mismo, como se muestra en la figura 62, se encuentra desgastado y la capa asfáltica prácticamente es nula, ya que son mínimas las áreas de la calzada que aún siguen cubiertas por este material.



Figura 62. Calzada del puente Ochoa León.

Por otro lado este elemento se encuentra con acumulación de lodo y basura en los extremos de la calzada en el límite de las veredas, debido a que no se le ha

brindando un correcto mantenimiento ni limpieza, esto se puede apreciar en la figura 63.



Figura 63. Muestra de la acumulación de lodo en el extremo de la calzada del puente Ochoa León.

En lo que se refiere a las veredas estas se encuentran en buen estado pero son demasiado estrechas para que sean útiles para la población que requiera cruzar el puente caminando, tal y como se presenta en la figura 63 a) y b).



a)

b)

Figura 64. a) Vereda izquierda del puente Ochoa León.

b) Vereda derecha del puente Ochoa León.

Debido a la composición de las vías que une este puente, la calzada del mismo siempre se encuentra con material proveniente del lastre y constante polvo, lo que lleva a que se acumule lodo, agregados y demás partículas en los bordes de la calzada como se muestra en la figura 64 a) y b).

3.5 Resultados de la ficha de inspección visual.

Después de realizar la visita técnica y aplicar la ficha de inspección visual se determinó que el estado actual del puente Ochoa León es “Reparación” y se identificó que los elementos de interés son las vigas del tablero y los estribos, ya que el estado de estos elementos estructurales es grave. Por lo tanto se requiere realizar un análisis a mayor profundidad para determinar las posibles causas. En la tabla se presenta un resumen de las patologías encontradas en estos elementos estructurales.

Tabla 5. Resumen de patologías graves identificadas.

<i>Elemento estructural</i>	<i>Estado</i>	<i>Patologías</i>
Vigas del tablero	Grave	La armadura principal inferior se encuentra expuesta y con presencia de corrosión.
Estribos	Grave	Elemento estructural fracturado, presencia de varias grietas profundas que aparentemente atraviesan los estribos.

En la figura 65 se muestra un esquema de las patologías importantes encontradas, con esto se puede visualizar los daños que cada uno de los elementos estructurales de interés presenta.

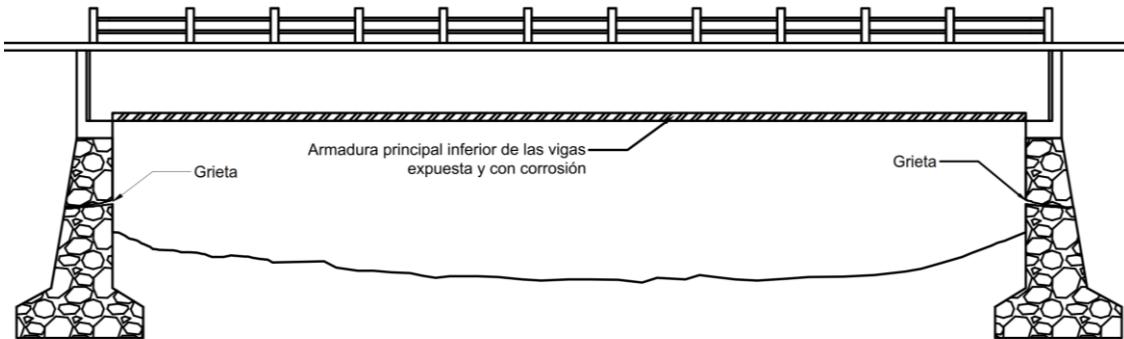


Figura 65. Esquema de patologías graves encontradas.

3.6 Determinación de causas de las vigas del tablero y los estribos

3.6.1 Vigas del tablero.

Las patologías que presentan las vigas se deben a errores en el proceso constructivo de estas, pues no se respetó el recubrimiento inferior de la armadura principal y el hormigón fue mal vibrado por lo que provocó segregación en estas zonas dejando a los aceros de refuerzo inferiores expuestos y generando corrosión en ellos.

3.6.2 Estriplos.

La causa de la patología que estos elementos estructurales presentan no es de fácil determinación, por lo que se requiere realizar un modelo en el cual se apliquen las solicitudes para lograr reproducir el comportamiento observado y así entender la causa de dicha patología.

3.6.2.1 *Antecedentes para el análisis estructural.*

Después de realizar la inspección y determinación de patologías de los estribos se encontró que presenta una grieta profunda que aparentemente atraviesa todo el elemento estructural. Pero además de ello, en el estribo derecho, al cual se pudo tener acceso, se pudo notar que la naturaleza de la grieta tiende a presentar una forma triangular, debido a que ligeramente la cara interna del estribo sobresale en medida que se acerca a la grieta mencionada, tomando una forma triangular desde una vista de perfil. Por lo tanto se plantea la suposición de que este elemento estructural a más de estar expuesto a las cargas

horizontales y verticales que normalmente se considera, está afectado por un desplazamiento horizontal de suelo. Un indicio importante que sirvió de evidencia para plantear esta hipótesis fue una estructura metálica tipo cercha que se encuentra colindante con el puente Ochoa León. Esta cumple la función de transportar una tubería de manera que atraviesa el río Machangara a la misma altura del puente. En esta estructura se puede apreciar un fuerte pandeo en todo el largo de la misma como se puede visualizar en la figura 66. Dicha patología puede ser causada por el desplazamiento de suelo donde se apoyan los estribos.



Figura 66. Estructura metálica tipo cercha, colindante con el puente Ochoa León.

Como se mencionó en la sección anterior no se pudo acceder al estribo izquierdo, pero se pudo visualizar una grieta concordante con la del estribo derecho, por lo tanto dicho movimiento de suelo se puede suponer tal y como se presenta en la figura 67; es decir que afecta a ambos estribos.

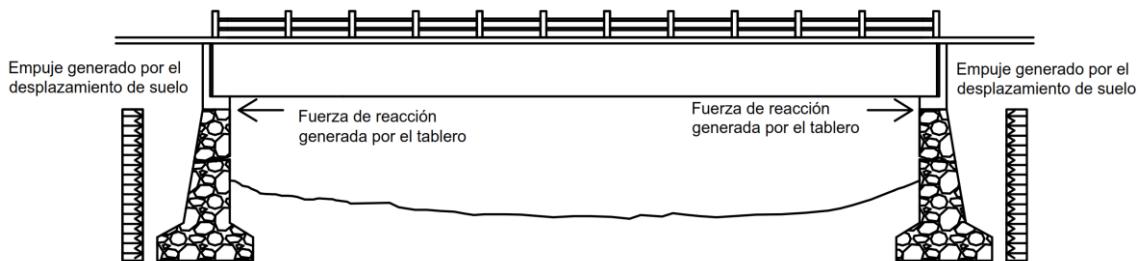


Figura 67. Suposición del movimiento de suelo hacia los estribos.

Al parecer una falla geológica desplaza los estribos uno contra el otro aprisionando el tablero. La fuerza del empuje que este desplazamiento genera en el suelo podría ser tal que termine fracturando la pantalla del estribo.

Para poder determinar la magnitud y dirección del desplazamiento del suelo se requiere de un estudio geotécnico que incluya la colocación de inclinómetros y monitorear los movimientos en un tiempo prolongado no menor a un año. Dicho estudio está fuera del alcance del presente trabajo.

3.6.2.2 Consideraciones para el modelado de los estribos.

Debido a que los estribos del puente están sujetos a las mismas condiciones tanto en lo referido a cargas, dimensiones y materiales, el análisis se realizó únicamente para uno de ellos, en este caso fue el estribo derecho y los resultados se aplicaron para los dos estribos.

Para el análisis del estribo se realiza un modelo idealizado en ordenador, mediante un software de elementos finitos SAP2000. Se utilizaron elementos tipo Shell, el modelo se apoya a través de considerar la interacción del suelo con el elemento estructural mediante el concepto de coeficiente de balasto, para lo cual el suelo se considera un medio elástico lineal.

Para el modelamiento del estribo se consideró las condiciones que permitan que el modelo realizado represente lo más cercano a la realidad. Por lo tanto en lo que se refiere a cargas de empuje se tomó en cuenta aquellas que representen el generado por el suelo tanto en la cara externa como interna del elemento. Además se consideró la carga muerta vertical debido a la superestructura y equipamiento del puente y una sobrecarga en la cara externa. Por último se optó

por la utilización de una carga horizontal en la parte superior del estribo la cual representó la reacción del tablero. Este diagrama de fuerzas se puede visualizar en la figura 68.

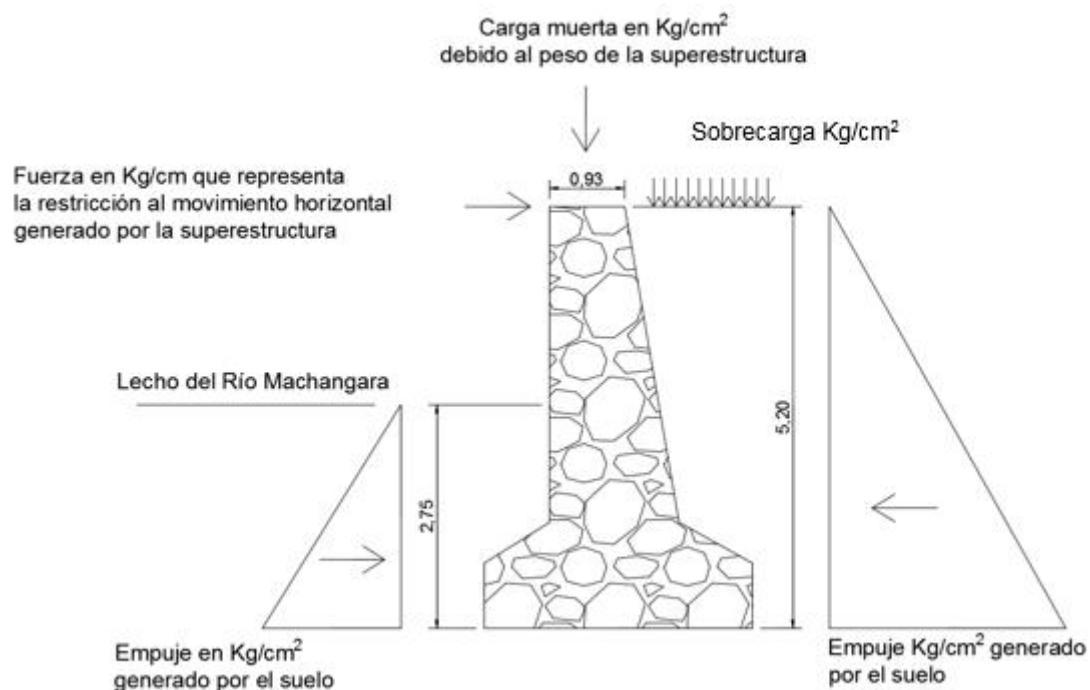


Figura 68. Diagrama de fuerzas consideradas para el modelamiento del estribo derecho del puente Ochoa León.

