UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Aplicación de la metodología del LCCA para la elección de sustitución de la
superestructura del Puente Fortaleza

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR(ES)

Hinostroza Huanay, Luis Reynaldo ([0000-0002-1237-7839](#))

Berrosپی Vicente, Rocio Belen ([0000-0002-2030-6547](#))

ASESOR

Carrera Cabrera, Elsa ([0000-0001-9546-9060](#))

Lima, 24 de julio del 2020

DEDICATORIA

A mis padres y hermana, por el apoyo incondicional brindado a lo largo de todos estos años.

Reynaldo Hinostroza Huanay

A Dios, a mis padres y hermanos que siempre han estado presentes brindándome su apoyo incondicional en todas mis metas propuestas.

Rocio Belen Berrospi Vicente

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento muy especial a nuestra asesora, Ing. Elsa Carrera Cabrera, por el soporte técnico y emocional en la realización de la presente tesis.

A nuestros amigos, que muy gratamente leyeron las muchas versiones de la presente tesis, y sumaron con su crítica constructiva.

RESUMEN

Actualmente, la elección de proyectos de puentes considera solo el costo de construcción inicial, no considera los costos ocurridos a lo largo del ciclo de vida, como el costo de mantenimiento, y no consideran la afectación que genera la construcción y el mantenimiento del puente en el usuario.

El puente Fortaleza, se encuentra intransitable desde el año 2017, por consecuencia del niño costero ocurrido en dicho año, que provocó que la cimentación del estribo derecho fallé por la erosión de la sección del río.

Por lo que la presente tesis tiene como fin desarrollar la metodología de evaluación de proyectos de puentes LCCA (Life cycle cost analysis). El LCCA es una metodología de evaluación económica de proyectos de puentes, que combina sólidos conocimientos técnicos de transporte con un sólido conocimiento de análisis económico, que incluye en su análisis todos los costos relevantes que ocurren durante el ciclo de vida de un proyecto de puente. Los tres costos considerados son: costo de construcción, costo de mantenimiento y costo de usuario.

Se cuantificó los costos y tiempos de construcción y mantenimiento de cada alternativa de sustitución. Y se cuantificó la afectación al usuario producto de los trabajos de construcción y mantenimiento sobre la vía del puente, lo que obligó a considerar un desvío de vehículos.

Finalmente, se analizaron los datos obtenidos, para escoger la alternativa de sustitución de la superestructura, se realizó la verificación de la infraestructura existente y se desarrolló el diseño de la superestructura escogida.

Palabras clave: Costo de construcción; Costo de mantenimiento; Costo de usuario; Puentes; Evaluación de proyectos.

Application of the LCCA methodology for the replacement of the superstructure of the Fortaleza Bridge

ABSTRACT

Nowadays, the choice of bridge projects considers only the initial construction cost, does not consider the costs incurred throughout the life cycle, such as the cost of maintenance, and does not consider the impact generated in the user by the construction and maintenance of the bridge.

The Fortaleza bridge has been closed since 2017, as a consequence of “Niño costero” phenomenon that occurred in that year, which caused the foundation of the right stirrup to fail due to the erosion of the river section.

Therefore, this thesis aims to develop the methodology for evaluating LCCA (Life cycle cost analysis) bridge projects. The LCCA is a methodology for the economic evaluation of bridge projects, which combines solid transport technical knowledge with a solid knowledge of economic analysis, which includes in its analysis all the relevant costs that occur during the life cycle of a bridge project. The three costs considered are: construction cost, maintenance cost and user cost.

The construction and maintenance costs and times of each replacement alternative were quantified. And the affectation to the user was quantified product of the construction and maintenance works on the bridge road, which forced to consider a desviation of vehicles.

Finally, the data obtained were analyzed, to choose the replace alternative of the superstructure of the Fortaleza bridge, the existing infrastructure was verified and the design of the chosen superstructure was developed.

Keywords: Construction cost; Maintenance cost; User cost; Bridges; Project evaluation.

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES	1
REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	1
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
HIPÓTESIS	2
OBJETIVO GENERAL	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	3
CAPITULO 1: MARCO TEÓRICO.....	5
1.1 PUENTES.....	5
1.1.1 Tipos de puentes	5
1.1.2 Cargas y factores de cargas	6
1.1.3 Pre dimensionamiento de puentes	9
1.1.4 Mantenimiento de puentes.....	9
1.2 LCCA (LIFE CYCLE COST ANALYSIS)	11
1.2.1 Componentes de la metodología LCCA.....	12
1.2.2 Herramienta económica.....	12
1.2.3 Metodología LCCA	12
1.2.4 Beneficios de la metodología LCCA.....	13
1.2.5 Dificultades de la metodología LCCA	14
1.2.6 Casos de aplicación de la metodología LCCA	14
CAPITULO 2: MATERIAL Y MÉTODO	19
2.1 MATERIAL	19
2.1.1 Población	19
2.1.2 Muestra	19
2.2 MÉTODO.....	19
2.2.1 Nivel de investigación	19
2.2.2 Diseño de investigación.....	19
2.2.3 Variables de estudio.....	20
2.2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	21

2.2.5	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	21
-------	--	----

CAPITULO 3: CARACTERÍSTICAS Y ESTADO ACTUAL DEL PUENTE FORTALEZA 22

3.1	CARACTERÍSTICAS Y ESTADO ACTUAL.....	22
-----	--------------------------------------	----

CAPITULO 4: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DEL LCCA 25

4.1	ELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SUSTITUCIÓN.....	25
4.1.1	Puente de concreto armado con vigas tipo T.....	25
4.1.2	Puente de concreto armado con vigas postensadas tipo V	27
4.1.3	Puente de concreto armado con vigas de acero doble T compuesta.....	28
4.2	COSTOS Y TIEMPOS DE CONSTRUCCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SUSTITUCIÓN	29
4.2.1	Costo y tiempo de construcción de la alternativa 01	30
4.2.2	Costo y tiempo de construcción de la alternativa 02	35
4.2.3	Costo y tiempo de construcción de la alternativa 03	40
4.3	COSTOS Y TIEMPOS DE MANTENIMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS DE SUSTITUCIÓN	46
4.3.1	Costo y tiempo de mantenimiento de la alternativa 01	46
4.3.2	Costo y tiempo de mantenimiento de la alternativa 02	50
4.3.3	Costo y tiempo de mantenimiento de la alternativa 03	54
4.4	COSTO DE USUARIO DE LAS ALTERNATIVAS DE SUSTITUCIÓN	58
4.4.1	Costo de usuario de la alternativa 01	61
4.4.2	Costo de usuario de la alternativa 02.....	67
4.4.3	Costo de usuario de la alternativa 03.....	74
4.5	ANÁLISIS DE RESULTADOS Y ELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE SUSTITUCIÓN.	80

CAPITULO 5: DISEÑO..... 85

5.1	DISEÑO DE SUPERESTRUCTURA.....	85
5.1.1	Diseño de tablero.....	85
5.1.2	Diseño de viga pre fabricada	97
5.2	VERIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA	114
5.2.1	Cargas	114

CAPITULO 6: CONCLUSIONES 118

CAPITULO 7: RECOMENDACIONES	121
CAPITULO 8: BIBLIOGRAFÍA	123
ANEXOS	125
ANEXO 01: ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE CONSTRUCCIÓN	125
ANEXO 02: ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE MANTENIMIENTO	131
ANEXO 03: CRONOGRAMA PUENTE YUNCULMAS	136
ANEXO 04: CRONOGRAMA PUENTE JITA	137
ANEXO 05: CRONOGRAMA PUENTE SAJUARHUA	139
ANEXO 06: PRESUPUESTO – PUENTE LLACTABAMBA	140
ANEXO 07: PRESUPUESTO – PUENTE MATADERO	141
ANEXO 08: DETALLES ESTRUCTURALES DE INFRA ESTRUCTURA EXISTENTE DEL PUENTE FORTALEZA	142

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Variables de Estudio.....	20
Tabla 2 Sección inicial del Puente Fortaleza.....	23
Tabla 3 Metrado - Puente JITA	30
Tabla 4 Ratio Acero/Concreto del Puente JITA	31
Tabla 5 Metrado de la Alternativa 01	31
Tabla 6 Costo Directo de la Alternativa 01	31
Tabla 7 Costo Indirecto de la Alternativa 01	33
Tabla 8 Presupuesto de Construcción de la Alternativa 01	34
Tabla 9 Metrado - Puente YUNCULMAS	35
Tabla 10 Ratios acero/concreto de vigas postensadas del puente YUNCULMAS	36
Tabla 11 Ratio acero/concreto de la losa del puente YUNCULMAS	36
Tabla 12 Metrado de la Alternativa 02	36
Tabla 13 Costo directo de la alternativa 02	37
Tabla 14 Costo Indirecto de la Alternativa 02.....	38
Tabla 15 Presupuesto de Construcción de la Alternativa 02	40
Tabla 16 Metrado - Puente YUNCULMAS	41
Tabla 17 Ratios acero/concreto de la losa del puente YUNCULMAS	41
Tabla 18 Metrado de la alternativa 03	42
Tabla 19 Costo directo de la alternativa 03	42
Tabla 20 Costo indirecto de la alternativa 03	44
Tabla 21 Presupuesto de construcción de la alternativa 03	45
Tabla 22 Costo por mantenimiento rutinario de la alternativa 01	47
Tabla 23 Costo por mantenimiento Periódico de la Alternativa 01	47
Tabla 24 Costo por Mantenimiento durante el ciclo de vida de la alternativa 01	48
Tabla 25 Costo por mantenimiento Rutinario de la alternativa 02.....	50
Tabla 26 Costo por mantenimiento Periódico de la Alternativa 02	51
Tabla 27 Costo por Mantenimiento durante el Ciclo de Vida de la alternativa 02	52
Tabla 28 Costo por mantenimiento Rutinario de la Alternativa 03.....	54
Tabla 29 Costo por mantenimiento Periódico de la Alternativa 03	55
Tabla 30 Costo por Mantenimiento durante el ciclo de vida de la Alternativa 03	56
Tabla 31 Consumo de combustible por tipo de vehículo (gal/km).....	59

Tabla 32 Consumo extra de Combustible por mes por tipo de vehículo por Tiempo de Construcción - Alternativa 01 (gal).....	61
Tabla 33 Consumo extra de Combustible por mes por tipo de Vehículo por Tiempo de construcción - Alternativa 01 (soles).....	62
Tabla 34 Costo de Usuario por consumo extra de Combustible por tiempo de Construcción - Alternativa 01	62
Tabla 35 Tiempo extra recorrido por mes por tipo de vehículo por tiempo de construcción – Alternativa 01 (horas).....	62
Tabla 36 Tiempo extra recorrido por mes por tipo de vehículo por tiempo de construcción – Alternativa 01 (soles).....	62
Tabla 37 Costo de usuario por tiempo extra recorrido por tiempo de construcción - Alternativa 01	63
Tabla 38 Costo de usuario total por tiempo de construcción - Alternativa 01	63
Tabla 39 Consumo extra de combustible por día por tipo de vehículo por tiempo de mantenimiento - Alternativa 01 (gal)	64
Tabla 40 Consumo extra de combustible por día por tipo de vehículo por tiempo de mantenimiento - Alternativa 01 (soles)	64
Tabla 41 Costo de usuario por consumo extra de combustible por tipo de mantenimiento – Alternativa 01 (soles).....	64
Tabla 42 Tiempo extra recorrido por día por tipo de vehículo por tiempo de mantenimiento – Alternativa 01 (horas).....	64
Tabla 43 Tiempo extra recorrido por día por tipo de vehículo por tiempo de mantenimiento – Alternativa 01 (soles).....	65
Tabla 44 Costo de usuario por tiempo extra recorrido por tipo de mantenimiento – Alternativa 01 (soles).....	65
Tabla 45 Costo de usuario total por tipo de Mantenimiento – Alternativa 01	65
Tabla 46 Costo de Usuario por año de servicio - Alternativa 01	65
Tabla 47 Consumo extra de combustible por mes por tipo de vehículo por tiempo de construcción - Alternativa 02 (gal).....	68
Tabla 48 Consumo extra de combustible por mes por tipo de vehículo por tiempo de construcción - Alternativa 02 (soles).....	68
Tabla 49 Costo de usuario por consumo extra de combustible por tiempo de construcción - Alternativa 02	68

Tabla 50 Tiempo extra recorrido por mes por tipo de vehículo por tiempo de construcción – Alternativa 02 (horas).....	68
Tabla 51 Tiempo extra recorrido por mes por tipo de vehículo por tiempo de construcción – Alternativa 02 (soles).....	69
Tabla 52 Costo de usuario por tiempo extra recorrido por tiempo de construcción - Alternativa 02	69
Tabla 53 Costo de usuario total por tiempo de construcción - Alternativa 02	69
Tabla 54 Consumo extra de combustible por día por tipo de vehículo por tiempo de mantenimiento - Alternativa 02 (gal)	70
Tabla 55 Consumo extra de combustible por día por tipo de vehículo por tiempo de mantenimiento - Alternativa 02 (soles)	70
Tabla 56 Costo de usuario por consumo extra de combustible por tipo de mantenimiento – Alternativa 02 (soles).....	71
Tabla 57 Tiempo extra recorrido por día por tipo de vehículo por tiempo de mantenimiento – Alternativa 02 (horas).....	71
Tabla 58 Tiempo extra recorrido por día por tipo de vehículo por tiempo de mantenimiento – Alternativa 02 (soles).....	71
Tabla 59 Costo de usuario por tiempo extra recorrido por tipo de mantenimiento – Alternativa 02 (soles).....	71
Tabla 60 Costo de usuario total por tipo de mantenimiento – Alternativa 02.....	72
Tabla 61 Costo de usuario por año de servicio - Alternativa 02	72
Tabla 62 Consumo extra de combustible por mes por tipo de vehículo por tiempo de construcción - Alternativa 03 (gal).....	74
Tabla 63 Consumo extra de combustible por mes por tipo de vehículo por tiempo de construcción - Alternativa 03 (soles).....	74
Tabla 64 Costo de usuario por consumo extra de combustible por tiempo de construcción - Alternativa 03	75
Tabla 65 Tiempo extra recorrido por mes por tipo de vehículo por tiempo de construcción – Alternativa 03 (horas).....	75
Tabla 66 Tiempo extra recorrido por mes por tipo de vehículo por tiempo de construcción – Alternativa 03 (soles).....	75
Tabla 67 Costo de usuario por tiempo extra recorrido por tiempo de construcción - Alternativa 03	75

Tabla 68 Costo de usuario total por tiempo de construcción - Alternativa 03	76
Tabla 69 Consumo extra de combustible por día por tipo de vehículo por tiempo de mantenimiento - Alternativa 03 (gal)	76
Tabla 70 Consumo extra de combustible por día por tipo de vehículo por tiempo de mantenimiento - Alternativa 03 (soles)	77
Tabla 71 Costo de usuario por consumo extra de combustible por tipo de mantenimiento – Alternativa 03 (soles).....	77
Tabla 72 Tiempo extra recorrido por día por tipo de vehículo por tiempo de mantenimiento – Alternativa 03 (horas).....	77
Tabla 73 Tiempo extra recorrido por día por tipo de vehículo por tiempo de mantenimiento – Alternativa 03 (soles).....	77
Tabla 74 Costo de usuario por tiempo extra recorrido por tipo de mantenimiento – Alternativa 03 (soles).....	78
Tabla 75 Costo de usuario total por tipo de mantenimiento – Alternativa 03.....	78
Tabla 76 Costo de usuario por año de servicio - Alternativa 03	78
Tabla 77 Resumen de momento negativos.....	90
Tabla 78 Resumen de momentos positivos	96
Tabla 79 Propiedades de la sección compuesta.....	98
Tabla 80 Resumen de momentos por tipo de carga.....	103
Tabla 81 Resumen de esfuerzos iniciales	104
Tabla 82 Corroboración de esfuerzos	112
Tabla 83 Momento resistente del estribo.....	114
Tabla 84 Cargas aplicadas al estribo	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Combinaciones de cargas y factores de Carga.....	8
Figura 2. Factores de Carga para Cargas Permanentes	8
Figura 3. Peraltes Mínimos para evitar Deflexiones	9
Figura 4. Sección del puente Vårbyvägen ubicado en Suecia construido en 1969.	14
Figura 5. Especificaciones de las estrategias de solución.	15
Figura 6. Valor actual neto y costo anual equivalente excluyendo el costo de usuario de las alternativas de solución.	15
Figura 7. Costo de usuario de las estrategias de solución.	16
Figura 8. Valor actual neto y costo anual equivalente de las alternativas de solución incluyendo el costo de usuario.....	16
Figura 9. Sección del puente Tabyan ubicado en Suecia.	17
Figura 10. Especificaciones de las estrategias de solución.	17
Figura 11. Valor actual neto y costo anual equivalente de las estrategias de solución excluyendo el costo de usuario.....	17
Figura 12. Costo de usuario de las estrategias de solución	18
Figura 13. Valor actual neto y costo anual equivalente de las estrategias de solución incluyendo el costo de usuario.....	18
Figura 14. Zonas afectadas en Red Vial N° 04 por el “Niño Costero” del año 2017.....	22
Figura 15. Vista lateral del Puente Fortaleza.....	23
Figura 16. Vista lateral del Puente Fortaleza.....	23
Figura 17. Zona de estructura dañada.....	24
Figura 18. Sección transversal de viga tipo T	26
Figura 19. Sección transversal de puente de la alternativa 01	27
Figura 20. Sección transversal de viga de la alternativa 02.....	27
Figura 21. Sección transversal de viga prefabricada tipo “V”	28
Figura 22. Sección transversal de puente de la alternativa 02.....	28
Figura 23. Sección transversal de viga de acero tipo doble T compuesta	29
Figura 24. Sección transversal de puente de la alternativa 03.....	29
Figura 25. Cronograma de construcción - Puente JITA	32
Figura 26. Cronograma de construcción de la alternativa 01	32
Figura 27. Cronograma de construcción - Puente YUNCULMAS	38
Figura 28. Cronograma de construcción de la alternativa 02	38

Figura 29. Cronograma de construcción - Puente SAJUARHUA.....	43
Figura 30. Cronograma de construcción de la alternativa 03	43
Figura 31. Cronograma de ejecución por mantenimiento rutinario de la alternativa 01	47
Figura 32. Cronograma de ejecución por mantenimiento periódico de la alternativa 01	48
Figura 33. Cronograma de ejecución por mantenimiento rutinario de la alternativa 02	51
Figura 34. Cronograma de ejecución por mantenimiento periódico de la alternativa 02....	52
Figura 35. Cronograma de ejecución por mantenimiento rutinario de la alternativa 03	54
Figura 36. Cronograma de ejecución por mantenimiento periódico de la alternativa 03....	56
Figura 37. Propuesta de desvío de ruta.....	58
Figura 38. Ruta regular	59
Figura 39. Ingreso promedio mensual por departamento (soles)	60
Figura 40. Variación del tráfico por tipo de vehículos (miles de vehículos), 2017 - 2018 .	60
Figura 41. Costo de construcción de las alternativas de sustitución	81
Figura 42. Costo de mantenimiento de las alternativas de sustitución.....	81
Figura 43. Costo de usuario de las alternativas de sustitución	82
Figura 44. Análisis de sensibilidad 01: Comparativo de costos a distintas tasas de descuento (C/ Costo de construcción)	83
Figura 45. Análisis de sensibilidad 2: Comparativo de costos a distintas tasas de descuento (S/ Costo de construcción).....	84
Figura 46. Carga por peso propio de losa.....	86
Figura 47. Carga por peso de barreras	86
Figura 48. Diagrama de momentos por peso muerto (Dc)	86
Figura 49. Momento por Dc a 0.05m de punto de apoyo B	87
Figura 50. Carga por superficie de rodadura	87
Figura 51. Diagrama de momento por peso de rodadura (Dw)	88
Figura 52. Momento por Dw a 0.05m del apoyo B	88
Figura 53. Línea de influencia.....	88
Figura 54. Cargas por carga viva.....	88
Figura 55. Diagrama de momento por carga viva D II+L	89
Figura 56. Momento por D II+L a 0.05m del apoyo B	89
Figura 57. Carga por peso propio de losa.	93
Figura 58. Carga por peso de barreras	93
Figura 59. Diagrama de momento por peso muerto (Dc).....	94

Figura 60. Momento por Dc a 1.04m de punto de apoyo A	94
Figura 61. Carga por superficie de rodadura	94
Figura 62. Diagrama de momentos por peso de rodadura (Dw)	95
Figura 63. Momento por Dw a 1.04m del apoyo A.....	95
Figura 64. Línea de influencia.....	95
Figura 65. Cargas por carga viva.....	95
Figura 66. Momento por D II+L a 1.04m del apoyo B	95
Figura 67. Sección transversal de la viga postensada de la alternativa 02	98
Figura 68. Sección transversal de diafragma.....	100
Figura 69. Cargas por diafragma	101
Figura 70. Cargas por camión de diseño	101
Figura 71. Cargas por tandem.....	102
Figura 72. Carga distribuida	102
Figura 73. Esquema de recubrimientos en strand.....	111

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Los puentes forman parte importante de la infraestructura de una nación, estos en conjunto forman parte de la red vial nacional por la que transitan todos los peruanos y por la que transitan importantes operaciones económicas, por lo que su correcto funcionamiento es de suma importancia para el crecimiento y desarrollo del país (Rivera, 2015). Hoy en día, la mayoría de los puentes no recibe un mantenimiento adecuado, por lo que suelen fallar por socavación de sus cimientos, por desprendimiento de concreto, por oxidación de la armadura, entre otros casos. En caso de falla de un puente, se ven afectados los usuarios y las operaciones económicas que transitan a través de este.

Actualmente, la elección de un tipo de puente toma en consideración solo los costos iniciales de construcción, que son los costos por diseño, ejecución y puesta en marcha; esto se confirma en el difícil acceso a información sobre planes de mantenimiento rutinario y preventivo en puentes. Al no tener un plan de mantenimiento adecuado para los puentes de la red vial, estos trabajos no son ejecutados, lo que pone en riesgo el cumplimiento de la vida útil del puente. Por otro lado, los usuarios afectados por los trabajos realizados en los puentes no son incluidos en el análisis, se debe buscar la elección de un proyecto que genere la menor afectación de las personas que usan la red vial (U.S. Department of transportation, 2002).

Como solución a lo mencionado anteriormente la Federal Highway Administration (FHWA) propone el uso de la metodología del Lyfe Cycle Cost Analysis (LCCA), que es una herramienta de análisis económico ingenieril, que puede ser aplicada en cualquier etapa de un proyecto. Esta metodología toma en cuenta no solo los costos de ejecución iniciales, sino también los costos por mantenimiento en todo el ciclo de vida del proyecto y el efecto de estos trabajos en los usuarios (U.S. Department of transportation, 2002).

Realidad problemática

El Puente Fortaleza fue inicialmente diseñado con dos estribos de apoyo. Debido al niño costero del año 1998, la crecida del río y la falta de mantenimiento, el estribo izquierdo falló por socavación, por lo que fue sustituido por un sistema de apoyo con pilotes; el estribo derecho se mantuvo. En el año 2017, ocurrió nuevamente el niño costero, aumentando la erosión de la sección del río, por lo que el estribo derecho falló. Puesto que, el puente Fortaleza se encuentra en la panamericana Norte, altura del km 214, carretera que es usada por muchos usuarios diariamente para distintas actividades, su restitución debe estar entre

las prioridades del estado. Como consecuencia de su colapso y su inevitable sustitución, será usado como eje de aplicación de la investigación. La investigación se va a centrar en aplicar, paso por paso, la metodología del LCCA en la fase de concepción del proyecto, lo que va a permitir ver las bondades de su uso desde una fase temprana.

Frecuentemente, cuando se toma una decisión sobre un proyecto de puentes, solo se consideran los costos iniciales de ejecución de la alternativa; y pocas veces se realiza un plan de mantenimiento, que en la realidad no se llega a ejecutar. Al no ejecutar los trabajos de mantenimiento de los puentes, estos reducen su vida útil, lo que ha ocurrido con el Puente Fortaleza. Otro factor que no es considerado dentro del análisis es el impacto de los trabajos del proyecto en el usuario.

Las variables mencionadas anteriormente van a poder ser agrupadas y analizadas en conjunto con la metodología LCCA. Por un lado, se van a cuantificar los costos por la construcción y mantenimiento de las alternativas para el proyecto de puente, que son los llamados costos de agencia o estado. Por otro lado, se van a cuantificar el impacto que tienen los trabajos de ejecución y mantenimiento en los usuarios del puente, que son los llamados costos de usuario. La información obtenida mediante la aplicación de la metodología va a servir como facilitador en la toma de decisiones.

En conclusión, en la realidad nacional cuando se ejecuta un proyecto de puentes solo se toma en cuenta los costos de ejecución de la alternativa de sustitución, y no se toman en cuenta los costos por mantenimiento ni el impacto que generan los trabajos en el usuario. Al aplicar la metodología del LCCA se van a tomar en cuenta los costos ocurridas durante todo el ciclo de vida: costos iniciales de construcción, costos de mantenimiento y costos de usuario.

Formulación del Problema

¿Qué metodología de evaluación de proyectos de puentes permite escoger una alternativa de sustitución para la superestructura del Puente Fortaleza que genere una menor afectación económica tanto al estado como al usuario?

Hipótesis

La metodología de evaluación de proyectos de puentes LCCA (Life cycle cost analysis) incluye en el análisis los costos de construcción, mantenimiento y usuario, lo que permite escoger una alternativa de sustitución para la superestructura del Puente Fortaleza que genera la menor afectación económica tanto al estado como al usuario del puente.

Objetivo General

Aplicar la metodología de evaluación de proyectos de puentes LCCA (Life cycle cost analysis) para elegir la alternativa de sustitución de la superestructura del puente Fortaleza.

Objetivos específicos

- a) Proponer las alternativas de sustitución para la superestructura del puente Fortaleza.
- b) Cuantificar los costos de construcción de cada alternativa de sustitución.
- c) Cuantificar los costos de mantenimiento de cada alternativa de sustitución.
- d) Cuantificar los costos de usuario de cada alternativa de sustitución.
- e) Analizar los datos obtenidos y elegir la alternativa de sustitución.
- f) Diseñar la alternativa de sustitución escogida para la superestructura del Puente Fortaleza
- g) Verificar la infraestructura del puente existente.

Descripción del contenido

En la presente tesis, se va a desarrollar la metodología LCCA para la elección de una alternativa de sustitución de la superestructura del puente Fortaleza. De esta manera, se va a apreciar las bondades de usar la metodología desde una fase temprana del proyecto.

Primero, se va a detallar la situación actual del puente Fortaleza que, como ya se ha mencionado, se encuentra restringido producto de la falta de mantenimiento y del niño costero del año 2017.

Luego, se va a desarrollar un marco teórico que va a contener información relevante para el entendimiento del presente trabajo de investigación.

Después, se va a proceder a establecer las alternativas de sustitución para la superestructura del puente Fortaleza. Donde se va a detallar las características geométricas de cada una.

A continuación, se van a cuantificar los costos de construcción, los costos de mantenimiento y los costos de usuario de cada una de las alternativas de sustitución. Teniendo en cuenta su proceso constructivo, el tipo de material, los tiempos de interrupción de la vía, entre otros.

Posterior a ello, se analizan los resultados obtenidos en los pasos previos. Producto del análisis se elige la alternativa de sustitución.

Finalmente, se realiza la verificación de la infraestructura existente del proyecto y el diseño de la superestructura escogida en el paso anterior.

Al finalizar la tesis, se escoge la alternativa de sustitución para el proyecto con menos impacto económico tanto al estado como al usuario. Al finalizar el proceso, se pudo identificar las bondades de aplicar la metodología en una fase temprana del proyecto.

