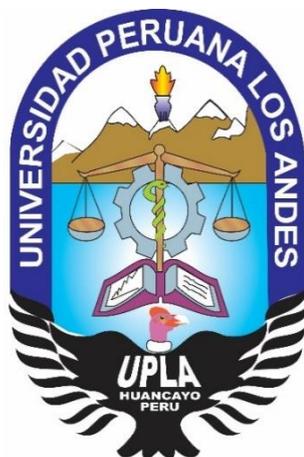


UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**Apoyos esviados y esfuerzos producidos en los elementos
estructurales del puente del distrito de Pucará, Junín**

**Para Optar : El Grado Académico de Maestro en
Ingeniería Civil, Mención: Ingeniería de
Transportes**

Autor : Bach. Ozoriaga Rivera, Angella Milagros

Asesor : Ph. D Mohamed Mehdi Hadi Mohamed

**Línea de : Transportes y Urbanismo
Investigación**

**Fecha de inicio y : 29/01/2021 – 08/11/2021
culminación de la
investigación**

HUANCAYO – PERÚ

2022

HOJA DE CONFORMIDAD DE JURADOS



Dr. Aguedo A. Vique Bejar Mormontoy
Presidente



Dr. Severo Simón Calderón Samaniego
Miembro



Mtro. Rando Porras Olarte
Miembro



Mtro. Jeannelle Sofia Herrera Montes
Miembro



Dra. Melva Patricia Meza
Secretaria Académica

ASESOR:

Ph. D. Mohamed Mehdi Hadi Mohamed

DEDICATORIA

Dedico esta investigación a mi familia, su amor
infinito siempre me inunda y colma.

Angella M. O. R.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Peruana Los Andes (UPLA), en especial, a la Escuela de Posgrado, la cual me dio las pautas necesarias para desarrollarme como una profesional capaz en mi campo laboral.

Un agradecimiento especial a mi asesor por su apoyo incondicional por hacer realidad dicho trabajo de investigación, un agradecimiento a mi familia por motivarme siempre a seguir adelante.

Autor.

CONTENIDO

CARÁTULA.....	i
HOJA DE CONFORMIDAD DE JURADOS.....	ii
ASESOR:.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
CONTENIDO	vi
CONTENIDO DE TABLAS	ix
CONTENIDO DE FIGURAS.....	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN	xiii
CAPÍTULO I	14
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	14
1.2. Definición del problema	15
1.3. Formulación del problema.....	15
1.3.1.Problema general.....	15
1.3.2.Problemas específicos	16
1.4. Justificación	16
1.4.1.Social.....	16
1.4.2.Teórica.....	16
1.4.3.Metodológica.....	17
1.5. Objetivos.....	17
1.5.1.Objetivo General	17
1.5.2.Objetivos Específicos	18

CAPÍTULO II.....	19
MARCO TEÓRICO	19
2.1. Antecedentes.....	19
2.1.1.Nacionales	19
2.1.2.Internacionales	22
2.2. Bases teóricas o científicas	25
2.2.1.Puentes	25
2.3. Marco conceptual.....	54
CAPÍTULO III.....	59
HIPÓTESIS	59
3.1. Hipótesis general	59
3.2. Hipótesis específicas.....	59
3.3. Variables	59
3.1.1.Variable 1: Apoyos esviados.....	59
3.1.2.Variable 2: Esfuerzos en elementos estructurales	60
CAPÍTULO IV	63
METODOLOGÍA	63
4.1. Método de investigación.....	63
4.2. Tipo de investigación.....	63
4.3. Nivel de investigación	64
4.4. Diseño de la investigación	64
4.5. Población y muestra.....	65
4.5.1.Técnicas de recolección de datos	65
4.5.2.Instrumentos de Recolección de Datos	65
4.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	66
4.7. Aspectos éticos de la investigación	66
CAPÍTULO V.....	67

RESULTADOS	67
5.1. Descripción de resultados	67
5.1.1. Apoyos esviados en vigas	68
5.1.2. Apoyos esviados en estribos	72
5.1.3. Apoyos esviados en losa	77
5.2. Contrastación de hipótesis	81
5.2.1. Prueba de La hipótesis general:.....	81
5.2.2. Prueba de la segunda hipótesis.....	83
5.2.3. Prueba de la hipótesis general	86
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	87
CONCLUSIONES	92
RECOMENDACIONES.....	94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
ANEXOS	99
ANEXO 1	100
MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	100
ANEXO 2	102
MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN	102
ANEXO 3	104
INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	104
ANEXO 4	105
FOTOS.....	105

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1	Especificaciones de los elementos estructurales de un puente	38
Tabla 2	Especificaciones técnicas para apoyos	39
Tabla 3	Especificaciones técnicas para las cimentaciones	39
Tabla 4	Clasificación de puentes	39
Tabla 5	Rango de aplicaciones de apoyo	49
Tabla 6	Operacionalización de variables	61
Tabla 7	Diseño de puentes a diferentes ángulos de inclinación.....	67
Tabla 8	Viga exterior de la carga muerta.....	69
Tabla 9	Viga interior de la carga muerta	69
Tabla 10	Viga exterior de carga viva.....	71
Tabla 11	Viga interior de la carga viva.....	71
Tabla 12	Esfuerzo cortante de la zona exterior del estribo en carga muerta	73
Tabla 13	Esfuerzo cortante del estribo interior de la carga muerta	73
Tabla 14	Esfuerzo cortante de la zona del estribo exterior de carga viva.....	75
Tabla 15	Esfuerzo cortante del estribo interior de la carga viva.....	76
Tabla 16	Apoyo exterior de la losa en la carga muerta.....	77
Tabla 17	Losa interior de la carga muerta	78
Tabla 18	Losa exterior de carga viva	79
Tabla 19	Losa interior de la carga viva.....	80
Tabla 20	Prueba de correlación de la primera hipótesis específica	82
Tabla 21	Prueba de correlación de la segunda hipótesis específica.....	83
Tabla 22	Prueba de correlación de la tercera hipótesis específica.....	85

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1 Tablero de un puente	26
Figura 2 Sección transversal sin acera peatonal	34
Figura 3 Sección transversal con acera peatonal, para velocidad de 70 km/h o menos	34
Figura 4 Sección transversal con barrera para velocidad mayor a 70 km/h	35
Figura 5 Fuerzas por Flexión.....	36
Figura 6 Puentes tipo viga	42
Figura 7 Puentes tipo arco	43
Figura 8 Puentes colgantes	44
Figura 9 Tipos de apoyos comunes.	50
Figura 10 Vigas en el diseño de un puente	68
Figura 11 Esfuerzo torsión de la viga exterior en carga muerta	69
Figura 12 Esfuerzo torsión de la viga interior en carga muerta.....	70
Figura 13 Esfuerzo torsión de la viga exterior en carga viva	71
Figura 14 Esfuerzo torsión de la viga interior en carga viva.....	72
Figura 15 Esfuerzo cortante del estribo exterior en carga muerta	73
Figura 16 Esfuerzo cortante de la zona interior del estribo en carga muerta	74
Figura 17 Esfuerzo cortante del estribo exterior en carga viva	75
Figura 18 Esfuerzo cortante de la zona interior del estribo en carga viva.....	76
Figura 19 Esfuerzo momento de la zona exterior de la losa en carga muerta	77
Figura 20 Esfuerzo momento de la losa interior en carga muerta	79
Figura 21 Esfuerzo momento de la losa exterior en carga viva.....	80
Figura 22 Esfuerzo momento de la losa interior en carga viva	80

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, el problema general fue ¿Qué relación existe entre los apoyos esviados y los esfuerzos que se producen en los elementos estructurales del puente del distrito de Pucará? El objetivo general fue determinar la relación existente entre los apoyos esviados con los esfuerzos que se producen en los elementos estructurales del puente. El tipo de investigación fue aplicada, el nivel descriptivo y correlacional, se aplicó un diseño experimental, la población estuvo construida por el puente Raquina ubicado en el distrito de Pucará distrito de Huancayo - Región Junín no se utilizó la técnica de muestreo por tratarse de una población pequeña. Finalmente, el trabajo de investigación concluye que los apoyos esviados, medidos con el ángulo de esvío, tiene relación directa indirecta y significativa, con los esfuerzos (momento, torsión y cortante) producidos en los elementos estructurales (losa, viga y estribo) del puente del distrito de Pucará. esfuerzo torsión fue indirecta. Es decir, los esfuerzos aplicados en los estribos y las vigas, aumentan según el ángulo es mayor; pero los esfuerzos de las losas disminuyen.

Palabras clave: Apoyos esviados, esfuerzos producidos, elementos estructurales.

ABSTRACT

In the present research work, the general problem was: What relationship exists between the deflected supports and the efforts that occur in the structural elements of the bridge in the district of Pucará? The general objective was to determine the relationship between the deflected supports with the efforts that occur in the structural elements of the bridge. The type of research was applied, the descriptive and correlational level, an experimental design was applied, the population was built by the Raquina bridge located in the Pucara district of Huancayo - Junín Region the filming technique is not used because it is a small population. Finally, the research work concludes that the skewed supports, measured with the skew angle, have a direct, indirect and significant relationship with the efforts (moment, torsion and shear) produced in the structural elements (slab, beam and abutment) of the bridge. of the district of Pucara. stress was indirect torsion. That is, the stresses applied to the stirrups and beams increase as the angle is greater; but the loss stresses decrease.

Keywords: skewed supports, forces produced, structural elements

INTRODUCCIÓN

La investigación basada en apoyos esviados y esfuerzos producidos en los componentes del puente del distrito de Pucará, Junín, considera, el estudio estructural que se desarrolla, tomando como unidad de análisis al Puente Raquina, dicho puente es uno de los proyectos que se encuentran en el plan de infraestructuras de la Municipalidad Distrital de Pucará, la finalidad de dicho proyecto tuvo como objetivo, la construcción del puente, la generación de empleo, beneficiar a la comunidad, explotación maderera, entre otros. En tanto, para contribuir con dicho proyecto, en la investigación se busca analizar los apoyos esviados y los esfuerzos que se producen en los componentes de la estructura del puente distrital, y poder determinar si existe alguna relación entre ambas. Entonces, el estudio busca establecer una relación de las variables.

El estudio toma en cuenta el uso del método científico, aplicada en el tipo, siendo correlacional en el nivel, el diseño es el experimental. La población está conformada por solo un puente y su estructura; por lo tanto, se considera al puente Raquina ubicado en el distrito de Pucará como la población de análisis de la investigación. La muestra del proyecto de investigación es la misma que la población.

Este estudio está compuesto por cinco capítulos. El primer capítulo corresponde al planteamiento del problema, así como los objetivos. El segundo capítulo desarrolla el marco teórico. En el tercer capítulo se describe la hipótesis de investigación, así como las variables de estudio. En el cuarto capítulo se describe la metodología de la investigación. En el quinto capítulo se presenta al detalle los resultados obtenidos a partir de la investigación. Finalmente, se presentan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y los anexos de la investigación.

Bachiller Angella Milagros Ozoriaga Rivera

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

Los puentes están conformados por un sistema estructural que permite que diversos elementos se ensamblen con el fin de formar un cuerpo único, para dar soporte a una obra civil. El sistema estructural de un puente se compone por: (a) la subestructura, y (b) la superestructura, esta último está conformado por un tablero, que recibe de forma directa las cargas que soportará el puente, y las llevará hacia la subestructura para que dichas cargas sean transmitidas hacia el suelo (Duque, 2004). Para dar soporte a las estructuras del puente se requiere de apoyos, los cuales se ubican entre los elementos estructurales como pueden ser las vigas y los estribos, con el objetivo de transmitir los pesos, soportar deformaciones, y movimientos de traslación que son producidas por los diversos tipos de cargas a los que se verá sometido el puente. Además, los apoyos son incorporados en una estructura en función a la magnitud y a la longitud que se espera obtener, frente a una reacción; para elementos de la subestructura (PTE, 2019).

Ante lo mencionado, se considera que un correcto diseño de los elementos estructurales, permitirá que la estructura del puente desempeñe una función segura, eficiente y económica; para lo cual es necesario que se evalúen las cargas, y los esfuerzos que se generaran en cada elemento estructural; los esfuerzos deberán ser comparados con esfuerzos críticos de falla, los cuales dependerán del modo de falla, pudiendo ocasionar deformaciones plásticas,

fluencia generalizada, o fracturas en la estructura (Hernández H. , 2002). En consecuencia, se necesita evaluar la salud estructural de las diversas obras que ejecutan, con el fin de poder medir el daño que se pueda generar por el mal uso, o por situaciones ambientales que se originan en la vida útil de la estructura; de esta forma, desarrollar técnicas para evitar que dichas estructuras afecten la integridad del que lo utilice (Viviescas et al., 2017).

El estudio estructural que se desarrolla en la investigación, toma como unidad de análisis al Puente Raquina, dicho puente es uno de los proyectos que se encuentran en el plan de infraestructuras de la Municipalidad Distrital de Pucará, la finalidad de dicho proyecto tuvo como objetivo, la construcción del puente, la generación de empleo, el beneficio de la comunidad, la explotación maderera, entre otros. En tanto, para contribuir con dicho proyecto, en la investigación se busca analizar los apoyos esviados y los esfuerzos que se producen en el puente de Pucará, y poder conocer si existe alguna relación entre ambas.

1.2. Definición del problema

La problemática principal se relaciona con la relación de los esfuerzos estructurales de un puente y sus apoyos esviados.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. *Problema general*

¿Qué relación existe entre los apoyos esviados y los esfuerzos que se producen en los elementos estructurales del puente del distrito de Pucará?

1.3.2. Problemas específicos

- a) ¿Cuál es la relación entre los apoyos esviados y los esfuerzos que se producen en las vigas del puente?
- b) ¿Qué relación existe entre los apoyos esviados y los esfuerzos que se producen en la losa del puente?
- c) ¿Qué comportamiento hay entre los apoyos esviados y los esfuerzos que se producen en los estribos del puente?

1.4. Justificación

1.4.1. Social

En el factor social, un análisis de los elementos estructurales de un puente, permitirá dar soporte para el mantenimiento y ejecución de una correcta estructura; en el proceso de ejecución se impulsará el trabajo y mano de obra de los pobladores del distrito de Pucará, asimismo, se beneficiará la población en general, ya que se darán mayores accesos para impulsar economía de la población.

1.4.2. Teórica

Los puentes se componen de elementos estructurales, que están enmarcados dentro de la subestructura y superestructura, los cuales dan soporte al sistema estructural de un puente. Para la investigación se considera el análisis de algunos elementos estructurales de mayor importancia en la

composición de un puente, como son las vigas, la losa, y los estribos; dichos elementos requerirán de apoyos, ya que estarán sometidos a esfuerzos producidos por cargas, que pueden conllevar a deformaciones en la estructura. En función a ello, se busca Determinar la relación existente entre los esfuerzos generados en los elementos mencionados y los apoyo. En consecuencia, los resultados que se obtengan no solo beneficiarán a la unidad de análisis de la investigación, sino que también podrán ser utilizados en el amplio campo de estudio de puentes a nivel nacional e internacional.

1.4.3. Metodológica

Se busca contribuir desde un aspecto metodológico, planteado un instrumento que permita medir cada uno de los elementos estructurales de un puente, en función a los apoyos que necesiten, y a los esfuerzos que se puedan generan en ellos, el resultado de este estudio puede servir para la evaluación de esfuerzos producidos en los elementos estructurales en puentes esviados en otras realidades de las regiones del país.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Determinar la relación existente entre los apoyos esviados con los esfuerzos que se producen en los elementos estructurales del puente del distrito de Pucará.

1.5.2. *Objetivos Específicos*

- a) Establecer la relación existente entre los apoyos esviados y los esfuerzos que se producen en las vigas del puente
- b) Cuantificar la relación existente entre los apoyos esviados y los esfuerzos que se producen en la losa del puente
- c) Determinar la relación existente entre los apoyos esviados y los esfuerzos que se producen en los estribos del puente

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Nacionales

Sueldo y Olórtiga (2017) presentaron la tesis “Diseño estructural de un puente de vigas postensadas que cruza el río Rímac de Zárate” optando por titularse de Ingeniero Civil, por la Pontificia Universidad Católica del Perú, ciudad de Lima.

El proyecto de investigación planteó como objeto principal, elaborar el diseño estructural de las partes principales de un puente (superestructura y subestructura), pero específicamente en tipo de puentes viga postensadas de una medida de 75.5 m de luz entre los ejes de los pilares. El proceso del proyecto, inicio con el diseño de la superestructura, que estuvo conformada por vigas diafragma, vigas longitudinales, y las barreras de tráfico; posteriormente se realizó una evaluación de la respuesta sísmica por medio de un espectro de diseño y un análisis multimodal. Adicionalmente, realizaron el diseño de los apoyos elastómeros y sus dispositivos, asimismo la subestructura del puente, la cual estuvo conformada por la cimentación de tipo cajón y los pilares de concreto armado. Con dicho proyecto, se concluye que: (a) al realizar un diseño considerando vigas con tramo extremo, su cálculo no se podrá dar en un solo tendido al diseño que le corresponde a los cables de preesfuerzo, (b) es necesario utilizar un tensor para poder equilibrar las deflexiones en los volados

de los tramos extremos, (c) en vigas postensadas del tramo extremo y central, deben de verificarse por resistencia, debido a las magnitudes elevadas de fuerzas en el tramo extremo de la viga, la resistencia resulta crítica, por lo que, para poder resistir los esfuerzos de flexión es necesario colocar cartelas para mejorar sus resistencia a la fuerza de flexión; (d) los desplazamiento de apoyos elastoméricos se ubicaron en la unión de las vigas centrales y extremas, (e) la cimentación semi- profunda permite evitar que surjan problemas de socavación, que pueda perjudicar terriblemente a la estructura del puente, y (f) con la finalidad de resistir la fuerzas de colisión, se diseñaron las barreras de tráfico.

Tovar (2017) presento la tesis denominada “Análisis de puentes con ángulo de esviaje y esfuerzo interno en tableros no regulares” a la Universidad Nacional de Huancavelica, optando por su titulación del Ingeniero Civil, en la ciudad de Huancavelica.

El propósito que planteó el autor, fue el de analizar las fuerzas internas que se dan en el tablero de tipo no regular y el ángulo de esviaje que se da en el mismo, según la norma AASTHO. Como parte de su metodología, el autor optó por desarrollar una investigación explicativa, aplicada y descriptiva; y con la finalidad de explicar causalidad de los fenómenos de estudio, se centró en un nivel explicativo; asimismo, aplicó métodos teóricos (método deductivo e inductivo), y estadísticos; el diseño fue el tipo cuasi experimental; y su población fueron los diversos puentes de concreto que existen en Angaraes. Se encontró que (a) el comportamiento estructural del tablero es influenciado notablemente por el ángulo de esviaje, pudiendo surgir modificaciones en los

esfuerzos internos; (b) en función al crecimiento del ángulo de esviaje, disminuye el momento flector máximo en un 54.73% en los puentes tipo losa, y en un 19.73% para los puentes de tipo viga losa, (c) en función al crecimiento del ángulo de esviaje en los puentes viga losa y puentes losa, el momento torsor máximo negativo aumenta de forma considerable, (e) existirán esfuerzos de torsión en el tablero a causa de la asimetría de cargas y al aumento del ángulo de esviaje, por lo que, es necesario que se refuerce el tablero para que en futuro se evite grietas, (f) en los puentes tipo viga losa, son homogéneas las variaciones por las deflexiones, (g) en los apoyos de las vigas, surgen momentos de flexión negativos que aumentan a medida que el ángulo de esviaje del tablero crece, por último, (h) se considera que el ángulo de esviaje influye considerablemente en los esfuerzos internos, en la deflexión que recibe el puente, y en las cargas, ya que, el tablero se verá modificado en su estructura, por surgir un cambio en las respuestas que generan los esfuerzos.