Para las cargas de empuje se utilizó la teoría de Rankine, para la obtención de los coeficientes K , ya sea para un empuje pasivo o activo respectivamente (Braja, 2001). Para determinar estos coeficientes se utilizó la ecuación 1 a) y b), la cual dio como resultado $K_a = 0.307$ y $K_p = 3.255$.

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

a)

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

b)

Ecuación 1. a) Coeficiente K activo de Rankine.

b) Coeficiente K pasivo de Rankine.

Por lo tanto aplicando dichos coeficientes se tiene un empuje activo de **2505.12 Kg/m²** y un empuje pasivo de **13300.80 Kg/m²**, para la mayor profundidad de cada una de ellas.

También se aplicó una sobrecarga de 230 Kg/m² debido a cargas externas que se pudieran presentar y mediante la aplicación de la teoría de Rankine genera una presión de **71.3 Kg/m²** en la cara externa del estribo.

Por otro lado se tomó en cuenta la carga muerta de la superestructura aplicada en la parte superior del elemento, a pesar de no contar con planos estructurales para poder determinar dicha carga, dentro de la documentación entregada por el Gobierno Provincial del Azuay, se tuvo acceso al planillaje correspondiente a esta obra. Gracias a ello fue factible definir dicha carga. En el ANEXO 3 se encuentran descritas las cantidades de material respectivo considerado para encontrar el peso de la superestructura, a continuación se presenta un resumen de ello en la tabla 5.

Tabla 6. Resumen de pesos considerados de la superestructura.

Material	Peso (kg)
Hormigón	136275.0
Acero de refuerzo y estribos	7555.0
Acero galvanizado	512.5
<u>Carga muerta superestructura</u>	<u>144342.5</u>

Por lo tanto la carga mencionada en la tabla 5, fue aplicada dentro de la superficie superior del estribo que tiene una área de 8.64 m², por lo que resulta una carga distribuida de **16724.9 Kg/m²**. Además se usó una fuerza de **2155.17 Kg/m** para representar la fuerza de reacción que el tablero ejerce sobre los estribos, de manera que la parte superior del estribo no presente desplazamientos horizontales tal y como se pudo observar en la realidad.

3.6.2.3 *Modelado del estribo.*

En lo que se refiere a la utilización del software SAP2000 para el modelado se usaron dos elementos Shell-Thick con material definido como hormigón ciclópeo con una resistencia a compresión de 180 Kg/cm² para conformar la estructura, definiendo un elemento como base y otro como cuerpo respectivamente. Se

dispusieran tal y como se muestra en la figura 69 de manera que sea posible la correcta representación del elemento.

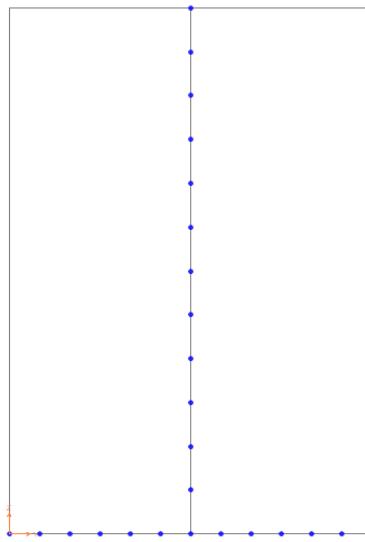


Figura 69. Disposición de elementos Shell-Thick para recrear el estribo.

Se generaron ejes principales para la elaboración del estribo, en el sentido del eje Y se dispusieron 3, los ejes 1,2 y 3, en el sentido del eje X se establecieron 2, los ejes A y B y en el sentido del eje Z se colocaron 2, los ejes Z1 y Z2. Esto se puede observar en la figura 70.

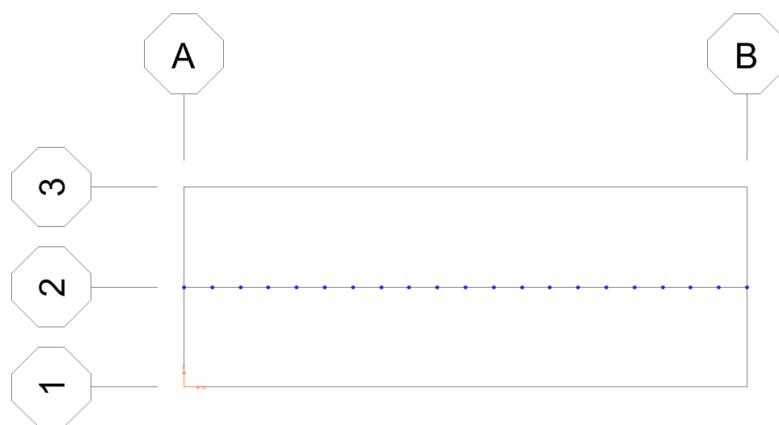


Figura 70. Conformación de los ejes del modelo del estribo.

Para definir la variación del espesor del elemento se utilizó un Join Pattern, con el cual se pudo representar correctamente las dimensiones del estribo, como se muestra en la figura 71.

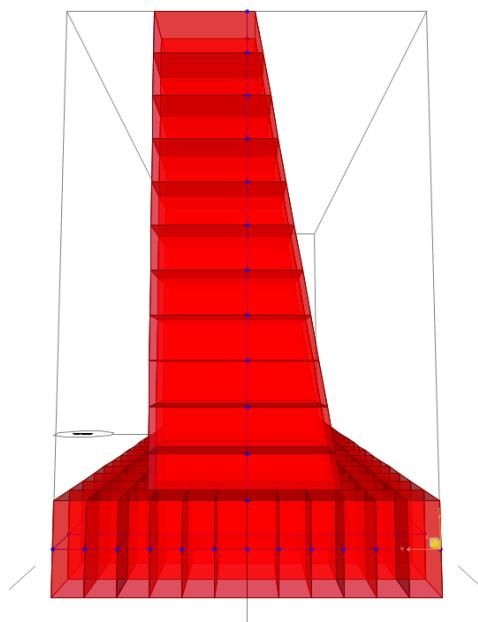


Figura 71. Vista en 3D de perfil del estribo modelado.

Para el correcto comportamiento de la estructura, se discretizó a los dos elementos Shell, de manera que estos coincidan en sus puntos de conexión. Además se restringió el movimiento en los contornos externos tanto de la base como del cuerpo del estribo, tal y como se observa en la figura 72 a) y b) respectivamente.

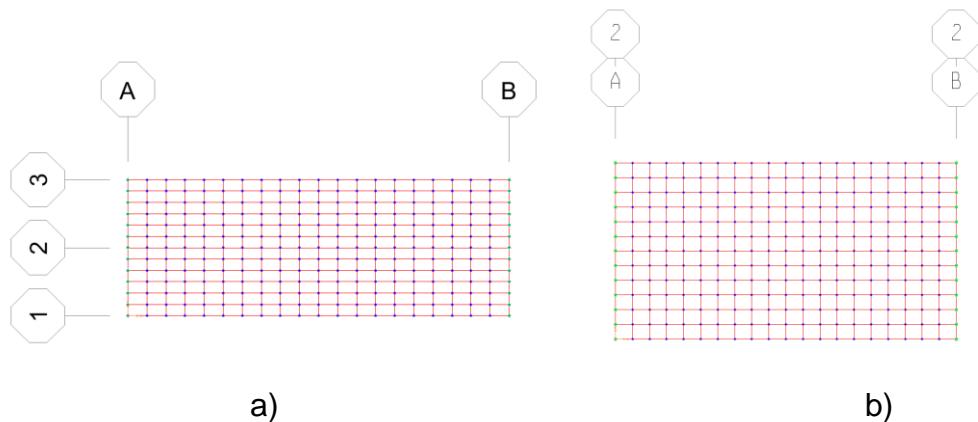


Figura 72. a) Discretización del elemento Shell perteneciente a la base del estribo.
b) Discretización del elemento Shell perteneciente al cuerpo del estribo.

Al momento de aplicar las cargas de empuje en las caras del estribo, se utilizó de igual manera un Join Pattern para generar la variabilidad de la presión en función de la altura, un ejemplo de ello es la figura 72. Cabe recalcar que el resto de cargas descritas se aplicaron tal y como se presentó en la figura 68.

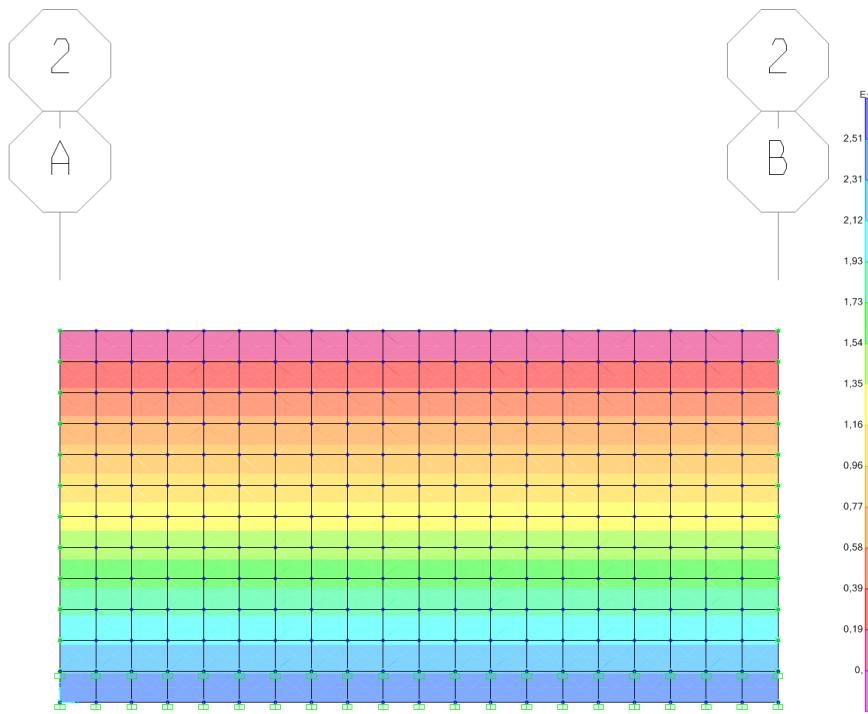


Figura 73. Representación del empuje activo aplicado en la cara externa del estribo. Escala en Kg/m^2 .