CAPITULO 1: MARCO TEÓRICO

En el Capítulo 1 se van a definir los conocimientos relevantes para el entendimiento del presente trabajo de investigación. Se va a definir lo que es un puente, sus elementos principales, tipos, cargas de diseño, criterios de pre dimensionamiento y las partidas de mantenimiento. Además, se va a definir la metodología LCCA (Life cycle cost analysis), su procedimiento, beneficios y dificultades.

1.1 Puentes

Un puente es una estructura o una obra de arte que se realiza para superar un obstáculo natural o artificial cuya luz libre es igual o mayor a 6 metros (MTC, 2016).

Los puentes constan de dos partes fundamentales:

- **Superestructura:** Tablero que soporta de manera directa las cargas permanentes del puente y las cargas que transitan a través de él. Está conformada por vigas, cables, armaduras, arcos, que transmiten estas cargas a los apoyos.
- **Infraestructura:** Es la parte que soporta de manera directa la superestructura y transmite los esfuerzos al terreno. Pueden estar conformadas por pilotes o estribos comúnmente.

1.1.1 Tipos de puentes

Los puentes pueden clasificarse de distinta manera. Se tienen puentes según: tipo de transporte a soportar, tipo de material, tipo de sistema estructural, tiempo de vida, entre otros (MTC, 2016).

Puentes según naturaleza de vía soportada:

- Puentes para carretera
- Puentes para trenes
- Puentes para acueductos
- Puentes para peatones

Puentes según tipo de material:

- Concreto armado
- Concreto pretensado
- Acero

Puentes según sistema estructural principal:

- Puentes tipo-viga
- Puentes tipo arco
- Puentes suspendidos

Puentes según tiempo de vida:

- Puentes definitivos
- Puentes temporales

1.1.2 Cargas y factores de cargas

Este punto va a explicar los requisitos mínimos de cargas y fuerzas, sus límites de aplicación, factores de carga y combinaciones de carga usadas para diseñar puentes nuevos. Los requisitos de carga también se pueden aplicar a la evaluación estructural de puentes existentes (MTC, 2016).

1.1.2.1 Tipos de cargas

1. Cargas permanentes

Aquellas que actúan durante toda la vida útil de la estructura. Corresponde al peso propio de la estructura y las cargas muertas adicionales tales como las debidas al peso de la superficie de rodadura o balasto. También se consideran los empujes de tierra, sobrecarga de tierra, entre otras.

- Carga muerta
- Carga por empuje de suelo

2. Cargas variables

Son aquellas que tienen variaciones frecuentes y significativas. Estas cargas incluyen el peso de las personas y los vehículos, así como los correspondientes efectos dinámicos. También se toman en cuenta en este grupo los pesos provocados por la construcción del puente, empujes y sub presiones del agua y las acciones del viento.

- Carga durante construcción
- Carga viva de vehículos

- Carga de fatiga
- Carga dinámica
- Fuerza centrífuga
- Fuerza de frenado
- Carga sobre vereda, baranda y sardinel
- Carga en puente peatonal
- Empuje de agua
- Solicitaciones por deformaciones superpuestas
- Carga de viento
- Efecto de sismo

3. Cargas excepcionales

Son aquellas que tienen muy baja probabilidad de ocurrencia como las explosiones, incendios o colisiones.

- Explosiones
- Colisiones
- Incendios

1.1.2.2 Combinaciones de carga y factores de carga

Los componentes y las conexiones de un puente deben de satisfacer la resistencia requerida para las combinaciones aplicables de los efectos de la fuerza extrema factorada como se explica en los estados límites expuestos (MTC, 2016).

En la Figura 1 se observan las combinaciones de carga y factores de carga para diferentes estados límite, de acuerdo a lo indicado por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

Combinación de Cargas Estado Limite	DC ES DD EL DW PS EH CR EV SH	LL IM CE BR PL LS	WA	WS	WL	FR	TU	TG	SE	EQ	BL	IC	CT	CV
RESISTENCIA I A menos que se especifique lo contrario	1.0	1.75	1.00			1.00	0.50/1.20	1.00	1.00					
RESISTENCIA II	1.0	1.35	1.00			1.00	0.50/1.20	1.00	1.00					
RESISTENCIA III	1.0	-	1.00	1.40		1.00	0.50/1.20	1.00	1.00					
RESISTENCIA IV	1.0	-	1.00	-	-	1.00	0.50/1.20							
RESISTENCIA V	1.0	1.35	1.00	0.40	1.00	1.00	0.50/1.20	1.00	1.00					
EVENTO EXTREMO I	1.0	1.00	1.00			1.00				1.00				
EVENTO EXTREMO II	1.0	0.50	1.00			1.00					1.00	1.00	1.00	1.00
SERVICIO I	1.00	1.00	1.00	0.30	1.00	1.00	1.00/1.20	1.00	1.00					
SERVICIO II	1.00	1.30	1.00			1.00	1.00/1.20							
SERVICIO III	1.00	0.80	1.00			1.00	1.00/1.20	1.00	1.00					
SERVICIO IV	1.00		1.00	0.70		1.00	1.00/1.20		1.00					
FATIGA I Solamente LL, IM y CE		1.50												
FATIGA I II- Solamente LL, IM y CE		0.75												

Nota: Usar solamente uno de los indicados en estas columnas en cada combinación

Figura 1. Combinaciones de cargas y factores de Carga

Adaptado de “AASHTO LRFD Bridge design specifications”, por AASHTO, 2017

Tipo de Carga, Tipo de fundaciones, y Métodos usados para fuerza de arrastre hacia abajo (Downdrag)	Factor de Carga	
	Maximo	Minimo
DC: Componentes y auxiliares	1.25	0.90
DC: Resistencia IV Solamente	1.50	0.90
DD: Downdrag Pilotes, Método de Tomlinson	1.40	0.25
Pilotes, Método	1.05	0.30
Pilotes Perforados, (Drilled Shaft) Metodo de O'Neill and Reese (1999)	1.25	0.35
DW: Superficie de rodadura y accesorios	1.50	0.65
EH: Presión Horizontal de la tierra		
• Activa	1.50	0.90
• En reposo	1.35	0.90
• AEP Para paredes ancladas	1.35	N/A
EL: Esfuerzos residuales acumulados resultantes del proceso constructivo, (Locked- in construction Stresses)	1.00	1.00
EV: Presion vertical de la tierra		
• Estabilidad global	1.00	N/A
• Muros y estribos de retención	1.35	1.00
• Estructura rígida enterrada	1.30	0.90
• Pórticos rígidos	1.35	0.90
• Estructuras flexible enterradas excepto alcantarillas cajón metálicas	1.95	0.90
• Alcantarillas cajón metálicas flexibles y alcantarillas de planccas estructurales con corrugaciones.	1.50	0.90
ES: Carga superficial(Sobrecarga) en el terreno	1.50	0.75

Figura 2. Factores de Carga para Cargas Permanentes

Adaptado de “AASHTO LRFD Bridge design specifications”, por AASHTO, 2017

1.1.3 Pre dimensionamiento de puentes

Los elementos estructurales principales de la superestructura de un puente requieren de un peralte mínimo establecido por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

Este peralte mínimo varía de acuerdo con el tipo de material, a las cantidades de apoyo del elemento estructural y el tipo de viga que se vaya a desarrollar.

En el caso de la presente investigación, las secciones de viga a utilizar son: Vigas T, en el caso de concreto armado; vigas tipo V prefabricadas, en el caso de concreto postensado; y vigas doble T compuesta, en el caso del acero.

Adicional a ello, se indica el peralte mínimo a considerar en losas y vigas para evitar deflexiones en la Figura 3:

Superestructura		Profundidad mínima (incluyendo el tablero) Si se utilizan elementos de profundidad variable, estos valores se pueden ajustar para considerar los cambios de rigidez relativa de las secciones de momento positivo y negativo.	
Material	Tipo	Tramos simples	Tramos continuos
Hormigón Armado	Losas con armadura principal paralela al tráfico	$\frac{1,2 (S+3)}{30}$	$\frac{(S+3)}{30} \geq 0.165m$
	Vigas T	$0,070 L$	$0,065 L$
	Vigas cajón	$0,060 L$	$0,055 L$
	Vigas de estructuras peatonales	$0,035 L$	$0,033 L$
Hormigón Pretensado	Losas	$0,030 L \geq 0.165m$	$0,027 L \geq 0.165m$
	Vigas cajón coladas in situ	$0,045 L$	$0,040 L$
	Vigas doble T prefabricadas	$0,045 L$	$0,040 L$
	Vigas de estructuras peatonales	$0,033 L$	$0,030 L$
	Vigas cajón adyacentes	$0,030 L$	$0,025 L$
Acero	Profundidad total de una viga doble T compuesta	$0,040 L$	$0,032 L$
	Profundidad de la porción de sección doble T de una viga doble T compuesta	$0,033 L$	$0,027 L$
	Cerchas	$0,100 L$	$0,100 L$

Figura 3. Peraltes Mínimos para evitar Deflexiones

Adaptado de “AASHTO LRFD Bridge design specifications”, por AASHTO, 2017

1.1.4 Mantenimiento de puentes

Los puentes son estructuras que requieren un cuidado especial, cada uno de sus partes requiere de trabajos para preservar su correcto funcionamiento estructural y su vida útil.

El Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), recomienda realizar mantenimiento rutinarios y periódicos:

- Mantenimiento rutinario: Este mantenimiento se ejecuta anualmente, tiene un carácter preventivo y se debe ejecutar de manera constante. Evita el desgaste prematuro de la estructura del puente y preserva la limpieza del entorno.
- Mantenimiento periódico: Este mantenimiento se ejecuta en un rango de 2 a 5 años, según el tipo de puente. Tiene como finalidad recuperar las condiciones físicas iniciales de la estructura del puente.

De acuerdo a las recomendaciones de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles; se van a considerar las siguientes partidas a ejecutar para el mantenimiento rutinario y periódico:

1. Mantenimiento Rutinario

- Limpieza de cauce, esta partida consiste en retirar los materiales provenientes de sedimento, arrastre o colmatación del cauce. Su metrado va a ser calculado en función a los m² a limpiar.
- Limpieza de puente, esta partida consiste en limpiar el tablero del puente, para que esté libre de desperdicios, vegetación, animales, entre otros. Su metrado va a ser definido en función al área del tablero del puente. Su unidad de medición es m².
- Reparación superficial de estructuras de concreto armado, esta partida consiste en la reparación de elementos del puente por deterioro superficial como: fisuras, grietas, desintegración, entre otros. Su metrado va a ser calculado en función a un porcentaje de deterioro por tipo de puente. Su unidad de medición es ml.

2. Mantenimiento periódico

- Limpieza de superficies de concreto armado, esta partida consiste en limpiar la superficie de los elementos de concreto, con agua a presión, para facilitar su inspección. Su unidad de medición es m².
- Limpieza de superficies de acero, esta partida consiste en limpiar la superficie de elemento de acero, con agua a presión, para facilitar su inspección. Su unidad de medición es m².
- Pintura en elementos de concreto armado, esta partida consiste en la aplicación de una pintura de protección en las estructuras de concreto. En el caso de presente investigación, se ha establecido aplicar una pintura látex anti bacterial. Su unidad de medición es m².

- Pintura en elementos de acero, esta partida consiste en la aplicación de pintura a las estructuras metálicas, con la finalidad de dar protección ante agentes externos. En el caso de la presente investigación, se va a aplicar una capa de pintura látex epóxica y una capa de pintura látex poliuretano. Su unidad de medición es m².
- Reparación de estructuras de concreto armado, esta partida consiste en la reparación de daños en las estructuras de concreto armado que presente corrosión. Su metrado va a ser calculado en función a un porcentaje de deterioro por tipo de puente. Su unidad de medición es ml.

1.2 LCCA (Life cycle cost analysis)

El life cycle cost analysis, es una metodología de evaluación económica de proyectos, que combina conocimientos técnicos de transporte con un sólido conocimiento de análisis económico. Inicialmente usado en proyectos de pavimentos, su uso se ha extrapolado al análisis de proyectos de puentes (U.S. Department of transportation, 2002).

La metodología es aplicable a proyectos que han decidido ejecutarse, pero se tienen varias alternativas que cumplen con dar el mismo nivel de servicio requerido por el proyecto. A diferencia del BCA (Benefit Cost Analysis), que analiza proyectos que aún no han decidido ejecutarse y que otorgan distinto nivel de servicio.

La metodología LCCA incluye en el análisis todos los costos relevantes ocurridos durante el ciclo de vida de un proyecto. Estos costos se dividen en dos grupos: Costo de agencia y costos de usuario. Los costos de agencia son los costos por construcción y los costos por mantenimiento del activo. Los costos de usuario son generados producto de los trabajos ejecutados sobre la vía del puente.

Los costos de agencia y usuario forman el flujo de costo del ciclo de vida del proyecto. Al tener costos a futuro como el costo de mantenimiento o usuario, que se dan a lo largo del ciclo de vida, estos deben ser llevados al presente mediante un descuento que permita su comparación.

La metodología busca incluir factores y variables a tomar en cuenta por los encargados de la toma de decisiones, por lo que la opción más rentable, puede no ser la que se ejecute. Se puede incluir en el análisis riesgos, factores políticos o factores ambientales.

1.2.1 Componentes de la metodología LCCA

Se tienen dos componentes importantes en la metodología LCCA:

Costo de agencia: Son los costos en los que incurre la agencia por la construcción, mantenimiento, preservación o demolición del puente.

Costos de usuario: Son los costos en los que incurre el usuario, producto de la ejecución de las actividades de la agencia, que afectan su normal tránsito por la vía del puente. Esto puede ser cuantificado en función a un mayor tiempo de viaje, mayor costo de operación del vehículo o mayor riesgo de accidente.

1.2.2 Herramienta económica

Al considerar todos los costos en los que incurre un proyecto de puente, se van a calcular costos presentes y futuros. Para poder realizar una comparación de ellos en tiempo presente se utiliza la herramienta económica del Valor actual neto (VAN):

Ecuación 1-1

$$VAN = \sum_n^L \frac{F}{(1+i)^n}$$

VAN: Costo del ciclo de vida expresado en Valor presente

n: Año considerado

F: Suma de flujo en el año n

i: Tasa de descuento

L: Años de servicio

1.2.3 Metodología LCCA

Se recomienda para llevar una correcta aplicación de la metodología los siguientes pasos a seguir:

1. Elección de alternativas. - Siguiendo las recomendaciones técnicas de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), se eligen alternativas de diseño que sean viables en función del nivel de servicio del proyecto a analizar.

2. Determinar tiempo de actividad. - En el caso de la presente investigación, cada alternativa tendrá tiempo por construcción, tiempo por mantenimiento y producto de los dos primeros, se tendrá un tiempo de afectación al usuario.
3. Estimar costos. - Para cada alternativa escogida se tendrá lo siguiente:
 - Costos de construcción. - Costo directo: Materiales, equipos y mano de obra y Costo indirecto: en función al cronograma de actividades de la alternativa.
 - Costos de Mantenimiento: Costo en función a las partidas de mantenimiento recomendadas por el manual de carreteras: mantenimiento o conservación vial, dado por el MTC.
 - Costos de usuario: Producto de los trabajos de construcción iniciales y los trabajos de mantenimiento a lo largo de todo el ciclo de vida, se tendrá un tiempo de afectación al usuario. Que se va a cuantificar en función al consumo extra de combustible y a la hora productiva perdida.
4. Calcular costos totales de cada alternativa: Producto del paso anterior se obtiene el flujo total de gastos de cada alternativa en todo su ciclo de vida. Para poder compararlos, los costos de cada alternativa se traen a valor presente.
5. Analizar resultados: En función al paso anterior, se puede comparar el costo total de cada alternativa de diseño.

1.2.4 Beneficios de la metodología LCCA

Aplicar la metodología del LCCA tiene distintos beneficios al incluir en su análisis todas las variables ocurridas durante el ciclo de vida (U.S. Department of transportation, 2002):

- La metodología considera costos iniciales y costos futuros. Normalmente los análisis económicos incluyen solo los costos iniciales por construcción. La metodología incluye los costos a futuro, que serían los costos de mantenimiento y los costos de usuario.
- Incluye al usuario dentro de sus variables de análisis. El costo de usuario surge producto de la ejecución de actividades por la agencia que afecta su libre tránsito por la vía del puente. Esta afectación puede ser cuantificada en función a un mayor tiempo de viaje, a un mayor costo de operación de vehículo o un mayor riesgo de accidente. El costo de usuario influye en la percepción que se tiene sobre el desarrollo de trabajos por parte de la agencia.

- La metodología puede ser aplicada en cualquier etapa del proyecto. Por ejemplo, cuando se realizará un trabajo de preservación, puede analizar las estrategias escogidas y determinar la opción más adecuada.
- La metodología es una facilitadora de decisiones. La agencia va a considerar otros factores, como la afectación al usuario. Además, sirve para explicar y justificar la elección de una alternativa de proyecto. Por ejemplo, se puede escoger un proyecto que cause un mayor costo inicial, pero a futuro genere un menor costo de usuario.

1.2.5 Dificultades de la metodología LCCA

La metodología presenta algunas dificultades para su aplicación.

- Acceso a información de la agencia. La metodología requiere mucha información que debe poseer la agencia, como expedientes de construcción, expedientes de mantenimiento rutinario o periódico, modelos de deterioro, flujo vehicular, entre otros. El difícil acceso o la falta de información puede dificultar la aplicación de la metodología.
- El costo de usuario. Calcular el costo de usuario puede resultar un desafío. Existe dificultades en valorar el tiempo de usuario perdido por los trabajos de la agencia. El valor del tiempo del usuario no tiene un costo conocido, por lo que hay muchas maneras de obtenerlo. Estos costos no cargan al costo de la agencia. Pero conforme va creciendo el flujo vehicular, este se vuelve más necesario.

1.2.6 Casos de aplicación de la metodología LCCA

1.2.6.1 Varbyvägen Bridge

Se va a presentar la aplicación de la metodología LCCA en el puente Varbyvägen en Suecia. Este puente, Figura 4, tiene un largo de 102m y un ancho de 21m. Consta de 4 carriles y tiene un tráfico diario de 9100 vehículos con una velocidad de diseño de 90 km/h.

Figura 4. Sección del puente Vårbyvägen ubicado en Suecia construido en 1969.

Adaptado de “Life-Cycle Costing Integration with Bridge Management Systems”, por Safi, Sundquist & Karoumi, 2014

La superficie del tablero del puente está en malas condiciones, por lo que su vida residual es de 3 años. El tablero del puente, que es el elemento estructural dominante, tiene una expectativa de vida útil de al menos 50 años, con un mantenimiento normal. En la Figura 5, se plantean dos estrategias: reparación inmediata de la superficie de la cubierta del puente o la demolición de la superficie de cubierta existente y colocación de una nueva. Ambas estrategias se presentan en la figura.

Parametro	Estrategia A	Estrategia B
Descripción de estrategia	Inmediata reparación y luego renovación	Utilizar vida residual y luego renovar
Vida residual del elemento estructural dominante (años)	50	
Vida residual sin tomar acción (años)	3	
Tasa de descuento (%)	4	
Vida residual luego de reparación (años)	10	35
Costo inicial (SEK/m2)	1250	2900
Tiempo de instalación requerido (hr/m2)	0.75	2

Figura 5. Especificaciones de las estrategias de solución.

Adaptado de “Life-Cycle Costing Integration with Bridge Management Systems”, por Safi, Sundquist & Karoumi, 2014

- Análisis excluyendo el costo de usuario

El tiempo de vida útil de la estrategia A es 45 años, y 38 años para la estrategia B. El valor actual neto y el costo equivalente anual de cada alternativa se presenta en la Figura 6.

Resultados	Estrategia A	Estrategia B
Valor actual neto (SEK/m2)	3209	2578
Costo anual equivalente (SEK/m2)	155	133

Figura 6. Valor actual neto y costo anual equivalente excluyendo el costo de usuario de las alternativas de solución.

Adaptado de “Life-Cycle Costing Integration with Bridge Management Systems”, por Safi, Sundquist & Karoumi, 2014

- Análisis incluyendo el costo de usuario

Cada estrategia propuesta tiene su tiempo y costo de afectación al usuario como se observa en la Figura 7. En el caso de la estrategia A la interrupción del tránsito sobre el puente ocurre dos veces, una vez durante la reparación inmediata y nuevamente durante la renovación 15 años después; en el caso de la alternativa B la interrupción del tránsito sobre el puente ocurre una vez en los trabajos de renovación luego de usar la vida residual de 5 años.

Figura 7. Costo de usuario de las estrategias de solución.

Adaptado de "Life-Cycle Costing Integration with Bridge Management Systems", por Safi, Sundquist & Karoumi, 2014

Como se indica en la Figura 8, el costo anual equivalente de la estrategia A es de 245 SEK/m², y el costo anual equivalente de la estrategia B es de 211 $\frac{SEK}{m^2}$, esto incluyendo el costo de usuario en el análisis.

Resultados	Estrategia A	Estrategia B
Valor actual neto (SEK/m ²)	5067	4096
Costo anual equivalente (SEK/m ²)	245	211

Figura 8. Valor actual neto y costo anual equivalente de las alternativas de solución incluyendo el costo de usuario

Adaptado de "Life-Cycle Costing Integration with Bridge Management Systems", por Safi, Sundquist & Karoumi, 2014

Con lo que se determina que la estrategia B es la solución escogida, al tener un costo anual equivalente menor que la estrategia A.

1.2.6.2 Tabyan Bridge

Se va a presentar la aplicación de la metodología LCCA en el puente Tabyan en Suecia. Este puente tiene un largo de 9.5m y un ancho de 5.3m.

Figura 9. Sección del puente Tabyan ubicado en Suecia.

Adaptado de “LCC applications for bridges”, por Safi, 2015

El puente en mención, tanto su superestructura como su infraestructura presentan un deterioro de alto grado, por lo que su tiempo de vida útil residual es de 3 años. En la Figura 10 se plantean dos estrategias: reparación inmediata del puente o usar la vida residual del puente y luego renovar.

Parametro	Estrategia A	Estrategia B	
Descripción de estrategia	Reparación inmediata	Utilizar vida residual y luego renovar el puente	
Vida residual del elemento estructural dominante (años)		3	
Tasa de descuento (%)		4	
Expectativa de vida útil luego de acción (años)	20	60	
Costo de estrategia inicial (SEK)	895000	1474400	
Costo anual de mantenimiento (SEK)	1250	Durante vida residual	Luego de renovación
		8500	2500
Tiempo de construcción (días)	60	80	

Figura 10. Especificaciones de las estrategias de solución.

Adaptado de “LCC applications for bridges”, por Safi, 2015

- Análisis excluyendo el costo de usuario

El tiempo de vida útil de la estrategia A es 20 años, y 63 años para la estrategia B. El valor actual neto y el costo equivalente anual de cada alternativa se presenta en la Figura 11.

Resultados	Estrategia A	Estrategia B
Valor actual neto (SEK)	990132	1384605
Costo anual equivalente (SEK/year)	72856	60497

Figura 11. Valor actual neto y costo anual equivalente de las estrategias de solución excluyendo el costo de usuario

Adaptado de “LCC applications for bridges”, por Safi, 2015

- Análisis excluyendo el costo de usuario

Cada estrategia propuesta tiene su tiempo y costo de afectación al usuario como se indica en la Figura 12. En el caso de la estrategia A la interrupción del tránsito sobre el puente ocurre una vez, durante la reparación inmediata; en el caso de la alternativa B la interrupción del tránsito sobre el puente ocurre una vez durante el tiempo de construcción del nuevo puente.

Figura 12. Costo de usuario de las estrategias de solución

Adaptado de “LCC applications for bridges”, por Safi, 2015

El costo anual equivalente de la estrategia A es de 163022 SEK/year, y el costo anual equivalente de la estrategia B es de 126798 SEK/year, esto incluyendo el costo de usuario en el análisis, como se muestra en la Figura 13.

Resultados	Estrategia A	Estrategia B
Valor actual neto (SEK)	2215523	2902067
Costo anual equivalente (SEK/year)	163022	126798

Figura 13. Valor actual neto y costo anual equivalente de las estrategias de solución incluyendo el costo de usuario.

Adaptado de “LCC applications for bridges”, por Safi, 2015

Con lo que se determina que la estrategia B es la solución escogida, al tener un costo anual equivalente menor que la estrategia A.

CAPITULO 2: MATERIAL Y MÉTODO

En el Capítulo 2 se va a definir el material y método de la investigación. Como material se va a definir la población y muestra con la que se va a realizar el trabajo de investigación. Como método de investigación se va a definir su nivel, diseño, variables de estudio, técnica de recolección de datos y la técnica de procesamientos de los mismos.

2.1 Material

2.1.1 Población

Puentes viales del estado peruano, que se encuentren en cualquiera de sus fases de proyecto y requieran trabajos de construcción, mantenimiento o sustitución.

2.1.2 Muestra

Primero, se identificó que hay una cantidad alarmante de puentes que requieren trabajos de sustitución.

Producto del último niño costero del año 2017, la comuna de Lima Provincias alertó que la superestructura del Puente Fortaleza, ubicado en el km 212 de la carretera Panamericana Norte, había colapsado.

Por ello, se va a aplicar la metodología LCCA en el Puente Fortaleza.

2.2 Método

2.2.1 Nivel de investigación

La presente investigación va a tener una connotación descriptiva, se va a caracterizar el proceso a seguir para la evaluación de proyectos de puentes de una determinada localidad, que en este caso es Paramonga, y esta caracterización va a permitir extrapolar el proceso a cualquier proyecto de puentes ubicado en cualquier lugar del Perú.

El objetivo de una investigación descriptiva es entender situaciones a partir de la descripción de actividades, procesos y variables. Sin embargo, la investigación no se limita a describir los ítems ya mencionados, sino también a interrelacionarlos para poder procesarlos de manera cuidadosa y obtener conclusiones válidas sobre el proceso.

2.2.2 Diseño de investigación

El diseño que se va a llevar a cabo para la presente tesis es el diseño de investigación descriptivo, puesto que se va a describir cada paso a seguir indicado por la teoría de la metodología de evaluación de proyectos. En cada paso a seguir se van a recopilar datos

cuantitativos sobre los costos que sufre un proyecto de puente, para finalmente analizarlos y escoger una alternativa de sustitución para la superestructura.

La manera de abordar la investigación, es la propuesta por la teoría de la metodología de evaluación de proyectos LCCA:

Primero, se detallará la situación actual del puente Fortaleza.

Segundo, se van a establecer las propuestas de alternativa de sustitución basado en las recomendaciones técnicas de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

Tercero, se van a cuantificar los costos y tiempos de las actividades de construcción, mantenimiento y usuario.

Cuarto, se integran y analizan los datos obtenidos en los pasos anteriores.

Quinto, se escoge la alternativa de sustitución para la superestructura del puente Fortaleza.

Sexto, se realiza el diseño de la super estructura del puente Fortaleza y se verifica la cimentación existente.

2.2.3 Variables de estudio

Las variables a considerar van a permitir establecer el costo del ciclo de vida del proyecto, y poder realizar la evaluación del proyecto. Las variables consideradas se muestran en la tabla 4.

Tabla 1
Variables de Estudio

Variable	Indicador	Unidad de medida	Instrumento de investigación
Metrado	Cantidad de material de la alternativa	$m^3 - m^2$ - ml	Calculo
Costo de construcción	Precio por construcción de la alternativa de sustitución	Soles	Calculo
Costo de mantenimiento	Precio por ejecución de trabajos de mantenimiento de la alternativa	Soles	Calculo
Costo de usuario	Precio asumido por el usuario producto de la ejecución de trabajos de construcción y mantenimiento	Soles	Calculo

Flujo vehicular	Cantidad de vehículos que transitan por el puente	Veh	Reportes
--------------------	---	-----	----------

2.2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la obtención de datos se hace necesario recurrir a información histórica sobre puentes. Por eso va a ser necesario buscar expedientes técnicos de puentes, manuales sobre puentes, guías de conservación de puentes, reportes de peajes cercanos, entre otros.