Peralta (2018) desarrolló el proyecto de investigación denominado “Diseño estructural de puentes peatonales sobre la autopista Pimentel - Chiclayo” en la línea de investigación de Ingeniería de Procesos, de la Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Lambayeque.

El objeto principal de la investigación, busco diseñar una estructura para un puente de tipo peatonal, bajo la normativa vigente de diseño de puentes, con la finalidad de dar facilidades de transito de las personas. Para la metodología utilizada, se consideró una de investigación aplicada en el tipo, y un diseño cuasi experimental; asimismo, aplicó diversos métodos de investigación: (a)analítico, (b) sintético, (c) deductivo, e (d) inductivo; y la guía

de observación fue el instrumento. Los resultados que se obtuvieron, precisan que: (a) la elección del tipo de puente que se busca construir, debe de considerar aspectos como la durabilidad, proceso constructivo, mantenimiento, y estética, (b) se deben considerar las normas de AASTHO-LRFD, E-060, E-050 y E-030, para poder elaborar, los planos, memorias de cálculo, metrados, memorias descriptivas, y el presupuesto; (c) la elaboración de planos en un proyecto, es considerado como para esencial, ya que lo que se tuvo que ejecutar estuvo en función a ello, (d) la elaboración de la memoria de cálculo, permite dar sustento a cada cantidad o resultado que se obtuvo.

2.1.2. Internacionales

Vallecilla et al. (2014) elaboraron el artículo de investigación denominado “Determinación de los esfuerzos producidos por flexo-torsión. Caso de estudio: Análisis de las vigas metálicas de un puente grúa”, para la Revista Ingeniería y Región, 2.

Los autores realizaron la investigación con la finalidad de presentar una aplicación teórica de áreas, para poder determinar aquellos esfuerzos por torsión de alabeo. Después del análisis de la fuerza de torsión en una viga metálica, las cual es sometido a cargas móviles, se encontraron los siguientes resultados: (a) se producirán torsiones que provoquen esfuerzos cuando la línea de acción no pase al centro cortante, siendo necesario la evaluación en estas situaciones, (b) el esfuerzo de torsión que se dan en los elementos de una estructura, pueden ser producidas directamente por acciones exteriores, (c) el pandeo de vigas se caracteriza por presentar rotaciones en sus secciones

transversales y desplazamientos laterales, los cuales ocasionan que se generen momentos torsionantes, (d) se incrementó el nivel de resistencia de la viga, al crecer su oposición den el desplazamiento de los laterales, el cual no depende de su resistencia a una fuerza de torsión, (e) aquellos elementos de una estructura que se sometan a una fuerza de torsión, producirán que se experimenten desplazamientos, lo cual origina que aquella secciones transversales que en un inicio eran planas, después de recibir la fuerza dejen de serlo; se resalta que esto no aplica en las barras de sección transversal circular, (f) los esfuerzos tangenciales y los provocados por restricciones de alabeo, contribuyen a la resistencia del momento exterior, (g) los esfuerzos que se generan por torsión de alabeo, su cálculo se da en función a la teoría de las áreas sectoriales, y por último, (h) los esfuerzos de torsión siendo estos más altos que la flexión, ante esta situación es necesario una correcta determinación para obtener dimensionamiento de la estructura.

Agredo et al. (2016) desarrollaron el estudio de investigación denominado “Evaluación de la rigidez a flexión de puente de viga y losa en concreto presforzado a partir de pruebas de carga. Caso de estudio: Puente La Parroquia vía La Renta - San Vicente de Chucurí”, para la Revista UIS Ingenierías, 15 (2).

La investigación tuvo como propósito, estudiar las pruebas de carga que reciben los puentes de tipo viga – losa, de hormigón, y con una luz aproximadamente de 30 metros. Los resultados señalan lo siguiente: (a) las nuevas herramientas utilizadas como metodologías de análisis, permiten verificar mejor los aspectos geométricos de una estructura, (b) se validan las

cargas de la estructura por medio de modelos que consideran elementos finitos tridimensionales, con la finalidad de que los datos obtenidos permitan disminuir la incertidumbre de los modelos matemáticos, y de esta manera poder identificar en qué estado se encuentra la estructura y verificar su seguridad estructural, (c) el modelo matemático desarrollado se dio en base a la calibración, y permite determinar el comportamiento próximo que tendrá la estructura, frente a cargas de gravedad estáticas; y por último, (d) las propiedades geométricas que conforman cada uno de los elementos estructurales del puente tienen una influencia significativa con las fuerza de flexión.

Argüello (2015) presentó la investigación denominada “Diseño de apoyos para puentes de acuerdo a la Especificación AASHTO LRFD” en la Universidad San Francisco de Quito, titulándose de Ingeniero Civil, Quito.

El fin fue diseñar apoyos, por medio de la elaboración de hojas de cálculo, que contengan las provisiones que se especifican en AASHTO LRFD. Después del desarrollo del proyecto de investigación, se concluye que los apoyos de tipo elastoméricos se caracterizan por tener una resistencia limitada, por lo tanto, se deben usar también apoyos reforzados, que sean de acero para que puedan tener una mayor resistencia a las cargas, rotaciones y a los movimientos.

2.2. Bases teóricas o científicas

2.2.1. Puentes

Es una estructura requerida para pasar encima de un obstáculo sea artificial, natural o un accidente geográfico. Se establece como un puente a la estructura que tiene como luz, ejes de apoyo con una medida mayor o igual a los 6.00 m, y es parte una carrera o se encuentra localizada por debajo o sobre ella (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016).

2.2.1.1. Componentes de un puente

Estos se estructuran de dos partes: (a) la subestructura o también llamada infraestructura, y (b) la superestructura (Minaya, 2014)

A. Subestructura

La subestructura se compone de pilares y estribos; estos últimos son los apoyos externos del puente, transfieren su carga hacia el terreno; además, sirven para poder sostener el relleno de los accesos al puente; los pilares se conocen como apoyos intermedios, las acciones recibidas tienden a ser de dos tramos del puente, y tienden a transmitir la carga del terreno (Minaya, 2014). Se consideran también los cimientos, los cuales se encargan de transmitir los esfuerzos hacia el terreno (Rodríguez, 2014).

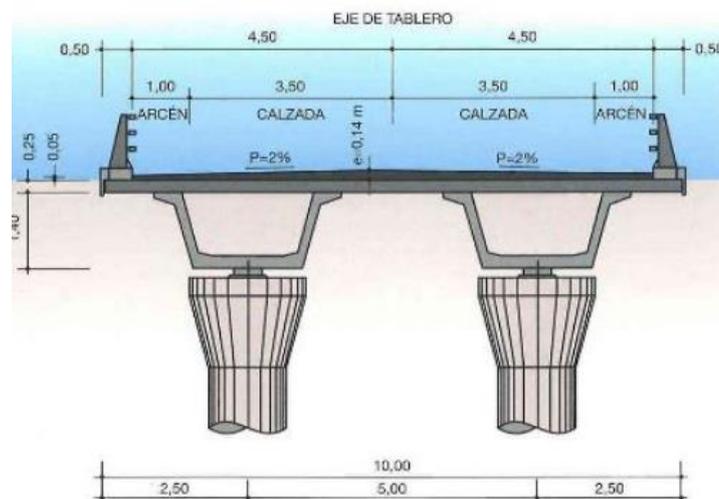
B. Superestructura

Se compone de la estructura portante y del tablero. En relación al tablero, su estructura es de una losa de concreto, pudiendo ser también de madera o tener un piso metálico; cualquier de estos, descansan respecto a las

vigas directas, mediante las viguetas transversales y langueros; el tablero será el componente que soporta las cargas directas (Ver Figura 1). La estructura principal es el componente que brinda resistencia; es decir, si es un puente colgante, el cableado sería el principal elemento, en un puente arco, el anillo que le da la forma sería el elemento

La estructura portante o también llamada estructura principal, es aquel elemento principal que resiste el puente, por ejemplo, en un puente colgante la estructura principal sería el cable; en un puente de tipo arco, sería el anillo que da la forma al arco (Minaya, 2014). Además, los cables, bóvedas, armaduras, arcos, serán los que transmiten las cargas que se darán en el tablero hacia los apoyos (Rodríguez, 2014).

Figura 1



Tablero de un puente

Nota. Tomado de Farfán, "Determinación y evaluación de las patologías del concreto armado en los elementos estructurales del puente vehicular Simon Rodriguez, con una longitud de 423.8 mts, en el distrito de Amatape, provincia de Piura. 2018.

2.2.1.2. Estudios para la construcción de un puente

Los puentes requieren de diversos estudios para poder desarrollarse en un proyecto, según la R. D. N° 09-2016-MTC/14 (2016), se deben de realizar los siguientes estudios: (a) los estudios hidrológicos, (b) los estudios topográficos, (c) los estudios de riesgo sísmico, (d) el análisis geotécnica y geológica, (e) la investigación del impacto ambiental, (f) investigación complementaria, (g) estudios tráficos, (h) la investigación alternativa, y (i) el análisis de los trazos de vía.

La investigación topográfica, permiten la definición precisa de la ubicación y las dimensiones de los componentes de la estructura. La investigación de hidrología e hidráulicos, permiten establecer cuáles serán las características hidrológicas y los aspectos hidráulicos los cuales conllevan a una adecuada apreciación de cómo se comporta el río. En relación a los riesgos sísmicos, tienen como propósito conocer los aspectos de diseño definiendo los elementos horizontales y verticales generados por el sismo. Por otro lado, los estudios geológicos, son aquellos que establecen las peculiaridades locales y generales de diferentes formaciones geológicas presentadas, reconociendo su distribución y los caracteres geotécnicos. En cuanto a los estudios ambientales y su impacto ambiental, reconociéndose el problema ambiental, para luego realizar proyectos que estén enfocados a una mejora ambiental, para atenuar, evitar o compensar aquellos daños o impactos adversos. Así también, se dan los estudios de tráfico, estos serán necesarios si se requiere dependiendo de la magnitud de la obra, su estudio permite determinar las peculiaridades que tendrá la superestructura del puente, y la

infraestructura vial. Los estudios alternativos se dan a un nivel de anteproyectos, como una propuesta con diversas soluciones técnicas factibles, se elegirá una solución que más convenga luego de realizar la evaluación técnica-económica. Complementariamente, también surgen como su nombre lo indica los estudios complementarios en los que se desarrollan estudios básicos como pueden ser las instalaciones sanitarias, las señalizaciones, los estudios eléctricos, entre otros. Por último, los estudios de trazo, son las que definen las peculiaridades geométricas y técnicas del enlace del puente con su ubicación nueva que tendrá con la carretera que ya existe (Rodríguez, 2014).

2.2.1.3. Materiales para la construcción de un puente

En la construcción de un puente se deben de considerar los siguientes materiales: (a) el concreto, (b) el acero, y (c) el elastómero (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016).

A. El concreto

Debe de dosificarse y controlarse su uso, en el proyecto debe de estar especificada la resistencia, y los caracteres básicos para atender el total de lo requerido durante el periodo previsto de vida. Debe de indicarse el diámetro máximo de los agregados, como se relaciona el cemento y agua y otras propiedades que puedan garantizar la duración y apariencia del hormigón. Asimismo, el hormigón deberá estar compuesto por: (a) cemento, (b) agregados, (c) agua, y, (d) aditivos, solo eventualmente; todos aquellos elementos del concreto, deben de cumplir con lo especificado por la

Normativa técnica peruana (NTP), o en caso se requiera basándose en normas extranjeras. Adicionalmente, se deberá establecer las propiedades del concreto, como son: (a) la resistencia especificada, (b) la compresión, (c) la fluencia, (d) la contracción, (e) el coeficiente de dilatación térmica, y (f) el módulo de elasticidad (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016).

B. El acero

Las armaduras realizadas por el concreto armado, son construidas por cables, barras, torones y alambres de este material. En los puentes realizados de metales se emplean los aceros estructurales para todo elemento y también para los componentes de conexión como son los pernos, placas, el soldado. Asimismo, se deben de establecer dichas propiedades: (a) resistencia a la fluencia, (b) resistencia máxima a la rotura, (c) ductilidad, (d) soldabilidad, (e) dureza a la incisión, y (f) calidad final del acero. Si se utiliza el acero preesforzado, sus especificaciones deberán cumplir lo dispuesto en la ASTM; la resistencia de la fluencia de cables y barras debe de contar con un determinado valor, siendo un 1% de deformación (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016).

C. El elastómero

Este elemento tendrá que ser especificado en función a su dureza, o en función al área de deformación transversal, y a los valores rotativos, distorsión y esfuerzo de compresión. Los elastómeros se destinan para apoyar al puente pudiendo ser caucho o hecho de cloropreno, no se emplean elastómeros conteniendo al interior un caucho vulcanizado. Además, el

componente utilizado tendrá que ser durable y tener la capacidad de soporte de las variaciones de la temperatura (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016).

2.2.1.4. Geometría de un puente

Como parte de la geometría de un puente, se consideran elementos y detalles que se deben tomar en cuenta para su funcionamiento y empleo.

A. Sección transversal

La anchura de la calzada es parte de la sección transversal del tablero, y esto no puede ser menor a la anchura que el camino tiene, siendo estructurado por la cantidad de los carriles de las bermas y circulación. Asimismo, lo que resta del ancho de la sección transversal estará dado en función a los elementos siguientes: (a) los elementos de drenaje, (b) las veredas, (c) la ciclovía, (d) la vía de seguridad, y (e) los elementos de protección como las barandas y las barreras (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016). (Ver Figura 2).

a. Bermas

Es la porción que esta junto al carril, sirve para que los vehículos se estacionen por alguna emergencia. El ancho de las bermas tiene como mínimo 0.60 m hasta un 3.0 m, pero de preferencia debería ser de 3.6 m para carreteras mayores, sin embargo, se considera que aquellas bermas que tienen más de 3.0 m predisponiendo su no autorización para el tráfico (Rodríguez, 2014).

b. Veredas

Se destinan al uso por peatones o para el mantenimiento, cuando la velocidad llega a 70 km/h se colocan directamente las veredas (Ver Figura 3), pero si las velocidades son mayores, necesariamente se deben colocar también barreras. Su ancho deberá ser de 1.00 m, y en zonas urbanas deben ser de 1.50 m de ancho (Rodríguez, 2014).

c. Barrera

Uno de sus propósitos es el drenaje, así como el de delinear el borde de la vía de tráfico; su altura debe estar dado en base a un rango de 15 a 20 cm (Rodríguez, 2014).

d. Barandas

Son instaladas en lo que conforma al borde de la estructura del puente, en casos de que el puente tendrá pases peatonales o sean puentes peatonales, ya que se busca la protección del peatón. Su altura mínima es de 1.10 m, y en ciclovías esto debe de ser mínimo de 1.40 m. En la carretera de la velocidad es mayor a 70 km/h se recomienda utilizar barreras de concreto con la finalidad de proteger al peatón (ver Figura 4).

- Barandas para tráfico vehicular

Este tipo de barandas, deber tener como propósito principal el corregir y contener la dirección que tendrán los vehículos desviados en su desplazamiento. Deberán considerarse los siguientes factores: (a) los ocupantes del vehículo deben estar protegidos si se diera un impacto con la

barrera, (b) los vehículos que se encuentran cerca del lugar del impacto deben tener una protección, (c) las propiedades y personas que se encuentren ubicadas en las carreteras y en áreas de la estructura deben tener protección, (d) barandas con posible mejoras futuras, (e) el costo-beneficio de las barandas deben tener relación, (f) los vehículos circulantes deben percibir estética y visibilidad (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016).

- Barandas para peatones

Las barandas para peatones deben tener como altura mínima 42.0 in (1060 mm), el cual deber ser medido a partir de la cara superior de la acera. Además, debe estar compuesta por elementos vertical y/o horizontales, la abertura libre que se da entre estos dos elementos no deberá permitir el paso de una esfera de 6.0 in. (150 mm) de diámetro (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016).

- Barandas para ciclistas

Este tipo de barandas se da específicamente en los puentes, soportan el tráfico de los ciclistas, donde se considera necesario tener una protección específica para ellos. En relación a su altura, esta no deberá ser menor a 42.0in (1060mm).

e. Barreras de concreto

El fin principal es corregir y contener el desplazamiento de los vehículos desviados, así mismo, deben de resistir al choque por su forma estructural y geométrica, e igual manera también brindan seguridad a las personas que transitan por dicha estructura. Su ubicación debe darse como

mínimo de 0.60 m y como máximo de 1.20 m del borde de la vía (Rodríguez, 2014). Además, este tipo de barreras deben de diseñarse con una adecuada altura, un buen perfil y un nivel de resistencia alto. En los puentes con dos vías, es posible que se disponga de una barrera con magnitud mediana para separarlas. Además, en proyectos urbanos es pertinente elegir barreras especiales, que se caracterizan por ser estéticas, y más ligeras, pero con la resistencia verificada (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016).

f. Pavimento

El pavimento superficial, debe de ser rígidos o flexibles. Considerando algunos aspectos, como: (a) facilidad para obtener los materiales, (b) opción de tener equipos adecuados, (c) una pavimentación continua. En relación a su espesor, esta será definido considerando al tráfico que se esperan en la vía (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016).

g. Losas de transición

0.20 m es el espesor mínimo y su longitud límite estará justificado por la geometría y los accesos. Además, estas están ligadas a la estructura o al estribo a través de las articulaciones que tiene el hormigón, sin conectores, y sus apoyos se darán en el terraplén de acceso (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016).

h. Drenaje

La pendiente del drenaje transversal debe ser como mínimo de 2% para superficies de rodadura, a diferencia de los pendientes de drenaje

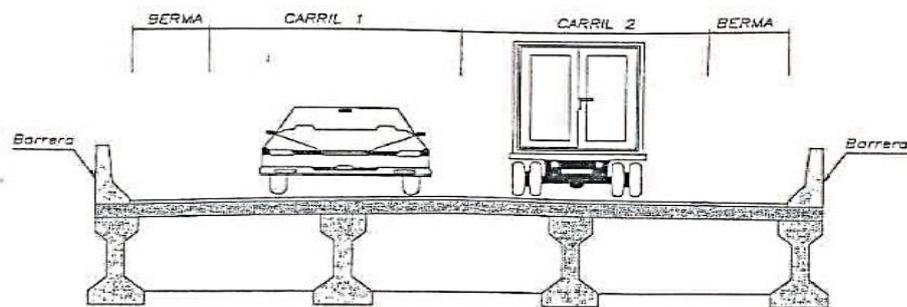
longitudinal, que deberá ser como mínimo de 0.5% y se podrá ampliar lo mayor posible (Rodríguez, 2014).

i. Gálibos

Los gálibos tanto horizontales como verticales para los puentes urbanos, deberán ser el ancho y la altura que se necesitan para el paso, no tendrán obstáculo, del tráfico de vehículos y de navegación (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016).