Para la representación del coeficiente de balasto en el sentido vertical, se aplicó en la superficie del elemento Shell que conforma la base, usando el comando Area-Springs. Por otro lado para posicionar este mismo coeficiente pero en el sentido horizontal, se aplicó en la fila inferior de la discretización de la pantalla del estribo. Además como se mencionó en el apartado anterior se restringió el movimiento lateral en los contornos externos tanto del cuerpo como la base del estribo. Esto se puede observar en la figura 74.

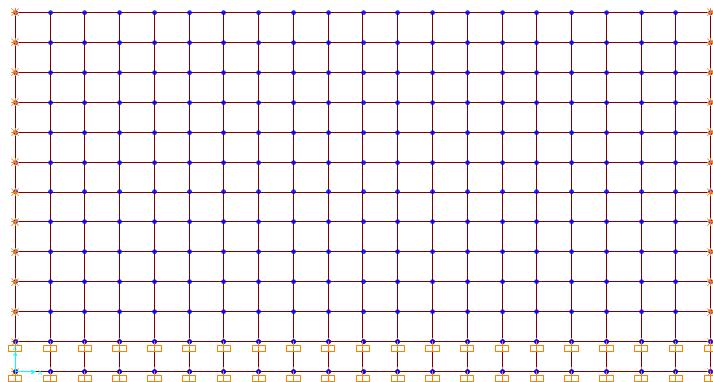


Figura 74. Cuerpo de estribo donde se muestra las restricciones en los extremos y la representación del coeficiente de balasto en el sentido del movimiento horizontal.

Para la obtención de resultados se generó una combinación de carga de manera que se apliquen todas las cargas antes mencionadas, debido a que no se trata de realizar un diseño sino un análisis, por lo tanto dichas cargas no fueron multiplicadas por ningún factor amplificador.

3.7 Resultados del análisis conceptual estructural

Después de elaborar el modelo estructural y definir la combinación de carga requerida, se procedió a determinar los resultados que se pueden interpretar del modelo realizado.

Los desplazamientos que se obtuvieron fueron los esperados. En la figura 75 se puede observar la deformación que el elemento sufre después de la aplicación de la combinación de carga; en el sentido del eje vertical la estructura ha descendido 1.17 cm, en lo que se refiere al eje perpendicular se ha desplazado en promedio es 1.50 cm y debido a la restricción que se describió en el apartado anterior.

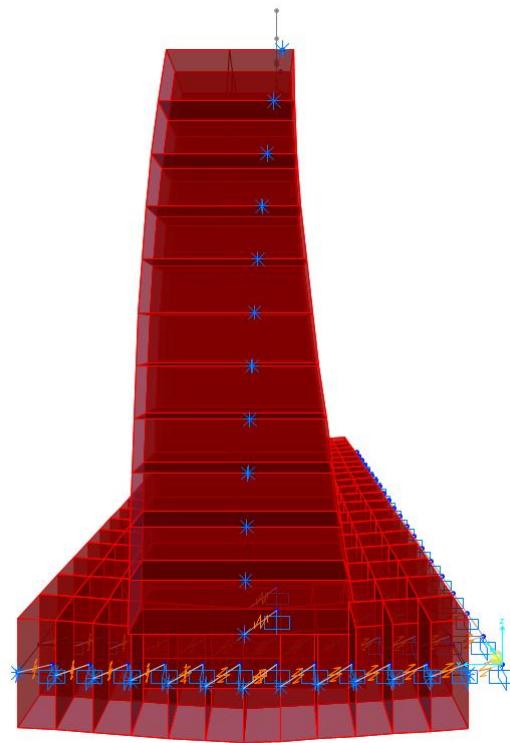


Figura 75. Deformación del estribo modelado aplicado una escala de amplificación de 15.

Por la naturaleza y forma de la fisura se consideró que en el estribo se ejerce esfuerzos de tracción superiores a los que el elemento tiene capacidad de resistir, por lo tanto para determinar una posible causa, se definió inicialmente la resistencia a tracción del elemento. Como se describió anteriormente se trata de un elemento de hormigón ciclópeo con un f'_c de 180 Kg/cm². Para encontrar el valor referente a la resistencia a tracción de este material, existen varios criterios de diferentes autores, entre ellos según el ACI-318S (2014) en caso de que se requiera utilizar la resistencia a tracción del concreto se debe realizar los respectivos ensayos para determinarla, según Nilson (2014) suponiendo un hormigón de peso normal la resistencia a la tracción directa es de 3 a 5 $\sqrt{f'_c}$ lb/pulg² y según la EHE-08 (2008) define esta propiedad como $0.21 \sqrt[3]{f'_c}^2$ N/mm². De esta manera se puede evidenciar que determinar la resistencia a la tracción sin la realización de los ensayos de laboratorio puede sujetarse a varios criterios, pero en general según Rodríguez (2014) la estimación que representa una buena

aproximación a este valor es el presentado en la ecuación 2, es decir equivalente al 6% de la resistencia a compresión del hormigón.

$$F_t = F'_c * 0.06$$

Ecuación 2. Aproximación de la resistencia a tracción, (Rodríguez, 2014).

La resistencia a tracción del hormigón ciclópeo se puede ver disminuida, debido a que esta depende de la adherencia que exista entre la piedra y el hormigón. La adherencia se puede ver afectada por partículas de polvo que impidan la perfecta adhesión.

Se utilizó la ecuación 2 para determinar la resistencia a tracción del estribo, que es $f't = 10.08 \text{ Kg/cm}^2$. Para conocer los esfuerzos de tracción que se generan en la cara interna del estribo se requirió definir el momento que actúa sobre ésta a la altura de la grieta. En la figura 76 se presenta el diagrama de los momentos sobre el eje 2 horizontal o paralelo al elemento, lo que en el software SAP 2000 se conoce como M22.

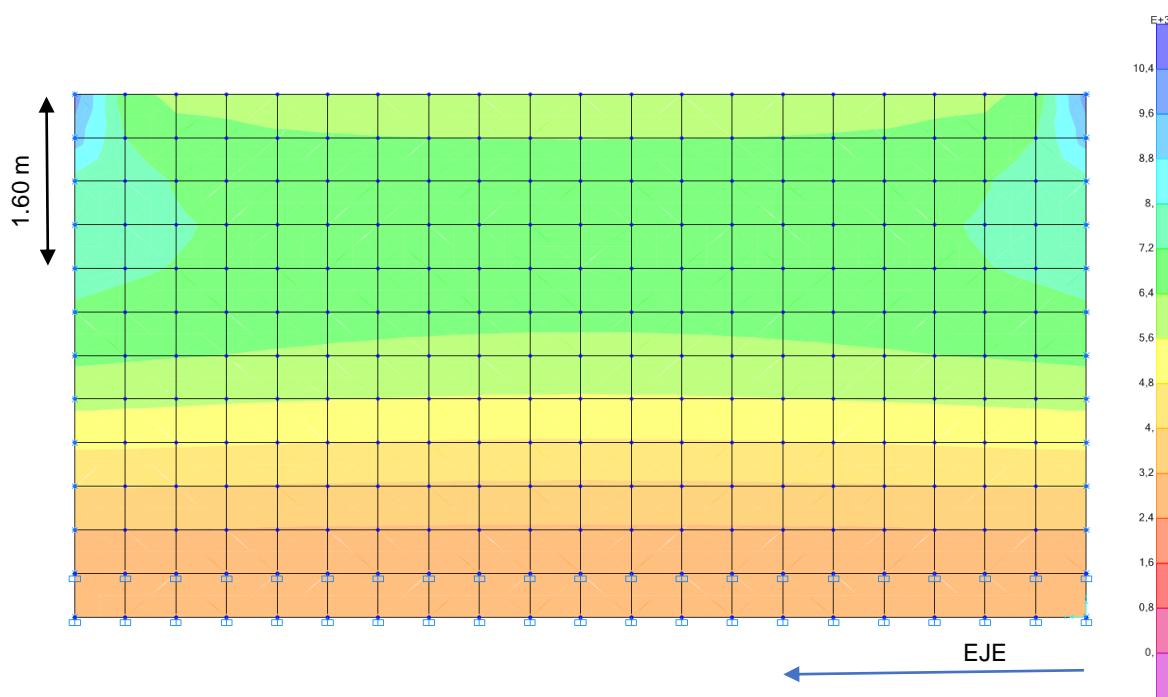


Figura 76. Diagrama de momentos con respecto al eje 2 de la cara interna del elemento. Escala en Kg-cm/cm

Debido a que se conoce que la grieta se encuentra a una distancia de 1.60 m de la parte superior del estribo, se puede observar que en esta zona se genera la mayor concentración de momento positivo y por lo tanto mayores esfuerzos de tracción. Basado en ello y en la escala presentada se pudo obtener un momento actuante de **M22=7000 Kg-cm/cm**. Para determinar el esfuerzo a tracción que se genera en esta zona se utilizó la ecuación 3 y se idealizó un elemento unitario de 100 cm de largo y una profundidad de 120 cm, que es la misma que presenta el elemento a la altura de la grieta.

$$\sigma = \frac{M*Y}{I}$$

Dónde:

σ = Esfuerzo de tracción.

M = Momento actuante.

Y = Distancia del eje neutro a la fibra más alejada de la sección transversal.

I = Momento de inercia.

Ecuación 3. Esfuerzo de tracción.

Aplicando la ecuación anterior, conociendo que $M = 700000 \text{ Kg-cm}$, $Y = 60 \text{ cm}$ e $I = 14400000 \text{ cm}^4$, se obtuvo un esfuerzo de tracción equivalente a **$\sigma = 2.91 \text{ Kg/cm}^2$** .