Por otro lado, se van a tomar en cuenta trabajos previos realizados por expertos utilizando la metodología, con el fin de absolver dudas y ahondar en las estrategias de aplicación de la metodología LCCA.

Asimismo, se van a tomar en cuenta las características geométricas, procesos constructivos y estándar de calidad de las alternativas de sustitución, que va a permitir definir costos y tiempos de ejecución de las partidas.

2.2.5 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El procesamiento y análisis de los datos van a ser fundamentales en esta investigación, el no llevar a cabo alguno de ellos de manera correcta, nos puede llevar a tener resultados erróneos.

Para el procesamiento de datos estos van a ser tabulados para que su entendimiento sea más sencillo. Los costos obtenidos ocurren durante todo el ciclo de vida del proyecto, por lo que va a ser necesario llevar los datos a tiempo presente, mediante la herramienta económica del Valor Actual Neto (VAN). También se van a presentar tablas y gráficos que van a permitir visualizar de una manera más didáctica la diferencia de costo que se da entre cada alternativa, lo que ayuda a tener un panorama más claro de los resultados.

CAPITULO 3: CARACTERÍSTICAS Y ESTADO ACTUAL DEL PUENTE FORTALEZA

En el Capítulo 3 se van a detallar las condiciones actuales del puente Fortaleza, y se va a exponer las causas que provocaron el fallo de la estructura del puente.

3.1 Características y estado actual

El puente Fortaleza se encuentra ubicado al norte de la ciudad de Lima, en el distrito de Paramonga, provincia de Barranca, situado en el km 214 de la Panamericana Norte.

La superestructura, que cruza el río Fortaleza cuenta con un solo tramo de 23 m de longitud. La infra estructura del puente inicialmente estuvo constituida por dos estribos de concreto armado, a causa del Fenómeno del Niño en el año 1998 el estribo izquierdo se dañó a causa de la crecida del río Fortaleza y falló por socavación, como medida reactiva se cambió el estribo dañado por una cimentación con pilotes tipo Frankie. En el año 2017, durante el fenómeno del niño costero, como se muestra en la Figura 14, la infraestructura del puente volvió a sufrir daños, el estribo derecho, que no se cambió, falló por socavación, y la super estructura cedió en ese lado.

Figura 14. Zonas afectadas en Red Vial N° 04 por el “Niño Costero” del año 2017

Adaptado de “Informe de desempeño 2018: Concesión de la red vial N° 04 Tramo Pativilca – Santa – Trujillo y Puerto Salaverry”, por OSITRAN, 2018

Inicialmente, la sección transversal del puente tenía la siguiente configuración:

Tabla 2
Sección inicial del Puente Fortaleza

Características del puente Fortaleza	
Descripción	
Tipo	Puente con vigas pre fabricadas
Longitud	23 m
Ancho de vereda	0.9 m
N° de vigas principales	4
Ancho de viga	0.4
Peralte de vigas	1.10 m
Peralte de losa	0.20 m
Separación entre vigas	2 m

Como parte del trabajo de campo, se realizó una visita al puente Fortaleza, donde se obtuvieron registros visuales del daño sufrido por la estructura del puente, producto de la falla en el estribo derecho.

Figura 15. Vista lateral del Puente Fortaleza

Figura 16. Vista lateral del Puente Fortaleza

Figura 17. Zona de estructura dañada

CAPITULO 4: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DEL LCCA

En el Capítulo 4 se va a aplicar la metodología del LCCA siguiendo todos sus pasos, ya indicados. Se va a definir las alternativas de sustitución, cuantificar los costos de construcción, mantenimiento y usuario, para finalmente analizar los resultados y elegir la alternativa de sustitución más conveniente.

4.1 Elección de las alternativas de sustitución

En este capítulo se van a definir las alternativas de sustitución para la superestructura del puente Fortaleza. La elección de las alternativas de sustitución estará dada en función de las recomendaciones técnicas dadas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). En función de la luz a superar, que en este caso es de 25 metros, se recomiendan tipos de puentes que cumplen con el nivel de servicio del proyecto.

Para seleccionar las alternativas de sustitución de la superestructura del puente hay que tener, en primer lugar, nociones preliminares para su selección.

Los puentes son proyectos que requieren un especial cuidado, por lo que hay aspectos a considerar como los siguientes:

- Localización de la estructura
- Luz y tipo de puente que resulte más adecuado para el sitio escogido, tomando en cuenta su estética, economía y seguridad
- Forma geométrica y dimensiones
- Estudios hidrológicos
- Estudios de suelo
- Tipos de cimentaciones, considerando la seguridad

Se van a elegir tres tipos de superestructuras de puentes utilizados en Perú: Puente de concreto armado con vigas tipo T, en adelante alternativa 01; puente de concreto armado con vigas postensadas tipo V, en adelante alternativa 02; y puente de concreto armado con vigas de acero tipo doble T compuesta, en adelante alternativa 03.

4.1.1 Puente de concreto armado con vigas tipo T

En el caso del puente de concreto armado tipo viga-losa, se van a tener secciones de viga tipo T.

Para pre dimensionar el peralte de la viga se usarán los criterios dados por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) que indica que para una viga T simplemente apoyada debe tener un peralte mínimo de $L/14$.

Ecuación 4-1

$$\frac{25}{14} = 1.786 \text{ m}$$

$$h \text{ vigas (incluida la losa)} = 1.8 \text{ m}$$

h = peralte

L = luz de tramo de un puente

Para pre dimensionar la losa se usan los criterios dados por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) que indica la siguiente formula, para tramos continuos:

Ecuación 4-2

$$\frac{(S + 3)}{30} = 0.183 \text{ m}$$

S : Distancia entre vigas (m)

$$h_{\text{losa}} = 0.2 \text{ m}$$

La sección transversal de la viga tipo T es la siguiente:

Figura 18. Sección transversal de viga tipo T

La sección transversal del puente, conformado por 5 vigas principales, es la siguiente:

Figura 19. Sección transversal de puente de la alternativa 01

4.1.2 Puente de concreto armado con vigas postensadas tipo V

En el caso del puente de concreto con vigas postensadas, se van a considerar secciones de viga tipo V.

Para pre dimensionar el peralte de la viga se van a usar los criterios dados por el American Concrete Institute (ACI), que indica que para una viga simplemente apoyada se debe tener un peralte mínimo de $\frac{L}{18}$ y $\frac{L}{20}$.

Vigas simplemente apoyadas:

Ecuación 4-3

$$\frac{L}{18} \text{ a } \frac{L}{20}$$

$$25/18 = 1.39m - 25/20 = 1.25m \text{ } h = 1.3 m$$

Figura 20. Sección transversal de viga de la alternativa 02

Según las recomendaciones de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), se establece el peralte de la losa:

$$h_{losa} = 0.20m$$

De manera preliminar se usa la sección típica de una viga postensada, en función al peralte mínimo

Figura 21. Sección transversal de viga prefabricada tipo “V”

La sección transversal del puente, conformado por 5 vigas principales, es la siguiente:

Figura 22. Sección transversal de puente de la alternativa 02

4.1.3 Puente de concreto armado con vigas de acero doble T compuesta

En el caso de la presente investigación se va a proponer el uso de 5 vigas de acero doble T compuesta para cubrir un ancho de 12.62 m y una luz de 25 m, que es el caso del puente Fortaleza.

En función de la luz a cubrir se define, preliminarmente, el peralte de las vigas tipo doble T compuesta en 1.25m, que cumple con el mínimo requerido recomendado por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), para evitar deflexiones:

$$0.040L = 1.00m$$

Se adoptó $h = 1.25\text{ m}$

Figura 23. Sección transversal de viga de acero tipo doble T compuesta

La sección transversal del puente, conformado por 5 vigas principales, es la siguiente:

Figura 24. Sección transversal de puente de la alternativa 03

4.2 Costos y tiempos de construcción de las alternativas de sustitución

En el presente capítulo se van a calcular los costos y tiempos de construcción de cada una de las alternativas de sustitución definidas.

El costo de construcción se va a dividir en costo directo e indirecto; el costo directo va a considerar las partidas más incidentes en un proyecto de este tipo que son las partidas de

acero, encofrado y concreto; el costo indirecto va a estar relacionado con el tiempo de construcción de cada alternativa. El tiempo de construcción del proyecto es calculado en función de proyectos de igual nivel de servicio, cuyos expedientes fueron obtenidos de Provias Nacional.

Se han elaborado Análisis de precios unitarios (APUS) para las partidas consideradas dentro del análisis, esta información se encuentra en el Anexo 01.

Una vez calculado los costos y tiempos de construcción de cada alternativa, se obtiene un presupuesto y cronograma de construcción para cada una de ellas.

4.2.1 Costo y tiempo de construcción de la alternativa 01

En esta sección se va a calcular los costos y tiempos de construcción de la alternativa de puente de concreto armado in situ con vigas tipo T.

Primero, se va a cuantificar el concreto y encofrado en base a las características geométricas de la sección transversal de la alternativa. En el caso del acero, se va a calcular una ratio de kilo de acero por metro cúbico de concreto, de un proyecto de iguales características y nivel de servicio. El puente usado para hallar la ratio acero/concreto es el puente Jita, que tiene una luz de 23m, y también usa vigas tipo T, ver Tabla 3.

Tabla 3
Metrado - Puente JITA

Descripción	Unidad	Metrado
Concreto $f'_c=280 \frac{kg}{cm^2}$ para vigas y losa	m^3	131.51
Concreto $f'_c=210 \frac{kg}{cm^2}$ para veredas	m^3	11.56
Concreto $f'_c=210 \frac{kg}{cm^2}$ para losa de aproximación	m^3	20.35
Encofrado en losas y vigas	m^2	658.89
Encofrado en veredas	m^2	58.3
Acero de refuerzo en vigas, losa y veredas	kg	24856.02
Acero de refuerzo en 2 losas de aproximación	kg	2135.16

Adaptado de “Estudio definitivo de rehabilitación y mejoramiento de la carretera Cañete – Lunahuaná”, por CESEL Ingenieros, 2012

Se calcula la ratio:

Tabla 4
Ratio Acero/Concreto del Puente JITA

Ratio	Unidad
173.73	$\frac{kg}{m^3}$

Una vez obtenido la ratio acero/concreto, se procede a realizar el metrado para la alternativa 01 del puente Fortaleza, ver tabla 4. En base a las características geométricas, se calcula cantidad de concreto y encofrado requerido por la alternativa. En base a la ratio obtenida del puente JITA, se cuantifica los kilos de acero necesario para el proyecto. Dando como resultado, la Tabla 5:

Tabla 5
Metrado de la Alternativa 01

Descripción	Unidad	Metrado
Concreto $f'_c=280 \frac{kg}{cm^2}$ para vigas y losa	m^3	144.50
Concreto $f'_c=210 \frac{kg}{cm^2}$ para veredas	m^3	4.50
Concreto $f'_c=210 \frac{kg}{cm^2}$ para losa de aproximación	m^3	5.50
Encofrado en losas y vigas	m^2	716.00
Encofrado en veredas	m^2	5.00
Encofrado en losas de aproximación	m^2	5.00
Acero de refuerzo en vigas, losa y veredas	kg	25886.26
Acero de refuerzo en 2 losas de aproximación	kg	2000.00

Con los datos obtenidos, se establece el costo directo de la alternativa 01, ver Tabla 6:

Tabla 6
Costo Directo de la Alternativa 01

Partida	Un	Metrado	PU	Parcial	Total
Concreto					S/. 78,008.28
Concreto $f'_c=280 \frac{kg}{cm^2}$ para vigas y losa	m^3	144.5	S/. 508.24	S/. 73,440.12	
Concreto $f'_c=210 \frac{kg}{cm^2}$ para veredas	m^3	4.5	S/. 456.82	S/. 2,055.67	

Concreto $f'_c=210 \frac{kg}{cm^2}$
para losa de
aproximación

m^3 5.5 S/. 456.82 S/. 2,512.49

Encofrado

S/. 120,876.78

Falso puente m 25.0 S/. 2,170.29 S/. 54,257.35

Encofrado en losas y vigas m^2 716.0 S/. 91.76 S/. 65,701.81

Encofrado en veredas m^2 5.0 S/. 91.76 S/. 458.81

Encofrado en losas de aproximación m^2 5.0 S/. 91.76 S/. 458.81

Acero

S/. 150,499.35

Acero de refuerzo en vigas, losa y veredas kg 25886.2 S/. 5.40 S/. 139,705.55

Acero de refuerzo en losas de aproximación kg 2000.00 S/. 5.40 S/. 10,793.80

Costo directo total

S/. 349,384.41

En base a un proyecto similar, Puente JITA, ver Figura 25, se va a estimar el tiempo de construcción de la alternativa. En el Anexo 04 se puede observar el cronograma original.

Actividad	Duración	M1				M2				M3				M4				M5			
		S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Obras preliminares	18sem																				
Estribos	11 sem																				
Super estructura	9 sem																				
Losa de aproximación	7 sem																				

Figura 25. Cronograma de construcción - Puente JITA

Adaptado de “Estudio definitivo de rehabilitación y mejoramiento de la carretera Cañete - Lunahuaná”, por CESEL Ingenieros, 2012

Para la alternativa se estima un tiempo total de construcción de 4.75 meses, tal como se indica en la Figura 26.

Actividad	Duración	M1				M2				M3				M4				M5			
		S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Obras provisionales y trabajos preliminares	8 sem																				
Pilote	12 sem																				
Super estructura	9 sem																				
Losa de aproximación	4 sem																				

Figura 26. Cronograma de construcción de la alternativa 01

Del gráfico se puede determinar que el tiempo de ejecución de la superestructura de la alternativa 01 es de 2.25 meses.

Una vez que se obtiene el tiempo de construcción de la alternativa, se pueden calcular sus costos indirectos, como se puede observar en la Tabla 7.

Tabla 7
Costo Indirecto de la Alternativa 01

Partida	Un	Cant	Tiempo	PU	Parcial	Total
Remuneración de obra						S/. 199,809.00
Ingeniería						
Ingeniero residente de obra	mes	1	2.25	S/. 15,000.00	S/. 33,750.00	
Ingeniero asistente	mes	1	2.25	S/. 6,000.00	S/. 13,500.00	
Ingeniero de control de calidad	mes	1	2.25	S/. 9,000.00	S/. 20,250.00	
Ing. De Seguridad en Obra	mes	1	2.25	S/. 9,000.00	S/. 20,250.00	
Topógrafo	mes	1	2.25	S/. 2,500.00	S/. 5,625.00	
Técnico de laboratorio	mes	1	2.25	S/. 2,500.00	S/. 5,625.00	
Beneficios Sociales	%	1	49%	S/. 99,000.00	S/. 48,510.00	
Administración						
Administrador de obra	mes	1	2.25	S/. 4,000.00	S/. 9,000.00	
Contador	mes	1	2.25	S/. 2,500.00	S/. 5,625.00	
Encargado de almacén	mes	1	2.25	S/. 3,000.00	S/. 6,750.00	
Profesional de la salud	mes	1	2.25	S/. 3,500.00	S/. 7,875.00	
Personal de limpieza	mes	3	2.25	S/. 800.00	S/. 1,800.00	
Guardianes	mes	9	2.25	S/. 900.00	S/. 2,025.00	
Señaleros	mes	4	2.25	S/. 900.00	S/. 2,025.00	
Beneficios sociales	%	1	49%	S/. 35,100.00	S/. 17,199.00	
Alimentación y viáticos de obra						S/. 13,365.00
Ingeniería						
Ingeniero residente de obra	días	1	67.5	S/. 20.00	S/. 1,350.00	

Ingeniero asistente	días	1	67.5	S/.	20.00	S/.	1,350.00
Ingeniero de control de calidad	días	1	67.5	S/.	20.00	S/.	1,350.00
Ing. De Seguridad en Obra	días	1	67.5	S/.	20.00	S/.	1,350.00
Administrador de obra	días	1	67.5	S/.	20.00	S/.	1,350.00
Contador	días	1	67.5	S/.	20.00	S/.	1,350.00
Técnico							
Topógrafo	días	1	67.5	S/.	12.00	S/.	810.00
Técnico de laboratorio	días	1	67.5	S/.	12.00	S/.	810.00
Encargado de almacén	días	1	67.5	S/.	12.00	S/.	810.00
Profesional de la salud	días	1	67.5	S/.	12.00	S/.	810.00
Asistente y auxiliar							
Personal de limpieza	días	3	67.5	S/.	10.00	S/.	675.00
Guardianes	días	9	67.5	S/.	10.00	S/.	675.00
Señaleros	días	4	67.5	S/.	10.00	S/.	675.00
Costo indirecto total							S/. 213,174.00

En la Tabla 8, en base al costo directo, costo indirecto, utilidad e IGV se establece el presupuesto de construcción de la alternativa.

Tabla 8
Presupuesto de Construcción de la Alternativa 01

Partida			Costo	
Costo directo	CD		S/.	349,384.41
Costo indirecto	CI		S/.	213,174.00
Utilidad	U	8%	S/.	45,004.67
Subtotal			S/.	607,563.08
IGV	IGV	18%	S/.	109,361.36
Total			S/.	716,924.44

4.2.2 Costo y tiempo de construcción de la alternativa 02

En esta sección se va a calcular los costos y tiempos de construcción de la alternativa de puente con vigas postensadas tipo V.

Primero, se va a cuantificar el concreto y encofrado en base a las características geométricas de la sección transversal. En el caso del acero, se va a calcular dos ratios de kilo de acero por metro cúbico de concreto, de un proyecto de iguales características y nivel de servicio. Una ratio, establecerá la relación de kilo de acero por metro cúbico de concreto en las vigas postensadas, y la otra ratio establecerá la relación de kilo de acero por metro cúbico de concreto en la losa del puente. El puente que será usado para hallar las ratios de acero/concreto será el puente Yunculmas, que tiene una luz de 27m, y también usa vigas postensadas. En la Tabla 9 se puede ver el metrado del puente Yunculmas.

Tabla 9
Metrado - Puente YUNCULMAS

Descripción	Unidad	Metrado
Vigas de concreto postensado		
Concreto $f'_c = 350 \frac{kg}{cm^2}$ para vigas	m^3	96.40
Acero de refuerzo en vigas	kg	14081.43
Encofrado en vigas	m^2	658.56
Izaje de vigas	un	5.00
Losa de concreto y veredas		
Concreto $f'_c = 280 \frac{kg}{cm^2}$ para losa y veredas	m^3	76.39
Concreto $f'_c = 210 \frac{kg}{cm^2}$ para losa y veredas	m^3	8.95
Acero de refuerzo en losa y veredas	kg	3685.11
Encofrado en losa y veredas	m^2	235.21
Losa de aproximación		
Concreto $f'_c = 280 \frac{kg}{cm^2}$ para losas	m^3	22.77
Acero de refuerzo en losa de aproximación	kg	1609.96
Encofrado en losa de aproximación	m^2	16.5

Adaptado de “Estudio definitivo de los Puentes Yunculmas, Puellas, Chivis y accesos”, por Consorcio Tres Puentes, 2012

Se calculan las ratios, ver Tablas 10 y 11:

Tabla 10

Ratios acero/concreto de vigas postensadas del puente YUNCULMAS

Ratio	Unidad
146.07	$\frac{kg}{m^3}$

Tabla 11

Ratio acero/concreto de la losa del puente YUNCULMAS

Ratio	Unidad
43.18	$\frac{kg}{m^3}$

Una vez obtenido las ratios acero/concreto, se procede a realizar el metrado para la alternativa 02 del puente Fortaleza. En base a las características geométricas, se calcula cantidad de concreto y encofrado requerido por la alternativa. En base a las ratios obtenidos del puente Yunculmas, se cuantifica los kilos de acero necesario para el proyecto. Dando como resultado la Tabla 12:

Tabla 12

Metrado de la Alternativa 02

Descripción	Unidad	Metrado
Vigas de concreto postensado		
Concreto $f'_c = 350 \frac{kg}{cm^2}$ para vigas	m^3	73.00
Acero de refuerzo en vigas	kg	10663.32
Encofrado en vigas	m^2	475.00
Izaje de vigas	un	5.00
Losa de concreto y veredas		
Concreto $f'_c = 280 \frac{kg}{cm^2}$ para losa	m^3	65.00
Concreto $f'_c = 210 \frac{kg}{cm^2}$ para veredas	m^3	4.50
Acero de refuerzo en losa y veredas	kg	3001.11
Encofrado en losa y veredas	m^2	331.00
Losas de aproximación		
Concreto $f'_c = 280 \frac{kg}{cm^2}$ para losas	m^3	5.50
Acero de refuerzo en losa de aproximación	kg	2000.00

Encofrado en losa de aproximación	m^2	5.00
-----------------------------------	-------	------

Con los datos obtenidos, se establece el costo directo de la alternativa en la Tabla 13:

Tabla 13
Costo directo de la alternativa 02

Partida	Un	Metrado	PU	Parcial	Total
Vigas de concreto postensado					S/. 379,005.25
Concreto $f'_c=350 \frac{kg}{cm^2}$ para vigas	m^3	73.00	S/.	559.66	S/. 40,854.90
Acero de refuerzo en vigas	kg	10663.32	S/.	5.40	S/. 57,548.89
Encofrado en vigas	m^2	475.00	S/.	91.76	S/. 43,587.09
Postensado de vigas	ton - m	55000	S/.	3.95	S/. 217,250.00
Izaje de vigas	un	5.00	S/.	3,952.87	S/. 19,764.37
Losa de concreto y veredas					S/. 81,661.06
Concreto $f'_c=280 \frac{kg}{cm^2}$ para losa	m^3	65.00	S/.	508.24	S/. 33,035.35
Concreto $f'_c = 210 \frac{kg}{cm^2}$ para veredas	m^3	4.50	S/.	456.82	S/. 2,055.67
Acero de refuerzo en losa y veredas	kg	3001.11	S/.	5.40	S/. 16,196.72
Encofrado en losa y veredas	m^2	331.00	S/.	91.76	S/. 30,373.32
Losa de aproximación					S/. 14,047.91
Concreto $f'_c = 280 \frac{kg}{cm^2}$ para losas	m^3	5.50	S/.	508.24	S/. 2,795.30
Acero de refuerzo en losa de aproximación	kg	2000.00	S/.	5.40	S/. 10,793.80
Encofrado en losa de aproximación	m^2	5.00	S/.	91.76	S/. 458.81
Costo directo total					S/. 474,714.22

En base a un proyecto similar, Puente YUNCULMAS, se va a estimar el tiempo de construcción de la alternativa como se muestra en la Figura 27. En el Anexo 03 se puede observar el cronograma original.

Actividad	Duración	M1				M2				M3				M4				M5			
		S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Obras provisionales y trabajos preliminares	20 sem																				
Estribos	11 sem																				
Super estructura	13 sem																				
Losa de aproximación	3 sem																				

Figura 27. Cronograma de construcción - Puente YUNCULMAS

Adaptado de “Estudio definitivo de los Puentes Yunculmas, Puellas, Chivis y accesos”, por Consorcio Tres Puentes, 2012

Para la alternativa se estima un tiempo de construcción de 4.5 meses, como se muestra en la Figura 28.

Actividad	Duración	M1				M2				M3				M4				M5			
		S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Obras provisionales y trabajos preliminares	8sem																				
Pilote	12 sem																				
Super estructura	13 sem																				
Losa de aproximación	4 sem																				

Figura 28. Cronograma de construcción de la alternativa 02

Del gráfico se puede determinar que el tiempo de ejecución de la superestructura de la alternativa 02 es de 3.25 meses.

Una vez que se obtiene el tiempo de construcción de la alternativa, se pueden calcular sus costos indirectos, ver Tabla 14:

*Tabla 14
Costo Indirecto de la Alternativa 02*

Partida	Un	Cant	Tiempo	PU	Parcial	Total
Remuneración de obra						S/. 288,613.00
Ingeniería						
Ingeniero residente de obra	mes	1	3.25	S/. 15,000.00	S/. 48,750.00	
Ingeniero asistente	mes	1	3.25	S/. 6,000.00	S/. 19,500.00	
Ingeniero de control de calidad	mes	1	3.25	S/. 9,000.00	S/. 29,250.00	

Ing. De Seguridad en Obra	mes	1	3.25	S/.	9,000.00	S/.	29,250.00
Topógrafo	mes	1	3.25	S/.	2,500.00	S/.	8,125.00
Técnico de laboratorio	mes	1	3.25	S/.	2,500.00	S/.	8,125.00
Beneficios Sociales	%	1	49%	S/.	143,000.00	S/.	70,070.00

Administración

Administrador de obra	mes	1	3.25	S/.	4,000.00	S/.	13,000.00
Contador	mes	1	3.25	S/.	2,500.00	S/.	8,125.00
Encargado de almacén	mes	1	3.25	S/.	3,000.00	S/.	9,750.00
Profesional de la salud	mes	1	3.25	S/.	3,500.00	S/.	11,375.00
Personal de limpieza	mes	3	3.25	S/.	800.00	S/.	2,600.00
Guardianes	mes	9	3.25	S/.	900.00	S/.	2,925.00
Señaleros	mes	4	3.25	S/.	900.00	S/.	2,925.00
Beneficios sociales	%	1	49%	S/.	50,700.00	S/.	24,843.00

Alimentación y viáticos de obra

S/.

19,305.00

Ingeniería

Ingeniero residente de obra	días	1	97.5	S/.	20.00	S/.	1,950.00
Ingeniero asistente	días	1	97.5	S/.	20.00	S/.	1,950.00
Ingeniero de control de calidad	días	1	97.5	S/.	20.00	S/.	1,950.00
Ing. De Seguridad en Obra	días	1	97.5	S/.	20.00	S/.	1,950.00
Administrador de obra	días	1	97.5	S/.	20.00	S/.	1,950.00

Contador	días	1	97.5	S/.	20.00	S/.	1,950.00	
Técnico								
Topógrafo	días	1	97.5	S/.	12.00	S/.	1,170.00	
Técnico de laboratorio	días	1	97.5	S/.	12.00	S/.	1,170.00	
Encargado de almacén	días	1	97.5	S/.	12.00	S/.	1,170.00	
Profesional de la salud	días	1	97.5	S/.	12.00	S/.	1,170.00	
Asistente y auxiliar								
Personal de limpieza	días	1	97.5	S/.	10.00	S/.	975.00	
Guardianes	días	1	97.5	S/.	10.00	S/.	975.00	
Señaleros	días	1	97.5	S/.	10.00	S/.	975.00	
Costo indirecto total							S/.	307,918.00

En la Tabla 15, en base al costo directo, costo indirecto, utilidad e IGV se establece el presupuesto de construcción de la alternativa.

Tabla 15
Presupuesto de Construcción de la Alternativa 02

Partida			Costo	
Costo directo	CD		S/.	474,714.22
Costo indirecto	CI		S/.	307,918.00
Utilidad	U	8%	S/.	62,610.58
Subtotal			S/.	845,242.80
IGV	IGV	18%	S/.	152,143.70
Total			S/.	997,386.50

4.2.3 Costo y tiempo de construcción de la alternativa 03

En esta sección se va a calcular los costos y tiempos de ejecución de la alternativa de puente de concreto armado con vigas de acero tipo doble T compuesta.

Primero, se va a cuantificar el concreto y encofrado en base a las características geométricas de la sección transversal, para la cantidad de acero de la losa de concreto armado, se va a usar la ratio calculada en el capítulo 4.2.2 del puente Yunculmas. En el caso de esta alternativa, la cantidad de acero para las vigas se va a determinar en función a su sección transversal. En la Tabla 16 se puede observar el metrado del Puente Yunculmas.