Figura 2

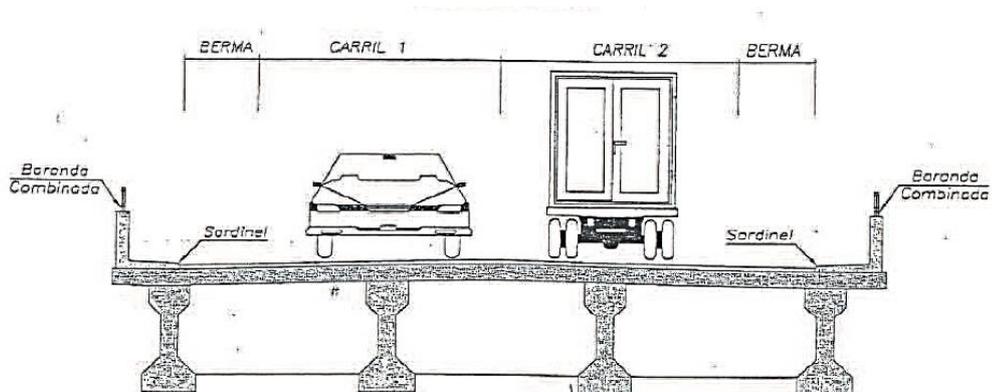
Sección transversal sin acera peatonal



Nota. Tomado de R. D. N° 09-2016-MTC/14 (2016) “Manual de Puentes”, Lima, Perú

Figura 3

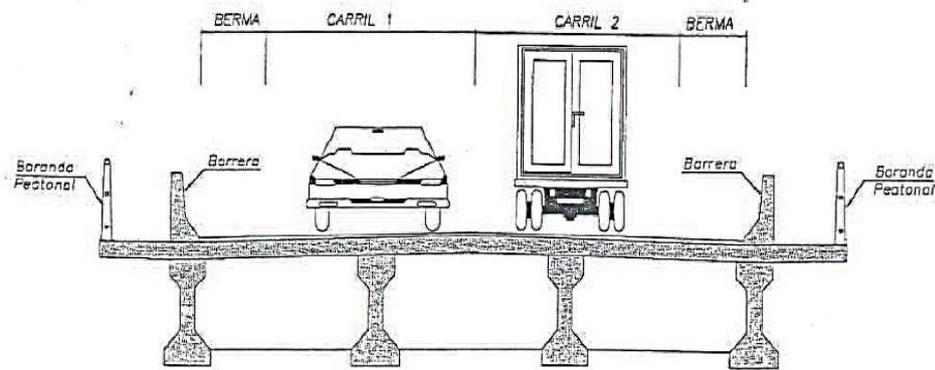
Sección transversal con acera peatonal, para velocidad de 70 km/h o menos



Nota. Tomado de R. D. N° 09-2016-MTC/14 (2016) “Manual de Puentes”, Lima, Perú

Figura 4

Sección transversal con barrera para velocidad mayor a 70 km/h



Con Barrera para velocidades mayores a 70km/h.

Nota. Tomado de R. D. N° 09-2016-MTC/14 (2016) “Manual de Puentes”, Lima, Perú

2.2.1.5. Elementos estructurales de un puente

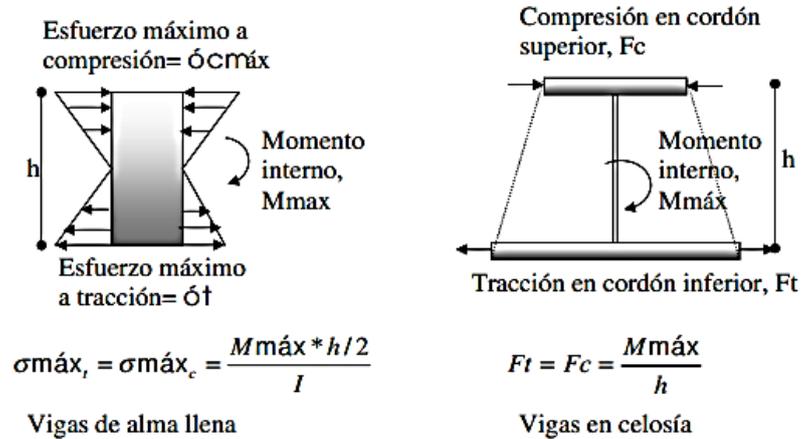
Los elementos estructurales de un puente lo comprenden todas aquellas partes que conforman la subestructura y superestructura (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016). En la investigación se resaltan los siguientes elementos:

A. Vigas

Las vigas reciben esfuerzos de flexión y cizalladura, cuando reciben cargas perpendiculares. En los puentes que son construidos considerando este elemento estructural, el flujo de carga lo recibirá el tablero, seguidamente la carga pasará por las vigas transversales y luego a las vigas longitudinales, una vez que la carga se encuentre en los apoyos se generará una reacción con la misma intensidad de carga. Las fuerzas internas que se provocaran generaran efectos de flexión que son consecuencia de las fuerzas de tracción y compresión (Duque, 2004) (Ver Figura 5).

Figura 5

Fuerzas por Flexión



Nota. Tomado de Duque (Duque, 2004), "Lecciones del concurso de puentes EIA". 2004

B. Losa

El elemento estructural denominado tablero o losa se encuentra apoyado entre los estribos y/o los pilares, en consecuencia, son considerados como las losas más simples. Sin embargo, también existe una losa continua que se une a los apoyos. Los apoyos en este elemento estructural pueden ser fijo o móviles, la diferencia entre ambas es que, en el primer apoyo, la losa estará anclada al estribo y al pilar por medio de varillas de acero. Para su diseño solo se basará en los momentos que se producen las cargas, dejando de lado los esfuerzos de cortantes, y las de adherencia (Claros & Meruvia, 2004)

El diseño de una losa debe de cumplir con los siguientes requerimientos, los cuales deben de ser medidos de la siguiente manera:

Refuerzos mínimos de flexión deben ser medidos en función a:

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

C. Estribos

Los estribos son aquellos elementos estructurales que dan soporte a la carga lateral y la transfieren hacia el terreno. Existen tipos de estribo: (a) estribos cerrados, son los más comunes en los puentes, se compone por un muro frontal que soporta el tablero, su cimiento está en el suelo, (b) estribos abiertos, son utilizados en alturas que sobrepasan los 5 metros, (c) estribos de tierra armada (structuralia, 2018).

Asimismo, sirven de apoyo extremo como estructura en puente y soportar la superestructura y con ella su carga, se someten hacia el empuje de la tierra, al estar conformado por muros frontales, estos podan ser de: (a) concreto armado, o (b) concreto simple (Minaya, 2014).

El empuje lateral del suelo será medido:

$$p = k\gamma_s z$$

Donde:

p = empuje lateral del suelo (kg/m²)

k = coeficiente de empuje lateral

γ_s = peso unitario del suelo (kg/3)

z = profundidad del suelo debajo de la superficie (m)

El empuje lateral en reposo será cálculo de la siguiente manera:

$$k_o = 1 - \text{sen}\phi_f^i$$

Donde:

ϕ_f^i = ángulo de fricción del suelo

k_o = coeficiente de empuje lateral del suelo en reposo

En la Tabla 1 se muestran algunas especificaciones técnicas generales de los elementos estructurales, en la Tabla 2 especificaciones para apoyos, y en la

Tabla 3 especificaciones para cimentaciones.

Tabla 1

Especificaciones de los elementos estructurales de un puente

	Concreto			Acero	Acero de presfuerzo			
	f'c kg/cm2	f'ci kg/cm2	Recubrimiento cm	fy kg/cm2	fpu kg/cm2	Torones	Relación	
Losa	280	-	Superior 5cm	4200	-	-	-	
			Inferior 2.5cm	4200	-	-	-	
Barrera	280	-	5cm	4200	-	-	-	
Vigas postensadas	420	350	Tramo central	4cm	4200	18900	ASTM A-416	Baja
			Tramo extremo	4cm	4200	18900	ASTM A-416	Baja
Tensor enterrado	420	350	7.5cm	4200	18900	ASTM A-416	Baja	
Vigas diafragma	280	-	4cm	4200	-	-	-	
Pilares	420	-	7.5cm	4200	-	-	-	
Cimentación superficial	210	-	Superior 5cm	4200	-	-	-	
			Inferior 7.5cm	4200	-	-	-	
Cajón de cimentación	210	-	7.5cm	4200	-	-	-	

Nota:

f'c: Resistencia a la compresión a los 28 días

f'ci: Resistencia a la compresión durante la transferencia de la fuerza de presfuerzo

fy: Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo

fpu: Esfuerzo último del acero de presfuerzo

Tomado de Sueldo y Olórtiga (2017) "Diseño estructural de un puente de vigas postensadas que cruza el río Rímac de Zárate", Lima.

Tabla 2*Especificaciones técnicas para apoyos*

Apoyos elastoméricos		
Dureza	Módulo de corte	Platinas de refuerzo
60	G= 9.1 kg/cm ²	Fy= 2531 kg/cm ²

Nota. G: factor de distribución de carga viva para vigas exteriores

Tomado de Sueldo y Olórtiga (2017) “Diseño estructural de un puente de vigas postensadas que cruza el río Rímac de Zárate”, Lima.

Tabla 3*Especificaciones técnicas para las cimentaciones*

Tipo de cimentación	Estrato de apoyo	Presión admisible	Profundidad mínima de cimentación
Cajón de cimentación	Grava arenosa	8 kg/cm ²	Df= 8.00m

Nota. Tomado de Sueldo y Olórtiga (2017) “Diseño estructural de un puente de vigas postensadas que cruza el río Rímac de Zárate”, Lima.

2.2.1.6. Clasificación de los puentes

Está clasificados de acuerdo a la función de diversas especificaciones que considera el Manual de puentes presentado por medio de la Resolución Directoral N° 09-2016-MTC/14, 2016. En la Tabla 4 se muestra a detalle, la amplia clasificación de puentes.

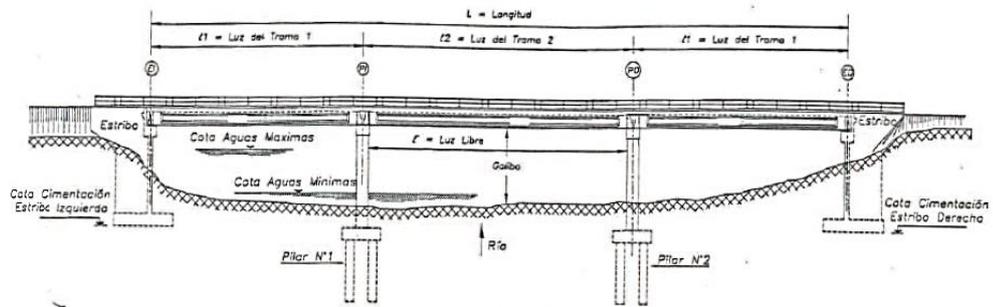
Tabla 4*Clasificación de puentes*

Clasificación	Tipo de puentes	Consideraciones
Según la naturaleza de la vía soportada	<ul style="list-style-type: none"> · Puentes de carretera · Puentes para ferrocarril · Puentes para aviones ubicados en aeropuertos 	

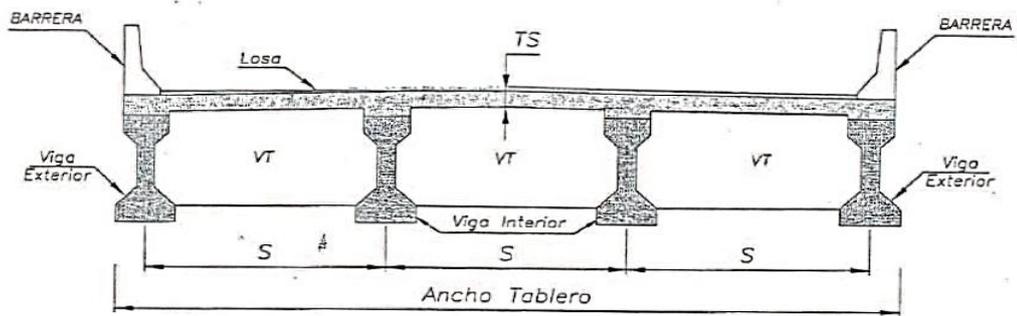
Según el tipo de material	<ul style="list-style-type: none"> · Puentes para trenes eléctricos · Puentes peatonales · Puentes para acueductos · Puentes de múltiples usos · Puentes de piedra · Puentes de sogas · Puentes de hierro · Puentes de madera · Puentes de concreto preesforzado · Puentes de concreto armado · Puentes con materiales compuestos · Puentes tipo viga 	<ul style="list-style-type: none"> · Los puentes de materiales compuestos consideran como parte de su construcción a algunos materiales como fibras de carbón y fibras de vidrio. · La clasificación de este tipo de puentes se realiza considerando el material constitutivo de aquellos principales elementos portantes. · Sus tramos pueden solo estar apoyados, pueden ser tramos isostáticos de tipo Gerber o cantiléver, o pueden ser tramos continuos o hiperestáticos. · El elemento principal es sometido principalmente a esfuerzos de tipo flexión y cortante. · Dentro de este tipo de puentes se encuentran también los puentes tipo losa, pese a que su comportamiento es diferente.
Según el sistema estructural principal	<p>(Ver Figura 5)</p> <ul style="list-style-type: none"> · Puentes tipo arco 	<ul style="list-style-type: none"> · Son puentes de varias formas, pueden ser se tablero superior, puentes de tablero intermedio, de tablero inferior, de tímpano relleno, tímpano ligero o de tipo bóveda. · Se considera dentro de este tipo de puente a los puentes pórtico, y se caracterizan por tener columnas verticales o columnas inclinadas. · Se caracterizan por presentar estructuras atirantadas, colgantes o una combinación de ambas (Ver Figura 7)
Según la forma de la geometría en planta	<ul style="list-style-type: none"> · Puentes suspendidos 	
Según la posición de la vía	<ul style="list-style-type: none"> · Puentes rectos · <u>Puentes esviados</u> · <u>Puentes curvos</u> · <u>Pasos superiores</u> · <u>Pasos inferiores</u> 	
Según el tiempo previsto	<ul style="list-style-type: none"> · <u>Puentes definitivos</u> 	Son diseñados con una vida de uso de 75 años.

		Su uso es de tiempo limitado y no más de 5 años, es posible el uso de esquemas estructurales con menos redundancia, sin embargo, deben de tener las mismas exigencias de seguridad que lo tienen los puentes definitivos.
	· <u>Puentes temporales</u>	
Según la demanda de tránsito y el tipo de carretera	· <u>Puentes de primera clase para autopistas</u> · <u>Puentes de segunda clase para autopistas</u> · <u>Puentes de primera de 1ra, 2da y 3ra clase para carreteras</u> · <u>Puentes para trochas carrozables</u>	
De acuerdo a la importancia operativa	· <u>Puentes típicos</u> · <u>Puentes importantes</u> · <u>Puentes menos importantes</u>	
	· <u>Puentes esenciales</u>	Deben estar como mínimo disponibles para vehículos de emergencia o para fines de defensa y/o seguridad, su periodo de retorno será de 1000 años.
Con fines del diseño sísmico	· <u>Puentes críticos</u>	Puentes abiertos para el tránsito de cualquier tipo de vehículo, y también deben ser accesibles para ser usado por vehículos de emergencia o para fines de defensa y/o seguridad, su periodo de retorno será de 2500 años.
Según el sistema de construcción	· <u>Puentes prefabricados</u> · <u>Puentes lanzados</u> · <u>Puentes sobre obra falsa</u> · <u>Puentes segmentales</u>	

Figura 6
Puentes tipo viga

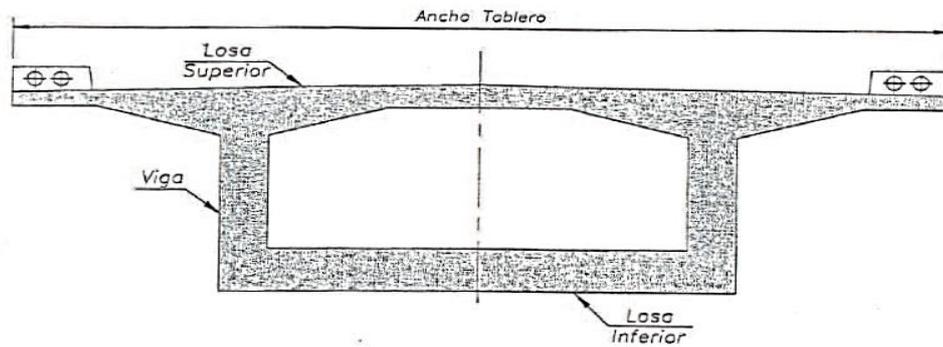


Elevación



$\text{VT} = \text{Viga Transversal o Diafragma}$

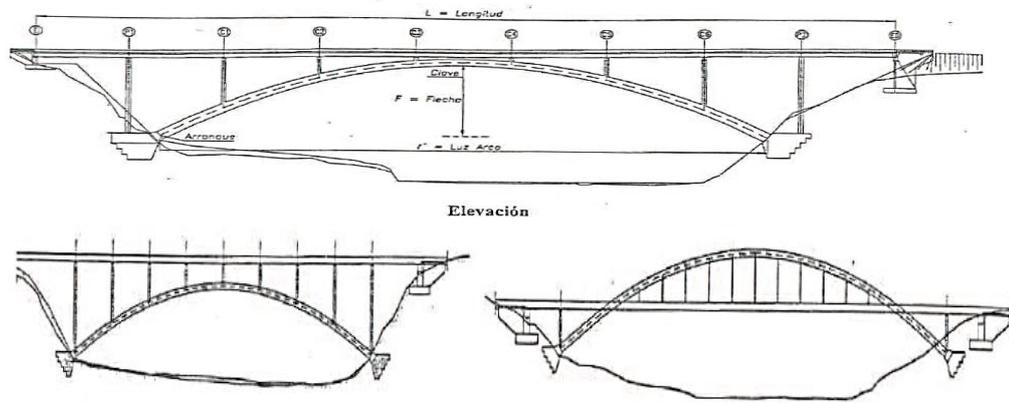
Sección Transversal : Tablero con Vigas I



Sección Transversal : Viga Cajón

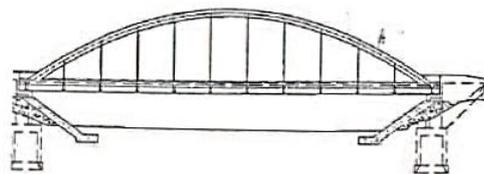
Nota. Tomado de R. D. No 09-2016-MTC/14 (2016) "Manual de Puentes", Lima

Figura 7
Puentes tipo arco



(p) Arco de Tablero Superior

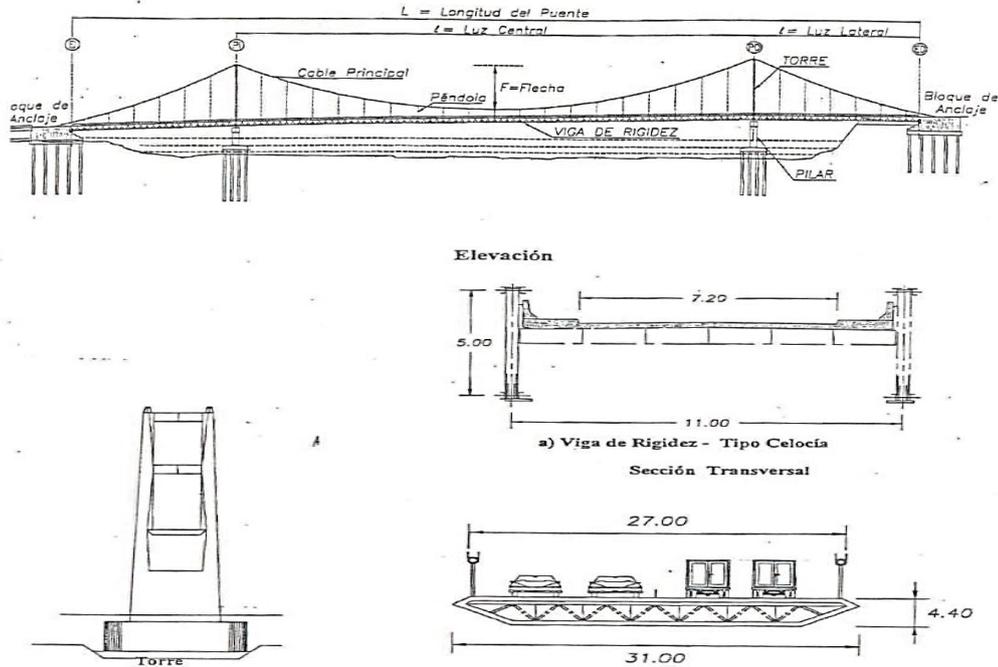
(b) Arco de Tablero Intermedio



(i) Arco de Tablero Inferior

Nota. Tomado de R. D. N° 09-2016-MTC/14 (2016) “Manual de Puentes”, Lima.