Por lo tanto se realizó la comparación entre la resistencia y el esfuerzo de tracción en donde se pudo observar que el esfuerzo actuante representa un valor considerable pero no suficiente para generar una grieta de la magnitud que el elemento presenta. Entonces, basado en el apartado 3.5.1.1, dicho movimiento de suelo adiciona una presión al elemento, la cual se considera uniforme y genera momentos suficientes para generar tracciones superiores a las que este puede resistir. Mediante la utilización del software se pudo determinar que el empuje uniforme adicional que presenta el elemento debido al desplazamiento de suelo existente es de aproximadamente **0.8 Kg/cm²**. En la figura 77 se presenta el diagrama de momento que se presentó al adicionar dicho empuje.

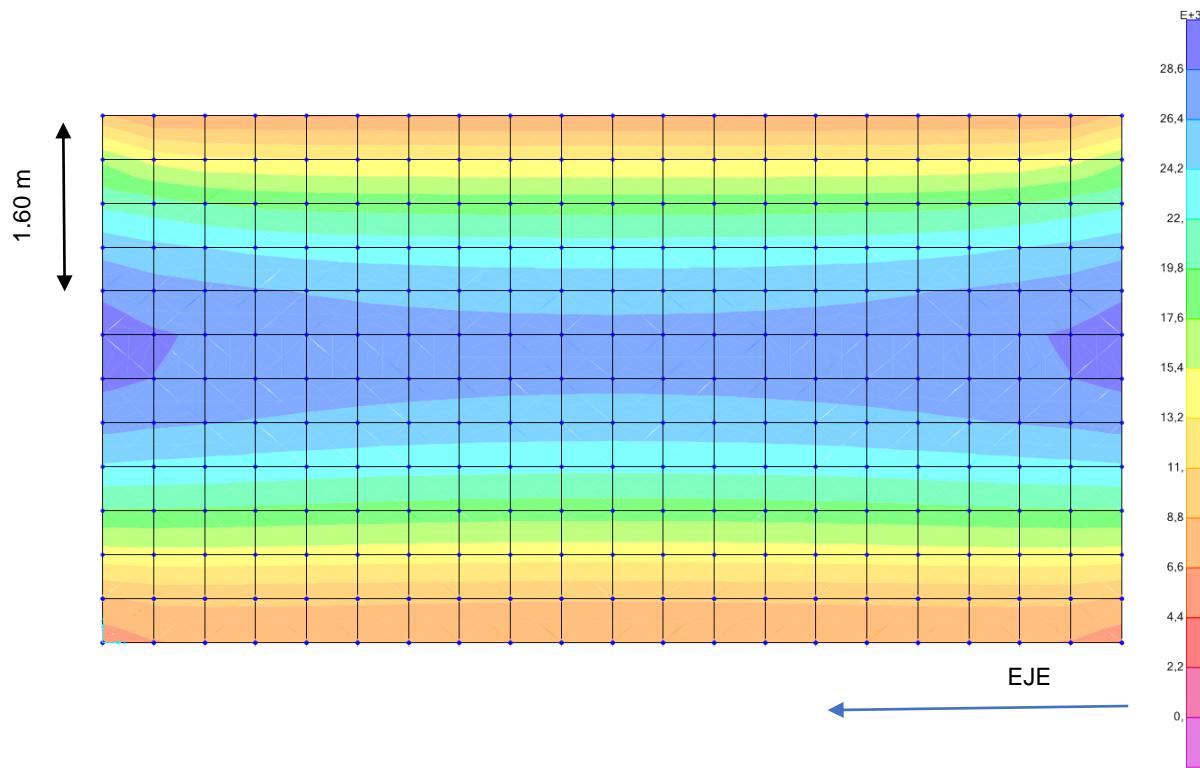


Figura 77. Diagrama de momentos con respecto al eje 2 de la cara interna del estribo aplicado un empuje uniforme adicional. Escala en Kg-cm/cm

De igual manera, se pudo definir que a la altura de la grieta estaría actuando un momento promedio de **M22 = 26500 Kg-cm/cm**. Tomando en cuenta los parámetros anteriores y un momento $M = 2650000$ Kg-cm, se utilizó la ecuación 3 y se determinó un esfuerzo de tracción equivalente a $\sigma = 11.04$ Kg/cm². Se realizó la comparación con la resistencia a tracción del elemento y el esfuerzo generado es mayor a la capacidad del estribo, por lo tanto como resultado se genera la grieta existente.

En lo que se refiere a la deformación del elemento, en la figura 77 se puede notar que presentó un comportamiento acorde al visualizado en la inspección realizada, tal y como se describió en la sección 3.5.1.1. Se pudo observar que presenta un descenso en el eje vertical de 2.50 cm y con respecto al eje perpendicular se ha desplazado en promedio 5.00 cm.

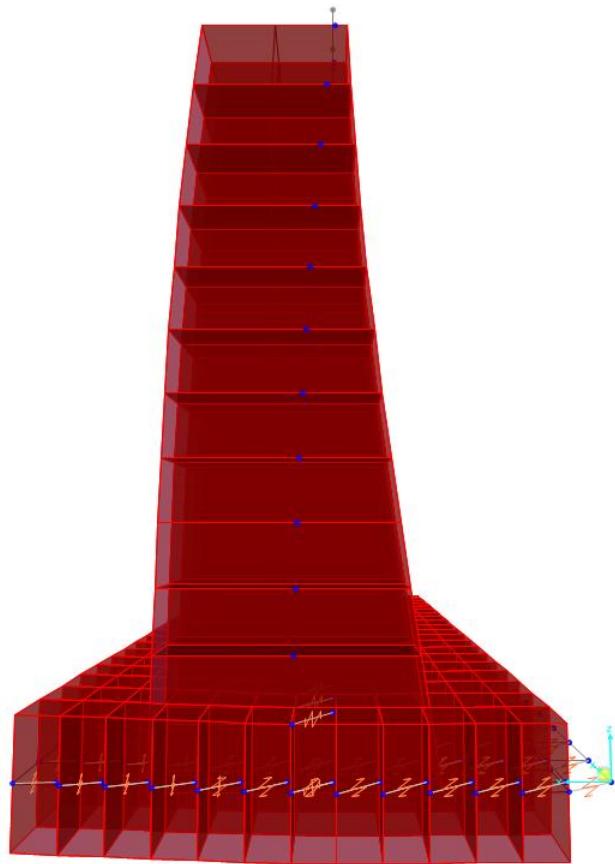


Figura 78. Deformación del estribo modelado con el empuje adicional y aplicado una escala de amplificación de 2.

Debido a que se trata de un desplazamiento de suelo esta presión aumenta paulatinamente con el tiempo y al mismo tiempo la grieta gana espesor y profundidad por lo que también pierde resistencia a tracción pues disminuye el área de sección transversal y por lo tanto su momento de inercia.

CAPÍTULO IV

4. Alternativa de intervención

Realizar una intervención tiene como objeto el restituir la resistencia inicial de los elementos afectados y proteger de las causas que generaron las patologías identificadas. A continuación se presenta la alternativa de intervención para los elementos que requieren una reparación debido a las patologías que poseen, en este caso para las vigas pertenecientes a la superestructura y los estribos pertenecientes a la infraestructura. Para los otros elementos que presentan daños menores se contemplarán recomendaciones de mantenimiento.

4.1 Alternativa de intervención para las vigas

Para la reparación de estos elementos se plantea como alternativa de intervención la limpieza de la corrosión de los aceros de refuerzo expuestos para su posterior revestimiento respetando un adecuado recubrimiento.

Para realizar el proceso descrito, se apuntalará la viga que se vaya a reparar para preservar la seguridad de los obreros en la reparación, para ello se recomienda la utilización de dos puentes, colocados a los cuartos de viga, conformados por una placa metálica, un puente de madera y una base de hormigón ciclópeo, las dimensiones se encuentran en la tabla 7 y su esquema se describe en la figura 79. Seguido a ello se desprendrá el hormigón a una altura aproximada de 10 cm. Una vez que los aceros de refuerzo queden expuestos, se limpiará la corrosión y agentes oxidantes que las barras pudieran presentar, esto mediante el uso de métodos abrasivos manuales, es decir con un cepillo con cerdas metálicas. Finalmente se realizará el revestimiento del elemento mediante un encofrado adecuado, para ello se recomienda la utilización de SIKATOP-122 el cual es un mortero de reparación modificado con polímeros especificado para reparaciones estructurales (SIKA, 2014); se debe tomar en cuenta que al momento de realizar el acabado el acero de refuerzo debe tener un recubrimiento de al menos 5 cm para garantizar que la patología no se vuelva a presentar. La intervención de cada viga se lo realizará en 3 fases, en la primera fase en los extremos de la viga hasta donde se encuentran ubicados los puentes se ejecutará el procedimiento descrito anteriormente,

después se procederá en la zona central y finalmente al retirar los apuntalamientos se intervendrá la zona que estuvo debajo de los puntales. Esto se puede visualizar gráficamente en la figura 79.

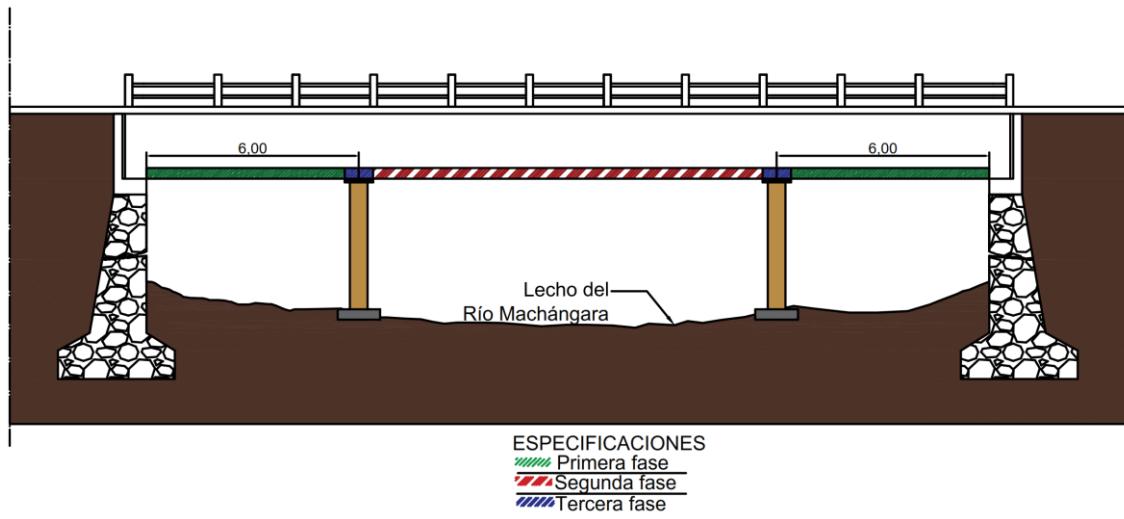


Figura 79. Esquema de apuntalamiento para intervención en las vigas del puente Ochoa León.