Tabla 16
Metrado - Puente YUNCULMAS

Descripción	Unidad	Metrado
Vigas de concreto postensado		
Concreto $f'_c = 350 \frac{kg}{cm^2}$ para vigas	m^3	96.40
Acero de refuerzo en vigas	kg	14081.43
Encofrado en vigas	m^2	658.56
Izaje de vigas	un	5.00
Losa de concreto y veredas		
Concreto $f'_c = 280 \frac{kg}{cm^2}$ para losa y veredas	m^3	76.39
Concreto $f'_c = 210 \frac{kg}{cm^2}$ para losa y veredas	m^3	8.95
Acero de refuerzo en losa y veredas	kg	3685.11
Encofrado en losa y veredas	m^2	235.21
Losa de aproximación		
Concreto $f'_c = 280 \frac{kg}{cm^2}$ para losas	m^3	22.77
Acero de refuerzo en losa de aproximación	kg	1609.96
Encofrado en losa de aproximación	m^2	16.5

Adaptado de “Estudio definitivo de los Puentes Yunculmas, Puellas, Chivis y accesos”, por Consorcio Tres Puentes, 2012

Se calcula la ratio, ver Tabla 17:

Tabla 17
Ratios acero/concreto de la losa del puente YUNCULMAS

Ratio	Unidad
43.18	$\frac{kg}{m^3}$

Una vez obtenido la ratio acero/concreto, se procede a realizar el metrado para la alternativa 03 del puente Fortaleza. En base a las características geométricas, se calcula la cantidad de concreto, encofrado y acero requerido por la alternativa. En base a las ratios obtenidos del puente Yunculmas, se cuantifica los kilos de acero necesario para el proyecto. Dando como resultado la Tabla 18:

Tabla 18
Metrado de la alternativa 03

Descripción	Unidad	Metrado
Viga T compuesta		
Acero	ton	44.00
Montaje de estructura metálica	ton	44.00
Losa de concreto y veredas		
Concreto $f'_c = 280 \frac{kg}{cm^2}$ para losa	m^3	65.00
Concreto $f'_c = 210 \frac{kg}{cm^2}$ para veredas	m^3	4.50
Acero de refuerzo en losa y veredas	kg	3001.11
Encofrado en losa y veredas	m^2	331.00
Losa de aproximación		
Concreto $f'_c = 280 \frac{kg}{cm^2}$ para losas	m^3	5.50
Acero de refuerzo en losa de aproximación	kg	2000.00
Encofrado en losa de aproximación	m^2	5.00

Con los datos obtenidos, se establece el costo directo de la alternativa en la Tabla 19:

Tabla 19
Costo directo de la alternativa 03

Partida	Un	Metrado	Precio	Parcial	Total
Viga T compuesta					S/. 719,987.34
Fabricación de vigas	ton	44.00	S/. 9,357.81	S/. 411,743.73	
Pintura de estructura metálica	ton	44.00	S/. 3,410.13	S/. 150,045.93	
Montaje de estructura metálica	ton	44.00	S/. 3,595.40	S/. 158,197.68	
Losa de concreto y veredas					S/. 81,661.06

Concreto $f'_c = 280 \frac{kg}{cm^2}$ para losa	m^3	65.00	S/.	508.24	S/.	33,035.35	
Concreto $f'_c = 210 \frac{kg}{cm^2}$ para veredas	m^3	4.50	S/.	456.82	S/.	2,055.67	
Acero de refuerzo en losa y veredas	kg	3001.11	S/.	5.40	S/.	16,196.72	
Encofrado en losa y veredas	m^2	331.00	S/.	91.76	S/.	30,373.32	
Losa de aproximación						S/.	14,047.91
Concreto $f'_c = 280 \frac{kg}{cm^2}$ para losas	m^3	5.50	S/.	508.24	S/.	2,795.30	
Acero de refuerzo en losa de aproximación	kg	2000.00	S/.	5.40	S/.	10,793.80	
Encofrado en losa de aproximación	m^2	5.00	S/.	91.76	S/.	458.81	
Costo directo total						S/.	815,696.31

En base a un proyecto similar, Puente SAJUARHUA, se va a estimar el tiempo de construcción de la alternativa como se puede ver en la Figura 29. En el Anexo 05 se puede observar el cronograma original.

Actividad	Duración	M1				M2				M3				M4			
		S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Obras provisionales y trabajos preliminares	8 sem																
Estribos	8 sem																
Super estructura	4 sem																
Losa de aproximación	4 sem																
Accesos	8 sem																

Figura 29. Cronograma de construcción - Puente SAJUARHUA

Adaptado de “Rehabilitación de puentes paquete 5 – Huancavelica, Ayacucho y Arequipa”, por Dirección general de caminos y ferrocarriles, 2018

Para la alternativa se estima un tiempo de construcción de 4.5 meses, como se observa en la Figura 30.

Actividad	Duración	M1				M2				M3				M4				M5			
		S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Obras provisionales y trabajos preliminares	8 sem																				
Pilotes	12 sem																				
Super estructura	8 sem																				
Losa de aproximación	4 sem																				

Figura 30. Cronograma de construcción de la alternativa 03

Del gráfico se puede determinar que el tiempo de ejecución de la superestructura de la alternativa 03 es de 2 meses.

Una vez que se obtiene el tiempo de construcción de la alternativa, se pueden calcular sus costos indirectos como se observa en la Tabla 20.

Tabla 20
Costo indirecto de la alternativa 03

Partida	Un	Cant	Tiempo	PU	Parcial	Total
Remuneración de obra						S/. 177,608.00
Ingeniería						
Ingeniero residente de obra	mes	1	2	S/. 15,000.00	S/. 30,000.00	
Ingeniero asistente	mes	1	2	S/. 6,000.00	S/. 12,000.00	
Ingeniero de control de calidad	mes	1	2	S/. 9,000.00	S/. 18,000.00	
Ing. De Seguridad en Obra	mes	1	2	S/. 9,000.00	S/. 18,000.00	
Topógrafo	mes	1	2	S/. 2,500.00	S/. 5,000.00	
Técnico de laboratorio	mes	1	2	S/. 2,500.00	S/. 5,000.00	
Beneficios Sociales	%	1	49%	S/. 88,000.00	S/. 43,120.00	
Administración						
Administrador de obra	mes	1	2	S/. 4,000.00	S/. 8,000.00	
Contador	mes	1	2	S/. 2,500.00	S/. 5,000.00	
Encargado de almacén	mes	1	2	S/. 3,000.00	S/. 6,000.00	
Profesional de la salud	mes	1	2	S/. 3,500.00	S/. 7,000.00	
Personal de limpieza	mes	3	2	S/. 800.00	S/. 1,600.00	
Guardianes	mes	9	2	S/. 900.00	S/. 1,800.00	
Señaleros	mes	4	2	S/. 900.00	S/. 1,800.00	
Beneficios sociales	%	1	49%	S/. 31,200.00	S/. 15,288.00	
Alimentación y viáticos de obra						S/. 11,880.00

Ingeniería							
Ingeniero residente de obra	días	1	60	S/.	20.00	S/.	1,200.00
Ingeniero asistente	días	1	60	S/.	20.00	S/.	1,200.00
Ingeniero de control de calidad	días	1	60	S/.	20.00	S/.	1,200.00
Ing. De Seguridad en Obra	días	1	60	S/.	20.00	S/.	1,200.00
Administrador de obra	días	1	60	S/.	20.00	S/.	1,200.00
Contador	días	1	60	S/.	20.00	S/.	1,200.00
Técnico							
Topógrafo	días	1	60	S/.	12.00	S/.	720.00
Técnico de laboratorio	días	1	60	S/.	12.00	S/.	720.00
Encargado de almacén	días	1	60	S/.	12.00	S/.	720.00
Profesional de la salud	días	1	60	S/.	12.00	S/.	720.00
Asistente y auxiliar							
Personal de limpieza	días	1	60	S/.	10.00	S/.	600.00
Guardianes	días	1	60	S/.	10.00	S/.	600.00
Señaleros	días	1	60	S/.	10.00	S/.	600.00
Costo indirecto total							S/. 189,488.00

En la Tabla 21, en base al costo directo, costo indirecto, utilidad e IGV se establece el presupuesto de construcción de la alternativa.

Tabla 21
Presupuesto de construcción de la alternativa 03

Partida		Costo	
Costo directo	CD	S/.	815,696.31
Costo indirecto	CI	S/.	189,488.00
Utilidad	U 8%	S/.	80,414.74
Subtotal		S/.	1,085,599.05

IGV	IGV 18%	S/.	195,407.83
Total		S/.	1,281,006.88

4.3 Costos y tiempos de mantenimiento de las alternativas de sustitución

En el presente capítulo se van a calcular los costos y tiempos por mantenimiento de cada alternativa de sustitución definida.

En el caso de la presente investigación, teniendo en consideración el tipo de material, los estándares de calidad y la exposición de las alternativas de sustitución, se va a asumir lo siguiente: el mantenimiento periódico de la alternativa de puente de concreto armado con vigas tipo T, será cada 4 años; en el caso de la alternativa de puente de concreto armado con vigas pretensadas tipo V, será cada 5 años; y en el caso de la alternativa de puente de concreto armado con vigas de acero tipo doble T compuestas, será cada 3 años. El mantenimiento rutinario se ejecuta de manera anual para todas las alternativas de sustitución.

Se han definido APUS de cada partida a ejecutar, donde se indica el costo por unidad de medición y los rendimientos considerados en esta investigación. Los APUS de la investigación se encuentran en el Anexo 02.

Para la ejecución de los trabajos de mantenimiento, se ha considerado una cuadrilla típica, que va a constar de: 1 capataz, 4 operarios, 4 peones y 4 operarios de maquinaria pesada. Además, los trabajos se efectuarán en un horario típico de 7:30 am a 5:00 pm.

4.3.1 Costo y tiempo de mantenimiento de la alternativa 01

En esta sección se van a cuantificar los costos de mantenimiento para la alternativa de sustitución del puente de concreto armado in situ con vigas tipo T.

Como se ha definido, para el caso de la alternativa 01, el mantenimiento rutinario se va a ejecutar anualmente, y el mantenimiento periódico se va a ejecutar cada 4 años.

4.3.1.1 Mantenimiento Rutinario de la alternativa 01

En la Tabla 22, en base a las partidas, APUS y metrado definidos para el mantenimiento rutinario de la alternativa 01, se obtiene el siguiente presupuesto:

Tabla 22
Costo por mantenimiento rutinario de la alternativa 01

Descripción	Un	Metrado	PU	Parcial	Total
Entorno y estructura					S/. 9,813.20
Limpieza de cauce	m ²	815.5	S/. 10.12	S/. 8,251.83	
Limpieza de puente	m ²	315.5	S/. 4.95	S/. 1,561.37	
Concreto					S/. 6,503.14
Reparación de fisuras superficiales en concreto	ml	11.5	S/. 565.49	S/. 6,503.14	
Total					S/. 16,316.35

En la figura 31, en base a los APUS y a la cuadrilla típica definida para los trabajos de mantenimiento, se estima el tiempo ejecución de las partidas de mantenimiento rutinario:

Cronograma de actividades		
Días	1	2
Partida		
Limpieza de cauce		
Limpieza de puente		
Reparación de fisuras superficiales		
Horas de afectación	9.50horas	1.40horas
Total		10.90horas

Figura 31. Cronograma de ejecución por mantenimiento rutinario de la alternativa 01

4.3.1.2 Mantenimiento periódico de la alternativa 01

En la Tabla 23, en base a las partidas, APUS y metrado definidos para el mantenimiento periódico de la alternativa, se obtiene el siguiente presupuesto:

Tabla 23
Costo por mantenimiento Periódico de la Alternativa 01

Descripción	Un	Metrado	PU	Parcial	Total
Entorno y estructura					S/. 24,355.71
Limpieza de cauce	m ²	815.5	S/. 10.12	S/. 8,251.83	
Limpieza de puente	m ²	315.5	S/. 6.68	S/. 2,106.88	

Limpieza de superficie de concreto	m ²	716	S/.	19.55	S/. 13,997.00	
Concreto					S/. 39,857.04	
Reparación de estructura de concreto armado	ml	6	S/.	2,284.41	S/. 13,706.46	
Pintado de estructuras de concreto	m ²	716	S/.	36.52	S/. 26,150.59	
Total					S/. 64,212.76	

En la Figura 32, en base a los APUS y a la cuadrilla típica definida para los trabajos de mantenimiento, se estima el tiempo ejecución de las partidas de mantenimiento periódico:

Cronograma de actividades							
Días	1	2	3	4	5	6	7
Partida							
Limpieza de cauce							
Limpieza de puente							
Limpieza de superficie de concreto							
Reparación de estructura de concreto armado							
Pintado de estructuras de concreto							
Horas de afectación	9.5horas	9.5horas	9.5horas	9.5horas	9.5horas	9.5horas	5.65horas
Total							62.65horas

Figura 32. Cronograma de ejecución por mantenimiento periódico de la alternativa 01

Finalmente, se obtiene la siguiente Tabla 24, donde se indica el costo y tiempo de interrupción por trabajos de mantenimiento, rutinario y periódico, a lo largo del ciclo de vida.

Tabla 24

Costo por Mantenimiento durante el ciclo de vida de la alternativa 01

Año	Costo	Tiempo (horas)
0	S/.	-
1	S/. 16,316.35	10.90
2	S/. 16,316.35	10.90
3	S/. 16,316.35	10.90
4	S/. 64,212.76	62.65
5	S/. 16,316.35	10.90
6	S/. 16,316.35	10.90

7	S/.	16,316.35	10.90
8	S/.	64,212.76	62.65
9	S/.	16,316.35	10.90
10	S/.	16,316.35	10.90
11	S/.	16,316.35	10.90
12	S/.	64,212.76	62.65
13	S/.	16,316.35	10.90
14	S/.	16,316.35	10.90
15	S/.	16,316.35	10.90
16	S/.	64,212.76	62.65
17	S/.	16,316.35	10.90
18	S/.	16,316.35	10.90
19	S/.	16,316.35	10.90
20	S/.	64,212.76	62.65
21	S/.	16,316.35	10.90
22	S/.	16,316.35	10.90
23	S/.	16,316.35	10.90
24	S/.	64,212.76	62.65
25	S/.	16,316.35	10.90
26	S/.	16,316.35	10.90
27	S/.	16,316.35	10.90
28	S/.	64,212.76	62.65
29	S/.	16,316.35	10.90
30	S/.	16,316.35	10.90
31	S/.	16,316.35	10.90
32	S/.	64,212.76	62.65
33	S/.	16,316.35	10.90
34	S/.	16,316.35	10.90
35	S/.	16,316.35	10.90
36	S/.	64,212.76	62.65
37	S/.	16,316.35	10.90
38	S/.	16,316.35	10.90
39	S/.	16,316.35	10.90
40	S/.	64,212.76	62.65

41	S/.	16,316.35	10.90
42	S/.	16,316.35	10.90
43	S/.	16,316.35	10.90
44	S/.	64,212.76	62.65
45	S/.	16,316.35	10.90
46	S/.	16,316.35	10.90
47	S/.	16,316.35	10.90
48	S/.	64,212.76	62.65
49	S/.	16,316.35	10.90
50	S/.	16,316.35	10.90

4.3.2 Costo y tiempo de mantenimiento de la alternativa 02

En esta sección se van a cuantificar los costos de mantenimiento para la alternativa de sustitución del puente de concreto armado con vigas postensadas tipo V.

Como se ha definido, para el caso de esta alternativa, el mantenimiento rutinario se va a ejecutar anualmente, y el mantenimiento periódico se va a ejecutar cada 5 años.

4.3.2.1 Mantenimiento Rutinario de la alternativa 02

En la Tabla 25, en base a las partidas, APUS y metrado definidos para el mantenimiento rutinario de la alternativa, se obtiene el siguiente presupuesto:

Tabla 25

Costo por mantenimiento Rutinario de la alternativa 02

Descripción	Un	Metrado	PU	Parcial	Total
Entorno y estructura					S/. 9,813.20
Limpieza de cauce	m ²	815.5	S/. 10.12	S/. 8,251.83	
Limpieza de puente	m ²	315.5	S/. 4.95	S/. 1,561.37	
Concreto					S/. 4,241.18
Reparación de fisuras superficiales en concreto	ml	7.5	S/. 565.49	S/. 4,241.18	
Total					S/. 14,054.38

En la Figura 33, en base a los APUS y a la cuadrilla típica definida para los trabajos de mantenimiento, se estima el tiempo ejecución de las partidas de mantenimiento rutinario:

Cronograma de actividades	
Días	1
Partida	
Limpieza de cauce	
Limpieza de puente	
Reparación de fisuras superficiales	
Horas de afectación	9.5horas
Total	9.5horas

Figura 33. Cronograma de ejecución por mantenimiento rutinario de la alternativa 02

4.3.2.2 Mantenimiento Periódico de la alternativa 02

En la Tabla 26, en base a las partidas, APUS y metrado definidos para el mantenimiento periódico de la alternativa, se obtiene el siguiente presupuesto:

Tabla 26

Costo por mantenimiento Periódico de la Alternativa 02

Descripción	Un	Metrado	PU	Parcial	Total
Entorno y estructura					S/. 23,906.09
Limpieza de cauce	m ²	815.5	S/. 10.12	S/. 8,251.83	
Limpieza de puente	m ²	315.5	S/. 6.68	S/. 2,106.88	
Limpieza de superficie de concreto	m ²	693	S/. 19.55	S/. 13,547.37	
Concreto					S/. 34,448.19
Reparación de estructura de concreto armado	ml	4	S/. 2,284.41	S/. 9,137.64	
Pintado de estructuras de concreto	m ²	693	S/. 36.52	S/. 25,310.55	
Total					S/. 58,354.28

En la Figura 34, en base a los APUS y a la cuadrilla típica definida para los trabajos de mantenimiento, se estima el tiempo ejecución de las partidas de mantenimiento periódico:

Cronograma de actividades							
Días	1	2	3	4	5	6	7
Partida							
Limpieza de cauce							
Limpieza de puente							
Limpieza de superficie de concreto							
Reparación de estructura de concreto armado							
Pintado de estructuras de concreto							
Horas de afectación	9.5horas	9.5horas	9.5horas	9.5horas	9.5horas	9.5horas	1.4horas
Total							58.4

Figura 34. Cronograma de ejecución por mantenimiento periódico de la alternativa 02

Finalmente, se obtiene la siguiente Tabla 27, donde se indica el costo y tiempo de interrupción por trabajos de mantenimiento, rutinario o periódico.

Tabla 27

Costo por Mantenimiento durante el Ciclo de Vida de la alternativa 02

Año	Costo	Tiempo (horas)
0	S/. -	0.00
1	S/. 14,054.38	9.50
2	S/. 14,054.38	9.50
3	S/. 14,054.38	9.50
4	S/. 14,054.38	9.50
5	S/. 58,354.28	58.40
6	S/. 14,054.38	9.50
7	S/. 14,054.38	9.50
8	S/. 14,054.38	9.50
9	S/. 14,054.38	9.50
10	S/. 58,354.28	58.40
11	S/. 14,054.38	9.50
12	S/. 14,054.38	9.50
13	S/. 14,054.38	9.50
14	S/. 14,054.38	9.50
15	S/. 58,354.28	58.40
16	S/. 14,054.38	9.50
17	S/. 14,054.38	9.50
18	S/. 14,054.38	9.50
19	S/. 14,054.38	9.50

20	S/.	58,354.28	58.40
21	S/.	14,054.38	9.50
22	S/.	14,054.38	9.50
23	S/.	14,054.38	9.50
24	S/.	14,054.38	9.50
25	S/.	58,354.28	58.40
26	S/.	14,054.38	9.50
27	S/.	14,054.38	9.50
28	S/.	14,054.38	9.50
29	S/.	14,054.38	9.50
30	S/.	58,354.28	58.40
31	S/.	14,054.38	9.50
32	S/.	14,054.38	9.50
33	S/.	14,054.38	9.50
34	S/.	14,054.38	9.50
35	S/.	58,354.28	58.40
36	S/.	14,054.38	9.50
37	S/.	14,054.38	9.50
38	S/.	14,054.38	9.50
39	S/.	14,054.38	9.50
40	S/.	58,354.28	58.40
41	S/.	14,054.38	9.50
42	S/.	14,054.38	9.50
43	S/.	14,054.38	9.50
44	S/.	14,054.38	9.50
45	S/.	58,354.28	58.40
46	S/.	14,054.38	9.50
47	S/.	14,054.38	9.50
48	S/.	14,054.38	9.50
49	S/.	14,054.38	9.50
50	S/.	58,354.28	58.40

4.3.3 Costo y tiempo de mantenimiento de la alternativa 03

En esta sección se van a cuantificar los costos de mantenimiento para la alternativa de sustitución del puente de concreto armado con vigas de acero tipo doble T compuesta.

Como se ha definido, para el caso de esta alternativa, el mantenimiento rutinario se va a ejecutar anualmente, y el mantenimiento periódico se va a ejecutar cada 3 años.

4.3.3.1 Mantenimiento rutinario de la alternativa 03

En la Tabla 28, en base a las partidas, APUS y metrado definidos para el mantenimiento rutinario de la alternativa, se obtiene el siguiente presupuesto:

Tabla 28

Costo por mantenimiento Rutinario de la Alternativa 03

Descripción	Un	Metrado	PU	Parcial	Total
Entorno y estructura					S/. 9,813.20
Limpieza de cauce	m ²	815.5	S/. 10.12	S/. 8,251.83	
Limpieza de puente	m ²	315.5	S/. 4.95	S/. 1,561.37	
Concreto					S/. 1,979.22
Reparación de fisuras superficiales en concreto	ml	3.5	S/. 565.49	S/. 1,979.22	
Total					S/. 11,792.42

En la Figura 35, en base a los APUS y a la cuadrilla típica definida para los trabajos de mantenimiento, se estima el tiempo ejecución de las partidas de mantenimiento rutinario:

Cronograma de actividades	
Días	1
Partida	
Limpieza de cauce	
Limpieza de puente	
Reparación de fisuras superficiales	
Horas de afectación	9.5horas
Total	9.5horas

Figura 35. Cronograma de ejecución por mantenimiento rutinario de la alternativa 03

4.3.3.2 Mantenimiento periódico de la alternativa 03

En la Tabla 29, en base a las partidas, APUS y metrado definidos para el mantenimiento periódico de la alternativa, se obtiene el siguiente presupuesto:

Tabla 29

Costo por mantenimiento Periódico de la Alternativa 03

Descripción	Un	Metrado	PU	Parcial	Total
Entorno y estructura					S/. 15,554.57
Limpieza de cauce	m ²	815.5	S/. 10.12	S/. 8,251.83	
Limpieza de puente	m ²	315.5	S/. 6.68	S/. 2,106.88	
Limpieza de superficie de acero	m ²	490	S/. 20.89	S/. 10,237.28	
Limpieza de superficie de concreto	m ²	272	S/. 19.55	S/. 5,317.29	
Concreto					S/. 13,360.92
Pintado de estructuras de concreto	m ²	272	S/. 36.52	S/. 9,934.30	
Reparación de estructura de concreto armado	ml	1.5	S/. 2,284.41	S/. 3,426.61	
Acero					S/. 40,891.20
Pintura estructura metálica	m ²	490	S/. 83.45	S/. 40,891.20	
Total					S/. 69,806.69

En la Figura 36, en base a los APUS y a la cuadrilla típica definida para los trabajos de mantenimiento, se estima el tiempo ejecución de las partidas de mantenimiento periódico:

Cronograma de actividades											
Días	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Partida											
Limpieza de cauce											
Limpieza de puente											
Limpieza de superficie de acero											
Limpieza de superficie de concreto											
Pintado de estructuras de concreto											
Reparación de estructura de concreto armado											
Pintura estructura metálica											
Horas de afectación	9.50horas	9.50horas	9.50horas	9.50horas	9.50horas	9.50horas	9.50horas	9.50horas	9.50horas	9.50horas	0.45horas
Total											95.45

Figura 36. Cronograma de ejecución por mantenimiento periódico de la alternativa 03

Finalmente, se obtiene la siguiente Tabla 30, donde se indica el costo y tiempo de interrupción por trabajos de mantenimiento, rutinario o periódico.

Tabla 30

Costo por Mantenimiento durante el ciclo de vida de la Alternativa 03

Año	Costo	Tiempo (horas)
0	S/.	-
1	S/.	11,792.42
2	S/.	11,792.42
3	S/.	69,806.69
4	S/.	11,792.42
5	S/.	11,792.42
6	S/.	69,806.69
7	S/.	11,792.42
8	S/.	11,792.42
9	S/.	69,806.69
10	S/.	11,792.42
11	S/.	11,792.42
12	S/.	69,806.69
13	S/.	11,792.42
14	S/.	11,792.42
15	S/.	69,806.69
16	S/.	11,792.42
17	S/.	11,792.42
18	S/.	69,806.69
19	S/.	11,792.42
20	S/.	11,792.42

21	S/.	69,806.69	95.45
22	S/.	11,792.42	9.50
23	S/.	11,792.42	9.50
24	S/.	69,806.69	95.45
25	S/.	11,792.42	9.50
26	S/.	11,792.42	9.50
27	S/.	69,806.69	95.45
28	S/.	11,792.42	9.50
29	S/.	11,792.42	9.50
30	S/.	69,806.69	95.45
31	S/.	11,792.42	9.50
32	S/.	11,792.42	9.50
33	S/.	69,806.69	95.45
34	S/.	11,792.42	9.50
35	S/.	11,792.42	9.50
36	S/.	69,806.69	95.45
37	S/.	11,792.42	9.50
38	S/.	11,792.42	9.50
39	S/.	69,806.69	95.45
40	S/.	11,792.42	9.50
41	S/.	11,792.42	9.50
42	S/.	69,806.69	95.45
43	S/.	11,792.42	9.50
44	S/.	11,792.42	9.50
45	S/.	69,806.69	95.45
46	S/.	11,792.42	9.50
47	S/.	11,792.42	9.50
48	S/.	69,806.69	95.45
49	S/.	11,792.42	9.50
50	S/.	11,792.42	9.50

4.4 Costo de usuario de las alternativas de sustitución

En el presente capítulo se van a calcular los costos de usuario de cada alternativa de sustitución definida.

En la presente investigación, se van a tener dos casos de interrupción de la vía del puente: por la construcción del puente y por la ejecución de los trabajos de mantenimiento. En el primer caso, se va a tener una interrupción del puente durante todo el proceso de construcción hasta su culminación. Y en el segundo caso, se va a tener una interrupción en el horario de trabajo de 7:30am a 5:00pm.

En la Figura 37, se ha definido una ruta de desvío durante la ejecución de trabajos en el puente, que tiene una longitud de recorrido de 5.2 km. En función a la velocidad promedio en carreteras de 90 km/h, se tiene un tiempo de recorrido de 0.0578 h.

Figura 37. Propuesta de desvío de ruta

En la Figura 38, de manera regular, desde los puntos de inicio y fin del desvío, se tienen 5.1 km de recorrido. Además, en función a la velocidad promedio en carreteras de 90 km/h, se tiene un tiempo de recorrido de 0.0567 h.

Figura 38. Ruta regular

Producto del desvío, se tiene 0.1 km de recorrido extra y 0.0011 horas productivas perdidas por el usuario. Estos datos servirán para cuantificar el consumo extra de combustible y la hora productiva perdida por usuario.

Se estima que el precio del combustible es S./12.65 el galón.

Se ha determinado que se tiene un consumo de combustible por tipo de vehículo, de acuerdo a la siguiente Tabla 31:

Tabla 31

Consumo de combustible por tipo de vehículo (gal/km)

Tipo	Rendimiento
Ligero	0.017
Pesado	0.065

En función al reporte del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), Figura 39, se establece que el ingreso promedio mensual peruano es de S/1376.8, por lo que se puede inferir que el valor de la hora productiva es S./5.74.