Figura 8
Puentes colgantes



Nota. Tomado de R. D. N° 09-2016-MTC/14 (2016) "Manual de Puentes", Lima.

2.2.1.7. Tipos de puentes

Se detallan algunos tipos de puentes más relevantes para la investigación.

A. Puentes de vigas

Se compone de una losa la cual se apoya sobre vigas, y este está apoyado en los estribos en puentes de una vía, y si son de varios tramos se apoyará en pilares y estribos. La disposición del tablero se puede dar de tres maneras: (a) los puentes de tablero superior, donde se extienden las vigas debajo de la losa; (b) de tablero inferior, donde la superficie inferior tiende a

coincidir con la superficie interna de las vigas, y (c) los puentes a nivel intermedio, a nivel superficial las vigas coinciden con las viguetas transversales y su superficie inferior (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016)

B. Puentes esviados

En este tipo de puente, el corte que se dará en las vigas deberá ser corregido cuando su línea de apoyo es esviado. Se aplicarán los aspectos de la corrección del corte, entre la esquina obtusa y el punto de soporte a la mitad del tramo, esto decrece de manera lineal siendo de un metro en la mitad del tramo, independientemente a la condición extrema. Asimismo, para poder establecer el corte extremo en los puentes multivigas, corregido por considerarse esviado se aplicará en su totalidad a todas las vigas en la esquina obtusa (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016).

2.2.1.8.Cargas

Según la R. D. N° 09-2016-MTC/14 (2016) son: (a) cargas permanentes, (b) cargas variables, y (c) cargas excepcionales.

A. Cargas permanentes

Este tipo de cargas son las actuantes en toda la vida útil del puente, sin que varié de forma significativa, o pudiendo variar en un solo sentido hasta poder alcanzar un valor límite. Las cargas permanentes pueden ser: (a) el propio peso de elementos estructurales, y (b) las cargas muertas adicionales. Asimismo, se pueden considerar: (a) a la tierra y su empuje, (b) la sobrecarga de tierra, (c) la fricción de la superficie negativa (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016).

Para determinar las cargas permanentes es necesario considerar, el peso propio, el cual será determinado tomando en cuenta los recursos necesarios para que funcione bien la estructura. Asimismo, se debe de considerar las cargas muertas, ya que estos incluyen a todos los elementos no estructurales, como pueden ser: (a) las veredas, (b) el balasto, (c) las rieles, (d) las barandas, (e) las tuberías, (f) entre otros. Ambos serán estimados en función a las dimensiones indicadas en el proyecto, y en función a sus valores medios. Asimismo, se dan también las cargas de suelo, y serán las que chocan con los estribos, y en otros lados de la estructura del puente mantenga la tierra, su diseño deberá de ser diseñado para resistir: (a) las presiones del empuje del suelo, (b) la fricción superficial negativa, (c) la sobrecarga del suelo. El cálculo de todas ellas se dará en base al principio de mecánica de suelos (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016).

Dentro de las cargas permanentes también se deben de considerar las deformaciones y los esfuerzos que se van a producir en la estructura debido a: (a) el flujo plástico en los elementos de concreto y madera, (b) los esfuerzos residuales que se dan a causa de la laminación o la soldadura en aquellos elementos de acero, (c) los defectos que ya son de fábrica, (d) entre otras (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016).

B. Cargas variables

Este tipo de cargas presentan variaciones significativas y frecuentes en función a su valor medio. Estas consideran el peso de las personas y los carros y también los siguientes factores: (a) los efectos dinámicos, (b) las

fuerzas de aceleración y frenado, (c) las fuerzas centrífugas, (d) las fuerzas laterales de las rieles, (e) fuerzas de la construcción, (f) fuerzas de empuje de agua, (g) variaciones de temperatura, (h) acciones de sismo, y (i) las acciones de viento (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016).

a. Cargas durante la construcción

Las cargas que se consideran durante la construcción serán de todos los pesos de los materiales y equipos que se requieren en el proceso de construcción del proyecto, adicionalmente, también se consideran las cargas del peso propio y otras cargas de tipo permanente (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016).

b. Cargas vivas de vehículos

Se toman en cuenta dentro de este tipo de cargas al número de vías o carriles, los cuales se determinan considerando el lado entero de la relación $w/12.0$ ($w/3.60$ en m.), donde w se refiere al ancho libre de calzada existiendo entre cordones, sardineles y barreras, en ft; (mm). Asimismo, se toman en cuenta a modificaciones futuras que se puedan dar en relación a la características funcionales y físicas del ancho libre de la calzada. Si los carriles de circulación presentan 12.0 ft en la anchura, el número de carriles de circulación, y anchura debe de ser igual a la anchura de los carriles (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016)

c. Fuerzas de frenado

Para determinar las fuerzas de frenado, se tomar en consideración el mayor valor de: (a) el 25% de los pesos por tándem de diseño o eje del

camión, (b) el 5% del tándem de diseño o del cambiión, y se adiciona la carga del carril. Dicha fuerza, deberá ser ubicada en todos los carriles que tendrá el puente y las cuales transportaran también tráfico en una misma dirección (Rodríguez, 2014)

d. Cargas peatonales sobre las veredas

La carga peatonal que se deberá aplicar será de 0.075 ksf (367 kg/m²) en veredas que superen los 2 ft (0.60 m) de anchura, además de forma simultánea se debe de considerar dicha carga con la sobrecarga vehicular de diseño, sin embargo, esto no será aplicado cuando los vehículos tengan acceso a subir la vereda. De darse el caso de que en un futuro se pueda remover la vereda, se aplicara una sobrecarga vehicular de 1 ft (0.30 m) del borde del tablero para diseñar al volado, a 2ft (0.60 m) del borde del tablero para el diseño de otros recursos (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016)

e. Fuerzas sobre sardineles

Son diseñadas para que puedan resistir aquella fuerza lateral mínima de 1.68 kips (760 kgf) a cada sardinel de metro, la cual se aplica en la elevación de 0.25 pasando al tablero en el caso de que el sardinel sea de mayor altura (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016).

C. Cargas excepcionales

En las cargas excepcionales las acciones tienen una muy baja probabilidad de ocurrencia; no obstante, deben de ser consideradas en el proyecto (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016).

2.2.1.9. Apoyos esviados

A. Requisitos para apoyos

Los apoyos pueden ser estáticos o móviles (es posible que cuenten con guías, para poder controlar la dirección de traslación), dependiendo del requerimiento para el diseño del puente. Ambos tipos de apoyo son diseñados con el propósito de poder resistir todo tipo de carga, y poder restringir las traslaciones más adecuadas. Aquellos apoyos que están sujetos a algún tipo de fuerza de levantamiento deben ser asegurado con anclajes o tirantes. Asimismo, se debe de realizar un cálculo de todos los apoyos, para la resistencia de uniones, elementos componentes y estabilidad de apoyo. Si se usa dos apoyos para el soporte de una viga de tipo cajón, su reacción vertical deberá ser evaluada tomando en consideración un torque resistido que se puede producir por tener dos apoyos (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016).

Los apoyos deberán tener las cargas correctas y una capacidad de movimiento. Para comparar los diferentes sistemas de apoyo, se debe de considerar los aspectos detallados en la Tabla 5. Asimismo, en la **Figura 9** se puede visualizar algunos apoyos comunes.

Tabla 5
Rango de aplicaciones de apoyo

Tipo de apoyo	Movimiento		Rotación alrededor de los ejes del puente indicado			Resistencia a las cargas		
	LO	T	LO	T	V	LO	T	V
Bloc (pad) elastomérico simple	S	S	S	S	L	L	L	L
Bloc (pad) reforzado con fibra de vidrio	S	S	S	S	L	L	L	L
Bloc (pad) reforzado de lona- algodón	U	U	U	U	U	L	L	S

Apoyo elastomérico con refuerzo de acero	S	S	S	S	L	L	L	S
Apoyo plano deslizante	S	S	U	U	S	R	R	S
Apoyo esférico curvo deslizante	R	R	S	S	S	R	R	S
Apoyo cilíndrico curvo deslizante	R	R	U	S	U	R	R	S
Apoyo disco	R	R	S	S	L	S	S	S
Apoyo cilíndrico doble	R	R	S	S	U	R	R	S
Apoyo tipo olla	R	R	S	S	L	S	S	S
Apoyo balancín	S	U	U	S	U	R	R	S
Apoyo con bisagra de pines	U	U	U	S	U	S	R	S
Apoyo con rodillo simple	S	U	U	S	U	U	R	S
Apoyo de rodillo múltiple	S	U	U	U	U	U	U	S

Nota.S = Apropriado

U = No apropiado

L = Apropriado para aplicaciones limitadas

R = Puede ser apropiado, pero requiere consideraciones especiales o elementos adicionales como cursores o guías

LO = Ejes longitudinales

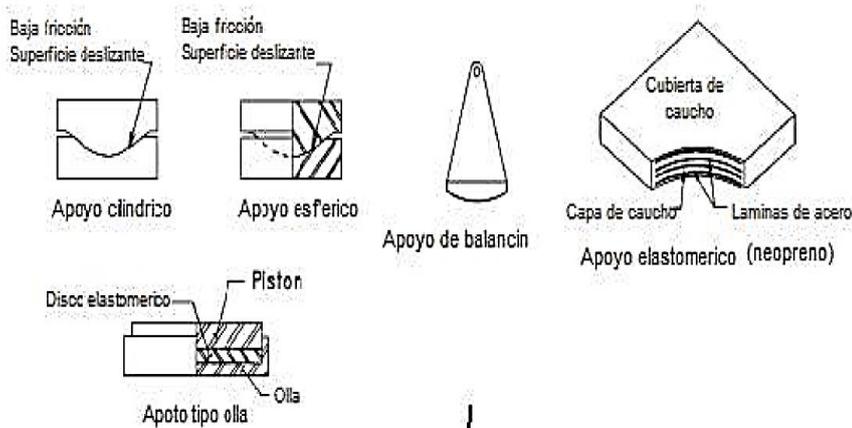
T = Ejes transversales

V = Ejes verticales

Tomado de R. D. N° 09-2016-MTC/14 (2016) “Manual de Puentes”, Lima.

Figura 9

Tipos de apoyos comunes.



Nota. Tomado de R. D. N° 09-2016-MTC/14 (2016) “Manual de Puentes”, Lima.

B. Fuerzas resultantes en los apoyos

Según el R. D. N° 09-2016-MTC/14 (2016), dentro de los apoyos surgen fuerzas resultantes como: (a) la fuerza horizontal y movimiento, y (b) el momento.

a. Fuerza horizontal y movimiento

Dichas fuerzas se determinan haciendo uso de los movimientos y las características que se dan en los apoyos. Asimismo, los soportes de aquellos apoyos de expansión, deberán ser diseñados para que su estructura tenga la capacidad de experimentar movimientos en sismos, así como también de otro tipo de desplazamientos (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016).

El cálculo fricción que surge por el deslizamiento es hallado de la siguiente manera:

$$H_{bu} = \mu P_u$$

Donde:

H_{bu} = Fuerza lateral que se transmite por los apoyos a la subestructura y a la superestructura (kip)

μ = coeficiente de fricción

P_u = Fuerza de compresión (kip)

La deformación por un elemento elastomérico será calculado de la siguiente manera:

$$H_{bu} = GA \frac{\Delta_u}{h_{rt}}$$

Donde:

G = módulo de corte del elastómero

A = área plana del elastómero

Δ_u = deformación de corte

h_{rt} = espesor total del elastómero

b. Momento

En los apoyos deslizantes curvos que no tengan superficie deslizante, su cálculo será de la siguiente forma:

$$M_u = \mu P_u R$$

Donde:

M_u = momento transmitido a la subestructura y a la superestructura por el apoyo

R = radio de la superficie curva deslizante

En los apoyos deslizantes curvos que, si tengan superficie deslizante, su cálculo será de la siguiente forma:

$$M_u = 2\mu P_u R$$

A. Tipos de apoyo

a. Apoyos elastómeros

Son los apoyos más simples que puede tener el puente. El apoyo será un bloque de forma rectangular o de forma circular. Asimismo, este trabajará como un material entre la subestructura y la superestructura, permitiendo movimientos en cualquier dirección. La desventaja de este tipo de apoyo es su abultamiento que se originará deslizamientos y giros excesivos de forma vertical (Seminario, 2004).

Existen dos tipos de apoyo, dentro de los apoyos elastómeros: (a) apoyos reforzados, están conformados por láminas de acero, y (b) apoyos no reforzados (Zhao & Tonias, 2017).

b. Apoyos tipo Rocker

Son apoyos fijos que pueden ser acomodados a deflexiones que se dan por cargas vivas, usualmente es utilizado en puentes con una luz a partir de 15m. Su fabricación deberá ser con acero y por medio de un bloque de algodón se conecta a la subestructura; pero para conectarla con una superestructura se utilizará una placa de acero que debe estar empernada o soldada. Se utilizan también pivotes para evitar que se muevan, los cuales ayudan a que puedan soportar fuerzas longitudinales (Zhao & Tonias, 2017)

c. Apoyos tipo Roller

Este tipo de apoyos hacen uso de un pin como parte de su estructura, este servirá para que las rotaciones se acomoden; en caso de que se requieran movimientos de traslación deberá hacer uso de rodillos. Se requiere que este tipo apoyo sea equipado con barras estabilizadoras y con engranajes, con la finalidad de evitar deformaciones, desgastes y movimientos de forma lateral (Zhao & Tonias, 2017).

d. Apoyos tipo Pot

Este tipo de apoyo permite acomodar cargas verticales y grandes rotaciones; estarán conformados por un cilindro de acero vertical, un pistón, anillos de bronce, y un disco de neopreno. Este último, deberá estar confinado dentro del cilindro, haciendo uso de los anillos de bronce como ayuda,

ocasionando de esta forma que el pistón ejerza presión, para que de esta forma se genere un esfuerzo hidrostático. Asimismo, este tipo de apoyo se equipa por: (a) placas deslizantes, que permiten que se soporte los movimientos de traslación; (b) el pedestal, el cual será utilizado para unir la subestructura y el apoyo (Zhao & Tonias, 2017).

e. Apoyos deslizantes

Para este tipo de apoyo es necesario utilizar una placa que se deslizara para que se puedan acomodar cuando surjan movimientos de traslación. En caso de rotaciones, estas serán acomodadas en función a su magnitud anticipada. Además, para su fabricación se debe de utilizar acero, bronce o teflón (Zhao & Tonias, 2017).

2.3. Marco conceptual

- **Apoyos deslizantes:** Para este tipo de apoyo es necesario utilizar una placa que se deslizara para que se puedan acomodar cuando surjan movimientos de traslación (Zhao & Tonias, 2017).
- **Apoyos elastómeros:** Son los apoyos más simples que puede tener el puente. El apoyo será un bloque de forma rectangular o de formar circular (Seminario, 2004).
- **Apoyos esviados:** Pueden ser estáticos o móviles dependiendo del requerimiento para el diseño del puente, permiten resistir el tipo de carga, y poder restringir las traslaciones más adecuadas (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016).

- **Apoyos tipo Pot:** Este tipo de apoyo permite acomodar cargas verticales y grandes rotaciones; estarán conformados por un cilindro de acero vertical, un pistón, anillos de bronce, y un disco de neopreno (Zhao & Tonia, 2017).
- **Apoyos tipo Rocker:** Son apoyos fijos que pueden ser acomodados a deflexiones que se dan por cargas vivas, usualmente es utilizado en puentes con una luz a partir de 15m (Zhao & Tonia, 2017).
- **Apoyos tipo Roller:** Este tipo de apoyos hacen uso de un pin como parte de su estructura, este servirá para que las rotaciones se acomoden; en caso de que se requieran movimientos de traslación deberá hacer uso de rodillos (Zhao & Tonia, 2017).
- **Barandas:** Son instaladas en lo que conforma al borde de la estructura del puente, en casos de que el puente tendrá pases peatonales o sean puentes peatonales, ya que se busca la protección del peatón (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016).
- **Bermas:** Es la porción que esta junto al carril, sirve para que los vehículos se estacionen por alguna emergencia (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016).
- **Cargas excepcionales:** Las acciones tienen una muy baja probabilidad de ocurrencia, sin embargo, deben de ser consideradas en el proyecto (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016).
- **Cargas permanentes:** Son las que actúan durante toda la vida útil de la estructura del puente, sin que varíe de forma significativa, o pudiendo variar

en un solo sentido hasta poder alcanzar un valor límite (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016).