Tabla 7. Descripción de elementos que conforman los puntales.

Elemento	Descripción
Placa Metálica	Dimensiones: 35x35x2.5 cm. $f_y = 3500 \text{ Kg/cm}^2$.
Puntal de madera	Dimensiones: 25x25 cm; la altura estará en función del galib que el puente presente ese momento, aproximadamente 2.50 metros.
Base de hormigón ciclópeo	Dimensiones: 35x35x30 cm. Proporciones: 60% hormigón 210Kg/cm ² – 40% roca.

También se recomienda retirar todo los restantes de encofrado de procedimientos anteriores que presentan los elementos y con la utilización de SIKATOP-122 cubrir las posibles fisuras y las zonas de segregación que se distinguen en las vigas.

4.2 Alternativa de intervención para los estribos

Tomando en cuenta que los daños que presentan los estribos del puente son severos, se ha optado por proponer una alternativa de intervención para su

reparación de manera que se preserven las condiciones de servicio que este brinda. Esta constará de dos partes, una en la que se intervendrá directamente a los estribos y una segunda en la que se tratará de aligerar los empujes que en estos actúan. Debido a que las patologías que presentan los estribos son similares, la alternativa que a continuación se presenta se ejecutará en los dos estribos, por lo que para describirla se muestra aplicada en un solo elemento. Para esta intervención también se proponen secciones y armados de los elementos que la componen basado en un prediseño, estas deberán ser comprobadas y recalculadas contemplando las condiciones que presente el puente al momento de ejecutar la alternativa de reparación.

En la figura 80 se muestra un esquema de la reparación en donde se contemplan las dos partes de la intervención. En lo que se refiere a la primera parte se trata del reforzamiento del estribo, primero se realizará el relleno de las grietas con SIKA GROUT el cual es un mortero de alta resistencia para relleno expansivo (SIKA, 2014); después, mediante el uso de dos losas de hormigón armado, una en cada cara del estribo, se intentará recuperar el estado monolítico inicial del estribo de manera que estén unidas la una con la otra mediante anclajes a través del estribo. Por otro lado, como segunda parte, se propone la excavación de material presente en la cara externa del elemento con el fin de liberar los empujes y presiones que debido a este, se ejercen sobre el estribo, además se construirá un muro bidireccional de contención de hormigón armado con el objetivo de que sea este quien absorba dichos empujes, para ello se requerirá adicionalmente de una losa de transición la cual conectará el puente con la vía, permitiendo establecer un espacio libre entre el muro y el estribo del puente, por último se llenará sobre el muro con un material de mejoramiento.

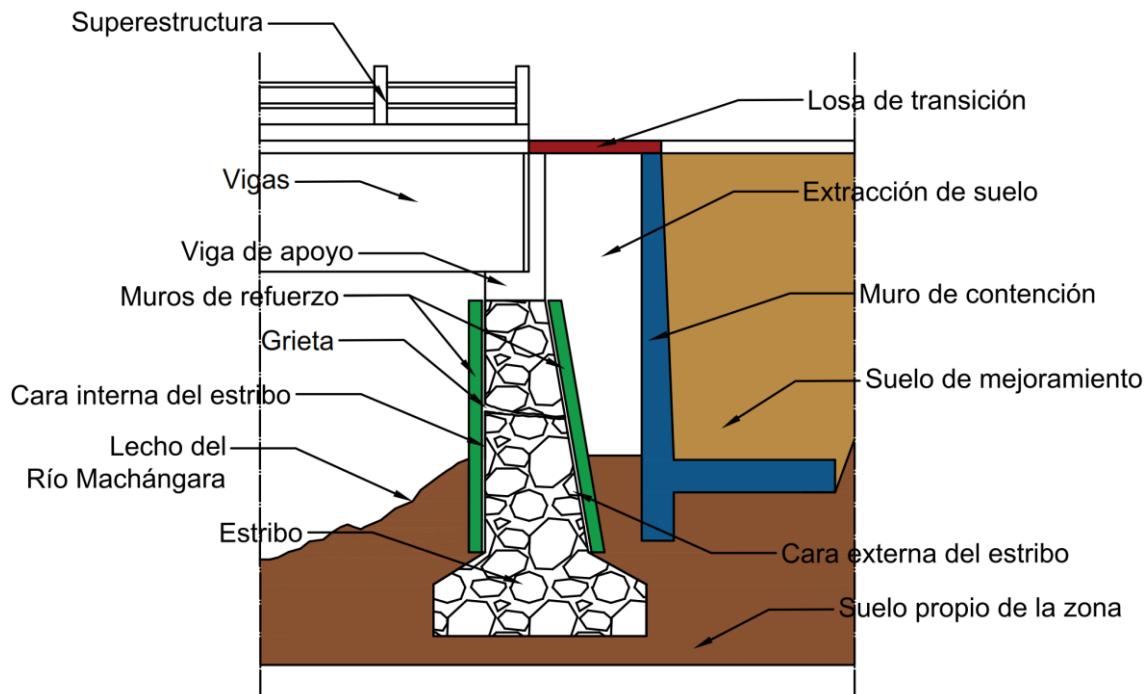


Figura 80. Esquema de la alternativa de intervención para los estribos del puente Ochoa León.

Para las losas bidireccionales que se usarán en la primera parte, se ha planteado un espesor de 20 cm y un ancho de 9.28 m igual que los estribos, con un armado con barras de acero corrugado tal y como se muestra en la figura 81. A pesar de que la cara externa del estribo cuente con una ligera inclinación, el armado será el mismo pero tomando en cuenta la pendiente que tendrá la losa.

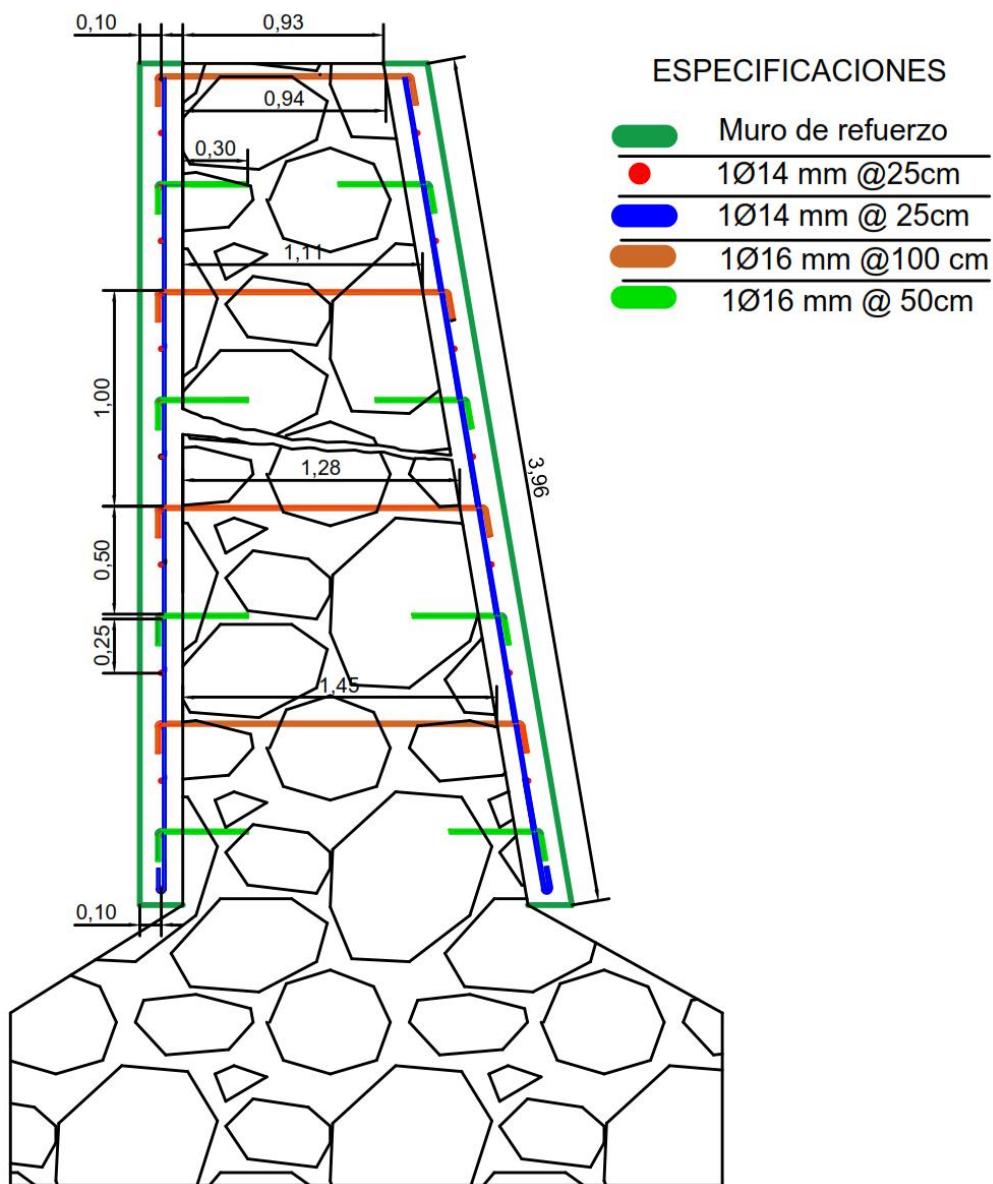


Figura 81. Esquema del armado anclaje entre las losas y el estribo.