Figura 39. Ingreso promedio mensual por departamento (soles)

Adaptado de “Indicadores de empleo e ingreso por departamento 2007-2017”, por INEI, 2018

En función al reporte emitido por Organismo Supervisor de la Inversión en Infraestructura de Transporte de Uso Público (OSITRAN), Figura 40, sobre la red Vial N°04 Tramo: Pativilca – Santa – Trujillo y Puerto Salaverry, donde se encuentra ubicado el peaje de Fortaleza, se tiene lo siguiente:

Tipo de vehículo	Unidad de peaje	2017	2018	Flujo	var. %
Livianos	Fortaleza	443	637	194	43,8%
	Huarmey	379	551	173	45,6%
	Vesique	399	330	-69	-17,4%
	Virú	661	1'439	778	117,7%
Pesados	Fortaleza	847	1 205	358	42,2%
	Huarmey	795	1 155	360	45,4%
	Vesique	251	416	165	65,5%
	Virú	740	1 586	846	114,4%
Total	Fortaleza	1 290	1 842	552	42,8%
	Huarmey	1 173	1 706	533	45,4%
	Vesique	651	746	95	14,7%
	Virú	1 401	3 025	1 624	115,9%

Figura 40. Variación del tráfico por tipo de vehículos (miles de vehículos), 2017 - 2018

Adaptado de “Informe de desempeño 2018: Concesión de la red vial N°04 Tramo Pativilca – Santa – Trujillo y Puerto Salaverry”, por OSITRAN, 2018

De la figura 27, se puede determinar lo siguiente:

- Durante el año 2018, han transitado 1 842 000 vehículos. De ese total, 637000 corresponde a vehículos livianos, 35%; 1 205 000 corresponde a vehículos pesados, 65%.
- Mensualmente, transitan en promedio 53 000 vehículos livianos y 100 400 vehículos pesados.
- Diariamente, transitan en promedio 1770 vehículos livianos y 8365 vehículos pesados.
- Se estima que durante el horario de trabajo de 7:30am a 5:00pm, transcurre el 40% de vehículos livianos diariamente, 708 vehículos livianos; y el 30% de vehículos pesados diariamente, 2509 vehículos pesados.

4.4.1 Costo de usuario de la alternativa 01

En esta sección se va a cuantificar el costo de usuario de la alternativa de puente de concreto armado con vigas tipo T.

Se va a tener dos tipos de costo de usuario: por tiempo de construcción de la alternativa y por tiempo de ejecución de los trabajos de mantenimiento de la alternativa.

4.4.1.1 Costo de usuario por tiempo de construcción de la alternativa 01

Para la alternativa, se tiene un tiempo de construcción de 2.25 meses o 67 días.

Se van a cuantificar los costos de usuario por consumo extra de combustible y por hora productiva perdida.

En el caso por consumo extra de combustible, en función al flujo vehicular mensual, rendimiento de combustible por tipo de vehículo, distancia extra por desvío y precio del combustible se obtiene la siguiente Tabla 32 y Tabla 33:

Tabla 32

Consumo extra de Combustible por mes por tipo de vehículo por Tiempo de Construcción - Alternativa 01 (gal)

Tipo de vehículo	Consumo extra (Gal)
Ligero	90.10
Pesado	652.60
Total	742.70

Tabla 33

Consumo extra de Combustible por mes por tipo de Vehículo por Tiempo de construcción - Alternativa 01 (soles)

Tipo de vehículo	Consumo extra (S/.)	
Ligero	S/.	1,139.77
Pesado	S/.	8,255.39
Total	S/.	9,395.16

En la Tabla 34, en función al tiempo de interrupción por construcción, se puede determinar el costo total de usuario por consumo extra de combustible por tiempo de construcción:

Tabla 34

Costo de Usuario por consumo extra de Combustible por tiempo de Construcción - Alternativa 01

Costo (S/.)		Tiempo (mes)		Total (S/.)
S/.	9,395.16	2.25	S/.	21,139.10

En el caso por hora productiva perdida, en base al valor de la hora productiva, tiempo de recorrido extra y al flujo vehicular mensual se obtiene la Tabla 35 y Tabla 36:

Tabla 35

Tiempo extra recorrido por mes por tipo de vehículo por tiempo de construcción – Alternativa 01 (horas)

Tipo de vehículo	Tiempo extra (Horas)
Ligero	58.89
Pesado	111.56
Total	170.44

Tabla 36

Tiempo extra recorrido por mes por tipo de vehículo por tiempo de construcción – Alternativa 01 (soles)

Tipo	Tiempo extra (S/.)	
Ligero	S/.	337.83
Pesado	S/.	639.96
Total	S/.	977.78

En la Tabla 37, en función al tiempo de interrupción por construcción, se puede hallar el costo total de usuario por tiempo extra de recorrido:

Tabla 37

Costo de usuario por tiempo extra recorrido por tiempo de construcción - Alternativa 01

Costo (S/.)		Tiempo (mes)		Total (S/.)	
S/.	977.78	2.25	S/.	2,200.01	

En la Tabla 38, finalmente, se establece el costo total de usuario por tiempo de construcción:

Tabla 38

Costo de usuario total por tiempo de construcción - Alternativa 01

Caso	Costo (S/.)		Tiempo (mes)		Total (S/.)	
Consumo extra de combustible	S/.	9,395.16	2.25	S/.	21,139.10	
Tiempo extra recorrido	S/.	977.78	2.25	S/.	2,200.01	
Total				S/.	23,339.11	

4.4.1.2 Costo de usuario por tiempo de mantenimiento de la alternativa 01

Para la alternativa 01, se tienen tiempos de interrupción por mantenimiento rutinario y por mantenimiento periódico. El horario de trabajo para las actividades de mantenimiento es de 7:30 am a 5:00 pm.

Se van a cuantificar los costos de usuario por consumo extra de combustible y por hora productiva perdida.

En el caso del mantenimiento rutinario, se tiene una interrupción del puente de 10.90 horas u 1.15 días.

En el caso por mantenimiento periódico, se tiene una interrupción del puente de 62.65 horas o 6.59 días.

El mantenimiento periódico se efectúa cada 4 años en el caso de la presente alternativa.

Para el caso por consumo extra de combustible, en función al flujo vehicular diario, rendimiento de combustible por tipo de vehículo, recorrido extra por desvío y precio del combustible se obtiene la Tabla 39 y Tabla 40:

Tabla 39

Consumo extra de combustible por día por tipo de vehículo por tiempo de mantenimiento - Alternativa 01 (gal)

Tipo de vehículo	Consumo extra (Gal)
Ligero	1.20
Pesado	16.31
Total	17.51

Tabla 40

Consumo extra de combustible por día por tipo de vehículo por tiempo de mantenimiento - Alternativa 01 (soles)

Tipo de vehículo	Consumo extra (S/.)
Ligero	S/. 15.23
Pesado	S/. 206.30
Total	S/. 221.53

En la Tabla 41, en función al costo de consumo extra de combustible por día y los días de interrupción por tipo de mantenimiento, se establece que:

Tabla 41

Costo de usuario por consumo extra de combustible por tipo de mantenimiento – Alternativa 01 (soles)

Mantenimiento	Costo (S/.)	Tiempo (Días)	Total (S/.)
Rutinario	S/. 221.53	1.15	S/. 254.17
Periódico	S/. 221.53	6.59	S/. 1,460.92

Para el caso por hora productiva perdida, en función al conteo vehicular diario, tiempo extra por desvío y costo de hora productiva se obtienen la Tabla 42 y Tabla 43:

Tabla 42

Tiempo extra recorrido por día por tipo de vehículo por tiempo de mantenimiento – Alternativa 01 (horas)

Tipo	Tiempo extra (Horas)
Ligero	0.79
Pesado	2.79

Total	3.57
-------	------

Tabla 43

Tiempo extra recorrido por día por tipo de vehículo por tiempo de mantenimiento – Alternativa 01 (soles)

Tipo	Tiempo extra (S/.)	
Ligero	S/.	4.51
Pesado	S/.	15.99
Total	S/.	20.51

En la Tabla 44, en función al costo de hora productiva perdida y los días de interrupción por tipo de mantenimiento, se establece que:

Tabla 44

Costo de usuario por tiempo extra recorrido por tipo de mantenimiento – Alternativa 01 (soles)

Mantenimiento	Costo (S/.)		Tiempo (Días)		Total (S/.)
Rutinario	S/.	20.51	1.15	S/.	23.58
Periódico	S/.	20.51	6.59	S/.	135.13

En la Tabla 45, en base a lo obtenido, se establece el costo de usuario total por tipo de mantenimiento:

Tabla 45

Costo de usuario total por tipo de Mantenimiento – Alternativa 01

Mantenimiento	Costo (S/.)	
Rutinario	S/.	277.76
Periódico	S/.	1,596.05

En la Tabla 46, finalmente, en base a lo obtenido, se obtiene el costo de usuario por año por tiempo de interrupción por construcción y mantenimiento. Se establece que el año 0 es el de construcción del puente, y el tiempo vida útil de la estructura es de 50 años.

Tabla 46

Costo de Usuario por año de servicio - Alternativa 01

Año		Costo
0	S/.	23,339.11
1	S/.	277.76
2	S/.	277.76
3	S/.	277.76
4	S/.	1,596.05
5	S/.	277.76
6	S/.	277.76
7	S/.	277.76
8	S/.	1,596.05
9	S/.	277.76
10	S/.	277.76
11	S/.	277.76
12	S/.	1,596.05
13	S/.	277.76
14	S/.	277.76
15	S/.	277.76
16	S/.	1,596.05
17	S/.	277.76
18	S/.	277.76
19	S/.	277.76
20	S/.	1,596.05
21	S/.	277.76
22	S/.	277.76
23	S/.	277.76
24	S/.	1,596.05
25	S/.	277.76
26	S/.	277.76
27	S/.	277.76
28	S/.	1,596.05
29	S/.	277.76
30	S/.	277.76
31	S/.	277.76

32	S/.	1,596.05
33	S/.	277.76
34	S/.	277.76
35	S/.	277.76
36	S/.	1,596.05
37	S/.	277.76
38	S/.	277.76
39	S/.	277.76
40	S/.	1,596.05
41	S/.	277.76
42	S/.	277.76
43	S/.	277.76
44	S/.	1,596.05
45	S/.	277.76
46	S/.	277.76
47	S/.	277.76
48	S/.	1,596.05
49	S/.	277.76
50	S/.	277.76

4.4.2 Costo de usuario de la alternativa 02

En esta sección se va a cuantificar el costo de usuario de la alternativa de puente de concreto armado con vigas postensadas tipo V.

Se va a tener dos tipos de costo de usuario: por tiempo de construcción de la alternativa y por tiempo de ejecución de los trabajos de mantenimiento de la alternativa.

4.4.2.1 Costo de usuario por tiempo de construcción de la alternativa 02

Para la alternativa, se tiene un tiempo de construcción de 3.25 mes o 97 días.

Se van a cuantificar los costos de usuario por consumo extra de combustible y por hora productiva perdida.

En el caso por consumo extra de combustible, en función al flujo vehicular mensual, rendimiento de combustible por tipo de vehículo, distancia extra por desvío y precio del combustible se obtiene la Tabla 47 y Tabla 48:

Tabla 47

Consumo extra de combustible por mes por tipo de vehículo por tiempo de construcción - Alternativa 02 (gal)

Tipo de vehículo	Consumo extra (Gal)
Ligero	90.10
Pesado	652.60
Total	742.70

Tabla 48

Consumo extra de combustible por mes por tipo de vehículo por tiempo de construcción - Alternativa 02 (soles)

Tipo de vehículo	Consumo extra (S/.)	
Ligero	S/.	1,139.77
Pesado	S/.	8,255.39
Total	S/.	9,395.16

En la Tabla 49, en función al tiempo de interrupción por construcción, se puede determinar el costo total de usuario por consumo extra de combustible por tiempo de construcción:

Tabla 49

Costo de usuario por consumo extra de combustible por tiempo de construcción - Alternativa 02

Costo (S/.)		Tiempo (mes)	Total (S/.)	
S/.	9,395.16	3.25	S/.	30,534.25

En el caso por hora productiva perdida, en base al valor de la hora productiva, tiempo de recorrido extra y al flujo vehicular mensual se obtiene la Tabla 50 y Tabla 51:

Tabla 50

Tiempo extra recorrido por mes por tipo de vehículo por tiempo de construcción – Alternativa 02 (horas)

Tipo	Tiempo extra (Horas)
Ligero	58.89
Pesado	111.56
Total	170.44

Tabla 51

Tiempo extra recorrido por mes por tipo de vehículo por tiempo de construcción – Alternativa 02 (soles)

Tipo	Tiempo extra (S/.)
Ligero	S/. 337.83
Pesado	S/. 639.96
Total	S/. 977.78

En la Tabla 52, en función al tiempo de interrupción por construcción, se puede hallar el costo total de usuario por tiempo extra de recorrido:

Tabla 52

Costo de usuario por tiempo extra recorrido por tiempo de construcción - Alternativa 02

Costo (S/.)	Tiempo (mes)	Total (S/.)
S/. 977.78	3.25	S/. 3,177.79

En la Tabla 53, finalmente, se establece el costo total de usuario por tiempo de construcción:

Tabla 53

Costo de usuario total por tiempo de construcción - Alternativa 02

Caso	Costo (S/.)	Tiempo (mes)	Total (S/.)
Consumo extra de combustible	S/. 9,395.16	3.25	S/. 30,534.25
Tiempo extra recorrido	S/. 977.78	3.25	S/. 3,177.79
Total			S/. 33,712.05

4.4.2.2 Costo de usuario por tiempo de mantenimiento de la alternativa 02

Para la alternativa, se tienen tiempos de interrupción por mantenimiento rutinario y por mantenimiento periódico. El horario de trabajo para las actividades de mantenimiento es de 7:30 am a 5:00 pm.

Se van a cuantificar los costos de usuario por consumo extra de combustible y por hora productiva perdida.

En el caso del mantenimiento rutinario, se tiene una interrupción del puente de 9.5 horas o 1 día.

En el caso por mantenimiento periódico, se tiene una interrupción del puente de 58.40 horas o 6.15 días.

El mantenimiento periódico se efectúa cada 5 años en el caso de la presente alternativa.

Para el caso por consumo extra de combustible, en función al conteo vehicular diario, rendimiento de combustible por tipo de vehículo, recorrido extra por desvío y precio del combustible se obtiene la siguiente Tabla 54 y Tabla 55:

Tabla 54

Consumo extra de combustible por día por tipo de vehículo por tiempo de mantenimiento - Alternativa 02 (gal)

Tipo de vehículo	Consumo extra (Gal)
Ligero	1.20
Pesado	16.31
Total	17.51

Tabla 55

Consumo extra de combustible por día por tipo de vehículo por tiempo de mantenimiento - Alternativa 02 (soles)

Tipo de vehículo	Consumo extra (S/.)
Ligero	S/. 15.23
Pesado	S/. 206.30
Total	S/. 221.53

En la Tabla 56, en función al costo de consumo extra de combustible por día y los días de interrupción por tipo de mantenimiento, se establece que:

Tabla 56

Costo de usuario por consumo extra de combustible por tipo de mantenimiento – Alternativa 02 (soles)

Mantenimiento		Costo (S/.)	Tiempo (Días)	Total (S/.)
Rutinario	S/.	221.53	1.00	S/. 221.53
Periódico	S/.	221.53	6.15	S/. 1,361.81

Para el caso por hora productiva perdida, en función al conteo vehicular diario, tiempo extra por desvío y costo de hora productiva se obtiene la siguiente Tabla 57 y Tabla 58:

Tabla 57

Tiempo extra recorrido por día por tipo de vehículo por tiempo de mantenimiento – Alternativa 02 (horas)

Tipo	Tiempo extra (Horas)
Ligero	0.79
Pesado	2.79
Total	3.57

Tabla 58

Tiempo extra recorrido por día por tipo de vehículo por tiempo de mantenimiento – Alternativa 02 (soles)

Tipo	Tiempo extra (S/.)
Ligero S/.	4.51
Pesado S/.	15.99
Total S/.	20.51

En la Tabla 59, en función al costo de hora productiva perdida y los días de interrupción por tipo de mantenimiento, se establece que:

Tabla 59

Costo de usuario por tiempo extra recorrido por tipo de mantenimiento – Alternativa 02 (soles)

Mantenimiento		Costo (S/.)	Tiempo (Días)	Total (S/.)
Rutinario	S/.	20.51	1.00	S/. 20.51
Periódico	S/.	20.51	6.15	S/. 126.05

En la Tabla 60, en base a lo obtenido, se establece el costo de usuario total por tipo de mantenimiento:

Tabla 60

Costo de usuario total por tipo de mantenimiento – Alternativa 02

Mantenimiento		Costo (S/.)
Rutinario	S/.	242.03
Periódico	S/.	1,487.87

En la Tabla 61, finalmente, en base a lo obtenido, se obtiene el costo de usuario por año por tiempo de interrupción por construcción y mantenimiento. Se establece que el año 0 es el de construcción del puente, y el tiempo vida útil de la estructura es de 50 años.

Tabla 61

Costo de usuario por año de servicio - Alternativa 02

Año		Costo
0	S/.	33,712.05
1	S/.	242.03
2	S/.	242.03
3	S/.	242.03
4	S/.	242.03
5	S/.	1,487.87
6	S/.	242.03
7	S/.	242.03
8	S/.	242.03
9	S/.	242.03
10	S/.	1,487.87
11	S/.	242.03
12	S/.	242.03
13	S/.	242.03

14	S/.	242.03
15	S/.	1,487.87
16	S/.	242.03
17	S/.	242.03
18	S/.	242.03
19	S/.	242.03
20	S/.	1,487.87
21	S/.	242.03
22	S/.	242.03
23	S/.	242.03
24	S/.	242.03
25	S/.	1,487.87
26	S/.	242.03
27	S/.	242.03
28	S/.	242.03
29	S/.	242.03
30	S/.	1,487.87
31	S/.	242.03
32	S/.	242.03
33	S/.	242.03
34	S/.	242.03
35	S/.	1,487.87
36	S/.	242.03
37	S/.	242.03
38	S/.	242.03
39	S/.	242.03
40	S/.	1,487.87
41	S/.	242.03
42	S/.	242.03
43	S/.	242.03
44	S/.	242.03
45	S/.	1,487.87
46	S/.	242.03

47	S/.	242.03
48	S/.	242.03
49	S/.	242.03
50	S/.	1,487.87

4.4.3 Costo de usuario de la alternativa 03

En esta sección se va a cuantificar el costo de usuario de la alternativa de puente de concreto armado con vigas de acero tipo doble T compuesta.

Se va a tener dos tipos de costo de usuario: por tiempo de construcción de la alternativa y por tiempo de ejecución de los trabajos de mantenimiento anual de la alternativa.

4.4.3.1 Costo de usuario por tiempo de construcción de la alternativa 03

Para la alternativa, se tiene un tiempo de construcción de 2 meses o 60 días.

Se van a cuantificar los costos de usuario por consumo extra de combustible y por hora productiva perdida.

En el caso por consumo extra de combustible, en función al flujo vehicular mensual, rendimiento de combustible por tipo de vehículo, distancia extra por desvío y precio del combustible se obtiene la Tabla 62 y Tabla 63:

Tabla 62

Consumo extra de combustible por mes por tipo de vehículo por tiempo de construcción - Alternativa 03 (gal)

Tipo de vehículo	Consumo extra (Gal)
Ligero	90.10
Pesado	652.60
Total	742.70

Tabla 63

Consumo extra de combustible por mes por tipo de vehículo por tiempo de construcción - Alternativa 03 (soles)

Tipo de vehículo	Consumo extra (S/.)
Ligero	S/. 1,139.77
Pesado	S/. 8,255.39

Total	S/.	9,395.16
-------	-----	----------

En la Tabla 64, en función al tiempo de interrupción por construcción, se puede determinar el costo total de usuario por consumo extra de combustible por tiempo de construcción:

Tabla 64

Costo de usuario por consumo extra de combustible por tiempo de construcción - Alternativa 03

Costo (S/.)	Tiempo (mes)	Total (S/.)
S/. 9,395.16	2	S/. 18,790.31

En el caso por hora productiva perdida, en base al valor de la hora productiva, tiempo de recorrido extra y al flujo vehicular mensual se obtiene la Tabla 65 y Tabla 66:

Tabla 65

Tiempo extra recorrido por mes por tipo de vehículo por tiempo de construcción – Alternativa 03 (horas)

Tipo	Tiempo extra (Horas)
Ligero	58.89
Pesado	111.56
Total	170.44

Tabla 66

Tiempo extra recorrido por mes por tipo de vehículo por tiempo de construcción – Alternativa 03 (soles)

Tipo	Tiempo extra (S/.)
Ligero S/.	337.83
Pesado S/.	639.96
Total S/.	977.78

En la Tabla 67, en función al tiempo de interrupción por construcción, se puede hallar el costo total de usuario por tiempo extra de recorrido:

Tabla 67

Costo de usuario por tiempo extra recorrido por tiempo de construcción - Alternativa 03

Costo (S/.)	Tiempo (mes)	Total (S/.)
S/. 977.78	2	S/. 1,955.57

En la Tabla 68, finalmente, se establece el costo total de usuario por tiempo de construcción:

Tabla 68

Costo de usuario total por tiempo de construcción - Alternativa 03

Caso	Costo (S/.)	Tiempo (mes)	Total (S/.)
Consumo extra de combustible	S/. 9,395.16	2	S/. 18,790.31
Tiempo extra recorrido	S/. 977.78	2	S/. 1,955.57
Total			S/. 20,745.88

4.4.3.2 Costo de usuario por tiempo de mantenimiento de la alternativa 03

Para la alternativa, se tienen tiempos de interrupción por mantenimiento rutinario y por mantenimiento periódico. El horario de trabajo para las actividades de mantenimiento es de 7:30 am a 5:00 pm.

Se van a cuantificar los costos de usuario por consumo extra de combustible y por hora productiva perdida.

En el caso del mantenimiento rutinario, se tiene una interrupción del puente de 9.5 horas o 1 día.

En el caso por mantenimiento periódico, se tiene una interrupción del puente de 95.45 horas o 10.05 días.

El mantenimiento periódico se efectúa cada 3 años en el caso de la alternativa 03.

Para el caso por consumo extra de combustible, en función al conteo vehicular diario, rendimiento de combustible por tipo de vehículo, recorrido extra por desvío y precio del combustible se obtiene la Tabla 69 y Tabla 70:

Tabla 69

Consumo extra de combustible por día por tipo de vehículo por tiempo de mantenimiento - Alternativa 03 (gal)

Tipo de vehículo	Consumo extra (Gal)
Ligero	1.20

Pesado	16.31
Total	17.51

Tabla 70

Consumo extra de combustible por día por tipo de vehículo por tiempo de mantenimiento - Alternativa 03 (soles)

Tipo de vehículo	Consumo extra (S/.)
Ligero	S/. 15.23
Pesado	S/. 206.30
Total	S/. 221.53

En la Tabla 71, en función al costo de consumo extra de combustible por día y los días de interrupción por tipo de mantenimiento, se establece que:

Tabla 71

Costo de usuario por consumo extra de combustible por tipo de mantenimiento – Alternativa 03 (soles)

Mantenimiento	Costo (S/.)	Tiempo (Días)	Total (S/.)
Rutinario	S/. 221.53	1.00	S/. 221.53
Periódico	S/. 221.53	10.05	S/. 2,225.77

Para el caso por hora productiva perdida, en función al conteo vehicular diario, tiempo extra por desvío y costo de hora productiva se obtiene la Tabla 72 y Tabla 73:

Tabla 72

Tiempo extra recorrido por día por tipo de vehículo por tiempo de mantenimiento – Alternativa 03 (horas)

Tipo	Tiempo extra (Horas)
Ligero	0.79
Pesado	2.79
Total	3.57

Tabla 73

Tiempo extra recorrido por día por tipo de vehículo por tiempo de mantenimiento – Alternativa 03 (soles)

Tipo	Tiempo extra (S/.)	
Ligero	S/.	4.51
Pesado	S/.	15.99
Total	S/.	20.51

En la Tabla 74, en función al costo de hora productiva perdida y los días de interrupción por tipo de mantenimiento, se establece que:

Tabla 74

Costo de usuario por tiempo extra recorrido por tipo de mantenimiento – Alternativa 03 (soles)

Mantenimiento	Costo (S/.)		Tiempo (Días)		Total (S/.)	
Rutinario	S/.	20.51	1.00	S/.	20.51	
Periódico	S/.	20.51	10.05	S/.	206.08	

En la Tabla 75, en base a lo obtenido, se establece el costo de usuario total por tipo de mantenimiento:

Tabla 75

Costo de usuario total por tipo de mantenimiento – Alternativa 03

Mantenimiento	Costo (S/.)	
Rutinario	S/.	242.03
Periódico	S/.	2,431.85

En la Tabla 76, finalmente, en base a lo obtenido, se obtiene el costo de usuario por año por tiempo de interrupción por construcción y O&M. Se establece que el año 0 es el de construcción del puente, y el tiempo vida útil de la estructura es de 50 años.

Tabla 76

Costo de usuario por año de servicio - Alternativa 03

Año		Costo
0	S/.	20,745.88
1	S/.	242.03
2	S/.	242.03
3	S/.	2,431.85
4	S/.	242.03
5	S/.	242.03
6	S/.	2,431.85
7	S/.	242.03
8	S/.	242.03
9	S/.	2,431.85
10	S/.	242.03
11	S/.	242.03
12	S/.	2,431.85
13	S/.	242.03
14	S/.	242.03
15	S/.	2,431.85
16	S/.	242.03
17	S/.	242.03
18	S/.	2,431.85
19	S/.	242.03
20	S/.	242.03
21	S/.	2,431.85
22	S/.	242.03
23	S/.	242.03
24	S/.	2,431.85
25	S/.	242.03
26	S/.	242.03
27	S/.	2,431.85
28	S/.	242.03
29	S/.	242.03
30	S/.	2,431.85
31	S/.	242.03

32	S/.	242.03
33	S/.	2,431.85
34	S/.	242.03
35	S/.	242.03
36	S/.	2,431.85
37	S/.	242.03
38	S/.	242.03
39	S/.	2,431.85
40	S/.	242.03
41	S/.	242.03
42	S/.	2,431.85
43	S/.	242.03
44	S/.	242.03
45	S/.	2,431.85
46	S/.	242.03
47	S/.	242.03
48	S/.	2,431.85
49	S/.	242.03
50	S/.	242.03

4.5 Análisis de resultados y elección de la alternativa de sustitución

En esta sección se analizan los resultados obtenidos en los capítulos anteriores, para definir la alternativa de sustitución de la superestructura del puente Fortaleza que genere la menor afectación tanto al estado como al usuario del puente.

Al tener un flujo de costos durante el tiempo de vida útil de 50 años, es necesario traer los costos al año 0 y poder hacer la comparación de los resultados globales en tiempo presente. Se usa la herramienta del VAN (Valor actual neto) para traer los costos al año presente.

Para un análisis dinámico se presentan figuras de las que se deducen conclusiones rápidas y precisas.

La Figura 41 muestra la comparación de los costos de construcción de las alternativas de sustitución, donde se puede identificar que la alternativa 01 tiene un menor costo de construcción frente a las otras alternativas.

Figura 41. Costo de construcción de las alternativas de sustitución

La Figura 42 muestra la comparación de costos de mantenimiento de las alternativas de sustitución, en el caso de los costos de mantenimiento, estos se producen a lo largo de la vida útil de la alternativa, por lo que utilizando la herramienta del VAN se traen al año presente los costos a una tasa de descuento del 5%. Se identifica que la alternativa 02 tiene un menor costo de mantenimiento a lo largo de su vida útil.