- **Cargas variables:** Presentan variaciones significativas y frecuentes en función a su valor medio (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016).
- **El acero:** Las armaduras de aquellos elementos de preesforzado o concreto armado, pueden constituirse por barras, cables, alambres y torones de acero (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016).
- **El alastómero:** Es el elemento que tendrá que ser especificado en función a su dureza, o en función al módulo de deformación transversal, y a sus valores máximos de rotación, distorsión, y esfuerzo de compresión (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016).
- **Elementos estructurales:** Los elementos estructurales de un puente lo comprenden todas aquellas partes que **conforman** la subestructura y superestructura (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016).
- **Estribos:** Son aquellos **elementos** estructurales que dan soporte a la carga lateral y la transfieren hacia el terreno (structuralia, 2018)
- **Estudios de trazo:** Son las que definen las peculiaridades geométricas y técnicas del enlace del puente con su ubicación nueva que tendrá con la carretera que ya existe (Rodríguez, 2014).
- **Estudios geológicos:** Son aquellos que establecen las peculiaridades locales y generales de las diversas formaciones geológicas que se presentan, identifican su distribución y características geotécnicas (Rodríguez, 2014)

- **Estudios hidrológicos:** Permiten establecer cuáles serán las características hidrológicas y los factores hidráulicos que conllevaran a una correcta y real apreciación del río y su comportamiento (Rodríguez, 2014).
- **Estudios topográficos:** Permiten definir de forma precisa la ubicación y las dimensiones de todos los elementos estructurales (Rodríguez, 2014).
- **Losa:** Es un elemento estructural que se encuentra apoyado entre los estribos y/o los pilares (Claros & Meruvia, 2004)
- **Puente:** Es una estructura que se requiere para poder atravesar un obstáculo natural, un obstáculo artificial, o un accidente geográfico. Se establece como un puente a la estructura que tiene como luz, ejes de apoyo con una medida mayor o igual a los 6.00 m, y es parte una carrera o se encuentra localizada por debajo o sobre ella (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016).
- **Puentes de vigas:** Se compone de una losa la cual se apoya sobre vigas, y que a su vez se apoya en estribos en puentes de un solo tramo, y si son de varios tramos se apoyara en pilares y estribos (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016).
- **Subestructura:** Componente de un puente, que está compuesta por estribos y pilares (Minaya, 2014).
- **Superestructura:** Componente de un puente se compone de la estructura portante y del tablero (Minaya, 2014).

- **Vigas:** Es un elemento de la superestructura de un puente que reciben esfuerzos de flexión y cizalladura, cuando reciben cargas perpendiculares (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016)

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis general

Existe una relación significativa entre los apoyos, los esfuerzos que se producen en los elementos estructurales del puente del distrito de Pucará.

3.2. Hipótesis específicas

- a) Los apoyos esviados se relacionan significativamente y los esfuerzos que se producen en las vigas del puente
- b) Existe una relación moderada e indirecta entre los apoyos esviados y los esfuerzos que se producen en la losa del puente
- c) Los apoyos esviados se relacionan significativamente con los esfuerzos que se producen en los estribos del puente.

3.3. Variables

3.1.1. Variable 1: Apoyos esviados

• *Definición conceptual*

Los apoyos son parte de la estructura de un puente, son diseñados con el propósito de poder resistir todo tipo de carga, y poder restringir las

traslaciones más adecuadas, asimismo pueden estar ubicados entre las vigas y los estribos (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016)

• ***Definición operacional***

Los apoyos son una parte primordial del sistema estructural de un puente, que tienen la facultad de recibir las fuerzas para transportarlas al suelo, estos apoyos pueden ser estáticos o móviles, dependiendo del diseño que se requiera para el puente.

3.1.2. Variable 2: Esfuerzos en elementos estructurales

• ***Definición conceptual***

Los elementos estructurales de un puente lo comprenden todas aquellas partes que conforman la subestructura y superestructura, pudiendo generarse en ellas esfuerzos que conlleven a cambios estructurales en su composición (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016).

• ***Definición operacional***

Los elementos estructurales lo componen aquellas partes que permiten la consolidación de la estructura del puente, como pueden ser: (a) las vigas, (b) los estribos, (c) la losa o el tablero, (d) entre otros; los cuales, al ser sometidos a una carga, conllevarán a que surjan esfuerzos como: (a) la flexión, (b) la compresión, (c) la tracción, (d) la torsión, (e) entre otros.

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Medición
Variable 2 <i>Esfuerzos en elementos estructurales</i>	Los elementos estructurales de un puente lo comprenden todas aquellas partes que conforman la subestructura y superestructura, pudiendo generarse en ellas esfuerzos que conlleven a cambios estructurales en su composición (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016).	Los elementos estructurales lo componen aquellos partes que permiten la consolidación de la estructura del puente, como pueden ser: (a) las vigas, (b) los estribos, (c) la losa o el tablero, (d) entre otros; los cuales, al ser sometidos a una carga, conllevaran a que surjan esfuerzos como: (a) la flexión, (b) la compresión, (c) la tracción, (d) la torsión, (e) entre otros.	Vigas	Esfuerzo de flexión	$\sigma = \frac{M \cdot C}{I}$
				Esfuerzo de compresión	$\sigma \text{ máx} = \frac{M \text{ máx} \cdot h/2}{I}$
				Esfuerzo de tracción	$F_t = F_c = \frac{M \text{ máx}}{h}$
				Reacciones de apoyo	$\rightarrow + \sum F_x = 0$ $\uparrow + \sum F_y = 0$ $+ \sum M = 0$
			Losa	Refuerzos de flexión	$p_{min} \geq 0.03 \frac{f'_c}{f_y}$
				Capacidad de carga	$RF = \frac{\varphi_c \varphi_s \varphi_{RRn} - (Y_{DC} DC) - (Y_{DW})}{(Y_{LL})(LL + IM)}$
			Estribos	Empuje lateral del suelo	$p = k \gamma_s z$ $k_o = 1 - \text{sen} \phi_f^i$

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1. Método de investigación

La investigación se ejecutó tomando como método general, al método científico, debido a que por medio de este método se puede desarrollar la formulación de problemas, objetivos e hipótesis; los cuales se pueden plantear de forma general y específica; luego de un análisis general, dichas hipótesis pudieron ser comprobadas. En función a lo mencionado, es evidente que por medio de este método se ejecutó un procedimiento apropiado y ordenado, con el fin de obtener resultados para plantear soluciones a diversos problemas Bernal (2010), y poder aportar mediante conocimientos nuevos, a las investigaciones científicas (Lino, 2009). Es por todos estos motivos que en la investigación se optó por elegir la aplicación del método científico.

4.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación fue aplicada, debido a que este tipo tiene como propósito principal que los conocimientos que ya existen sean transformados en objetos que sean útiles para la sociedad; así mismo, este tipo de investigación permite que se apliquen los resultados que se obtienen en una investigación experimental, con el propósito de que se desarrollen tecnologías que puedan ser aplicadas de forma inmediata para solucionar problemas (Espinoza, 2010). Adicionalmente, Mejía (2005) coincide en su conceptualización, y señala que por medio la investigación aplicada la realidad

que se observa será transformada, en función a la necesidad que se presenten en la sociedad. En consecuencia, el tipo de investigación es aplicada, debido a que el proyecto busca que sus resultados puedan contribuir con la mejora de infraestructura del puente en estudio, y por ende se beneficie la localidad donde se encuentra ubicada.

4.3. Nivel de investigación

El nivel fue descriptivo y correlacional, en este nivel se permite relacionar variables, para posteriormente aplicar un análisis correlación como técnica, con la finalidad de encontrar el grado de relación que pueda darse entre las variables de estudio (Espinoza, 2010). Asimismo, Hernández et al. (2014) considera a este nivel como un alcance correlacional y coincide con el autor anterior en indicar que por medio de un estudio correlacional se buscara una asociación. En consecuencia, se optó por un nivel correlacional debido a que la investigación tiene propósito principal analizar la relación que se dan entre los apoyos esviados y los esfuerzos de los elementos estructurales de un puente.

4.4. Diseño de la investigación

Se aplicó el diseño experimental, ya que se busca manipular las variables de estudio; asimismo, están sirven para organizar aquellos datos que se obtienen de un modelo o de algún prototipo; dicho modelo fue construido en base a la modelación computacional (Espinoza, 2010). Para Hernández et al. (2014) los diseños experimentales se pueden dar en campo o el laboratorio, este último, son realizados bajo condiciones que permiten un mejor control.

Por tal motivo, se aplicó en la investigación el diseño experimental en laboratorio computacional.

4.5. Población y muestra

La población estuvo construida por el puente Raquina ubicado en el distrito de pucara distrito de Huancayo -región Junín

No se utilizó la técnica de muestreo por tratarse de una población pequeña.

4.5.1. Técnicas de recolección de datos

La investigación aplicó como técnica de recolección de datos a la observación, ya que se busca analizar las variables en diversos escenarios, para posteriormente procesar la información, y obtener resultados, que sean valiosos para contribuir con la población de estudio.

4.5.2. Instrumentos de Recolección de Datos

La ficha de observación fue el instrumento a utilizar en la investigación, el cual fue elaborado considerando aspectos importantes para cada variable; posteriormente, dicho instrumento fue validado por juicio de expertos.

4.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Después de haber aplicado el instrumento de investigación, los datos obtenidos fueron procesados en un laboratorio computacional, para posteriormente ser analizados por medio de una estadística descriptiva e inferencial que permita validar las hipótesis.

4.7. Aspectos éticos de la investigación

Para realizar dicho trabajo de investigación se ha considerado los procedimientos apropiados, siguiendo los principios de ética para iniciar y concluir los procedimientos establecidos en el Reglamento de Grados y Títulos de la escuela de postgrado de la Universidad Peruana Los Andes.

La pesquisa, las exploraciones, datos que se tomarán para ser incluidos en el presente trabajo de investigación serán ciertas. con la finalidad de no cometer faltas éticas, tales como el plagio, adulteración de datos, no citar fuentes bibliográficas, etc., se está tomando en cuenta desde la presentación del Proyecto, hasta la sustentación de la Tesis.

Por consiguiente, me someto a las pruebas respectivas de validación del contenido de dicho trabajo de investigación.

CAPÍTULO V

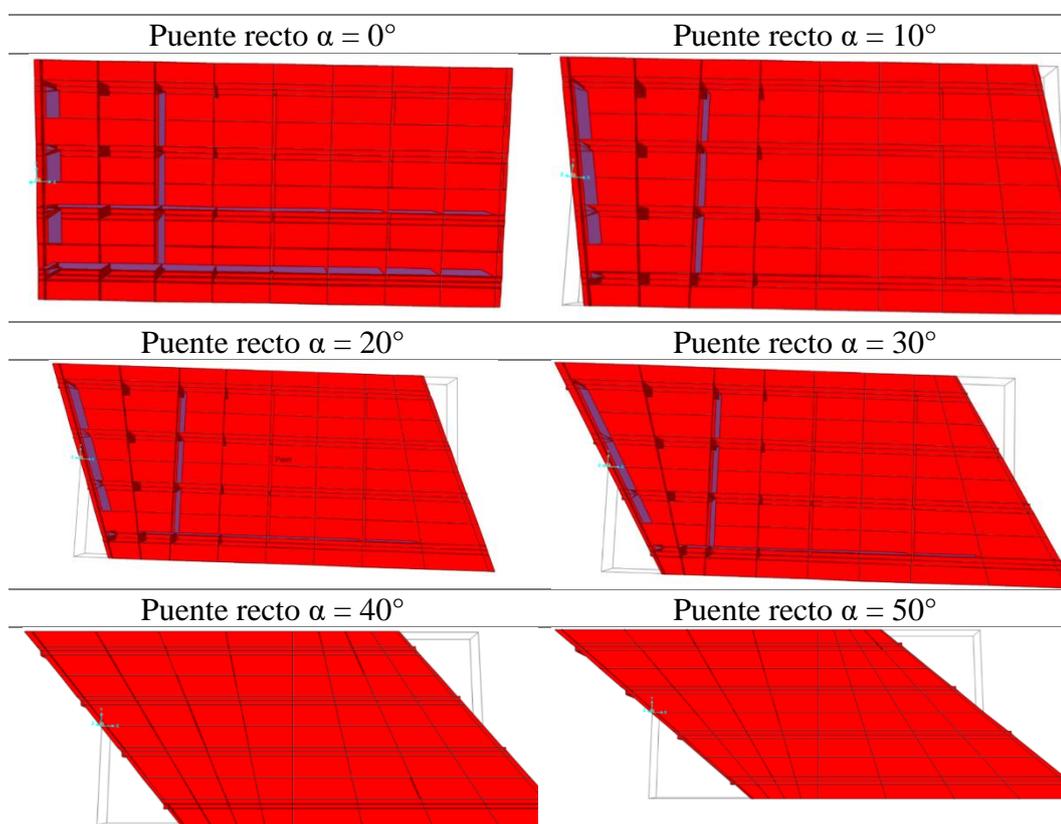
RESULTADOS

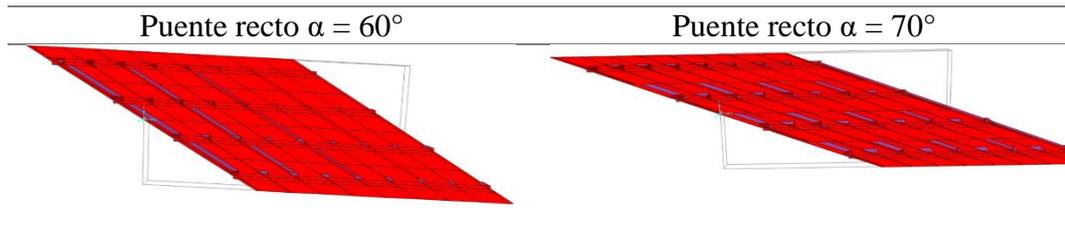
5.1. Descripción de resultados

En la *Tabla 7* se muestran las figuras de los distintos diseños de los puentes esviados de 0° hasta los 70° . Se dice que un puente está esviado cuando su tablero y los apoyos no forman un ángulo de 90° en dirección al eje principal del tablero longitudinal. En este sentido, los esfuerzos máximos de las vigas, de la losa y los estribos no tienen paralelismo con el eje del camino al que conecta el puente; por ello, que la losa del puente esviado es deformada hacia una superficie alabeada.

Tabla 7

Diseño de puentes a diferentes ángulos de inclinación



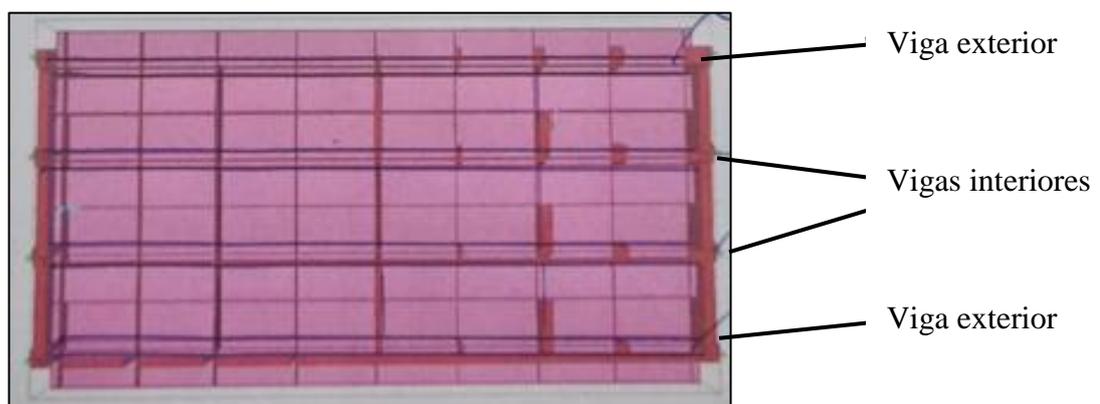


5.1.1. Apoyos esviados en vigas

Las vigas son uno de los elementos fundamentales en la estructura de un puente, sobre este elemento reposa la losa del puente y son los que soportan el peso y la presión de la carga viva y muerta. Las vigas al no crear empujan lateral, es ideal para el diseño de puentes; además, al absorber esfuerzos de flexión reduce el riesgo de movimientos sísmicos. En el estudio realizado se evaluó el esfuerzo de torsión de las vigas según el ángulo de desviación de 0° a 70° , los resultados se muestran en la **Tabla 10** y **Tabla 11**.

Figura 10

Vigas en el diseño de un puente



A. Carga muerta

Tabla 8

Esfuerzo de torsión debido a la carga muerta en viga exterior

Ángulo de desviación	Esfuerzo torsión
0°	1.262
10°	3.261
20°	5.584
30°	8.085
40°	10.880
50°	13.273
60°	12.240
70°	12.606

Nota. Valores hallados con el instrumento de investigación.

Figura 11

Esfuerzo de torsión debido a la carga muerta en viga exterior

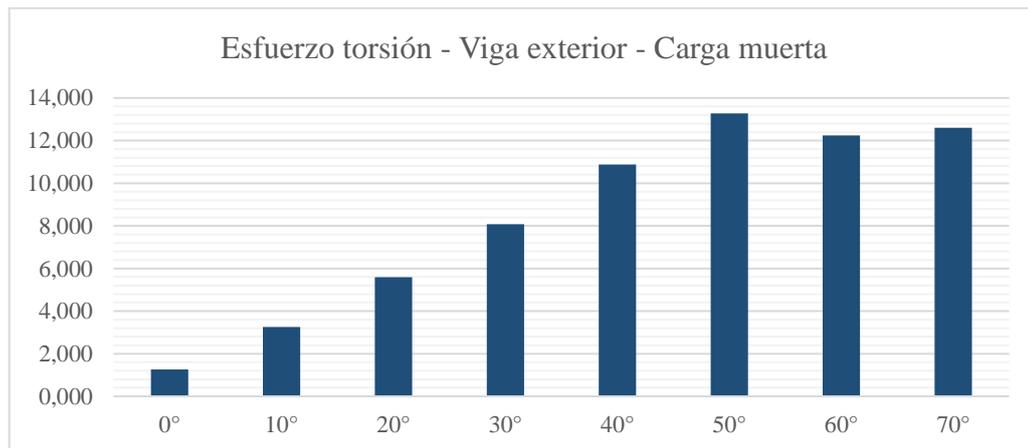


Tabla 9

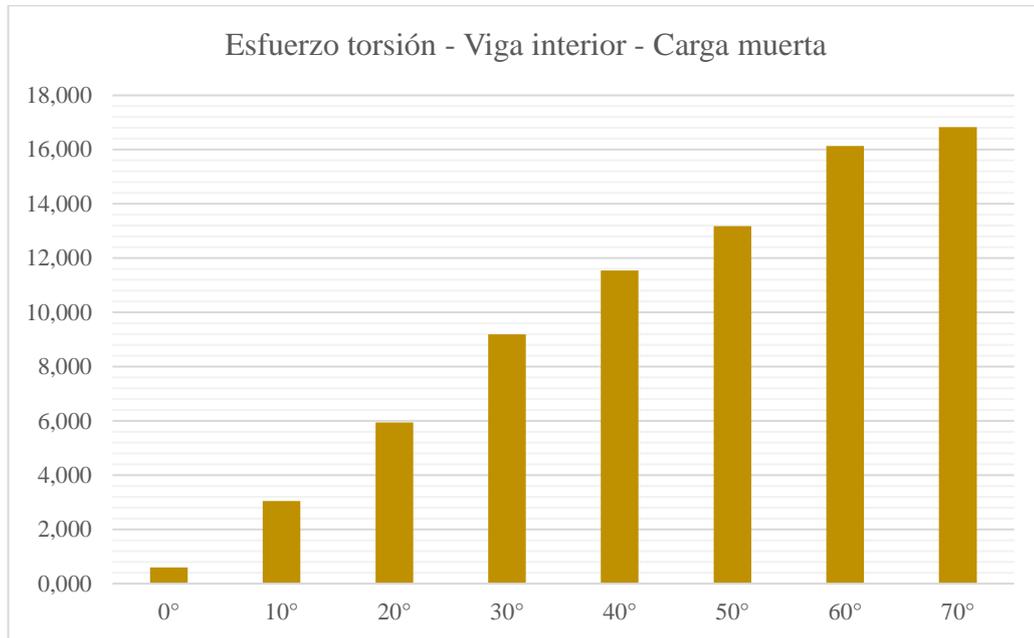
Viga interior de la carga muerta

Ángulo de desviación	Esfuerzo torsión
0°	0.601
10°	3.045
20°	5.938
30°	9.194
40°	11.539
50°	13.182
60°	16.133
70°	16.829

Nota. Valores hallados con el instrumento de investigación.