Debido a que se quiere generar una conexión directa y con ello una eficiente transmisión de esfuerzos, las losas descritas deberán ser ancladas al estribo, para ello se propone realizar dos tipos de anclaje, uno que atraviese el estribo y se conecte directamente a la otra losa y el otro que se ancle al estribo con una longitud de 30 cm; para ingresar los hierros del anclaje se debe realizar una perforación previa en el estribo con un diámetro mayor en al menos 4 mm al del acero. Esto es necesario puesto que antes de ingresar las barras se debe llenar aproximadamente un tercio de la perforación con un mortero de alta

resistencia como SIKA GROUT para así asegurar una correcta fijación del anclaje al estribo. Para obtener esta fijación se deberá introducir la barra de acero empujándola mediante rotaciones hasta lograr ingresar completamente el acero. Al final cuando el hierro se encuentre dentro se rellenará con el mismo mortero de alta resistencia la perforación. Para los anclajes que se conectan directamente entre las losas se realizará una perforación similar a la anterior, pero esta atravesará el estribo y al momento de ingresar las barras, estas deberán estar rectas, por lo que se realizarán los ganchos de anclaje cuando el hierro se encuentre atravesado en el estribo. En la figura 82 se muestra el detalle del anclaje que se realizará entre las losas y el estribo.

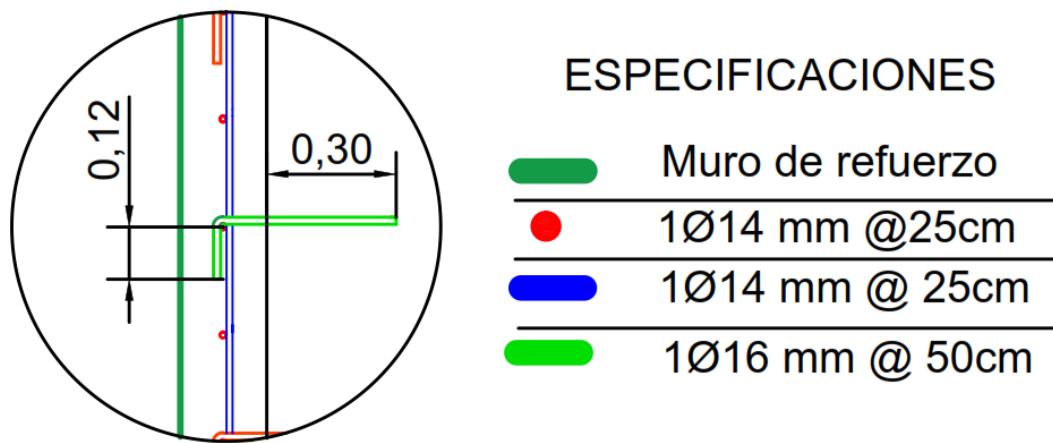


Figura 82. Detalle de anclaje entre losa y estribo.

Para la segunda parte se construirá un muro de contención para liberar el suelo presente en la cara externa del estribo, debido a la inercia variable del estribo en la zona superior es donde se presentan mayores esfuerzos traccionantes por lo tanto es esta la porción de suelo que será retirada, también sobre este muro estará simplemente apoyada la losa de transición para permitir la circulación vehicular. En la figura 83 se presentan las dimensiones necesarias para cumplir lo antes mencionado.

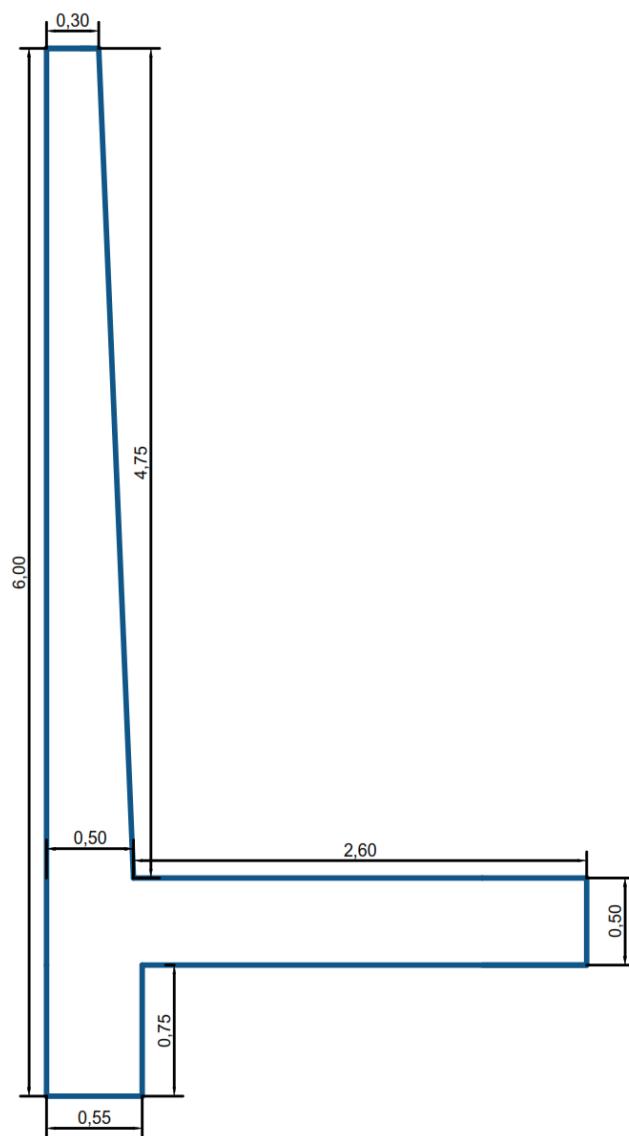


Figura 83. Dimensiones del muro de contención.

Para solventar los requerimientos de capacidad que se presentan en esta zona, en la figura 84 se presenta el posible armado que este muro deberá poseer para resguardar al estribo.

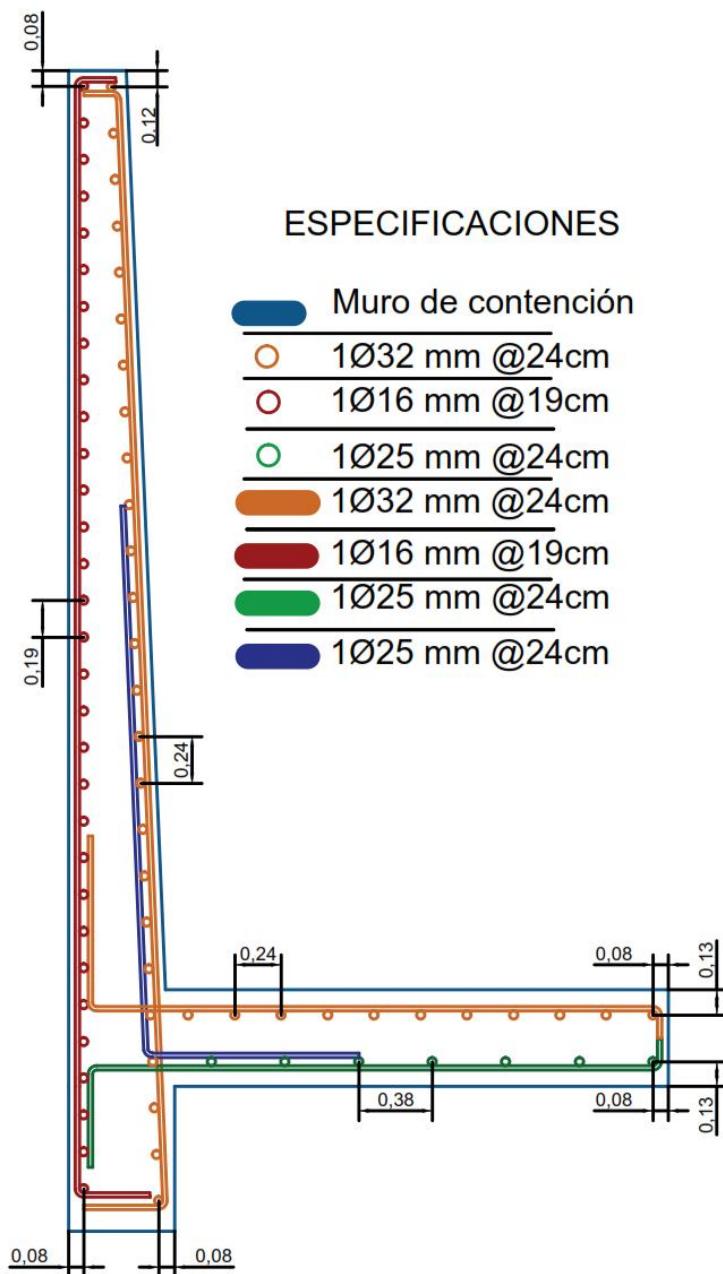


Figura 84. Esquema del armado del muro de contención.

Para el relleno se requerirá un suelo de mejoramiento de manera que tenga un ángulo de fricción aproximadamente de $\phi = 30$ y con un peso específico unitario de $\gamma = 1.85 \text{ ton/m}^3$. Dependiendo de la disponibilidad de material se considerará un suelo de mejoramiento con características similares a las descritas.

CAPÍTULO V

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

La ficha de inspección visual propuesta fué aplicada al puente Ochoa León dando un resultado en base a los criterios considerados. El resultado obtenido se puede decir que concuerda con el estado actual del puente, por lo tanto se concluye que dicha ficha es una herramienta eficiente para determinar inicialmente el estado actual de un puente y con la cual se puede tener una perspectiva clara acerca de las patologías que cada uno de sus elementos pudiera tener y basado en esta se puede decidir qué elementos requieren un análisis a mayor profundidad.

Después de la aplicación de la ficha de inspección visual al puente Ochoa León, se identificó el estado actual del puente, el cual se encuentra en una situación crítica por problemas estructurales de importancia. En la ficha se representa como “Reparación”. En especial las vigas del tablero presentan una patología grave pues los aceros de refuerzo se encuentran expuestos y muestran evidencia de oxidación y corrosión en toda su longitud. Los estribos son los elementos que poseen una patología severa, pues se encuentran fracturados, esto lo evidencia una gran grieta longitudinal que con seguridad atraviesa el elemento. Con estas patologías identificadas se llega a la conclusión que se requiere realizar un análisis a mayor profundidad y que en lo que se refiere al resto de elementos, estos presentan patologías leves que no se consideran de mayor importancia desde el punto de vista estructural.