Figura 42. Costo de mantenimiento de las alternativas de sustitución

La Figura 43 muestra la comparación de costos de usuario de las alternativas de sustitución, en el caso de los costos de usuario, estos se producen a lo largo de la vida útil de la alternativa, por lo que utilizando la herramienta del VAN se traen al año presente los costos a una tasa de descuento del 5%. Se identifica que la alternativa 01 tiene un menor costo de usuario a lo largo de su vida útil.

Figura 43. Costo de usuario de las alternativas de sustitución

La Figura 44 muestra un análisis de sensibilidad de los costos totales de las alternativas de sustitución a distintas tasas de descuento. Se puede observar que la alternativa 01 resulta más rentable a distintas tasas de descuento.

Figura 44. Análisis de sensibilidad 01: Comparativo de costos a distintas tasas de descuento (C/ Costo de construcción)

La Figura 45 muestra un análisis de sensibilidad de los costos de las alternativas sin incluir el costo inicial de construcción y el costo de usuario por tiempo de construcción. Se identifica que la alternativa 02 presenta un menor costo a distintas tasas de descuento por un amplio margen.

Figura 45. Análisis de sensibilidad 2: Comparativo de costos a distintas tasas de descuento (S/ Costo de construcción)

Del análisis de las figuras presentadas se puede determinar lo siguiente:

- El costo de construcción de la alternativa 01 es el más rentable.
- El costo de mantenimiento a lo largo de toda la vida útil de la alternativa 02 es el más rentable.
- El costo de usuario de la alternativa 01 es el más rentable.
- La alternativa 03 genera el mayor costo de agencia y usuario de las alternativas de sustitución.
- Comparando solo los costos de mantenimiento y costos de usuario por tiempo de mantenimiento de las alternativas se determina que la alternativa 02 es más rentable frente a las otras alternativas.
- Se determina que la alternativa 01 genera un menor costo de agencia, pero genera un mayor costo de mantenimiento y costo de usuario por tiempo de mantenimiento durante su tiempo de servicio que la alternativa 02.
- Se determina que la alternativa 02 genera menor afectación al usuario durante el tiempo de servicio del puente.

Por lo que, la alternativa de sustitución elegida es la alternativa 02. Si bien es cierto que, en el año 0, año de construcción, genera un mayor costo de construcción y costo de usuario por tiempo de construcción que la alternativa 01, durante el tiempo de servicio, donde se generan los costos de mantenimiento y los costos de usuario por tiempo de mantenimiento, la alternativa 02 es más rentable frente a la alternativa 01, generando una menor afectación e interrupción tanto al estado como al usuario del puente.

Lo que busca la metodología del LCCA es tener un panorama más amplio a la hora de la toma de decisiones, incluyendo variables que ocurren a lo largo del ciclo de vida del puente, e incluir en el análisis la afectación que las decisiones de la agencia tienen en el usuario.

CAPITULO 5: DISEÑO

En el capítulo 5 se va a realizar el diseño de la alternativa 02 de sustitución escogida para la superestructura del Puente Fortaleza siguiendo las recomendaciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), y, por otro lado, se va a verificar la infraestructura existente para determinar si resiste a la nueva superestructura propuesta.

5.1 Diseño de superestructura

5.1.1 Diseño de tablero

5.1.1.1 Pre dimensionamiento

La altura de un tablero de concreto no deberá ser menor de 17.5 cm.

Cuando los tableros de concreto soportan paramentos o barreras de concreto la altura a utilizar es de 0.20m.

Tomando en cuenta las consideraciones establecidas por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), el espesor establecido mínimo se identifica en la ecuación 5-1:

Ecuación 5-1

$$t_{(\min)} = 0.20m$$

$t_{(\min)}$ = espesor mínimo de losa

5.1.1.2 Cálculo de acero principal negativo

- Carga muerta (DC)

Peso propio de losa:

En la ecuación 5-2 se definen las dimensiones para establecer el peso de la losa por metro lineal.

Ecuación 5-2

$$W_{\text{Losa}} = 0.20m \times 1.0m \times \frac{2400 \text{ kg}}{m^3} = 480 \frac{\text{kg}}{m}$$

W_{Losa} = Peso propio de losa

Figura 46. Carga por peso propio de losa

Peso de barreras:

$$W_{Barreras} = 487 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$W_{Barreras}$ = Peso de barreras

Figura 47. Carga por peso de barreras

Una vez definidas las cargas, se halla el momento negativo por carga muerta a 0.05m de la cara de la primera viga interior del extremo izquierdo, como se muestra en la Figura 48:

Figura 48. Diagrama de momentos por peso muerto (Dc)

Figura 49. Momento por Dc a 0.05m de punto de apoyo B

$$M_{DC} (-) = - 0.255 \text{ ton.m}$$

$M_{DC} (-)$ =Momento negativo de carga muerta

- Carga por superficie de rodadura (DW)

Asfalto:

En la ecuación 5-3 se definen las dimensiones para establecer el peso de rodadura por metro lineal.

Ecuación 5-3

$$W_{\text{Rodadura}} = 0.05\text{m} \times 1.0\text{m} \times \frac{2240 \text{ kg}}{\text{m}^3} = 112 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

W_{Rodadura} = Peso por superficie de rodadura (asfalto)

Figura 50. Carga por superficie de rodadura

Una vez definidas las cargas, se halla el momento negativo por carga de rodadura a 0.05m de la cara de la primera viga interior del extremo izquierdo, como se muestra en la Figura 51.

Figura 51. Diagrama de momento por peso de rodadura (Dw)

Figura 52. Momento por Dw a 0.05m del apoyo B

$$M_{Dw}(-) = -0.089 \text{ ton.m}$$

$M_{Dw}(-)$ = Momento negativo de superficie de rodadura

- Carga viva y efecto de carga dinámica (LL+IM)

De acuerdo a la línea de influencia, ver Figura 53, se determina que la carga de los ejes del camión se debe ubicar a 1.51m del primer punto de apoyo.

Figura 53. Línea de influencia

Figura 54. Cargas por carga viva

Figura 55. Diagrama de momento por carga viva D II+L

Figura 56. Momento por D II+L a 0.05m del apoyo B

$$M(-) = -2.90 \text{ ton.m}$$

$M(-)$ = Momento negativo de carga viva y efecto de carga dinámica

Este momento se ve afectado por el ancho de franja y el efecto de carga dinámica.

Ancho de franja:

La ecuación 5-4 a partir de los parámetros de establecidos en el diseño, se halla el ancho de franja para luego introducir su valor dentro de la ecuación 5-5 y así identificar el momento negativo de la carga viva.

Ecuación 5-4

$$E(-) = 1.22 + 0.25 S'$$

$$E(-) = 1.22 + 0.25 \times 2.6 = 1.87m$$

$E(-)$ = Ancho de Franja

Entonces, el momento por carga viva es el siguiente:

Ecuación 5-5

$$M_{LL+IM}(-) = -2.90 \times \frac{1.2 \times 1.33}{1.87} = -2.48 \text{ ton.m}$$

$M_{LL+IM}(-)$ = Momento negativo de carga viva

- Resumen de momentos negativos para cargas (Ton.m)

Tabla 77

Resumen de momento negativos.

Carga	Tipo	M (-) T.m	γ (Resist. I)
Losa + Barrera	DC	0.255	1.25
Asfalto	DW	0.089	1.5
Carga viva	LL+IM	2.48	1.75

- Diseño por momento último de la sección

Para el diseño por Estado Limite de Resistencia I,

La combinación de carga establecida por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), para el momento último se muestra en la ecuación 5-6 la cual a partir de esta se ejecuta el diseño.

Ecuación 5-6

$$M_u = n * [1.25M_{DC} + 1.50M_{DW} + 1.75M_{LL+IM}]$$

En el momento máximo

$$M_{u(-)} = 4.79 \text{ ton.m}$$

$M_{u(-)}$ = Momento ultimo negativo

b=ancho de la sección de concreto

a= altura de bloque rectangular de esfuerzos de compresión en el concreto.

c= distancia entre el eje neutro y la cara comprimida.

f'_c = Resistencia a la compresión especifica

$A_s (-)$ = Área de la armadura.

β_1 = Factor para el diagrama de tensiones

ϕ = Factor de resistencia

b=100 cm

f'_c = 280 kg/cm²

z = 5.0 + 1.27/2 = 5.64 cm

$$d=20-5.64=14.36$$

Se define el acero a colocar con la formula mostrada en la ecuación 5-7.

Ecuación 5-7

$$\frac{Mu}{\phi} = 0.85 * f'_c * a * b * (d - a/2)$$

$$a = 1.64$$

$$A_s (-) = 9.29 \text{ cm}^2$$

Usar 1Ø5/8" @ 0.20 m o 1Ø1/2" @ 0.15 m

Refuerzo máximo

Se corrobora si la cantidad de refuerzo máximo cumple con los requisitos establecidos en las siguientes ecuaciones.

Ecuación 5-8

$$\frac{c}{d} \leq 0.42$$

Ecuación 5-9

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{1.64}{0.85} = 1.93$$

Ecuación 5-10

$$\frac{c}{d} = 1.93/14.36 = 0.134 \leq 0.42$$

Refuerzo mínimo

La cantidad de acero proporcionado debe soportar la cantidad mínima se establece en la ecuación 5-11.

Ecuación 5-11

$$\rho_{\min} \geq 0.03 \frac{f'_c}{f_y}$$

$\rho_{\min}$ = relación de acero en tracción entre el área bruta de la sección.

ρ = Cuantía de acero en tensión.

$$\rho_{\min} = 0.002$$

La cuantía a colocar se identifica con la ecuación 5-12.

Ecuación 5-12

$$\rho = \frac{A_s}{A_g} = \frac{9.29}{20 * 100} = 0.00464$$

Se verifica que la cuantía de acero sea mayor a la cuantía mínima

$$\rho = 0.00464 > \rho_{\min} 0.002$$

Acero de temperatura

Se considera el acero de temperatura como refuerzo en la parte superior de la losa, establece su cantidad en la ecuación 5-13

Ecuación 5-13

$$A_{s_{temp}} = 0.0018 * A_g$$

$$[f_y = \frac{4200kg}{cm^2}]$$

$A_{s_{temp}}$ = Acero de temperatura

$$A_{s_{temp}} = 0.0018 * 20 * 100 = 3.60 \text{ cm}^2$$

Por capa en cada uno 1.80 cm^2

Usar varillas 3/8" con un espaciamiento de $s = 0.40 \text{ m}$

Acero de distribución

Se coloca en la parte inferior de la losa el acero de distribución el que comprende un porcentaje del acero positivo.

Ecuación 5-14

$$\% = \frac{3840}{\sqrt{s}} \leq 67\%$$

$S = 2600 \text{ mm}$ separación entre vigas

$$\% = \frac{3840}{\sqrt{2600}} = 75.30\% \leq 67\%$$

$$As_{repart} = 0.75(12.04 \text{ cm}^2) = 10.24 \text{ cm}^2$$

Usar varillas de 5/8" con un espaciamiento de $s = 1.99/10.24 = 0.20 \text{ m}$

5.1.1.3 Cálculo de acero principal positivo

- Carga muerta (DC)

Peso propio de losa:

$$w_{losa} = 0.20 \text{ m} * 1.0 \text{ m} * 2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 480 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

Figura 57. Carga por peso propio de losa.

Peso de barreras:

$$W_{Barreras} = 487. \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

Figura 58. Carga por peso de barreras

Una vez definidas las cargas, se halla el momento positivo por carga muerta a $0.4L$ o $1.04m$ de la cara de la viga exterior del extremo izquierdo, donde ocurre el máximo momento positivo, ver Figura 59.

Figura 59. Diagrama de momento por peso muerto (Dc)

Figura 60. Momento por Dc a $1.04m$ de punto de apoyo A

$$M_{DC} (+) = 0.1021 \text{ ton.m}$$

- Carga por superficie de rodadura (DW)

Ecuación 5-17

$$W_{Rodadura} = 0.05m * 1.0m * 2240 \frac{kg}{m^3} = 112 \frac{kg}{m}$$

Figura 61. Carga por superficie de rodadura

Una vez definidas las cargas, se halla el momento positivo por carga muerta a $0.4L$ o $1.04m$ de la cara de la viga exterior del extremo izquierdo, donde ocurre el máximo momento positivo ver Figura 62.

Figura 62. Diagrama de momentos por peso de rodadura (Dw)

Figura 63. Momento por Dw a 1.04m del apoyo A

$$M_{Dw}(+) = 0.064 \text{ ton.m}$$

- Carga viva y efecto de carga dinámica (LL+IM)

De acuerdo a la línea de influencia, ver Figura 64, se determina que la carga de los ejes del camión se debe ubicar a 1.04m del primer punto de apoyo.

Figura 64. Línea de influencia

Figura 65. Cargas por carga viva

Figura 66. Momento por D II+L a 1.04m del apoyo B

$$M(+) = 3.63 \text{ ton.m}$$

Este momento se ve afectado por el ancho de franja y el efecto de carga dinámica.

Ancho de franja:

Ecuación 5-18

$$E(+) = 0.66 + 0.55 S'$$

$$E(+) = 1.22 + 0.25 * 2.6 = 2.09m$$

Entonces, el momento por carga viva es el siguiente:

Ecuación 5-19

$$M_{LL+IM}(+) = 3.63 * \frac{1.33}{2.09} = 2.31 \text{ ton.m}$$

- Resumen de momentos positivos para cargas (ton.m)

Tabla 78

Resumen de momentos positivos

Carga	Tipo	M (+) T.m	γ (Resist. I)
Losa + Barrera	DC	0.1021	1.25
Asfalto	DW	0.064	1.5
Carga viva	LL+IM	2.31	1.75

Momento último de la sección

Para el diseño por Estado Limite de Resistencia I,

Ecuación 5-20

$$Mu = n * [1.25MDC + 1.50MDW + 1.75M(LL + IM)]$$

En el momento máximo

$$Mu = 4.27 \text{ ton.m}$$

$$b=100 \text{ cm}$$

$$f'c=280 \text{ kg/cm}^2$$

$$z=5.0+1.27/2=5.64 \text{ cm}$$

$$d=20-5.64=14.36$$

Ecuación 5-21

$$\frac{Mu}{\phi} = 0.85 * f'_c * a * b * (d - \frac{a}{2})$$

$$a=1.44$$

$$A_s (-) = 8.16 \text{ cm}^2$$

Usar 1Ø1/2" @ 0.15m

Refuerzo máximo

$$\frac{c}{d} \leq 0.42$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = 1.44/0.85 = 1.69$$

$$\frac{c}{d} = \frac{1.69}{14.36} = 0.118 \leq 0.42$$

Refuerzo mínimo

La cantidad de acero proporcionado debe soportar la cantidad mínima

$$\rho_{min} \geq 0.03 \frac{f'_c}{f_y}$$

ρ_{min} = relación de acero en tracción entre el área bruta de la sección

$$\rho_{min}=0.002$$

$$\rho = \frac{A_s}{A_g} = \frac{8.16}{20 \times 100} = 0.00408$$

$$\rho = 0.00408 > \rho_{min} = 0.002$$

5.1.2 Diseño de viga pre fabricada

Las vigas postensadas utilizan una técnica de pre cargar el concreto, ya que se desea eliminar o reducir los esfuerzos de tensión que han sido inducidos por las cargas externas.

Previo al diseño de la viga

Figura 67. Sección transversal de la viga postensada de la alternativa 02

Se define el b del alma de la viga en la ecuación 10-22.

Ecuación 5-22

$$b_i = 12T_s + b_w = 2800$$

$$S = 2600$$

$$\frac{L}{4} = 6250$$

b_i = Longitud del ala de la viga

T_s = Espesor de la losa

b_w = Longitud de la base

Para el valor de b se establece el menor de las tres fórmulas propuestas, b= 2600 mm.

- Propiedades de la sección compuesta

Tabla 79

Propiedades de la sección compuesta

Elemento	A_i	Y_i	$\bar{y}$	d_i^2	$A_i d_i^2$	Icc
1.00	2,000.00	137.50	117.53	398.62	797,244.49	693,077.82
2.00	125.00	121.67	117.53	17.08	2,134.38	1,578.82
3.00	125.00	121.67	117.53	17.08	2,134.38	1,578.82
4.00	3,150.00	77.50	117.53	1,602.76	5,048,691.09	3,342,024.43
5.00	125.00	26.67	117.53	8,256.96	1,032,119.79	1,029,897.57

6.00	125.00	26.67	117.53	8,256.96	1,032,119.79	1,029,897.57
7.00	1,200.00	5.00	117.53	12,664.01	15,196,809.30	15,193,684.30
8.00	5,720.00	160.00	117.53	1,803.32	10,314,995.73	10,154,995.73
Total	12,570.00	676.67				31,446,735.06

$$Inercia = I_{cc} = 31446735.06 \text{ cm}^4$$

- Módulos de sección

$$Y_1 = 170 - 117.534 = 52.466$$

Ecuación 5-23

$$S_{1-1} = \frac{I_{cc}}{Y_1} = 599379.00 \text{ cm}^3 = 5.993 \text{ m}^3$$

$$Y_2 = 117.534$$

Ecuación 5-24

$$S_{2-2} = \frac{I_{cc}}{Y_2} = 267553.29 \text{ cm}^3 = 2.675 \text{ m}^3$$

- Cálculo de distancia al núcleo

Ecuación 5-25

$$K_1 = \frac{S_2}{A} = 21.28 \text{ cm}$$

Ecuación 5-26

$$K_2 = \frac{S_1}{A} = 47.68 \text{ cm}$$

5.1.2.1 Evaluación de cargas

- Carga Muerta (DC)

Se definen todas las cargas muertas que involucran para el diseño final de la viga pre fabricada.

Ecuación 5-27

$$W_{viga} = 1.3 * 0.4 * 2.4 = 1.248 \frac{ton}{m}$$

$$M_{viga} = 97.5 \frac{ton}{m}$$

Ecuación 5-28

$$W_{losa} = 0.2 * 2.5 * 2.4 = 1.2 \frac{ton}{m}$$

$$M_{losa} = 93.5 \frac{ton}{m}$$

Ecuación 5-29

$$W_{barrera} = 0.2378 * 2.4 = 0.570 \frac{ton}{n}$$

$$M_{barrera} = 44.58 \frac{ton}{m}$$

- Cargas Puntuales

En la Figura 68, se considera el siguiente Diafragma:

Figura 68. Sección transversal de diafragma

Figura 69. Cargas por diafragma

Se define el peso del diafragma (Ecuación 5-30)

Ecuación 5-30

$$W_{\text{diafragma}} = 2.4 * 1.3 * 0.3 * 2.4 = 2.24 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$M_{\text{diafragma}} = 22.60 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

- Carga por superficie de Rodadura (DW)

Ecuación 5-31

$$W_{\text{DW}} = 0.05 * \frac{2.6}{2.25} = 0.293 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$M_{\text{DW}} = 22.89 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

- Carga Viva (LL+IM)

Camión de diseño

Figura 70. Cargas por camión de diseño

Aplicando un método aproximado se calcula el momento máximo a lo largo de todo el puente para la carga de camión:

Se toma el momento en o', que es donde se da el momento máximo:

$$Mo' = 166.293 \text{ tonf.m}$$

Se multiplica el valor obtenido por 1.33, para considerar el impacto:

$$M_{max} = 216.18 \text{ tonf.m}$$

Carga Tándem

Figura 71. Cargas por tándem

Aplicando un método aproximado se calcula el momento máximo a lo largo de todo el puente para la carga tándem.

Se toma el momento en o', que es donde se da el momento máximo:

$$M_{o'} = 133.36 \text{ tonf.m}$$

Se multiplica el valor obtenido por 1.33, para considerar el impacto:

$$M_{max} = 173.37 \text{ tonf.m}$$

Carga Distribuida

Figura 72. Carga distribuida

En este caso, se calcula el momento en el centro de luz multiplicando el valor de la carga distribuida por el área respectiva en la línea de influencia:

$$M_{carril} = 0.96 * \frac{25^2}{8}$$

$$M_{carril} = 75 \text{ tonf.m}$$

Los momentos finales obtenidos para cada tipo de carga son:

Tabla 80

Resumen de momentos por tipo de carga

Tipo de carga	Carga (tonf.m)
Camión	216.18
Tándem	173.37
Distribuida	75

El momento máximo final que se usa es la suma del mayor entre la carga tándem y de camión con la carga distribuida:

$$M_{final\ max} = 216.18 + 75$$

$$M_{final\ max} = 291.18\ \text{tonf. m}$$

- Factores de distribución

Un carril de diseño:

Ecuación 5-32

$$(1\text{carril})\ g = 0.06 + \left(\frac{S}{4300}\right)^{0.4} * \left(\frac{S}{L}\right)^{0.3} * \left(\frac{kg}{L * Ts^3}\right)^{0.1} = 0.530$$

$$S = 2600\ \text{mm}$$

Dos o más carriles de diseño:

Ecuación 5-33

$$2\ \text{o más carriles} = 0.075 + \frac{(S)^{0.6}}{2900} * \left(\frac{S}{L}\right)^{0.2} * \left(\frac{Kg}{L * ts^3}\right)^{0.1} = 0.754$$

Ecuación 5-34

$$M_{LL+I} = m * M_g * (M_{mayor} * 1.33 + M_{carril}) = 273.634$$

- Esfuerzos permisibles

Los valores mínimos que se considera para cada estado límite para la tensión en el concreto se identifican en las siguientes ecuaciones que han sido extraídas del ASSHTO.

Antes de las pérdidas

Fibra superior:

$$f'_c = 280 \frac{kg}{cm^2}$$

Ecuación 5-35

$$f_{ti} = 0.80 * \sqrt{f'_c} = 13.38 \frac{kg}{cm^2}$$

Fibra Inferior:

Ecuación 5-36

$$f_{ci} = -0.6 * f'_c = 168 \frac{kg}{cm^2}$$

Después de las perdidas

- Esfuerzos de servicio

Fibra superior:

Ecuación 5-37

$$f_{cs} = -0.4 * f'_c = 112 \frac{kg}{cm^2}$$

Fibra inferior:

Ecuación 5-38

$$f_{ts} = 0$$

Tabla resumen:

Tabla 81
Resumen de esfuerzos iniciales

Esfuerzos	Valor
M (D+L)	296.38 tonf
R	0.85
Mo	268.23 tont.m
F_{cs}	-112.00 kg/cm ²
F_{ti}	13.39 kg/cm ²
F_{ci}	-168.00 kg/cm ²
F_{ts}	0

F_{ci} =Esfuerzo admisible de compresión en la fibra inferior inmediatamente después de la transferencia.

F_{ti} =Esfuerzo admisible de tracción en la fibra superior inmediatamente después de la transferencia.

F_{ts} =Esfuerzo admisible de tracción en la fibra inferior bajo cargas de servicio.

F_{cs} = Esfuerzo admisible de compresión en la fibra superior bajo cargas de servicio.

- Módulos de sección requeridos

Las ecuaciones 5-39 y 5-40, se compara con los primeros módulos de sección establecidos por las propiedades de la viga:

Ecuación 5-39

$$S_{1\min} = \frac{M_{(d+l)} + (1 - R) * M_o}{-F_{cs} + RF_{ti}} = 2.72 < 5.99 \text{ OK}$$

Ecuación 5-40

$$S_{2\min} = \frac{M_{(d+l)} + (1 - R) * M_o}{-RF_{ci} + RF_{ts}} = 2.3572 < 2.65 \text{ OK}$$

$S_{1\min}$ = Módulo de sección referido a la fibra superior.

$S_{2\min}$ = Módulo de sección referido a la fibra inferior.

M_o = Momento flector durante la transferencia.

$M_{(d+l)}$ = Momento flector en condiciones finales.

R = % de fuerza inicial después de las pérdidas.

- Fuerza de Tensado

Con la gráfica de las inecuaciones de Magnel, se establece que la ecuación 5-41 más cercana es la (1).

Ecuación 5-41

$$\frac{1}{P_1} \leq \frac{R(e + K_1)}{M_t - f_{ts} \cdot S_2} = \frac{1}{P_1} = 0.0018$$

$$y_2 = 117.53$$

$$z = 7\% * h = 19$$

Ecuación 5-42

$$e = y_2 - z = 98.534$$

$$P_i = 552.52 \text{ Ton}$$

P_1 =Fuerza pretensora inicial.

S_2 = Módulo de sección referido a la fibra inferior.

e = Excentricidad del cable resultante.

k = Distancia de núcleo.

A = Área de la viga.

- Estados Limites aplicados

Las combinaciones establecidas para servicio y resistencia en el ASSHTO se muestran en las siguientes ecuaciones.

Ecuación 5-43

$$\text{Servicio I: } U = n (1.00 (DC + DW) + 1.00 (LL + IM))$$

Ecuación 5-44

$$\text{Servicio II: } U = n (1.00 (DC + DW) + 0.80 (LL + IM))$$

Ecuación 5-45

$$\text{Resistencia I: } U = n (1.25 (DC) + 1.50 (DW) + 1.75(LL + IM))$$

- Comprobación de esfuerzos en centro de luz

Estado de Servicio I

En condición inicial:

Fibra superior:

Ecuación 5-46, el valor del esfuerzo permisible de tracción en la fibra superior.

$$f_{ti} = -\frac{P_i}{A} + \frac{P_i \cdot e}{S_1} - \frac{M_o}{S_1}$$

$$2.439 < 13.38$$

$$\text{Admitido } f_{ti} = 13.38 \frac{kg}{cm^2} - \text{Tracción OK}$$

Fibra inferior:

Ecuación 5-47, el valor del esfuerzo permisible de compresión en la fibra inferior.

$$f_{ci} = -\frac{P_i}{A} - \frac{P_i \cdot e}{S_2} + \frac{M_o}{S_2}$$

$$-147.891 < -168$$

$$\text{Admitido } f_{ci} = -147.89 < -168 \frac{kg}{cm^2} - \text{Compresión OK}$$

En condición final:

Caso I Carga Total:

Ecuación 5-48, valor del esfuerzo permisible de compresión en la fibra superior bajo cargas de servicio Caso I.

$$f_{cs} = -\frac{R \cdot P_1}{A} + \frac{R \cdot P_1 \cdot e}{S_1} - \frac{M_1}{S_1}$$

$$f_{cs} = -54.040 < -112$$

$$\text{Admitido } f_{cd} = -54.040 < -112 \frac{kg}{cm^2} - \text{Compresión OK}$$

Caso II sobrecarga y semisuma de pre esforzado y cargas permanentes:

Ecuación 5-49, valor del esfuerzo permisible de compresión en la fibra superior bajo cargas de servicio Caso II.

$$f_{cs} = -\frac{M_l}{S_1} + \frac{1}{2} \left(-\frac{R \cdot P_1 \cdot e}{A} + \frac{R \cdot P_1 \cdot e}{S_1} - \frac{M_{pp+as}}{S_1} \right)$$

$$f_{cs} = -25.73 < -112$$

Fibra inferior:

Ecuación 5-50

$$f_{ts} = -\frac{R \cdot P_1}{A} - \frac{R \cdot P_1 \cdot e}{S_2} + \frac{M_t}{S_2}$$

$$f_{ts} = 0 \text{ no hay tracciones} - \text{Tracción OK}$$

Estado de Servicio III

En Condición inicial:

Fibra superior:

Ecuación 5-51

$$f_{ti} = -\frac{P_i}{A} + \frac{P_i \cdot e}{S_1} - \frac{M_o}{S_1}$$

$$f_{t1} = -2.4394$$

Admitido por tracción Ok

Fibra inferior:

Ecuación 5-52

$$f_{ci} = -\frac{P_i}{A} - \frac{P_i \cdot e}{S_2} + \frac{M_o}{S_2}$$

$$f_{c1} = -147.89$$

Admitido por compresión Ok

Caso I (carga Total):

Ecuación 5-53

$$f_{cs} = -\frac{R \cdot P_1}{A} + \frac{R \cdot P_1 \cdot e}{S_1} - \frac{(M_o + M_d) + 0.80M_l}{S_1}$$

$$f_{cs} = -51.433 < 210 \frac{kg}{cm^2}$$

Admitido por compresión Ok

Caso II (Sobrecarga y semi suma de pre esforzado + carga permanente):

Ecuación 5-54

$$f_{cs} = -\frac{M_l}{S_1} + \frac{1}{2} \left(-\frac{R \cdot P_1 \cdot e}{A} + \frac{R \cdot P_1 \cdot e}{S_1} - \frac{M_{pp+as}}{S_1} \right)$$

$$f_{cs} = -16.600 < f'_c = \frac{140kg}{cm^2}$$

Admitido por compresión Ok

Fibra inferior:

Ecuación 5-55

$$f_{ts} = -\frac{R \cdot P_1}{A} - \frac{R \cdot P_1 \cdot e}{S_2} + \frac{(M_0 + M_d) + 0.80M_l}{S_2}$$

$$f_{ts} = -20.454 \quad f_{ts} = 0 \quad \frac{kg}{cm^2} \quad OK$$

- Numero de strands requeridos por vigas

Con strands $\phi 1/2"$ (" = $0.153m^2 = 0.987cm^2$)

$$f_{pu} = 270 \text{ ksi} = 18984 \frac{kg}{cm^2}$$

Ecuación 5-56

$$f_{pi} = 0.7 * f_{pu} = 13.2888 \frac{kg}{cm^2}$$

Capacidad de 1 strand $\phi 1/2" = 13.116243 \text{ Tonf}$

Con $P_1 = 552.5 \text{ tonf}$ (centro de luz)

Después de las perdidas

Ecuación 5- 57, se muestra el valor de la fuerza pre tensora final con el cual se va a determinar el número de strands requeridos en la viga.