Figura12

Esfuerzo de torsión debido a la carga muerta en viga interior



Interpretación:

En la *Figura 11* y *Figura12* se observa que el esfuerzo de torsión, evaluadas en carga muerta, pasan de 1.262 a 12.606 y de 0.601 a 16.829, aplicado en las vigas interiores y exteriores, respectivamente, y conforme el ángulo de esvivo del puente aumenta. Ello indica que el ángulo de esvivo aumenta el esfuerzo aplicado en las vigas, específicamente el esfuerzo de torsión. Además, por las cifras halladas, se evidencia que el ángulo de los apoyos esviados tienen una relación con la magnitud de los esfuerzos aplicados en las vigas exteriores y la viga interior; evaluados en la carga muerta; es decir, la propia carga del puente.

B. Carga viva

Tabla 10

Esfuerzo de torsión en Viga exterior debido a la carga viva

Ángulo de desviación	Esfuerzo torsión
0°	4.425
10°	5.869
20°	7.486
30°	8.782
40°	10.426
50°	12.426
60°	11.314
70°	7.665

Nota. Valores hallados con el instrumento de investigación.

Figura 12

Esfuerzo de torsión en Viga exterior debido a la carga viva

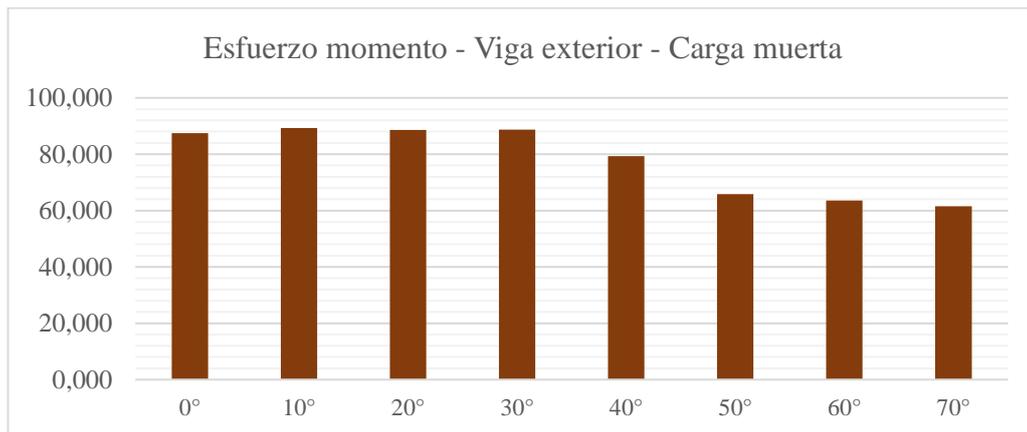


Tabla 11

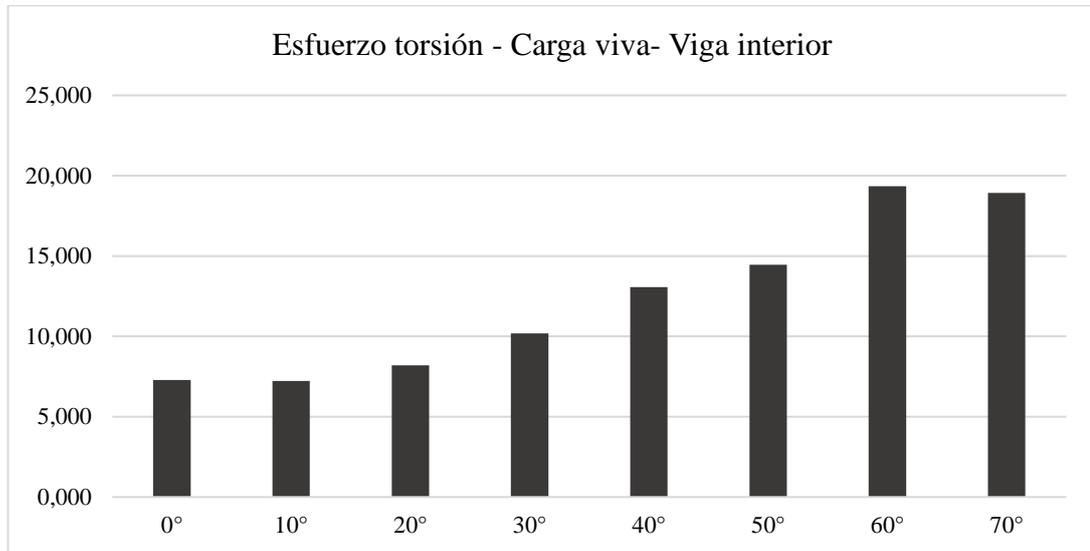
Esfuerzo de torsión en Viga interior debido a la carga viva

Ángulo de desviación	Esfuerzo torsión
0°	7.291
10°	7.218
20°	8.208
30°	10.187
40°	13.069
50°	14.457
60°	19.338
70°	18.926

Nota. Valores hallados con el instrumento de investigación.

Figura 13

Esfuerzo de torsión en Viga interior debido a la carga viva



Interpretación:

Figura 12 y *Figura 13*, similar al análisis de los esfuerzos en carga muerta; los esfuerzos de carga viva aumentan según aumenta el ángulo de esvío. Es decir, el esfuerzo por torsión de las vigas exteriores o interiores, analizadas con cargas móviles, es mayor cuando más sea el ángulo de esviaje del puente. El análisis de estos esfuerzos es esencial, ya que, estos elementos deben de cuidarse de no tener flexión; es decir, el momento flexor (causado por las tensiones) debe ser cero, a fin de que las fuerzas no sean perpendiculares a las vigas. Estas cifras, muestran que hay una relación entre el ángulo del apoyo esviado y las fuerzas de torsión aplicado en las vigas exteriores e interiores.

5.1.2. Apoyos esviados en estribos

Los estribos de los puentes representan los elementos estructurales, por el cual el tablero del puente se encuentra apoyado en los dos extremos del

puente. Como es sabido, los estribos se apoyan sobre el terreno, tiene la función principal de ser un elemento de transición entre los tableros, las losas y las vías o carreteras. En las tablas que siguen se muestra el esfuerzo cortante aplicado sobre el estribo en diferentes ángulos de apoyo del puente evaluado.

A. *Carga muerta*

Tabla 12

Esfuerzo cortante en viga exterior debido a la carga muerta

Ángulo de desviación	Esfuerzo cortante
0°	21.986
10°	26.266
20°	33.779
30°	44.915
40°	50.134
50°	54.911
60°	53.474
70°	52.041

Nota. Valores hallados con el instrumento de investigación.

Figura 14

Esfuerzo cortante en viga exterior - carga muerta

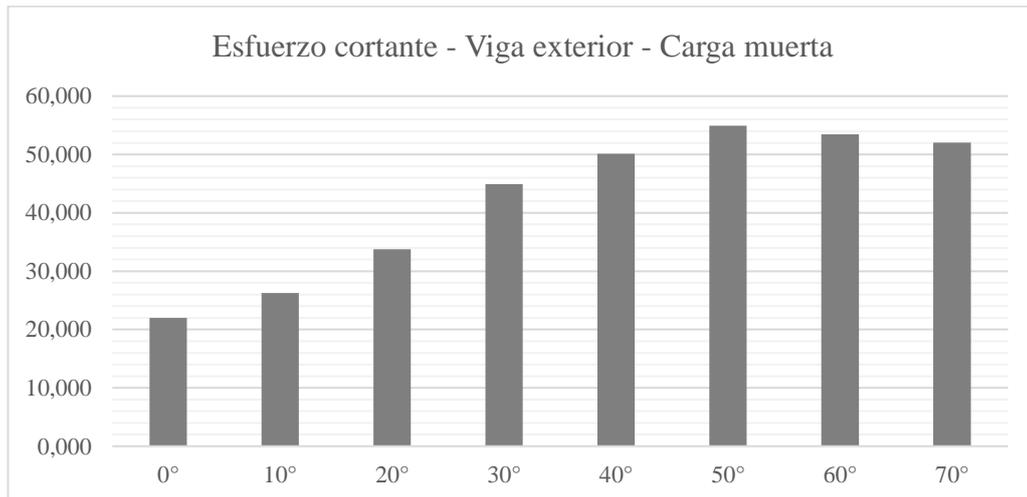


Tabla 13

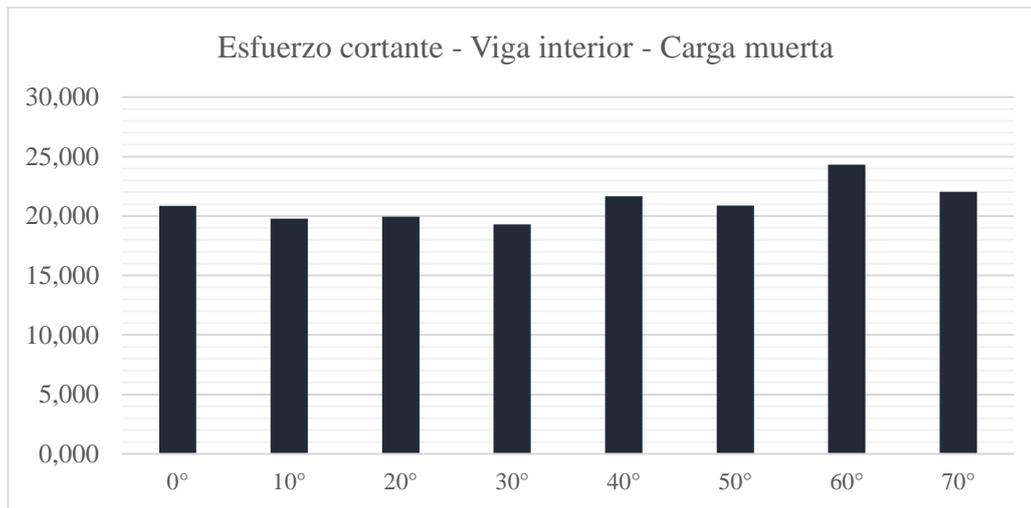
Esfuerzo cortante en viga interior debido a la carga muerta

Ángulo de desviación	Esfuerzo cortante
0°	20.851
10°	19.795
20°	19.937
30°	19.310
40°	21.659
50°	20.875
60°	24.328
70°	22.032

Nota. Valores hallados con el instrumento de investigación.

Figura 15

Esfuerzo cortante en viga interior debido a la carga muerta



Interpretación:

El esfuerzo cortante, no es aplicado directamente a los estribos de un puente, sino que están sobre las vigas interiores y exteriores. Este esfuerzo en la zona de las vigas exteriores (aplicadas a los estribos) aumenta según el ángulo del apoyo esviado también aumenta; pasando de 21.986 a 52.041, de 0° a 70°, respectivamente. Por otro lado, el esfuerzo en la zona interior, también ha aumentado; sin embargo, su aumento es menor y casi nulo, pasando de 20.851 a 22.032, de 0° a 70°. En ambos casos, el esfuerzo cortante,

evaluado en la carga muerta, tiene un tipo de relación con el ángulo de apoyo esviado.

B. Carga viva

Tabla 14

Esfuerzo cortante en viga exterior debido a la carga viva

Ángulo de desviación	Esfuerzo cortante
0°	24.259
10°	27.734
20°	34.925
30°	44.644
40°	49.348
50°	53.081
60°	45.903
70°	37.654

Nota. Valores hallados con el instrumento de investigación.

Figura 16

Esfuerzo cortante en viga exterior debido a la carga viva

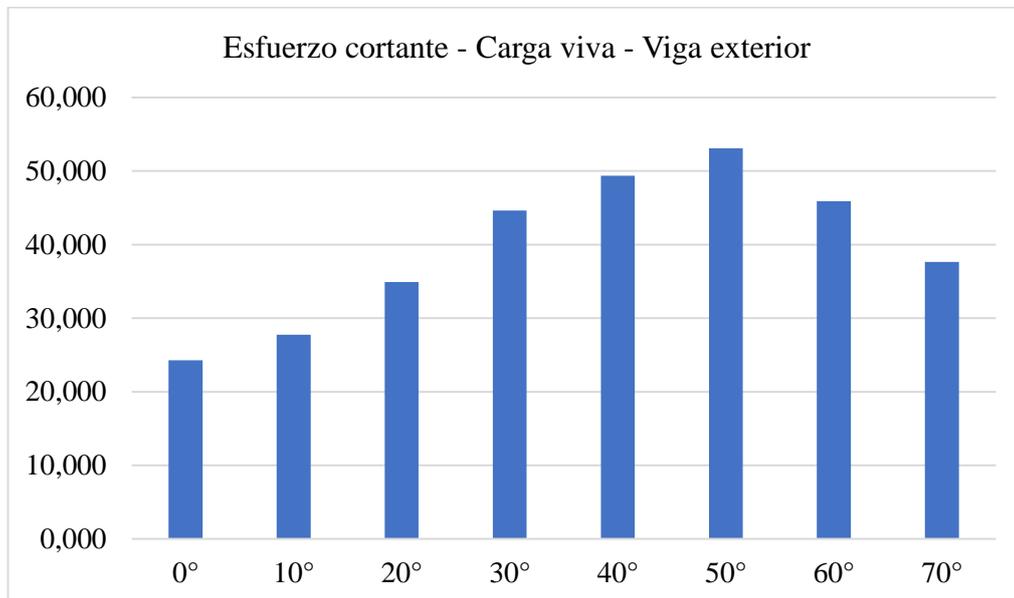


Tabla 15

Esfuerzo cortante en viga interior debido a la carga viva

Ángulo de desviación	Esfuerzo cortante
0°	25.619
10°	25.172
20°	25.400
30°	25.647
40°	27.345
50°	27.654
60°	31.148
70°	32.815

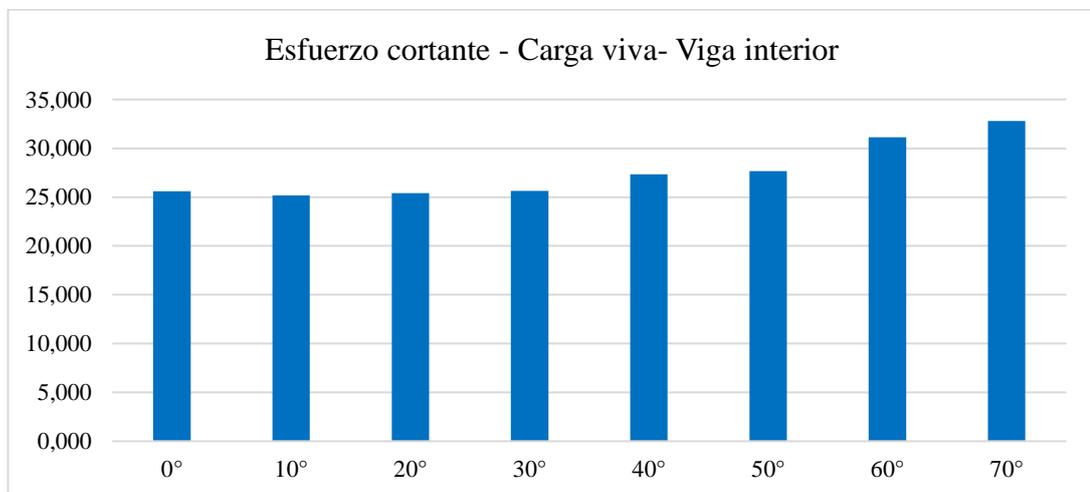
Nota. Valores hallados con el instrumento de investigación.

Interpretación:

En la **Figura 16** y **Figura 17**, se muestra el esfuerzo cortante aplicado en las vigas, analizado desde los estribos, en carga móvil. Las cifras encontradas muestran que los esfuerzos cortantes en la zona exterior e interior se ve afectadas por el ángulo del apoyo esviado. Tal es que el esfuerzo cortante, de la zona exterior, pasa de 24.259 a 37.654, y de la zona interior, pasa de 25.619 a 32.815, de 0° a 70°, respectivamente. En ambos casos, un mayor ángulo de esviaje denota mayores esfuerzos cortantes.

Figura 17

Esfuerzo cortante en viga interior debida a la carga viva



5.1.3. Apoyos esviados en losa

El diseño de puentes con losa se efectúa tomando en cuenta los momentos de las cargas (móvil o muerta). Por tal razón, no es necesario que en las losas se evalúen los esfuerzos cortantes, adherencias, etc. Cuando se trata de un puente esviado, al no ser paralelo con el camino, la losa se asemejará a la losa de una superficie alabeada. En este sentido, al tratarse de puentes con apoyos esviados, el diseño de la losa solo se efectúa con el producto de los momentos de las cargas, este cálculo debe de considerar el peso del conjunto, el ancho de la unidad y la carga a soportar.

A. Carga muerta

Tabla 16

Esfuerzo de momento de la zona exterior de la losa debido a la carga muerta

Ángulo de desviación	Esfuerzo momento
0°	87.478
10°	89.349
20°	88.587
30°	88.748
40°	79.343
50°	65.825
60°	63.541
70°	61.480

Nota. Valores hallados con el instrumento de investigación.