Entre las causas de las patologías encontradas, se determinó que en las vigas se debe a posibles errores durante la construcción, pues no se respetó un adecuado recubrimiento de la armadura inferior principal y al momento de vibrar el hormigón no se lo hizo de manera adecuada por lo que se generaron zonas de segregación, lo que dio paso a que los aceros queden expuestos y por ende vulnerables a la corrosión. En lo que se refiere a la fractura de los estribos, se plantea como hipótesis un desplazamiento del suelo que por ende genera un empuje en los estribos de manera que se aprisionan con el tablero. Se realizó un

modelo del estribo mediante el software de elementos finitos SAP200, aplicando un empuje adicional como consecuencia del deslizamiento y al mismo tiempo simulando la acción del tablero como una fuerza de reacción en la parte superior del estribo. Como resultado en el modelo se obtuvo esfuerzos de tracción superiores a la resistencia del material en la zona de fractura del estribo. Esto confirma la hipótesis planteada. Una vez determinadas las causas de las patologías de los elementos de interés del puente, se concluye que se requiere realizar una reparación de las vigas del tablero y los estribos del puente Ochoa León, para la cual en este trabajo de investigación se propone una alternativa de intervención.

Finalmente debido a la presencia de patologías importantes en las vigas del tablero y los estribos se optó por proponer una alternativa de reparación con el objeto de restituir la resistencia inicial de los elementos afectados y proteger a los mismos de las causas que generaron las patologías descritas. Para las vigas se propone dar un adecuado recubrimiento a las barras de acero de refuerzo después de una correcta limpieza de los agentes corrosivos presentes. Para los estribos se propone una alternativa de reparación que está conformada de dos partes, una en donde se refuerza al elemento con dos losas bidireccionales de hormigón armado, una en cada cara del estribo, conectadas entre sí por un anclaje que atraviesa el elemento, para aumentar su capacidad e intentar recuperar el estado monolítico de estos elementos estructurales y la otra en donde se libera la mayor parte de presión ejercida por el suelo y su desplazamiento, mediante la construcción de un muro de contención de manera que la zona en donde está fracturado el estribo quede libre de empujes. En conclusión con esta propuesta de intervención se podrá prevenir que las patologías de los elementos del puente se agraven hasta llegar al colapso de la estructura.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda la reparación a corto plazo del puente Ochoa León, pues los elementos involucrados están relacionados directamente con la capacidad general del puente y sus condiciones de servicio, se puede tomar en cuenta la propuesta de intervención presentada en este trabajo de investigación. Además se sugiere realizar un estudio geotécnico durante un lapso de tiempo mínimo de un año, para determinar si existe una falla geológica que genera un empuje adicional de manera que aprisiona los estribos contra el tablero, este estudio puede ser mediante el uso de inclinómetros para encontrar la magnitud y el sentido de dicho desplazamiento. Por otro lado se aconseja realizar un mantenimiento preventivo, como elaborar una limpieza profunda de los elementos, llenar fisuras que se puedan presentar y revestir los elementos con una capa de pintura, esto con el fin de preservar sus condiciones para que brinden un correcto servicio a la ciudadanía que hace uso del puente. También se recomienda agregar señalización de transito al puente, debido a que es casi nula por lo que estaría en riesgo la seguridad vial y de la ciudadanía presente en la zona. Se sugiere realizar inspecciones visuales rutinarias del puente mediante el uso de la ficha de inspección propuesta para que se pueda llevar un correcto control de patologías y ejecutar las intervenciones, ya sean de mantenimiento o reparación, en un lapso de tiempo pertinente. Dichas inspecciones rutinarias se recomienda que se las realice a todos los puentes pertenecientes a la provincia del Azuay con el afán de identificar aquellos que requieran un análisis estructural a fondo para prevenir futuras fallas o colapsos de estas estructuras.

BIBLIOGRAFÍA

- ACI. (2014). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural ACI 318S-14*. Farmington Hills: American Concrete Institute.
- AIS, A. C. (2011). *Guia de patologias constructivas, estructurales y no estructurales*. Bogotá: Grupo Magenta.
- Arancibia, F. (16 de Diciembre de 2009). *Socavación en Puentes*. Obtenido de Ingeniería y Construcción: <http://facingyconst.blogspot.com/2009/12/socavacion-en-puente.html>
- Braja, M. D. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. Sacramento - California: Thompson Learning.
- Cabrera Martinez, J. (2005). *Estudio aplicado de costes de prevencion de riesgos laborales en construccion de puentes*. Barcelona - España: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Catalá, E. A. (05 de febrero de 2012). *Fisuras de origen no estructural en elementos de hormigón*. Obtenido de Alario Arquitectura Técnica: <https://enriquealario.com/fisuras-de-origen-no-estructural-en-elementos-de-hormigon-ii/>
- Corral, J. T. (2004). Patologías de la construcción. Grietas y fisuras en obras de hormigón. Origen y prevención. *Ciencia y Sociedad*, 29(1).
- Díaz del Castillo, F. (2007). *Lecturas de Ingenieria 03 - Hierros Fundidos*. Cuautitlán - Izcalli: Departamento de Ingenieria de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.
- Díaz, E. E. (2012). *Ingenieria de puentes. Reseña histñorica, tipología, diagnóstico y recuperación*. Bogota: Pontificia Universidad Javeriana.
- EHE-08. (2008). *Introducción de hormigón Estructural*. España: Universidad de España - La Mancha.
- Instituto Español del cemento y sus aplicaciones. (2013). *Guías técnicas de puentes de hormigón*. Madrid: IECA.

- INVIAS, I. N. (2006). *Manual para la inspección visual de puentes y pontones*. Bogota: Universidad Nacional de Colombia.
- Labad, F. M. (2002). Consideraciones sobre la elección del coeficiente de balasto. *Revista de Obras Públicas*, 45-51.
- Montejo Fonseca , A., Montejo Piratova , F., & Montejo Piratova, A. (2013). *Tecnología y patología del concreto armado*. Bogotá: CEAC.
- Nilson, A. H., Darwin, D., Yamin, L. E., & Quirogas, P. N. (2014). *Diseño de estructuras de concreto*. Bogota: Mc Graw Hill.
- Ramirez Coria, P. E., & Leon Avila, N. J. (2010). *Apoyo didáctico de la asignatura puentes CIV 312, trabajo presentado para optar al diploma académico de Licenciatura en Ingeniería Civil*. Cochabamba - Bolivia: Universidad Mayor de San Simón.
- Rivva López, E. (2006). *Durabilidad y patología del concreto*. Instituto de la construcción y gerencia.
- Rodríguez Sequén, A. (2016). *Puentes con AASHTO LRFD 2014*. Perú: Ing. Arturo Rodríguez.
- Rodríguez, C. (2014). *Cálculo de la resistencia a tracción del hormigón a partir de los valores de resistencia a compresión*. Matanzas - Cuba: Universidad de Matanzas.
- Sanchez de Guzman, D. (2002). *Durabilidad y Patología del Concreto*. Colección especializada del Concreto: Convenio SENA -Instituto del Concreto (Asoconcreto).
- SIKA. (2014). *Hoja técnica de Sika Grout*. Quito: SIKA Bulding Trust.
- SIKA. (2014). *Hoja técnica SIKATOP 122*. Quito: Sika Bulding Trust.
- Treviño Treviño, E. L. (1998). *Patología de las estructuras de concreto reforzado. Reflexiones y recomendaciones*. Monterrey: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Villarino Otero, A. (2010). *Resumen de la Ingeniería Civil*. Escuela Politécnica Superior de Ávila.



ANEXOS



ANEXO 1

PROPUESTA DE FICHA DE INSPECCION VISUAL PARA PUENTES



FICHA DE INSPECCIÓN VISUAL

FECHA	
-------	--

REALIZADA POR	
---------------	--

1. DATOS GENERALES				
PUENTE			CODIGO DEL PUENTE	
Provincia		Cantón		Parroquia
Via principal		Km de via		Cruza sobre
Coordenadas				Altitud (m.s.n.m.)
Año de construccion			Pertenece a	
Existen planos estructurales			Número de intervenciones anteriores	

2. DESCRIPCION GENERAL					
Tipología estructural					
Longitud del puente		<u>m</u>	Número de vanos		Número de carriles
Ancho del puente		<u>m</u>	Gálibo del puente		<u>m</u> Esviamiento

3. FOTOGRAFÍA ACTUAL DEL PUENTE	
<p>INSERTE LA IMAGEN AQUÍ</p>	
OBSERVACIONES	



4. EVALUACION DEL ESTADO ACTUAL DEL PUENTE

INFRAESTRUCTURA				
<u>ELEMENTO</u>	<u>% Importancia(I)</u>	<u>Gravedad (G)</u>	<u>Observaciones</u>	
-	0%	0		<u>Índice de daño</u>
-	0%	0		0,00
-	0%	0		<u>Mantenimiento</u>
-	0%	0		

SUPERESTRUCTURA				
<u>ELEMENTO</u>	<u>% Importancia(I)</u>	<u>Gravedad (G)</u>	<u>Observaciones</u>	
-	0%	0		<u>Índice de daño</u>
-	0%	0		0,00
-	0%	0		<u>Mantenimiento</u>
-	0%	0		
-	0%	0		

EQUIPAMIENTO				
<u>ELEMENTO</u>	<u>% Importancia(I)</u>	<u>Gravedad (G)</u>	<u>Observaciones</u>	
-	0%	0		<u>Índice de daño</u>
-	0%	0		0,00
-	0%	0		<u>Mantenimiento</u>

5. EVALUACION GENERAL				
<u>ELEMENTO</u>	<u>% Importancia(I)</u>	<u>Gravedad (G)</u>	<u>Observaciones</u>	
INFRAESTRUCTURA	60%	0,00		<u>Índice de daño</u>
SUPERESTRUCTURA	30%	0,00		0,00
EQUIPAMIENTO	10%	0,00		<u>Mantenimiento</u>

Gravedad de daño	
0	Ninguno
1	Leve
2	Moderado
3	Fuerte
4	Severo
5	Colapso Total

Índice de daño		
0	2	Mantenimiento
2	4	Reparación
4	5	Sustitución



6. ANEXO FOTOGRÁFICO

<u>INFRAESTRUCTURA</u>	
<u>SUPERESTRUCTURA</u>	
<u>EQUIPAMIENTO</u>	



ANEXO 2

FICHA DE INSPECCION VISUAL APLICADA AL PUENTE OCHOA LEON

FICHA DE INSPECCIÓN VISUAL

FECHA	15-Enero-2018
-------	---------------

REALIZADO POR	JOSUE LOPEZ SALAMEA
---------------	---------------------

1. DATOS GENERALES					
PUENTE	Ochoa León			CODIGO DEL PUENTE	N/A
Provincia	Azuay	Cantón	Cuenca	Parroquia	Sidcay
Via principal	Paseo Rio Machangara	Km de via	N/A	Cruza sobre	Rio Machangara
Coordenadas	2° 50' 01" SUR – 78° 59' 08" ESTE			Altitud (m.s.n.m.)	2567
Año de construccion	2002		Pertenece a	Gobierno Provincial del Azuay	
Existen planos estructurales	No		Número de intervenciones anteriores		0

2. DESCRIPCION GENERAL					
Tipología estructural	Recto con vigas de hormigon armado				
Longitud del puente	25,00	m	Número de vanos	1	Número de carriles
Ancho del puente	7,70	m	Gálibo del puente	2,20	m Esvajamiento

3. FOTOGRAFIA ACTUAL DEL PUENTE	
	
OBSERVACIONES	El puente se mantiene en operación, debido a la importancia que este representa, pues conecta y fomenta el comercio en las parroquias aledañas.