Ecuación 5-57

$$P = R * P_1$$

Entonces

$$P = 469.6 \text{ tonf}$$

P = fuerza pre-tensora final

Número de strands

$$N^{\circ} \text{ strands} = \frac{469.6}{13.116} = 36 \text{ strands } \phi 1/2"$$

- Verificación de esfuerzos en el concreto

Primera etapa (transferencia de la fuerza de tensado)

Se aplica la fuerza de tensado a la viga de $P_1 = 552.5 \text{ tonf}$

La ecuación 5-58 que describe la posición de cada cable de tensado es una parábola de

Ecuación 5-58

$$Y = k * x^2 + rinf$$

El vértice de la ecuación 5-59 se localiza en el centro de la luz, en consecuencia: “x” se mide a partir del centro de la luz e “y” se mide desde la fibra inferior de la viga al centroide del acero de tensado.

Ecuación 5-59

$$p = \frac{(h - r_s - r_i)}{\left(\frac{L}{2}\right)^2}$$

Donde:

h: Altura de la viga simple

ri: Recubrimiento inferior del acero pre esforzado en el centro de la luz

Recomendación WF Chen: $r = 0.05 * 2.4 = 0.12 \text{ m}$

Recomendación WS DOT: $r = 6 \text{ in} = 0.15 \text{ m}$

Para la presente investigación se establece 0.15 m

rs: Recubrimiento superior del acero pre esforzado en los apoyos de la viga simple

Figura 73. Esquema de recubrimientos en strand.

Adaptado de “Diseño de un puente con vigas prefabricadas”, por Fonseca- Linares, 2015

$$h = 1.7 \text{ m}$$

$$r_s = 0.5246 \text{ m}$$

$$r_i = 0.15 \text{ m}$$

$$L = 25 \text{ m}$$

$$k = 0.00656$$

$$y = px^2 + r_i$$

$$k = 0.00656$$

$$y_1 = 1.1753$$

Ecuación 5-60 que describe la ubicación de cada cable tensado.

Ecuación 5-60

$$Y = 0.00656 * x^2 + 0.15$$

Ecuación 5-61, el momento flector debido al peso propio de la sección

Ecuación 5-61

$$M_{viga} = \frac{W_{viga} * L^2}{8} - \frac{W_{viga}}{2} * x^2$$

$$M_{viga} = 97.5 - 0.624 * x^2$$

Ecuación 5-62 de la excentricidad del cable resultante

$$e = h - r_s - y = 1.7 - 0.5246 - y$$

Módulos de sección inferior y superior de la sección

$$S_s = \frac{I}{y_s} = 0.5993 \text{ m}^3$$

$$S_i = \frac{I}{y_i} = 0.2675 \text{ m}^3$$

Esfuerzos en la sección debido a la fuerza de tensado y al peso propio (viga)

Resistencia del concreto en el momento de la transferencia: $f'_c = 280 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$

Verificación del estado de esfuerzos en el concreto en secciones tomadas cada 2.5 m hasta la mitad de la luz

Fuerza en el centro de la luz = 552.62 tonf

X se mide del centro de la luz a los apoyos

Peso propio de la viga simple: $1.248 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$

Tabla 82

Corroboración de esfuerzos

Esfuerzos		Intervalos				
x(m)	0	2.5	5	7.5	10	12.5
y(m)	0.15	0.19	0.31	0.52	0.81	1.18
e(m)	1.03	0.98	0.86	0.66	0.37	
P1=	552.52	552.52	553	553	553	553
P1 * e=	566.53	543.87	476	363	204	
Mviga (tonf.m)	97.5	101.4	113	133	160	195
σ_s =	2.41	6.19	17.5	36.4	62.9	96.9
σ_i	139	133.92	119	93.3	57.7	12
σ_s adms=	-4.18	-4.18	-4.2	-4.2	-4.2	-4.2
σ_i admi=	168	168	168	168	168	168
$\sigma_s > \sigma_s$ adm	OK	OK	OK	OK	OK	OK
$\sigma_i < \sigma_i$ admi=	OK	OK	OK	OK	OK	OK

σ_s = Esfuerzo admisible a tracción en el concreto durante la transferencia

σ_i = Esfuerzo admisible a compresión en el concreto durante la transferencia

Para X=0

Ecuación 5-65, Esfuerzo admisible a tracción en el concreto durante la transferencia:

$$f'c = 280$$

$$-0.25 * \sqrt{f'c} = -4.18 \frac{kg}{cm^2}$$

Ecuación 5-65

$$\sigma^s = \frac{M_{viga}}{S_s} + \frac{P_1}{A} - \frac{P_1 \cdot e}{S_s}$$

$$S_s = 0.599$$

$$P = 552.52 \text{ tonf}$$

$$A = 0.685 \text{ m}^2$$

$$e = 1.025$$

$$\sigma_s = 2.40 \frac{kg}{cm^2} = OK$$

Para X=0

Esfuerzo admisible a compresión en el concreto durante la transferencia (ecuación 5-66):

$$f'c = 280$$

$$0.6 * f'c = 168 kg/cm^2$$

Ecuación 5-66

$$\sigma^i = -\frac{M_{viga}}{S_i} + \frac{P_{160\%}}{A} - \frac{P_{160\%} \cdot e}{S_i}$$

$$S_s = 0.26755329$$

$$P = 552.52 \text{ tonf}$$

$$A = 0.685 \text{ m}^2$$

$$e = 1.025344736$$

$$\sigma^i = 139.00$$

Donde:

σ^S : Esfuerzo sobre el concreto en la fibra superior inmediatamente después de la transferencia

σ^i : Esfuerzo sobre el concreto en la fibra inferior inmediatamente después de la transferencia

5.2 Verificación de infraestructura

En esta sección se verifica si la infraestructura existente, de acuerdo a los detalles estructurales del Anexo 08, soporta la nueva superestructura propuesta para el puente Fortaleza.

5.2.1 Cargas

- Carga Muerta

Vigas:

$$W_{vigas} = 0.69 * 2.4 * 25 * 5 * \frac{1}{2} = 102.75 \text{ tonf}$$

Estribo:

$$W_{estribo} = 3.08 * 2.4 * 9 * 1 = 66.53 \text{ tonf}$$

Momento resistente del estribo:

Tabla 83

Momento resistente del estribo

Ancho (m)	Altura (m)	Largo(m)	FV (kg)	Brazo (X)	M (Kg-m)
0.13	0.25	9	0.28	2.83	1.91
0.4	2.05	9	7.38	2.55	45.17
0.2	0.4	9	0.72	2.48	4.29
0.6	3.85	9	20.79	2.05	102.29
0.2	3.85	9	6.93	1.62	26.89
1.2	3.5	9	37.8	1.75	158.76

73.9	339.3
------	-------

Losa:

$$W_{losa} = 2.52 * 2.4 * 25 * \frac{1}{2} = 75.72 \text{ tonf}$$

- Carga de superficie de rodadura (DW)

Asfalto:

$$W_{DW} = 0.63 * 2.4 * 25 * 1 = 18.93 \text{ tonf}$$

Barreras:

$$W_{barrera} = 0.23 * 2.4 * 25 * 2 * \frac{1}{2} = 14.27 \text{ tonf}$$

- Carga viva de la super estructura del puente (LL+IM)

La carga viva por camión de diseño ha sido evaluada con el eje más pesado en uno de los extremos del puente, se considera el peso para los dos carriles, como también la carga distribuida:

$$W_{LL} = 57.83 \text{ tonf}$$

$$W_{s/c} = 24 \text{ tonf}$$

- Empuje de tierras

Empuje lateral del suelo:

Ecuación 5-67

$$P = K \cdot \gamma_s \cdot g \cdot H \cdot 10^{-6}$$

Ecuación 5-68, Se muestra para hallar el coeficiente de empuje activo:

Ecuación 5-68

$$K_a = \frac{\cos^2(\emptyset - \beta)}{\cos^2\beta \cdot \cos(\beta + \delta) \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\emptyset + \delta) \cdot \sin(\emptyset - i)}{\cos(\beta + \delta) \cdot \cos(\beta - i)}}\right)^2}$$

$$\phi = 33^\circ$$

$$\gamma_s = 1800 \frac{kg}{m^3}$$

$$\beta = 0^\circ$$

$$g = 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$\delta = 16.5^\circ$$

$$H = 6.5m$$

$$i = 0^\circ$$

$$P = 3.12 \frac{tonf}{m^2}$$

$$K_a = 0.27$$

Donde:

K_a = Coeficiente de empuje activo

ϕ = Ángulo de rozamiento interno

γ_s = Densidad del terreno

δ = Ángulo de rozamiento muro- terreno

β = Ángulo de talud del terreno

H= Altura del muro

g = gravedad

Ecuación 5-69, empuje activo.

Ecuación 5-69

$$Ea = p \cdot \frac{H}{2} = 9.74 \frac{tonf}{m}$$

Empuje horizontal del suelo (Ecuación 5-70):

Ecuación 5-70

$$E_{AH} = Ea * \frac{\cos \phi}{2} = 9.73 \frac{tonf}{m} = 87.57 \text{ tonf}$$

$$M * E_{AH} = 21.19 \text{ tonf} \cdot m$$

Empuje vertical del suelo (Ecuación 5-71):

Ecuación 5-71

$$E_{AV} = Ea * \frac{\sin \phi}{2} = 2.85 \frac{tonf}{m} = 25.65 \text{ tonf}$$

- Empuje debido al tráfico,

Fuerza horizontal que se produce debido al tráfico (ecuación 5-72), se hallara con el valor resultante de la Ecuación 5-73.

Ecuación 5-72

$$\Delta p = k \cdot \gamma_s \cdot g \cdot h_{eq} (10^{-6})$$

$$\gamma_s = 1800 \frac{kg}{m^3}$$

$$h_{eq} = 0.6 \text{ m}$$

Δp = Empuje debido al trafico

$$\Delta p = 0.29 \frac{\text{tonf}}{m^2}$$

Ecuación 5-73

$$L_s = \Delta p \cdot H = 1.87 \frac{t}{m} = 16.83 \text{ tonf}$$

Momento que se produce debido al tráfico, Ecuación 5-74.

Ecuación 5-74

$$ML_s = LS \cdot \frac{H}{2} = 6.09 \text{ tonf.m}$$

ML_s = Momento proporcionado del empuje debido al trafico

- Fuerza de frenado

Se considera un 25% de los pesos por ejes del camión o tándem de diseño, se utilizó la carga de camión. Se asume que las fuerzas de frenado actúan horizontalmente, aplicado sobre 1.8m sobre el nivel del tablero. Ecuación 5-75.

Ecuación 5-75

$$BR = 25\% * (14.515 * 2 + 3.63) * 2 = 16.33 \text{ tonf}$$

- Resumen de cargas aplicadas en el estribo

En la siguiente Tabla 84 se aprecia un resumen de todas las cargas que intervienen para el diseño y corroboración del estribo existente.

Tabla 84
Cargas aplicadas al estribo

Carga	Tipo	P (kg)	d(m)	M(ton.m)
Carga muerta	DC	185.67	2.05	380.62
Carga estribo	DC estribo	177.34	1.91	339.3
Carga de superficie	DW	33.2	2.05	68.06
Carga Viva (LL+IM)	LL+IM	100.91	2.05	206.87
Empuje horizontal	EH	87.57	2.17	189.74
Empuje vertical	EV	25.65	3.5	89.78
Fuerza de frenado	BR	16.33	8.3	135.54
Empuje debido al trafico	LS	16.83	3.25	54.7

- Eficiencia de grupo

La eficiencia de grupo no se considera si existe una separación de ejes de pilotes igual o mayor a 3 diámetros del pilote.

Su coeficiente de reducción en estos casos será de $n = 1.0$

Diámetro del pilote: 0.43 m

Separación del pilote: 1.58 m

Relación entre separación de pilote y diámetro: $1.58/0.43 = 3.67$

No se considera reducción de la capacidad del pilote se mantiene en 50 Ton.

- Análisis considerando las cargas verticales

Sumatoria de todas las cargas verticales Ecuación 5-76

Ecuación 5-76

$$CV = DC + DW + LL + EV$$

$$CV = 185.67 + 177.34 + 33.20 + 100.91 + 25.65 = 522.77 \text{ tonf}$$

Pilotes que soportan la carga: 12 unidades

Carga transmitida por cada pilote: 43.54 tonf

Capacidad de carga admisible por pilote: 50 tonf

- Análisis considerando cargas horizontales

Sumatoria de todas las cargas verticales Ecuación 5-77.

Ecuación 5-77

$$CH = LS + EH + BR$$

$$CH = 87.57 + 16.83 + 16.33 = 120.73 \text{ tonf}$$

Pilotes que soportan la carga: 6 unidades

Carga Transmitida por cada pilote: 20.13 Ton

Capacidad de carga admisible de cada pilote: 10 Ton

- Análisis en: Servicio I

Cargas involucradas para la corroboración de fuerzas si cumplen con el análisis del Servicio I establecido por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Ecuación 5-78

Ecuación 5-78

$$\text{Servicio I} = DC + DW + EH + EV + LL + BR + LS$$

Fuerzas verticales: 522.77 Ton

Fuerzas horizontales: 120.73 Ton

- Corroboración por volteo

Momento resistente:

Cargas verticales que intervienen para el momento resistente en el estribo. Ecuación 5-79

Ecuación 5-79

$$DC + DW + LL + EV = 380.62 + 339.30 + 68.06 + 206.87 = 1084.63 \text{ tonf.m}$$

Momento Actuante:

Cargas horizontales que intervienen para el momento actuante en el estribo. Ecuación 5-79

Ecuación 5-80

$$EH + LS + BR = 189.74 + 54.70 + 135.54 = 379.97 \text{ tonf.m}$$

Ecuación 5-81

$$Cv = \frac{M_{resistente}}{M_{actuante}} = 2.85 > 2.5 \text{ Conforme}$$

- Presiones en la base del estribo

Parámetros que se hallaron para identificar la excentricidad se muestra en las siguientes ecuaciones:

Ecuación 5-82

$$X = \frac{Mr}{FV} = 2.07 \text{ m}$$

Ecuación 5-83

$$Z = \frac{Mv}{FV} = 0.726 \text{ m}$$

Ecuación 5-84

$$e = \frac{Base}{2} - (x - z) = \frac{3.5}{2} - (2.07 - 0.726) = 0.406 \text{ m}$$

Momento con respecto a la excentricidad:

Ecuación 5-85

$$Fv * e = 212.24 \text{ kg}$$

- Carga por Pilote

Ecuación 5-86

$$\frac{Fv}{n} + \frac{fv.e}{s.nf} = 51.83 \text{ tonf}$$

Ecuación 5-87

$$\frac{Fv}{n} - \frac{fv.e}{s.nf} = 35.29 \text{ tonf}$$

n = N° total de pilotes = 12

nf = N° de pilotes que trabajan por eje = 6

s = separación entre ejes de pilotes que trabajan = 1.58 m

De acuerdo a lo calculado en el presente capítulo:

- El estribo no está preparado para las condiciones actuales de carga.
- Se debe rediseñar la capacidad del pilote y dimensiones del estribo.
- Se realizó la verificación del pilote por Servicio I, dando como resultado que la infraestructura existente no soporta la nueva superestructura propuesta para el puente Fortaleza, se requiere un pilote que tenga 90 tonf de capacidad admisible.

CAPITULO 6: CONCLUSIONES

En el capítulo 6 se van a detallar las conclusiones obtenidas del presente trabajo de investigación.

Proponer las alternativas de sustitución para la superestructura del puente Fortaleza.

- Las alternativas propuestas para para la sustitución de la super estructura del puente Fortaleza han sido establecidas de acuerdo al nivel de servicio del proyecto y de la luz a superar que en este caso es de 25m.
- El pre dimensionamiento de las alternativas propuestas cumple con los requisitos técnicos dados en el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) sobre peraltes mínimos y sección transversal geométrica.
- La sección transversal de las alternativas propuestas está de acuerdo y coincide con la sección de carretera existente donde se encuentra ubicado el Puente Fortaleza.

Cuantificar los costos de construcción de cada alternativa de sustitución.

- El costo de construcción de la alternativa 01 es el menor frente a las otras alternativas propuestas, ya que la calidad de concreto de sus vigas principales es $f'_c = 280 \frac{kg}{cm^2}$, inferior al usado en alternativa 02, y su proceso constructivo solo considera la ejecución de un falso puente como soporte inicial de la super estructura.
- El costo de construcción de la alternativa 02 se vuelve más costoso que la alternativa 01, ya que esta alternativa considera un procedimiento de postensado e izaje de las vigas principales, lo que obliga a usar una calidad de concreto $f'_c = 350 \frac{kg}{cm^2}$, superior al usado en la alternativa 01, y aumenta el tiempo de construcción por el proceso de tensado.
- El costo de construcción de la alternativa 03 se vuelve más costoso que la alternativa 01, ya que sus vigas principales son hechas de acero, y este tipo de solución genera mayores costos por su fabricación, pintado y montaje.

Cuantificar los costos de mantenimiento de cada alternativa de sustitución.

- El costo de mantenimiento de la alternativa 02, a lo largo del ciclo de vida, es el menor frente a las otras alternativas. Ya que la calidad de concreto de sus vigas

principales y el procedimiento de postensado hace que tenga un proceso de deterioro más lento y requiera mantenimiento periódico en intervalos de tiempo más largos.

- El costo de mantenimiento de la alternativa 01, a lo largo del ciclo de vida, se vuelve más costoso que la alternativa 02, ya que la calidad de concreto de sus vigas principales es $f'_c = 280 \frac{kg}{cm^2}$, inferior al usado en la alternativa 02, lo que genera que su proceso de deterioro sea más agresivo y requiera mantenimiento periódico en intervalos de tiempo menores que el de la alternativa 02.
- El costo de mantenimiento de la alternativa 03, a lo largo del ciclo de vida, se vuelve más costoso que la alternativa 02, ya que el material de las vigas principales es acero, y dada la exposición del entorno donde el puente está ubicado, es propenso a sufrir daños por corrosión, por lo que requiere un mantenimiento periódico en intervalos de tiempo menores que el de la alternativa 02.

Cuantificar los costos de usuario de cada alternativa de sustitución.

- El menor y mayor costo de usuario, incluyendo interrupciones en el puente por tiempo de construcción y mantenimiento, son la alternativa 01 y alternativa 02, respectivamente.
- El menor y mayor costo de usuario, considerando solo interrupción en el puente por tiempo de mantenimiento, son la alternativa 02 y alternativa 03, respectivamente.
- La alternativa 02 tiene un mayor tiempo de construcción, lo que genera que su costo de usuario por ese evento sea ampliamente mayor frente a las otras alternativas. Lo contrario ocurre en el costo de usuario por tiempo de mantenimiento, donde la alternativa 02 tiene un menor tiempo de ejecución frente a las otras dos alternativas, por ello su costo de usuario por dicho evento es menor.

Analizar los datos obtenidos y elegir la alternativa de sustitución.

- Al analizar los costos totales, construcción, mantenimiento y usuario, aplicando una tasa de descuento se determina que la alternativa 01 tiene un menor costo.
- Al analizar los costos de mantenimiento y costos de usuario por tiempo de mantenimiento, se determina que la alternativa 02 genera un menor costo.
- La alternativa de sustitución elegida para la superestructura del Puente Fortaleza es la alternativa 02, porque si bien es cierto que tiene un mayor costo inicial, durante su

tiempo de servicio genera menor afectación al usuario, y lo que se busca con la aplicación de la metodología es generar una menor afectación tanto al estado como al usuario del proyecto.

Diseñar la alternativa de sustitución escogida para la superestructura del Puente Fortaleza

- En base al diseño realizado para la alternativa de superestructura escogida se determina que: cada viga postensada requiere 36 strands de 1/2” a una fuerza de tensado de 469.6 tonf.
- Se ha hecho la corroboración de esfuerzos en la etapa inicial del tensado y se encuentran dentro de los esfuerzos admisibles de la viga.
- El tablero requiere de una armadura de 1Ø5/8” @ 0.20m o 1Ø1/2” @ 0.15m como acero negativo y 1Ø1/2” @ 0.15m como acero positivo.

Verificar la infraestructura del puente existente.

- La infraestructura existente no está preparada para soportar la nueva superestructura del Puente Fortaleza.
- El pilote tipo Frankie existente soporta una carga de 50 ton, para soportar la nueva propuesta de superestructura se requiere un pilote tipo Frankie que soporte 90 ton.
- El puente inicialmente tenía un ancho de 9m, la nueva propuesta para la superestructura del Puente Fortaleza tiene un ancho de 12.62m, por lo que se debe rediseñar el estribo a este ancho.

CAPITULO 7: RECOMENDACIONES

En el capítulo 7 se van a detallar las recomendaciones obtenidas del presente trabajo de investigación, que van a servir para mejorar el proceso o iniciar nuevas líneas de investigación.

Proponer las alternativas de sustitución para la superestructura del puente Fortaleza.

- El uso de soluciones con vigas de acero para luces superiores a 36m en puentes simplemente apoyados, donde ya no es factible usar las soluciones de vigas de concreto armado y vigas postensadas. Por su proceso de fabricación y montaje se vuelve muy costoso frente a otras soluciones.
- El uso de soluciones con vigas de concreto armado para luces de hasta 25m, en el caso de puentes simplemente apoyados.
- El uso de soluciones con vigas de concreto postensados en luces de hasta 36m, en el caso de puentes simplemente apoyados.

Cuantificar los costos de construcción de cada alternativa de sustitución.

- Revisar la información histórica de los expedientes técnicos de proyectos de puentes donde se puede analizar procedimientos constructivos, cronogramas de obra, materiales, entre otros de alternativas de sustitución de características similares.
- La agencia estatal pertinente debe almacenar la información histórica de los distintos proyectos de puentes construidos en territorio nacional y facilitar el acceso a los desarrolladores de proyectos de puentes para mejorar el análisis de las estrategias de solución.

Cuantificar los costos de mantenimiento de cada alternativa de sustitución.

- La agencia estatal pertinente debe hacer inspecciones anuales a los puentes para anticipar trabajos de reparación o sustitución.
- Tener una base de datos con modelos de deterioro, expediente de ejecución de mantenimiento y cronogramas de trabajo en puentes para anticipar recursos y tener un mejor análisis de las estrategias de solución.
- Tener un plan de mantenimiento para cada puente, y este debe ser actualizado de acuerdo a las patologías encontradas en las inspecciones de campo.

Cuantificar los costos de usuario de cada alternativa de sustitución.

- Utilizar la metodología LCCA desde una fase temprana del proyecto y de esta manera anticipar la afectación al usuario por los diversos trabajos a ejecutar durante el ciclo de vida útil del proyecto de puente.
- Tener una base actualizada del flujo vehicular en los puentes existentes, sin esta información se dificulta analizar la afectación al usuario por los trabajos que se den en el puente.
- Analizar con anticipación los desvíos o rutas alternas que se generan por los trabajos de construcción o mantenimiento del puente, para identificar la que genere menor afectación al usuario.

Analizar los datos obtenidos y elegir la alternativa de sustitución.

- Buscar una alternativa de solución que beneficie tanto al ente estatal como al usuario del puente. Ello va a permitir que el usuario tenga una mejor percepción del trabajo realizado por los organismos estatales.
- Realizar un análisis de sensibilidad a las variables que tengan incertidumbre en sus cálculos.
- No solo se debe analizar de manera integral los costos de construcción, mantenimiento y usuario de un puente, si no también analizar de manera independiente cada uno de ellos, porque pueden dar otro panorama de análisis.

Diseñar la alternativa de sustitución escogida para la superestructura del Puente Fortaleza

- Revisar de manera constante las actualizaciones en la normativa vigente para un óptimo diseño, de acuerdo a las cargas y factores dados por el ente estatal pertinente.

Verificar la infraestructura del puente existente.

- Realizar un análisis por socavación para la infraestructura en periodo de avenidas.

CAPITULO 8: BIBLIOGRAFÍA

En el siguiente capítulo se detalla la bibliografía utilizada para el desarrollo de la presente investigación.

AASHTO. (2017). *AASHTO LRFD Bridge design specifications, sixth edition*. Washington: AASHTO.

ACI 343R-95. (1995). *Analysis and design of reinforced concrete bridge structures*. Michigan: American Concrete Institute.

CESEL Ingenieros. (2012). *Estudio definitivo de rehabilitación y mejoramiento de la carretera Cañete - Lunahuana*. Lima: CESEL.

Consorcio Tres Puentes. (2012). *Estudio definitivo de los puentes yunculmas, puellas, chivis y accesos*. Oxapampa: MTC.

Dirección general de caminos y ferrocarriles. (2018). *Manual de carreteras: mantenimiento o conservación vial*. Lima: Ministerio de transportes y comunicaciones.

Dirección General de caminos y ferrocarriles. (2018). *Rehabilitación de puentes paquete 5 - Huancavelica, Ayacucho y Arequipa*. Lima: MTC.

Fonseca, R., & Oscar, L. (2015). *Diseño de puente con vigas prefabricadas (Tesis pregrado)*. Lima: PUCP. Recuperado el 24 de Octubre de 2019, de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6093>

INEI. (2018). *Perú: Indicadores de empleo e ingreso por departamento 2007 - 2017*. Lima: Instituto nacional de estadística e informática. Recuperado el 10 de Julio de 2019, de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1537/libro.pdf

MTC. (2016). *Manual de puentes*. Lima.

National cooperative highway research program. (2003). *Bridge Life-Cycle cost analysis*. New York: Transportation research board.