Figura 18

Esfuerzo momento de la zona exterior de la losa en carga muerta

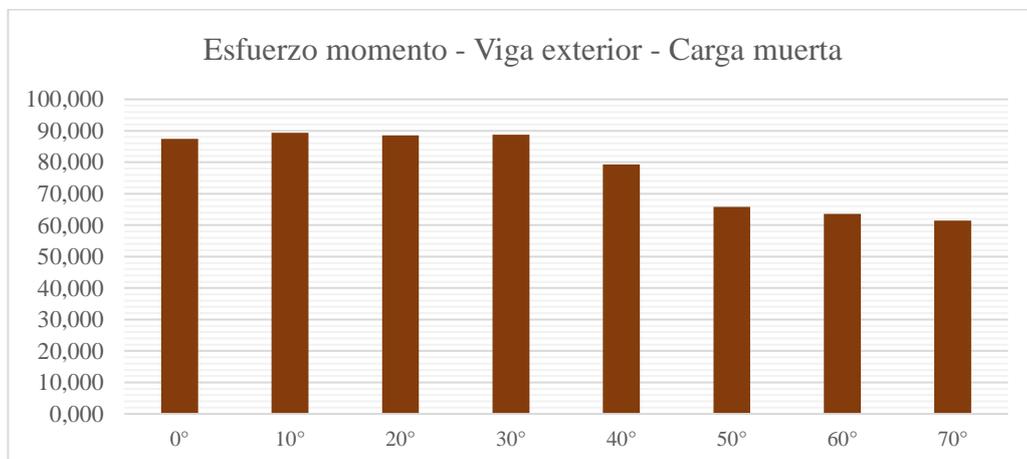


Tabla 17

Esfuerzo momento de la zona interior de la losa en carga muerta

Ángulo de desviación	Esfuerzo momento
0°	90.320
10°	90.092
20°	86.944
30°	78.603
40°	70.486
50°	58.681
60°	61.656
70°	46.940

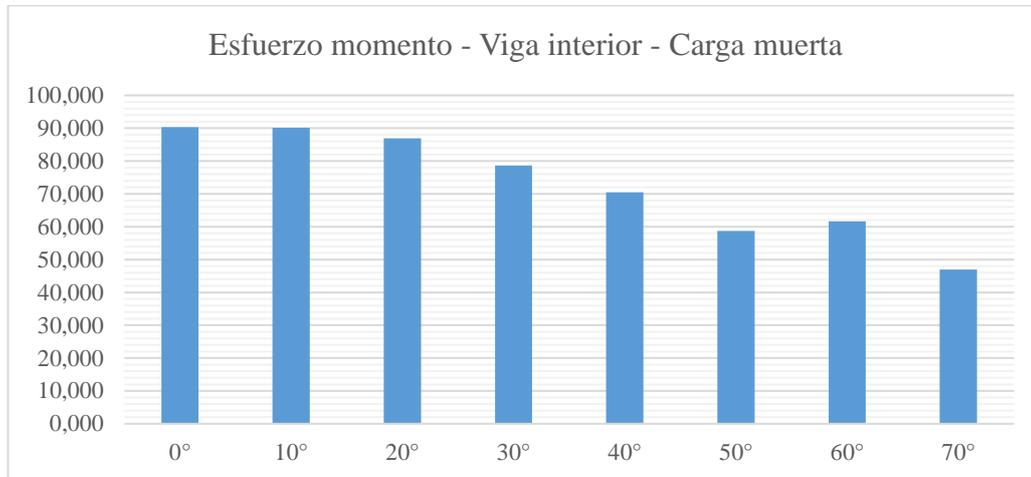
Nota. Valores hallados con el instrumento de investigación.

Interpretación:

De acuerdo con la *Figura 18* y *Figura 19*, el momento de la carga muerta de las zonas exteriores y la zona interior analizadas para las losas, disminuye cuando el ángulo del apoyo es mayor, siendo de 87.478 (0°) a 61.480 (70°), para las vigas exteriores y de 90.320 (0°) a 46.940 (70°) para las vigas interiores. En ambos casos, esto indica que el momento aplicado en las losas se reduce cuando mayor es el ángulo de esviaje. Además, el momento de la zona de la losa alineada con la viga interior es mayor que el momento de la losa alineada a las vigas exteriores; es decir, el esfuerzo es mayor en la zona media de la losa. Esto indica que el esviaje de un puente si estaría influenciado en el momento de la losa de un puente, analizado en la carga muerta.

Figura 19

Esfuerzo de momento de la losa interior debido a la carga muerta



B. Carga viva

Tabla 18

Esfuerzo de momento de la losa exterior debido a la carga muerta

Ángulo de desviación	Esfuerzo momento
0°	89.016
10°	90.712
20°	89.795
30°	87.444
40°	76.420
50°	62.433
60°	55.509
70°	45.992

Nota. Valores hallados con el instrumento de investigación.

Interpretación:

Similar al análisis del momento de la carga muerta, el momento de la losa alineada con la viga interior es mayor que las alineadas con las vigas exteriores, cuando se analiza con carga móvil. En este caso, el momento para las zonas interiores, pasó de 87.787 a 54.198 y para las zonas exteriores, fue de 89.016 a 45.992, cuando se analizó de 0° a 70° respectivamente. En ambos casos, el esfuerzo del momento del esfuerzo de la losa se reduce cuando el ángulo del apoyo es mayor.

Figura 20

Esfuerzo de momento de la losa exterior debido a la carga viva

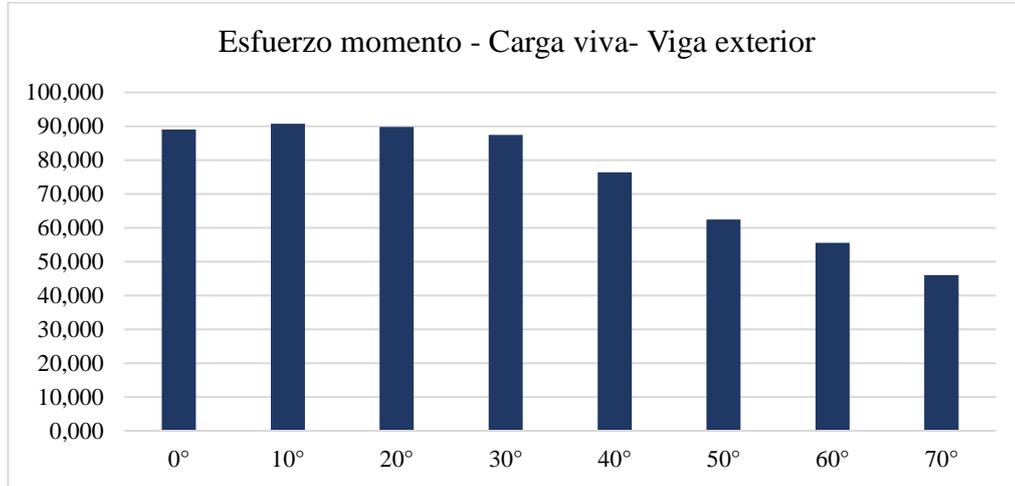


Tabla 19

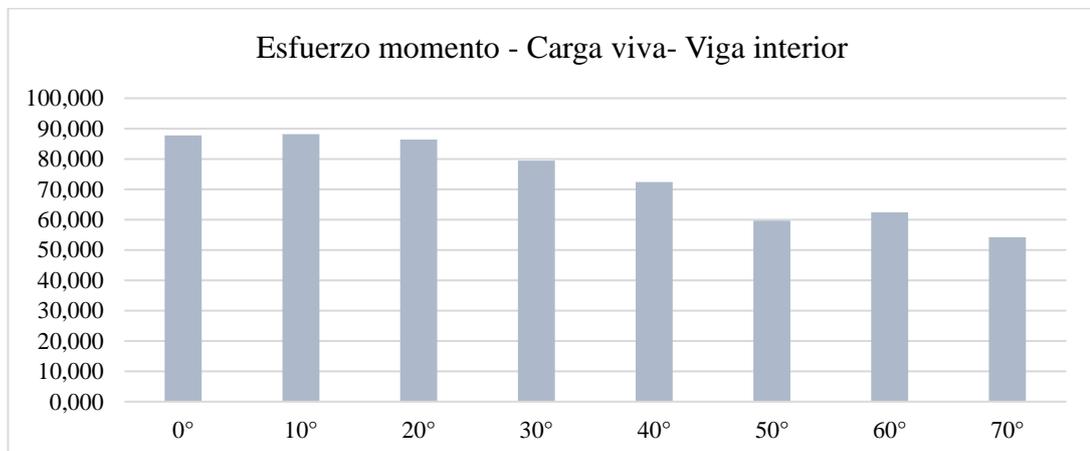
Esfuerzo de momento en Losa interior debido a la carga viva

Ángulo de desviación	Esfuerzo momento
0°	87.787
10°	88.170
20°	86.413
30°	79.450
40°	72.428
50°	59.610
60°	62.350
70°	54.198

Nota. Valores hallados con el instrumento de investigación.

Figura 21

Esfuerzo de momento en Losa interior debido a la carga viva



5.2. Contrastación de hipótesis

Para el contraste de las hipótesis se empleó el estadístico de correlación r de Pearson, con la finalidad de determinar el grado de relación entre los esfuerzos y el ángulo de los apoyos esviados. Para las pruebas de hipótesis, se analizaron los datos en función a los ángulos de esvivo, y los esfuerzos para las cargas muertas y cargas vivas (en conjunto). Es decir, para comprobar las hipótesis, la primera variable fue el ángulo de esvivo y la segunda fue los tres tipos de esfuerzos. Asimismo, se prosiguió con los siguientes pasos:

- i. Indicar la hipótesis a ser probada.
- ii. Establecer el nivel de significancia.
- iii. Realizar la prueba de correlación.
- iv. Mencionar la regla de decisión.
- v. Analizar los resultados.
- vi. Llegar a la conclusión.

5.2.1. Prueba de La hipótesis general:

- H_0 : no existe ninguna relación significativa con los esfuerzos que se producen en las vigas del puente del distrito de Pucará.
 - H_1 : existe relacionan significativa con los esfuerzos que se producen en las vigas del puente del distrito de Pucará.
- i. Nivel de significancia: $\text{Alfa}=0.05$
 - ii. Realizar la prueba de correlación:

Tabla 20

Prueba de correlación de la primera hipótesis específica

Ángulo de desviación	Esfuerzo torsión
Correlación de Pearson	0.851
Sig. (bilateral)	0.000
N	32

Nota. Datos obtenidos con el procesamiento estadístico.

- iii. Mencionar la regla de decisión: A un nivel de significancia de la prueba de Pearson menor a 0.05, se acepta la hipótesis de correlación, caso contrario no existe una correlación estadística.
- iv. Analizar los resultados: De acuerdo con la **Tabla 20**, el p-valor o nivel de significancia bilateral fue de 0.00, siendo inferior al alfa de comparación (0.05); se acepta la hipótesis del investigador. Es decir, entre las variables evaluadas existe correlación. Asimismo, el coeficiente de correlación obtenido fue de 0.851, valor que indica una alta relación. Por tanto, la relación entre el ángulo de apoyos esviados y el esfuerzo torsión es significativo. Esto indica que, aun mayor ángulo de esvio en el puente el esfuerzo de torsión aplicado en las vigas aumenta, ya sea en carga viva o carga muerta.
- v. Llegar a la conclusión:

Se acepta la hipótesis planteada; es decir, los apoyos esviados se relacionan significativa y positivamente con los esfuerzos torsión que se producen en las vigas del puente del distrito de Pucará.

5.2.2. Prueba de la segunda hipótesis

- i. Hipótesis a ser probada: Los apoyos esviados se relacionan significativamente con los esfuerzos que se producen en la losa del puente del distrito de Pucará.
 - H0: Los apoyos esviados no se relacionan significativamente con los esfuerzos que se producen en la losa del puente del distrito de Pucará.
 - H1: Los apoyos esviados se relacionan significativamente con los esfuerzos que se producen en las losas del puente del distrito de Pucará.
- ii. Nivel de significancia: Alfa=0.05
- iii. Realizar la prueba de correlación:

Tabla 21

Prueba de correlación de la segunda hipótesis específica

Ángulo de desviación	Esfuerzo momento
Correlación de Pearson	-0.93
Sig. (bilateral)	0.000
N	32

Nota. Datos obtenidos con el procesamiento estadístico.

- iv. Mencionar la regla de decisión: A un nivel de significancia de la prueba de Pearson menor a 0.05, se acepta la hipótesis de correlación, caso contrario no existe una correlación estadística.
- v. Analizar los resultados: Según los resultados de la **Tabla 21**, el nivel de significancia bilateral fue de 0.00, siendo inferior al alfa de comparación (0.05); se acepta la hipótesis del investigador. Esto indica que, entre los

apoyos esviados y el esfuerzo momento existe una relación. Asimismo, el coeficiente de correlación obtenido fue de -0.93, valor que indica una alta pero negativa relación. Por tanto, la relación entre el ángulo de apoyos esviados y el esfuerzo momento es significativo e indirecto. Es decir, un mayor ángulo de esvío en el puente, genera que el esfuerzo momento aplicado en la losa sea menor, ya sea que esté apoyado en la zona interior o exterior, o que se trate del análisis en carga viva o carga muerta.

vi. Llegar a la conclusión:

Se comprueba la hipótesis planteada; es decir, los apoyos esviados se relacionan significativa e indirectamente con los esfuerzos momento que se producen en la losa del puente del distrito de Pucará.

Prueba de la tercera hipótesis

i. Hipótesis a ser probada: Los apoyos esviados se relacionan significativamente con los esfuerzos que se producen en los estribos del puente del distrito de Pucará.

- H0: Los apoyos esviados no se relacionan significativamente con los esfuerzos que se producen en los estribos del puente del distrito de Pucará.
- H1: Los apoyos esviados se relacionan significativamente con los esfuerzos que se producen en los estribos del puente del distrito de Pucará.

ii. Nivel de significancia: Alfa=0.05

iii. Realizar la prueba de correlación:

Tabla 22

Prueba de correlación de la tercera hipótesis específica

Ángulo de desviación	Esfuerzo cortante
Correlación de Pearson	0.455
Sig. (bilateral)	0.009
N	32

Nota. Datos obtenidos con el procesamiento estadístico.

iv. Mencionar la regla de decisión: A un nivel de significancia de la prueba de Pearson menor a 0.05, se acepta la hipótesis de correlación, caso contrario no existe una correlación estadística.

v. Analizar los resultados: De acuerdo con la **Tabla 22**, el p-valor o nivel de significancia bilateral fue de 0.009, siendo inferior al alfa de comparación (0.05); se acepta la hipótesis del investigador. Es decir, entre las variables evaluadas existe correlación. Asimismo, el coeficiente de correlación obtenido fue de 0.455, valor que indica una relación positiva pero moderada. Por tanto, la relación entre el ángulo de apoyos esviados y el esfuerzo cortante aplicado a los estribos es significativo. Esto indica que, aun mayor ángulo de esvio en el puente aumenta el esfuerzo cortante aplicado en los estribos, ya sea evaluado en carga muerta o carga viva.

vi. Llegar a la conclusión:

La hipótesis planteada resulta ser cierta; es decir, los apoyos esviados se relacionan de manera significativa, positiva y moderada con los esfuerzos costantes que se producen en los estribos del puente del distrito de Pucará.

5.2.3. Prueba de la hipótesis general

- i. Los apoyos esviados se relacionan significativamente con los esfuerzos que se producen en los elementos estructurales del puente del distrito de Pucará.
- ii. Argumentación: Como se detalla en la ***Tabla 20, Tabla 21 y Tabla 22***, se identificó que los esfuerzos momento, cortante y torsión, tienen relación con el ángulo de apoyo del puente esviado. En el primer y segundo caso, las relaciones fueron directas; mientras que, con el esfuerzo torsión fue indirecta. Es decir, los esfuerzos aplicados en los estribos y las vigas, aumentan según el ángulo es mayor; pero los esfuerzos de las losas disminuyen. En todos los casos, la relación entre el esfuerzo cortante, momento y torsión, aplicado en estribos, losas y vigas, respectivamente y el ángulo de apoyo es notable.
- iii. Conclusión: Los apoyos esviados, medidos con el ángulo de esvio, tiene relación directa indirecta y significativa, con los esfuerzos (momento, torsión y cortante) producidos en los elementos estructurales (losa, viga y estribo) del puente del distrito de Pucará.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo con el resultado principal hallado, el estudio encontró que los apoyos esviados tienen una estrecha y alta relación con los esfuerzos aplicados en los 3 elementos principales de un puente, los estribos, la losa y las vigas. Este resultado, ya lo había predicho Duque (2004), quien estableció que la superestructura del puente, conformada por la losa, recibe directamente el esfuerzo de las cargas aplicadas sobre ella, y estas cargas se disipan y son llevadas a la subestructura, las vigas, los estribos y el suelo; por tanto, los esfuerzos aplicados en los elementos mencionados dependerán entre sí de la calidad, geometría y diseño. En este sentido, Hernández H. (2002), considera que el diseño correcto, y ángulo correcto, de los apoyos de un puente, y sobre todo si tienen un ángulo de esvio, permitirá que el puente, y toda su estructura, desempeñe una función eficiente, económica y sobre todo segura. Por ello, al diseñar un puente, se requiere evaluar las cargas que tendrá que soportar, ya que estos se relacionan directamente con los esfuerzos aplicados sobre los elementos de un puente.

Cabe señalar que un mayor ángulo de esvio para los esfuerzos de torsión y esfuerzos cortantes determinan que las fuerzas aplicadas en los estribos y las vigas sean mayores, este resultados encontrados también concuerdan con las conclusiones de Amaya (2020), que en su informe, concluyó que un aumento en el ángulo de esviaje, hacen que la rotación y los desplazamientos de la superestructura también aumenten, y con este efecto, los esfuerzos aplicados a los elementos sean más intensos. Además, en el estudio se observó que los ángulos de 60° y 50° presentan el mayor esfuerzo de torsión y cortante; mientras que en el trabajo de

Amaya (2020), para ángulos de esviaje de 10° y 20° se tuvo una vulnerabilidad levemente mayor al caso recto, mientras que para ángulos de 30° y superiores hay un marcado aumento en la fragilidad de los puentes, debido a que los esfuerzos son mayores.

De acuerdo con el R. D. N° 09-2016-MTC/14 (2016) los puentes; al componerse de una losa, la cual se apoya sobre vigas, y que a su vez se apoya en estribos; usualmente son puentes de un solo tramo; y si estos tienen un tipo de esviaje menores a 20° , afectan significativamente a los esfuerzos cortantes y los esfuerzos de flexión y de momento del tablero, las vigas, los estribos y las losas. Por tanto, el ángulo de esviaje (que forma el eje longitudinal del tablero con el eje de apoyos) determina la deformación a torsión, con eje de torsión en la dirección de los ángulos agudos, que perturba de manera sustancial la respuesta a los esfuerzos. En tal sentido, al concluir que los esfuerzos de los elementos de un puente se relacionan con el ángulo de los apoyos esviados; en el diseño de puentes esviados, el corte que se dará en las vigas deberá ser corregido cuando su línea de apoyo es esviado. Es decir, se tendrá que aplicar factores de corrección del corte, entre el punto que da soporte a la esquina obtusa y a la mitad del tramo (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016), con el fin de garantizar la funcionalidad y seguridad del puente.

Con respecto a la relación entre el apoyo esviado y los esfuerzos de torsión en vigas, se encontró que existe una relación directa. Es decir, los esfuerzos aplicados en las vigas están asociados directamente con el ángulo de esviaje. Lo hallado lo menciona Vallecilla et al. (2014), al concluir que los esfuerzos de desplazamiento lateral del eje y las rotaciones de las secciones transversales, que

caracterizan el pandeo de las vigas, ocasionan momentos torsionantes; la resistencia de la viga aumenta cuando crece su oposición a los desplazamientos laterales lo que depende, entre otras cosas, de su resistencia a la torsión, los cuales a su vez dependen del ángulo en que se tienen los apoyos. De ello, es necesario resaltar que las vigas al recibir los esfuerzos de flexión y recibir las cargas perpendiculares, el flujo de carga lo recibirá el tablero, seguidamente la carga pasará por las vigas transversales y luego a las vigas longitudinales, una vez que la carga se encuentre en los apoyos se generará una reacción con la misma intensidad de carga. Sin embargo, estas cargas dependerán del ángulo en que se encuentren los apoyos; asimismo, las fuerzas internas que se provocaran generaran efectos de flexión que son consecuencia de las fuerzas de tracción y compresión (Duque, 2004).