4. EVALUACION DEL ESTADO ACTUAL DEL PUENTE

INFRAESTRUCTURA				
<u>ELEMENTO</u>	<u>% Importancia(I)</u>	<u>Gravedad (G)</u>	<u>Observaciones</u>	
Alas	20%	2	Pocas fisuras menor profundas / Hormigon desgastado	Índice de daño
Estríbros	60%	4	Grietas profundas / Hormigon desprendido	3,00
Apoyos	20%	1	Pocas fisuras leves / Hormigon poco desgastado	Reparación
-	0%	0,00		

SUPERESTRUCTURA				
<u>ELEMENTO</u>	<u>% Importancia(I)</u>	<u>Gravedad (G)</u>	<u>Observaciones</u>	
Losa del tablero	30%	1	Hormigón desgastado	Índice de daño
Vigas del tablero	55%	4	Acero de refuerzo visible y con corrosión	2,80
Diáfragmas	15%	2	Pocas fisuras / Hormigón desgastado	Reparación
-	0%			
-	0%			

EQUIPAMIENTO				
<u>ELEMENTO</u>	<u>% Importancia(I)</u>	<u>Gravedad (G)</u>	<u>Observaciones</u>	
Barandas	30%	1	Pintura y hormigón desgastado / Tubos deformados	Índice de daño
Señalización	20%	3	Señalización inexistente	1,90
Calzada	50%	2	Capa Asfáltica desgastada	Mantenimiento

5. EVALUACION GENERAL				
<u>ELEMENTO</u>	<u>% Importancia(I)</u>	<u>Gravedad (G)</u>	<u>Observaciones</u>	
INFRAESTRUCTURA	40%	3	Estado preocupante	Índice de daño
SUPERESTRUCTURA	50%	3	Vigas principal afección	2,79
EQUIPAMIENTO	10%	2	Calzada y aspecto estético mayor afección	Reparación

Gravedad de daño	
0	Ninguno
1	Leve
2	Moderado
3	Fuerte
4	Severo
5	Colapso Total

Índice de daño		
0	2	Mantenimiento
2	4	Reparación
4	5	Sustitución

6. ANEXO FOTOGRÁFICO

INFRAESTRUCTURA

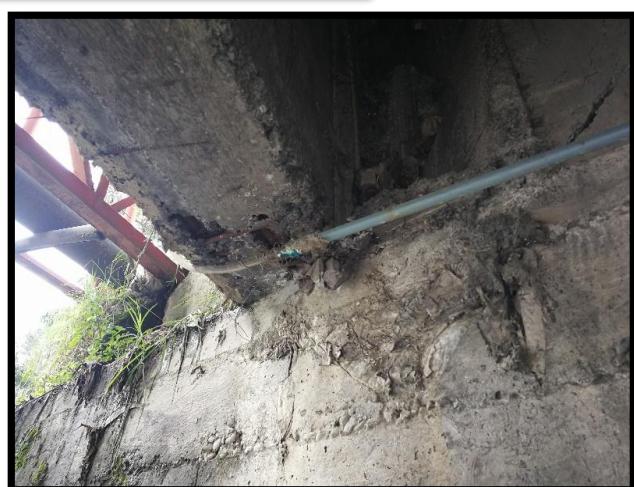
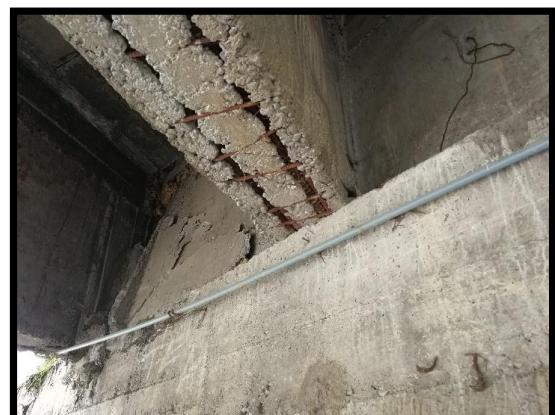
Alas



Estríbos



Apojos

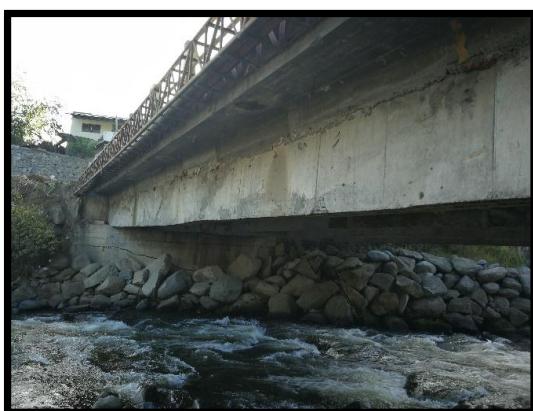


INFRAESTRUCTURA

Losa del tablero



Vigas del tablero



Diaphragmas



EQUIPAMIENTO

Barandas



Señalizacion



Calzada





ANEXO 3

PLANILLAJE DEL PUENTE OCHOA LEÓN

HORMIGON

Descripcion	Cantidad	Vol. m3	Volumen Total m3
Vigas laterales	2	12,23	24,46
Vigas centrales	2	13,50	27,00
Diaphragmas laterales	2	2,17	4,34
Diaphragmas centrales	2	1,93	3,86
Losa	1	38,50	38,50
Veredas	2	3,75	7,50
Pilas veredas	24	0,04	0,86
Viga de remate	2	4,07	8,13
Viga de apoyo estribo	2	1,95	3,89
Vol. Total		118,54	
Peso Total		272651,20	

ACERO VIGAS

Diametro mm	Longitud m	Cantidad	Descripcion	Area sec trans m2	Longitud total	Volumen total
10	26,00	32	estribos	0,00007854	832,00	0,0653
10	4,14	400	estribos	0,00007854	1656,00	0,1301
25	29,00	8	longitudinales	0,00049087	232,00	0,1139
25	19,25	8	longitudinales	0,00049087	154,00	0,0756
28	30,00	8	longitudinales	0,00061575	240,00	0,1478
32	10,00	8	longitudinales	0,00080425	80,00	0,0643
32	15,30	8	longitudinales	0,00080425	122,40	0,0984
32	19,30	8	longitudinales	0,00080425	154,40	0,1242
32	24,60	8	longitudinales	0,00080425	196,80	0,1583
32	30,00	8	longitudinales	0,00080425	240,00	0,1930
			Volumen total		1,1709	
			Peso total		9191,69	

ACERO DIAFRAGMAS

Diametro mm	Longitud m	Cantidad	Descripcion	Area sec trans m2	Longitud total	Volumen total
10	3,54	91	estribos	0,00007854	322,14	0,0253
12	7,16	24	longitudinales	0,00011310	171,84	0,0194
20	8,36	24	longitudinales	0,00031416	200,64	0,0630
			Volumen total		0,1078	
			Peso total		845,98	

ACERO LOSA Y VEREDAS

Diametro mm	Longitud m	Cantidad	Descripcion	Area sec trans m2	Longitud total	Volumen total
10	1,66	200	estribo	0,00007854	332,00	0,0261
10	1,24	400	longitudinales	0,00007854	496,00	0,0390
10	25,90	31	longitudinales	0,00007854	802,90	0,0631
10	25,90	37	longitudinales	0,00007854	958,30	0,0753
12	1,85	91	longitudinales	0,00011310	168,35	0,0190
12	2,35	74	estribo	0,00011310	173,90	0,0197
12	9,40	28	longitudinales	0,00011310	263,20	0,0298
12	1,46	200	longitudinales	0,00011310	292,00	0,0330
12	7,94	100	longitudinales	0,00011310	794,00	0,0898
12	1,49	200	longitudinales	0,00011310	298,00	0,0337
12	7,90	100	estribo	0,00011310	790,00	0,0893
12	1,20	300	longitudinales	0,00011310	360,00	0,0407
			Volumen total		0,5584	
			Peso total		4383,59	



ACERO PILAS VEREDAS

Diametro mm	Longitud m	Cantidad	Descripcion	Area sec trans m2	Longitud total	Volumen total
10	0,84	216	estribos	0,00007854	181,44	0,0143
16	1,50	96	longitudinales	0,00020106	144,00	0,0290
					Volumen total	0,0432
					Peso total	339,14

TUBOS DE ACERO BARANDALES

Diametro mm	Longitud m	Cantidad	Descripcion	Area sec trans m2	Longitud total	Volumen total
78	2,06	44	Tubos barandas	0,01097500	90,64	0,9948
					Volumen total	0,9948
					Peso total	1024,62

ACERO VIGA REMATE

Diametro mm	Longitud m	Cantidad	Descripcion	Area sec trans m2	Area total	Volumen total
10	1,42	62	estribos	0,00007854	88,04	0,01
18	9,50	10	longitudinales	0,00025447	95,00	0,02
12	3,15	37	longitudinales	0,00011310	116,55	0,01
					Volumen total	0,04
					Peso Total	347,52