OSITRAN. (2018). *Informe de desempeño 2018: Concesión de la red vial N 4 Tramo Pativilca - Santa - Trujillo y Puerto Salaverry*. Lima: OSITRAN. Recuperado el 15 de Junio de 2019, de https://www.ositran.gob.pe/wp-content/uploads/2017/12/ID_Redvial42018.pdf

- Provias Nacional. (2018). *Estudio definitivo para el mejoramiento de la carretera Chuquicara - Puente Quiroz - Tauca - Cabana - Huandoval - Pallasca, Tramo: Tauca-Pallasca*. Lima: MTC.
- Puentes, C. T. (2012). *Estudio definitivo de los puentes yunculmas, puellas, chivis y accesos*. Oxapampa: Provias Nacional.
- Rivera, J. (5 de Diciembre de 2015). *Red vial para el desarrollo y crecimiento de un país*. Recuperado el 25 de Abril de 2018, de <http://udep.edu.pe/hoy/2015/la-red-vial-es-imprescindible-para-el-desarrollo-y-crecimiento-de-un-pais/>
- Rodriguez, A. (2016). *Puentes con AASHTO LRFD 2014*. Lima.
- Safi, M. (2015). *LCC Applications for bridges and integration with BMS (Tesis doctoral)*. Estocolmo: KTH. Recuperado el 10 de Enero de 2020, de <https://folkbro.com/wordpress/wp-content/uploads/2015/07/Safi-Licentiate-Thesis2012-03-13.pdf>
- Safi, M., Sundquist, H., & Karoumi, R. (2014). Life-cycle costing integration with Bridge Management Systems. *Civil Engineering and architecture*, 2(1), 11-23.
- U.S. Department of transportation. (2002). *Lyfe-Cycle Cost Analysis Primer*. Washington D.C.: Federal Highway Administration.
- Vargas, A. (2015). *Elección y diseño de alternativa de puente sobre el rio Chirolloroy (Cusco) para acceso a la planta de procesos del proyecto constancia (Tesis pregrado)*. Lima: PUCP. Recuperado el 5 de Mayo de 2018, de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6251>

ANEXOS

Anexo 01: Análisis de precios unitarios de construcción

ACERO DE REFUERZO FY=4200 $\frac{KG}{cm^2}$					
Rendimiento	kg/día	MO	250.0000	EQ	250.0000
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra					
Capataz	hh	0.5000	0.0160	29.75	0.48
Operario	hh	1.0000	0.0320	23.80	0.76
Oficial	hh	1.0000	0.0320	18.84	0.60
Peón	hh	1.0000	0.0320	17.01	0.54
					2.38
Materiales					
Alambre negro N°16	kg		0.0300	3.24	0.10
Acero corrugado	kg		1.0300	2.83	2.91
					3.01
Costo unitario directo por: kg	5.40				

ENCOFRADO CARAVISTA EN SECO					
Rendimiento	m2/día	MO	12.0000	EQ	12.0000
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra					
Capataz	hh	0.1000	0.0667	29.75	1.98
Operario	hh	1.0000	0.6667	23.80	15.87
Oficial	hh	1.0000	0.6667	18.84	12.56
Peón	hh	2.0000	1.3333	17.01	22.68
					53.09
Materiales					
Alambre negro N°08	kg		0.2000	3.24	0.65
Clavos	kg		0.2000	4.14	0.83

Desmoldante para madera	gln		0.0600	148.33	8.90
Madera tornillo	p ²		3.5000	4.64	16.24
Triplay de 18mm para encofrado	pln		0.1000	94.02	9.40
					36.02
Equipos					
Herramientas manuales	%MO		5.0000	53.09	2.65
					2.65
Costo unitario directo por: m2	91.76				

CONCRETO F'C=210 $\frac{KG}{cm^2}$					
Rendimiento	m³/día	MO	18.0000	EQ	18.0000
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra					
Capataz	hh	0.5000	0.2222	29.75	6.61
Operario	hh	3.0000	1.3333	23.80	31.73
Oficial	hh	3.0000	1.3333	18.84	25.12
Peón	hh	6.0000	2.6667	17.01	45.36
					108.82
Materiales					
Cemento portland tipo I (42.5kg)	bls		9.0000	25.71	231.39
Aditivo curador	gal		0.1660	20.62	3.42
Gasolina	gal		0.3800	10.51	3.99
Lubricantes, grasas y filtros	%EQ		5.0000	7.56	0.38
Piedra chancada	m ³		0.7500	35.01	26.26
Arena zarandeada	m ³		0.3750	20.29	7.61
Agua para la obra	m ³		0.2000	31.77	6.35
Arena chancada	m ³		0.1250	50.60	6.33
					285.73
Equipos					
Herramientas manuales	%MO		5.0000	108.82	5.44
Mezcladora de concreto de 11-12p3, 18HP	hm	1.0000	0.4444	11.03	4.90
Vibrador de concreto 4HP 1.50"	hm	1.0000	0.4444	5.98	2.66
					13.00
Subpartidas					
Transporte de agregados	m ³		1.2500	33.85	42.31
Lavado de material granular	m ³		0.3000	23.16	6.95
					49.26
Costo unitario directo por: m3	456.82				

CONCRETO F'C=280 $\frac{KG}{cm^2}$
--

Rendimiento	$m^3/\text{día}$	MO	18.0000	EQ	18.0000
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra					
Capataz	hh	0.5000	0.2222	29.75	6.61
Operario	hh	3.0000	1.3333	23.80	31.73
Oficial	hh	3.0000	1.3333	18.84	25.12
Peón	hh	6.0000	2.6667	17.01	45.36
					108.82
Materiales					
Cemento portland tipo I (42.5kg)	bls		11.0000	25.71	282.81
Aditivo curador	gal		0.1660	20.62	3.42
Gasolina	gal		0.3800	10.51	3.99
Lubricantes, grasas y filtros	%EQ		5.0000	7.56	0.38
Piedra chancada	m^3		0.7500	35.01	26.26
Arena zarandeada	m^3		0.3750	20.29	7.61
Agua para la obra	m^3		0.2000	31.77	6.35
Arena chancada	m^3		0.1250	50.60	6.33
					337.15
Equipos					
Herramientas manuales	%MO		5.0000	108.82	5.44
Mezcladora de concreto de 11-12p3, 18HP	hm	1.0000	0.4444	11.03	4.90
Vibrador de concreto 4HP 1.50"	hm	1.0000	0.4444	5.98	2.66
					13.00
Subpartidas					
Transporte de agregados	m^3		1.2500	33.85	42.31
Lavado de material granular	m^3		0.3000	23.16	6.95
					49.26
Costo unitario directo por: m3	508.24				

CONCRETO F'C=350 $\frac{KG}{cm^2}$					
Rendimiento	$m^3/\text{día}$	MO	18.0000	EQ	18.0000
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra					
Capataz	hh	0.5000	0.2222	29.75	6.61
Operario	hh	3.0000	1.3333	23.80	31.73
Oficial	hh	3.0000	1.3333	18.84	25.12
Peón	hh	6.0000	2.6667	17.01	45.36
					108.82
Materiales					

Cemento portland tipo I (42.5kg)	bls		13.0000	25.71	334.23
Aditivo curador	gal		0.1660	20.62	3.42
Gasolina	gal		0.3800	10.51	3.99
Lubricantes, grasas y filtros	%EQ		5.0000	7.56	0.38
Piedra chancada	m ³		0.7500	35.01	26.26
Arena zarandeada	m ³		0.3750	20.29	7.61
Agua para la obra	m ³		0.2000	31.77	6.35
Arena chancada	m ³		0.1250	50.60	6.33
					388.57
Equipos					
Herramientas manuales	%MO		5.0000	108.82	5.44
Mezcladora de concreto de 11-12p3, 18HP	hm	1.0000	0.4444	11.03	4.90
Vibrador de concreto 4HP 1.50"	hm	1.0000	0.4444	5.98	2.66
					13.00
Subpartidas					
Transporte de agregados	m ³		1.2500	33.85	42.31
Lavado de material granular	m ³		0.3000	23.16	6.95
					49.26
Costo unitario directo por: m3	559.66				

FALSO PUENTE					
Rendimiento	kg/día	MO	2.0000	EQ	2.0000
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra					
Capataz	hh	1.0000	4.0000	29.75	119.00
Operario	hh	2.0000	8.0000	23.80	190.40
Oficial	hh	2.0000	8.0000	18.84	150.72
Peón	hh	4.0000	16.0000	17.01	272.16
					732.28
Materiales					
Madera tornillo	p ²		220.0000	6.37	1,401.40
					1,401.40
Equipos					
Herramientas manuales	%MO		5.0000	732.28	36.61
					36.61
Costo unitario directo por: kg	2,170.29				

POSTENSADO DE VIGAS					
Rendimiento	$\frac{T - m}{\text{día}}$	MO	1,500.0000	EQ	1,500.0000

Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Subcontrato					
Pretensado de vigas (Inc. Suministro e instalación)	t-m		1.0000	3.95	3.95
					3.95
Costo unitario directo por: kg	3.95				

IZAJE DE VIGAS PRE FABRICADAS					
Rendimiento	kg/día	MO	2.0000	EQ	2.0000
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra					
Capataz	hh	1.0000	4.0000	29.75	119.00
Peón	hh	2.0000	8.0000	17.01	136.08
					255.08
Equipos					
Herramientas manuales	%MO		5.0000	255.08	12.75
Grúa hidráulica autopropulsada 127 HP 18 ton 9 m	hm	2.0000	8.0000	255.28	2,042.24
					2,054.99
Subpartidas					
Habilitación de terreno para vaciado de vigas	m ²		30.0000	54.76	1,642.80
					1,642.80
Costo unitario directo por: kg	3,952.87				

FABRICACIÓN DE ESTRUCTURA METÁLICA					
Rendimiento	kg/día	MO	2.0000	EQ	2.0000
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra					
Técnico control de calidad	hh	1.0000	4.0000	28.10	112.40
Técnico soldador	hh	2.0000	8.0000	22.95	183.60
Técnico calderero	hh	1.0000	4.0000	22.95	91.80
Cortador	hh	2.0000	8.0000	21.85	174.80
Oficial	hh	2.0000	8.0000	18.84	150.72
Peón	hh	10.0000	40.0000	17.01	680.40
					1,393.72
Materiales					
Oxigeno	m ³		12.0000	8.57	102.84
Acetileno	m ³		4.0000	31.01	124.04
Soldadura	kg		120.0000	12.02	1,442.40

Madera tornillo	p^2		3.0000	4.81	14.43
Acero estructural grado 50	ton		1.0500	4,076.32	4,280.14
					5,963.85
Equipos					
Herramientas manuales	%MO		5.0000	1,393.72	69.69
Montacarga 80HP 5000 KGS	hm	1.0000	4.0000	100.82	403.28
Equipo de corte	hm	2.0000	8.0000	2.83	22.64
Gatas de 50 TN	hm	2.0000	8.0000	111.11	888.88
Tecle de 5 TN	hm	2.0000	8.0000	11.77	94.16
Moto soldadora de 250 AMP	hm	2.0000	8.0000	65.20	521.60
					2,000.25
Costo unitario directo por: kg	9,357.81				

PINTURA DE ESTRUCTURA METÁLICA					
Rendimiento	kg/día	MO	2.0000	EQ	2.0000
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra					
Pintura anticorrosiva	m^2		22.5560	19.92	449.32
Pintura esmalte epóxica	m^2		21.2314	39.89	846.92
Pintura esmalte poliuretano	m^2		21.2314	42.94	911.68
Arenado simple	m^3		22.5600	53.29	1,202.22
					3,410.13
Costo unitario directo por: kg	3,410.13				

MONTAJE DE ESTRUCTURA METÁLICA					
Rendimiento	kg/día	MO	3.0000	EQ	3.0000
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra					
Técnico control de calidad	hh	1.0000	2.6667	28.10	74.93
Técnico soldador	hh	2.0000	5.3333	22.95	122.40
Capataz	hh	1.0000	2.6667	29.75	79.33
Operario	hh	4.0000	10.6667	23.80	253.87
Peón	hh	10.0000	26.6667	17.01	453.60
					984.13
Materiales					
Apoyos provisionales	und		0.0850	9,517.35	808.97
Cables, estrobos, varios	est		1.0000	11.00	11.00
Madera tornillo	p^2		2.8400	4.81	13.66
					833.64
Equipos					

Herramientas manuales	%MO		5.0000	984.13	49.21
Tirfor de 5 TN	hm	2.0000	5.3333	13.45	71.73
Gatas de 50 TN	hm	2.0000	5.3333	111.11	592.59
Tecle de 5 TN	hm	2.0000	5.3333	11.77	62.77
Moto soldadora de 250 AMP	hm	0.2500	0.6667	65.20	43.47
Grúa hidráulica Autop 127 HP 18 TN 9M	hm	2.0000	5.3333	179.60	957.87
					1,777.63
Costo unitario directo por: kg	3,595.40				

Anexo 02: Análisis de precios unitarios de mantenimiento

Limpieza de cauce					
Rendimiento	$m^2/\text{día}$	MO	850.00	EQ	850.00
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra					
Operario maquinaria	hh	4.00	0.04	28.83	1.09
					1.09
Equipos					
Cargador sobre llantas 200-250 HP	hm	2.00	0.02	237.37	4.47
Camión Volquete 15m3	hm	2.00	0.02	242.52	4.57
					9.03
Costo unitario directo por: m^2	10.12				

Limpieza de puente					
Rendimiento	$m^2/\text{día}$	MO	800.00	EQ	800.00
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra					
Capataz	hh	1.00	0.01	27.74	0.28
Operario	hh	4.00	0.04	22.18	0.89
Peón	hh	4.00	0.04	15.45	0.62
					1.78
Equipos					
Herramientas manuales	%MO		3.00	1.78	0.05
Camión Cisterna	hm	2.00	0.02	155.64	3.11
					3.17
Costo unitario directo por: m^2	4.95				

Reparación superficial de estructuras de concreto armado

Rendimiento	ml/día	MO	15.00	EQ	15.00
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra					
Capataz	hh	1.00	0.53	27.74	14.79
Operario	hh	4.00	2.13	22.18	47.32
Peón	hh	4.00	2.13	15.45	32.96
					95.07
Material					
Sika rep	lt		9.00	40.55	364.95
Sikadur 32	kg		0.05	4.00	0.20
Agua	lt		2.50	1.50	3.75
					368.90
Equipo					
Herramientas manuales	%MO		3.00	95.07	2.85
Taladro demoledor	hm	1.00	0.53	40.00	21.33
Plataforma telescópica	hm	1.00	0.53	145.00	77.33
					101.52
Costo unitario directo por: ml	565.49				

Limpieza de superficie de concreto					
Rendimiento	m^2 /día	MO	800.00	EQ	800.00
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra					
Capataz	hh	1.00	0.01	27.74	0.28
Operario	hh	4.00	0.04	22.18	0.89
Peón	hh	4.00	0.04	15.45	0.62
					1.78
Materiales					
Agua	lt		5	2.5	12.50
					12.50
Equipos					
Herramientas manuales	%MO		3.00	1.78	0.05
Camión Cisterna	hm	2.00	0.02	155.64	3.11
Plataforma telescópica	hm	1.00	0.01	145.00	1.45
Hidro lavadora industrial	hm	1.00	0.01	65.00	0.65
					5.27
Costo unitario directo por: m^2	19.55				

Limpieza de superficie de acero					
Rendimiento	$m^2/\text{día}$	MO	600.00	EQ	600.00
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra					
Capataz	hh	1.00	0.01	27.74	0.37
Operario	hh	2.00	0.03	22.18	0.59
Peón	hh	2.00	0.03	15.45	0.41
					1.37
Materiales					
Agua	lt		5	2.5	12.50
					12.50
Equipos					
Herramientas manuales	%MO		5.00	1.37	0.07
Camión Cisterna	hm	2.00	0.03	155.64	4.15
Plataforma telescópica	hm	1.00	0.01	145.00	1.93
Hidro lavadora industrial	hm	1.00	0.01	65.00	0.87
					7.02
Costo unitario directo por: m2	20.89				

Reparación de estructura de concreto armado					
Rendimiento	$m/\text{día}$	MO	10.00	EQ	10.00
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra					
Capataz	hh	1.00	0.80	27.74	22.19
Operario	hh	4.00	3.20	22.18	70.98
Peón	hh	4.00	3.20	15.45	49.44
					142.61
Material					
Sikagrout 212	kg		21.30	93.60	1,993.68
Sikadur 32	kg		0.05	4.00	0.20
Agua	lt		3	2.5	7.50

					1,993.68
Equipo					
Herramientas manuales	%MO		3.00	4.05	0.12
Taladro demoledor	hm	1.00	0.80	40.00	32.00
Plataforma telescópica	hm	1.00	0.80	145.00	116.00
					148.12
Costo unitario directo por: ml	2,284.41				

Pintado de estructuras de concreto con aditivo antibacteriano					
Rendimiento	$m^2/\text{día}$	MO	150.00	EQ	150.00
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra					
Capataz	hh	1.00	0.05	27.74	1.48
Operario	hh	4.00	0.21	22.18	4.73
Peón	hh	4.00	0.21	15.45	3.30
					9.51
Material					
Pintura látex supermate antibacterial	gal		0.06	70.00	4.20
Agua	lt		0.01	2.50	0.02
					4.22
Equipo					
Herramientas manuales	%MO		3.00	9.51	0.29
Plataforma telescópica	hm	1.00	0.05	145.00	7.73
Grupo electrógeno 116HP 75KW	hm	1.00	0.05	106.67	5.69
Equipo de pintura especial (Airless)	hm	2.00	0.11	46.47	4.96
Compresora neumática 87HP 250-330 PCM	hm	1.00	0.05	77.49	4.13
					22.80
Costo unitario directo por: m2	36.52				

Pintura estructura metálica					
Rendimiento	$m^2/\text{día}$	MO	75.00	EQ	75.00
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra					
Capataz	hh	1.00	0.11	27.74	2.96
Operario	hh	4.00	0.43	22.18	9.46
Peón	hh	4.00	0.43	15.45	6.59
					19.01
Material					
Disolvente pintura esmalte epoxica	gal		0.04	35.00	1.24

Disolvente pintura esmalte poliuretano	gal		0.03	46.00	1.24
Pintura esmalte epoxica	gal		0.12	88.46	10.47
Pintura esmalte poliuretano	gal		0.08	73.89	5.89
					18.84
Equipo					
Herramientas manuales	%MO		3.00	19.01	0.57
Plataforma telescópica	hm	1.00	0.11	145.00	15.47
Grupo electrógeno 116HP 75KW	hm	1.00	0.11	106.67	11.38
Equipo de pintura especial (Airless)	hm	2.00	0.21	46.47	9.91
Compresora neumática 87HP 250-330 PCM	hm	1.00	0.11	77.49	8.27
					45.59
Costo unitario directo por: <i>m²</i>	83.45				

Anexo 04: Cronograma Puente Jita

Anexo 05: Cronograma Puente Sajuarhua

Anexo 06: Presupuesto – Puente Llactabamba

PUENTE LLACTABAMBA (KM 11+450)				2,199,095.87
OBRAS PRELIMINARES				2,679.60
TRAZO, REPLANTEO Y CONTROL TOPOGRAFICO	m2	840.00	3.19	2,679.60
ESTRIBOS				1,397,962.53
EXCAVACION NO CLASIFICADA PARA ESTRUCTURAS	m3	2,209.35	10.03	22,159.78
EXCAVACION NO CLASIFICADA PARA ESTRUCTURAS BAJO AGUA	m3	1,560.80	12.21	19,057.37
RELLENO PARA ESTRUCTURAS	m3	5,518.07	34.57	190,759.68
MATERIAL DE PRESTAMO PARA RELLENO	m3	5,518.07	17.27	95,297.07
CONCRETO CLASE D (f'c = 210 kg/cm2)	m3	235.19	520.09	122,319.97
CONCRETO CLASE D1 (f'c=210 kg/cm2) BAJO AGUA	m3	449.32	543.57	244,236.87
CONCRETO CLASE H1 (f'c=100 kg/cm2) BAJO AGUA	m3	22.52	422.14	9,506.59
CONCRETO CLASE F1 (f'c= 140kg/cm2) BAJO AGUA	m3	180.50	481.15	86,847.58
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	485.28	70.24	34,086.07
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO BAJO AGUA	m2	592.97	89.41	53,017.45
ACERO DE REFUERZO FY=4200 KG/CM2	kg	65,746.09	4.65	305,719.32
TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR D<=1 KM	m3k	4,855.90	7.32	35,545.19

Fecha : 04/01/2019 03:43:50p.m.

Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR D >1 KM	m3k	62,143.30	1.58	98,186.41
TRANSPORTE DE DESECHOS Y EXCEDENTES D <=1 KM	m3k	3,317.73	7.93	26,309.60
TRANSPORTE DE DESECHOS Y EXCEDENTES D >1 KM	m3k	31,926.50	1.72	54,913.58
VIGAS, LOSA DE CONCRETO, PARAPETO Y VEREDAS				502,316.88
CONCRETO CLASE A (f'c=450 kg/cm2)	m3	72.65	696.18	50,577.48
CONCRETO CLASE C (f'c=280 kg/cm2)	m3	86.20	569.13	49,059.01
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO CARAVISTA	m2	876.78	102.48	89,852.41
ACERO DE REFUERZO FY=4200 KG/CM2	kg	22,051.92	4.65	102,541.43
POSTENSADO EN VIGAS	ton-m	48,750.00	3.91	190,512.50
IZAJE Y COLOCACIÓN DE VIGAS POSTENSADAS PARA P. LLACTABAMBA	u	5.00	3,934.81	19,674.05
LOSA DE TRANSICION				27,234.44
CONCRETO CLASE C (f'c=280 kg/cm2)	m3	23.31	569.13	13,266.42
CONCRETO CLASE H (f'c=100 kg/cm2)	m3	7.05	399.88	2,819.15
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	19.05	70.24	1,338.07
ACERO DE REFUERZO	kg	2,109.85	4.65	9,810.80
VARIOS				62,172.53
TUBERIA HDPE CORRUGADA SIN PERFORAR D=4"	m	9.60	16.91	162.34
TUBERIA HDPE CORRUGADA PERFORADA =4"	m	25.05	16.91	423.60
TUBO DE PVC SAP , D=4"	m	3.50	26.44	92.54
TUBO DE PVC SAP , D=6"	m	163.95	36.32	5,954.66
GEOCOMPUESTO DE DRENAJE	m2	269.32	30.21	8,136.16
PINTURA BITUMINOSA	m2	269.45	43.09	11,610.60
BARANDAS METALICAS	m	54.65	343.40	18,766.81
JUNTA DE DILATACION P/ PUENTES Y PONTONES	m	21.05	432.32	9,100.34
APOYO DE NEOPRENE P/ PUENTES TIPO II	u	10.00	668.48	6,684.80
ACABADO DE VEREDAS	m2	46.45	26.71	1,240.68

Anexo 07: Presupuesto – Puente Matadero

PUENTE MATADERO (L=45 m)				5,747,754.98
OBRAS PRELIMINARES Y TRABAJOS PRELIMINARES				1,492,968.36
MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS 5.2.1	gib	1.00	174,396.38	174,396.38
TOPOGRAFIA Y GEOREFERENCIACION	m2	153,360.00	3.93	602,704.80
MANTENIMIENTO DE TRANSITO Y SEGURIDAD VIAL	mes	6.00	7,442.43	44,654.58
ACCESO A CANTERAS, FUENTES DE AGUA Y DEPOSITO DE MATERIALES	KM	32.10	20,377.27	654,110.37
DESBROCE Y LIMPIEZA	ha	0.12	3,760.87	451.30
TRANSPORTE DE MATERIALES EXCEDENTES ENTRE 120m Y 1,000m	m3-km	380.17	9.47	3,600.21
TRANSPORTE DE MATERIALES EXCEDENTES A MAS DE 1,000m	m3-km	8,208.00	1.59	13,050.72
ESTRIBOS Y PILARES				1,155,689.27
EXCAVACION PARA ESTRUCTURAS EN MATERIAL COMUN EN SECO	m3	1,926.01	8.91	17,160.75
RELLENO PARA ESTRUCTURAS	m3	2,202.70	64.89	142,933.20
CONCRETO CLASE H (F'C=100 KG/CM2)	m3	20.49	340.09	6,968.44
CONCRETO CLASE D (F'C=210 KG/CM2)	m3	399.35	479.35	191,428.42
CONCRETO CLASE D (F'C=210 KG/CM2) BAJO AGUA	m3	283.50	496.92	140,876.82
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO BAJO AGUA	m2	117.00	145.28	16,997.76
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO CARA VISTA EN SECO (ESTRIBOS Y PILARES)	m2	1,784.88	104.77	187,001.88
ACERO DE REFUERZO FY=4200 KG/CM2	kg	54,628.00	5.37	293,352.36
TRANSPORTE DE MATERIALES GRANULARES ENTRE 120m Y 1,000m	m3-km	2,326.05	6.50	15,119.33
TRANSPORTE DE MATERIALES GRANULARES A MAS DE 1,000m	m3-km	37,005.40	1.48	54,767.99
TRANSPORTE DE MATERIALES EXCEDENTES ENTRE 120m Y 1,000m	m3-km	2,033.86	9.47	19,260.65
TRANSPORTE DE MATERIALES EXCEDENTES A MAS DE 1,000m	m3-km	43,913.00	1.59	69,821.67
SUPERESTRUCTURA				2,213,948.34
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO CARA VISTA EN SECO	m2	466.58	87.33	40,746.43
ACERO DE REFUERZO FY=4200 KG/CM2	kg	11,436.70	5.37	61,415.08
CONCRETO CLASE C (F'C=280 KG/CM2) - LOSAS, PARAPETOS Y VEREDAS	m3	103.97	546.05	56,772.82
FABRICACION DE ESTRUCTURA METALICA (ACERO ASTM A 709 GRADO 50)	ton	112.91	9,267.64	1,046,409.23
MONTAJE Y LANZAMIENTO DE ESTRUCTURA METALICA	ton	112.91	3,515.55	396,940.75
PINTURA DE ESTRUCTURAS METALICAS	ton	112.91	3,410.14	385,038.91
TRANSPORTE DE ESTRUCTURA METALICA A LIMA	ton	112.91	1,642.02	185,400.48
PERNO ASTM A325 D=12mm (1 1/2" L=700mm)	kg	16.00	11.54	184.64
CONECTORES DE CORTE (STUDS) ASTM A108 D=20mm L=12cm	und	2,736.00	15.00	41,040.00
LOSAS DE APROXIMACION				28,982.18
CONCRETO CLASE H (F'C=100 KG/CM2) - SOLADO	m3	7.20	340.09	2,448.65
CONCRETO CLASE C (F'C=280 KG/CM2)	m3	19.73	546.05	10,773.57
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN SECO	m2	16.28	57.03	928.45
ACERO DE REFUERZO FY=4200 KG/CM2	kg	2,761.92	5.37	14,831.51
VARIOS				90,695.96
TUBERIA PVC Ø 4" PARA DRENAJE	m	30.00	33.10	993.00
BARANDA METALICA	m	91.60	487.48	44,653.17
JUNTA DE DILATACION TIPO 1 TIPO PANAL	m	14.40	495.55	7,135.92
APOYO DE NEOPRENO TIPO 1	und	8.00	3,027.20	24,217.60
DISPOSITIVOS DE CONTROL SISMICO - PERNOS	und	16.00	150.00	2,400.00
ACABADO DE VEREDAS	m2	91.60	15.93	1,459.19
BRUÑA ROMPE AGUAS	m	91.60	96.32	8,822.91
JUNTA ENTRE ESTRIBO Y LOSA DE APROXIMACION	m	14.40	23.82	343.01
NEOPRENO PARA TOPE SISMICO TIPO 2	und	4.00	167.79	671.16
RIEGO DE LIGA	m2		0.59	
CARPETA ASFALTICA EN FRIO	m3		478.99	

Anexo 08: Detalles estructurales de infra estructura existente del Puente Fortaleza

Elevación estribo

Planta estribo

Distribución de pilotes

Corte de estribo