Adicionalmente, la investigación de Tovar (2017), fue similar en resultados, ya que concluyó que los esfuerzos del tablero y las vigas son influenciados notablemente por el ángulo de esviaje. Añadiendo que los esfuerzos de torsión causan asimetría de cargas al aumentar el ángulo de esviaje. De similar manera, para Sueldo y Olórtiga (2017), se debe de verificar la resistencia de las vigas, debido a las magnitudes elevadas de fuerzas en el tramo extremo de la viga, y para poder resistir los esfuerzos de flexión, es necesario colocar cartelas y tener apoyos esviados para mejorar su resistencia a la fuerza de flexión. Por su lado, Vallecilla et al. (2014), en sus resultados, indica que la resistencia de una viga, cuando crezca su oposición frente a los desplazamientos laterales, no dependerá de su resistencia a una fuerza de torsión; sin embargo, el ángulo en que se encuentre el apoyo determinará el esfuerzo de torsión de la viga.

El estudio también encontró que los esfuerzos momento aplicados en las losas tienen una relación significativa con el ángulo de los apoyos esviados. Lo encontrado es parecido a los hallazgos de Amaya (2020) quien demostró que el ángulo de esviaje determina los momentos aplicados en el tablero y losa; además que, a mayores ángulos esviados, aumenta su vulnerabilidad sísmica, razón por la que la condición de la normativa para desplazamientos excesivos de puentes esviados sólo sugiere un indicativo aproximado de que el puente producirá mayores demandas sísmicas. Similarmente, Tovar (2017) concluyó que en función al crecimiento del ángulo de esviaje en los puentes viga losa y puentes losa, el momento torsor máximo negativo aumenta de forma considerable. Asimismo, menciona que el ángulo de esviaje influye considerablemente en los esfuerzos internos, en la deflexión que recibe el puente, y en las cargas, disminuyendo el momento flector máximo en los puentes tipo losa.

Como último resultado, el esfuerzo cortante aplicado sobre los estribos se relaciona directamente con el ángulo de los apoyos esviados. Los estribos al ser los elementos encargados de soportar la carga lateral, deben de transferir estas cargas hacia el terreno, por ello cuando se tengan apoyos esviados, el esfuerzo cortante aplicado hacia el terreno, dependerá de la intensidad de las cargas aplicadas (Argüello, 2015). Además, Tovar (2017) también encontró que, los esfuerzos de momentos de flexión negativos y esfuerzos cortante positivos, aumentan a medida que el ángulo de esviaje del tablero crece; por tal razón, Argüello (2015) señala que se deben usar apoyos reforzados, que sean de acero para que puedan tener una mayor resistencia a las cargas, rotaciones y a los movimientos angulares; especialmente, para que las fuerzas aplicadas en estribos se deriven de manera

uniforme hacia el terreno. Ello es sumamente necesario, para que los estribos soporten las cargas de la super y subestructura y se someten hacia el empuje de la tierra (Minaya, 2014).

La importancia de los estribos, radica en que son elemento de transición entre el puente y carretera, tablero del puente y terreno; es así que, los puentes esviados de un solo tramo, necesitan de contener y dar estabilidad a las tierras, protegiéndolos de erosiones y arrastres de tipo pluvial y fluvial. Ello se logrará, determinando adecuadamente el ángulo del apoyo esviado y las cargas de la losa, la viga, el concreto, los tensores, y otros componentes de un puente (Zhao & Tonias, 2017). Un correcto cálculo de las cargas verticales, el peso propio del relleno, del estribo, la fuerza del viento ejercido sobre la carga, la fuerza del empuje de las aguas, la fuerza longitudinal (carga viva) del frenado de los vehículos y la fuerza sísmica, serán necesarios para que los esfuerzos aplicados en el estribo no permitan que los elementos estructurales pueden fallar, por volteo, (fuerzas horizontales se voltean) (Herrera, 2017). En consecuencia, se necesita evaluar la salud estructural de las diversas obras que ejecutan, con el fin de poder medir el daño que se pueda generar por el mal uso, o por situaciones ambientales que se originan en la vida útil de la estructura; de esta forma, tener en cuenta la carga viva, la carga muerta, los esfuerzos de los elementos estructurales y el ángulo de los apoyos esviados es primordial para que un puente esviado cumpla con su fin (Viviescas et al., 2017).

CONCLUSIONES

Los apoyos esviados, medidos con el ángulo de esvio, tiene relación directa indirecta y significativa, con los esfuerzos (momento, torsión y cortante) producidos en los elementos estructurales (losa, viga y estribo) del puente del distrito de Pucará. Es decir, la forma que presenta el esviado determina el nivel de carga y esfuerzos que tendrán las vigas, las losas y los estribos, como elementos fundamentales. Dicho de otra manera, se identificó que los esfuerzos momento, cortante y torsión, se relacionan significativamente con el ángulo de apoyo del puente esviado. Los esfuerzos momento y cortante, presentaron una relación directa; mientras que, con el esfuerzo torsión fue indirecta. Es decir, los esfuerzos aplicados en los estribos y las vigas, aumentan según el ángulo es mayor; pero los esfuerzos de las losas disminuyen.

- a) Sobre los esfuerzos en vigas, el trabajo concluyó que los apoyos esviados se relacionan significativa y positivamente con los esfuerzos de torsión que se producen en las vigas del puente del distrito de Pucará. Este resultado, se logró ya que el p-valor o nivel de significancia bilateral fue de 0.00, y el coeficiente de correlación obtenido fue de 0.851, valor que indica una alta relación. Indicando que, un mayor ángulo de esvio en el puente, aumenta el esfuerzo de torsión aplicado en las vigas.
- b) Los apoyos esviados se relacionan significativa e indirectamente con los esfuerzos del momento que se producen en la losa del puente del distrito de Pucará. Esto gracias a que la significancia bilateral fue de 0.00; mientras que, el coeficiente de correlación obtenido fue -0.93, valor que indica una alta pero

negativa relación. En otras palabras, un mayor ángulo de esvío en el puente, genera que el esfuerzo momento aplicado en la losa sea menor.

c) Finalmente, se concluye que los apoyos esviados tienen una relacionan moderada con los esfuerzos cortantes que se producen en los estribos del puente el hallazgo se comprueba con un p-valor de 0.009, y un coeficiente de correlación de 0.455; es decir, un mayor ángulo de esvío en el puente, aumenta el esfuerzo cortante aplicado en los estribos.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda una mayor capacitación en cálculos para puentes esviados, ya que esto influirá en la calidad de distribución de las fuerzas en toda la estructura.
- Se recomienda el diseño de puentes de acuerdo a las normativas existentes en el país, aplicando parámetros que reflejen las características locales, principalmente deben de cuidar el cálculo de los esvios, y que estos presenten una influencia positiva en las vigas, permitiendo así que el puente pueda tener una adecuada distribución de pesos de los vehículos.
- Se recomienda que el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, realizar una revisión de la normativa, relacionado a las losas en puentes esviados.
- Se recomienda realizar cálculos con los parámetros de los esvios, basándose en las fuerzas que actúan en los estribos, siendo elementos importantes del puente, para ello se sugiere el uso de programas de modelamiento de puentes, a fin de realizar diferentes opciones para que se precise una estructura realista y viable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agredo, A., Sarmiento, S., & Viviescas, A. (2016). Evaluación de la rigidez a flexión de puente de viga y losa en concreto presforzado a partir de pruebas de carga. Caso de estudio: Puente La Parroquia via La Renta - San Vicente de Chucurí. *UIS Ingenierías*, 15(2), 145-159.
- Amaya, T. E. (2020). *Vulnerabilidad sísmica de puentes esviados considerando efectos del ángulo de esviaje y la geometría del tablero*. Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile. Escuela de Ingeniería.
- Argüello, F. (2015). *Diseño de apoyos para puentes de acuerdo a la Especificación AASHTO LRFD*. Quito: Universidad San Francisco de Quito.
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación*. Colombia: Pearson Educación.
- Claros, R., & Meruvia, P. (2004). *Apoyo didáctico en la enseñanza - aprendizaje de la asignatura de puentes*. Bolivia: Universidad Mayor de San Simón.
- Duque, M. (2004). Lecciones del concurso de puentes EIA. *Revista EIA*(1), 9-25.
Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1492/149217763001.pdf>
- Espinoza, C. (2010). *Metodología de investigación tecnológica*. Huancayo: Biblioteca Nacional del Perú.
- Farfán, C. (2018). *Determinación y evaluación de las patologías del concreto armado en los elementos estructurales del puente vehicular Simon Rodriguez, con una longitud de 423.8 mts, en el distrito de Amatape*,

provincia de Paita, departamento de Piura, abril - 2018. Lima: Universidad Católica los Ángeles Chimbote.

Hernández, H. (2002). *Mecánica de fractura y análisis de falla.* Bogotá: El Malpensate S.A.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. d. (2014). *Metodología de la investigación.* México: MCGRAW-HILL/ INTERAMERICANA EDITORES S.A. DE C.V.

Herrera, J. E. (2017). *Influencia de la reducción del ángulo de inclinación de los estribos en la resistencia al esfuerzo cortante de vigas de concreto armado.* Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil.

Lino, J. (2009). *Metodología de la investigación científica.*

Mejía, E. (2005). *Metodología de la investigación científica.* Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Minaya, J. (2014). *Diseño de puentes AASHTO.*

Peralta, J. (2018). *Diseño estructural de puentes peatonales sobre la autopista Pimentel - Chiclayo.* Pimentel: Universidad Señor de Sipán.

PTE. (21 de 06 de 2019). *PTE.* Obtenido de <https://www.eymproductostecnicos.com/importancia-de-los-apoyos-elastomericos#:~:text=La%20construcci%C3%B3n%20de%20puentes%20y,la%20fijaci%C3%B3n%20de%20la%20estructura.>

R. D. N° 09-2016-MTC/14. (2016). *Manual de Puentes*. Lima: Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

Rodríguez, A. (2014). *Puentes con AASHTO-LRFD 2014*. Perú.

Seminario, E. (2004). *Guía para el diseño de puentes con vigas y losas*. Piura: Universidad de Piura.

structuralia. (18 de 07 de 2018). *structuralia*. Obtenido de <https://blog.structuralia.com/estribos-en-puentes-tipologia-y-materiales>

Sueldo, L., & Olórtiga, M. (2017). *Diseño estructural de un puente de vigas postensadas que cruza el río Rímac de Zárate*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Tovar, W. (2017). *Análisis de puentes con ángulo de esviaje y esfuerzo interno en tableros no regulares*. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica.

Vallecilla, C., Pallares, M., & Pulecio, J. (2014). Determinación de los esfuerzos producidos por flexo-torsión. Caso de estudio: Análisis de las vigas metálicas de un puente grúa. *Revista Ingeniería y Región*(12), 105 - 127.

Viviescas, A., Herrera, L., & Arenas, J. (2017). Determinación de la capacidad resistente de puentes viga-losa en concreto postensado mediante pruebas de vibración ambiental: Caso de estudio Puente El Ramo. *INGE CUC*, 13(1). Obtenido de [file:///C:/Users/PC/Downloads/Dialnet-DeterminacionDeLaCapacidadResistenteDePuentesVigal-5880494%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/PC/Downloads/Dialnet-DeterminacionDeLaCapacidadResistenteDePuentesVigal-5880494%20(1).pdf)

Zhao, J., & Tonia, D. (2017). *Bridge Engineering: Design, Rehabilitation, and Maintenance of Modern Highway Bridges*. México: McGraw-Hill Education.

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: Apoyos esviados y esfuerzos producidos en los elementos estructurales del puente del distrito de Pucará, Junín

: Ozoriaga Rivera, Angella Milagros

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA	MUESTRA	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>Problema General:</p> <p>¿Qué relación existe entre los apoyos esviados y los esfuerzos que se producen en los elementos estructurales del puente del distrito de Pucará?</p> <p>Problemas Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es la relación entre los 	<p>Objetivo General:</p> <p>Determinar la relación existente entre los apoyos esviados y los esfuerzos que se producen en los elementos estructurales del puente del distrito de Pucará.</p> <p>Objetivos Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Establecer la relación existente entre los apoyos esviados y los esfuerzos que se 	<p>Hipótesis General:</p> <p>Existe una relación significativa entre los apoyos y los esfuerzos que se producen en los elementos estructurales del puente del distrito de Pucará.</p> <p>Hipótesis Específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los apoyos esviados se relacionan significativamente con los esfuerzos que se 	<p>VARIABLES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Apoyos esviados • Esfuerzos en elementos estructurales 	<p>Tipo de Investigación:</p> <p>Aplicada</p> <p>Nivel de Investigación:</p> <p>descriptivo y</p> <p>Correlacional</p> <p>Método General:</p> <p>Método científico</p>	<p>Población:</p> <p>Puente Raquina del distrito de Pucará</p> <p>Muestra:</p> <p>Puente Raquina del distrito de Pucará</p>	<p>Técnicas:</p> <p>Simulación</p> <p>Instrumentos:</p> <p>Ficha de observación</p>

<p>apoyos esviados y los esfuerzos que se producen en las vigas del puente?</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué relación existe entre los apoyos esviados y los esfuerzos que se producen en la losa del puente? • ¿Qué comportamiento hay entre los apoyos esviados y los esfuerzos que se producen en los estribos del puente? 	<p>producen en las vigas del puente</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cuantificar la relación existente entre los apoyos esviados y los esfuerzos que se producen en la losa del puente • Determinar el comportamiento existente entre los apoyos esviados y los esfuerzos que se producen en los estribos del puente 	<p>producen en las vigas del puente</p> <p>Existe una relación moderada e indirecta entre los apoyos esviados y los esfuerzos que se producen en la losa del puente</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los apoyos esviados se relacionan significativa con los esfuerzos que se producen en los estribos del puente 		<p>Diseño:</p> <p>Experimental</p>		
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	-------------------------------------------	--	--

ANEXO 2

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Medición
Apoyos esviados	Los apoyos son parte de la estructura de un puente, son diseñados con el propósito de poder resistir todo tipo de carga, y poder restringir las traslaciones más adecuadas, asimismo pueden estar ubicados entre las vigas y los estribos (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016)	Los apoyos son una parte primordial del sistema estructural de un puente, que tienen la facultad de recibir las fuerzas para transportarlas al suelo, estos apoyos pueden ser estáticos o móviles, dependiendo del diseño que se requiera para el puente.	Apoyos fijos Apoyos móviles	Fuerzas horizontales Momentos	$H_{bu} = \mu P_u$ $H_{bu} = GA \frac{\Delta_u}{h_{rt}}$ $M_u = \mu P_u R$ $M_u = 2\mu P_u R$

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Medición
<i>Esfuerzos en elementos estructurales</i>	Los elementos estructurales de un puente lo comprenden todas aquellas partes que conforman la subestructura y superestructura, pudiendo generarse en ellas esfuerzos que conlleven a cambios estructurales en su composición (R. D. N° 09-2016-MTC/14, 2016).	Los elementos estructurales lo componen aquellos partes que permiten la consolidación de la estructura del puente, como pueden ser: (a) las vigas, (b) los estribos, (c) la losa o el tablero, (d) entre otros; los cuales, al ser sometidos a una carga, conllevaran a que surjan esfuerzos como: (a) la flexión, (b) la compresión, (c) la tracción, (d) la torsión, (e) entre otros.	Vigas	Esfuerzo de flexión Esfuerzo de compresión Esfuerzo de tracción Reacciones de apoyo	$\sigma = \frac{M \cdot C}{I}$ $\sigma \text{ máx} = \frac{M \text{máx} \cdot h/2}{I}$ $F_t = F_c = \frac{M \text{máx}}{h}$ $\rightarrow + \sum F_x = 0$ $\uparrow + \sum F_y = 0$ $+ \sum M = 0$
			Losa	Refuerzos de flexión Capacidad de carga	$p_{min} \geq 0.03 \frac{f'_c}{f_y}$ $RF = \frac{\varphi_c \varphi_s \varphi_{RR_n} - (Y_{DC} DC) - (Y_{DW} DW)}{(Y_{LL})(LL + IM)}$
			Estribos	Empuje lateral del suelo	$p = k \gamma_s z$ $k_o = 1 - \text{sen} \phi_f^i$

ANEXO 3

INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES
ESCUELA DE POSGRADO

Codigo:

La presente guía de observación permitirá la recolección conjunta de información de apoyos esviados y esfuerzos en los elementos estructurales en diversos momentos. Toda la información obtenida será destinada únicamente para los fines de esta tesis de investigación

I. INFORMACIÓN BÁSICA DEL PROYECTO

1.1. Nombre del proyecto APOYOS ESVIADOS Y ESFUERZOS PRODUCIDOS EN LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL PUENTE DEL DISTRITO DE PUCARÁ, JUNÍN

Coloque los resultados obtenidos en cada escenario de analisis

N°	Guía de observación para el analisis de los apoyos esviados y los esfuerzos en los elementos estructurales	1	2	3	4	5
Criterio 1 - Apoyos esviados						
1	Fuerzas horizontales Momentos	$H_{bu} = \mu P_u$				
2		$H_{bu} = GA \frac{\Delta_u}{h_{rt}}$				
3		$M_u = \mu P_u R$				
4		$M_u = 2\mu P_u R$				
Criterio 2 – Vigas						
5	Esfuerzo de flexión	$\sigma = \frac{M \cdot C}{I}$				
6	Esfuerzo de compresión	$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{Mm\acute{a}x \cdot h/2}{I}$				
7	Esfuerzo de tracción	$Ft = Fc = \frac{Mm\acute{a}x}{h}$				
8	Reacciones de apoyo	$\rightarrow + \sum F_x = 0$				
9		$\uparrow + \sum F_y = 0$				
10		$+ \sum M = 0$				
Criterio 3 – Losa						
11	Refuerzo de flexión	$p_{min} \geq 0.03 \frac{f'_c}{f_y}$				
12	Capacidad de carga	$RF = \frac{\phi_c \phi_s \phi_{RRR} - (Y_{DC} DC) - (Y_{DW} DW)}{(Y_{LL})(LL + IM)}$				
Criterio 4 - Estribos						
13	Empuje lateral del suelo	$p = k_y z$				
14		$k_o = 1 - \text{sen} \phi_f^i$				

Ilustración 1

ANEXO 4

FOTOS

Foto 1

El puente analizado tomado de forma lateral



Ilustración 2

Foto 2

La investigador a punto de comenzar el análisis



Ilustración 3

Foto 3

Investigadora analizando el puente



Ilustración 4

Foto 4

El puente de forma frontal



Ilustración 5

Foto 5

La investigadora con el puente tomado de muestra



Ilustración 6

Foto 6

Datos del puente analizado



Ilustración 7