



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
CIVIL**

“Comportamiento Sísmico del Puente 7 Tipo Viga Losa con empleo de
Aisladores Sísmicos del Proyecto Línea Amarilla, Rímac 2018”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

AUTOR:

Rivera Pajuelo, Daniel Fernando (ORCID: 0000-0003-3056-6147)

ASESOR:

Dr. Muñoz Paucarmayta, Abel Alberto (ORCID: 0000-0002-1968-9122)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño Sísmico y Estructural

LIMA - PERÚ

2019

Dedicatoria

Dedico la tesis a mis padres, quienes me dejaron grandes enseñanzas durante su tiempo en la tierra, así mismo a mi hermana quien fue la persona que siempre confió en mí y me motivo a seguir adelante.

Agradecimiento

Primero agradezco a Dios por permitirme llegar a este momento, así mismo a mi familia por el apoyo brindado y especialmente a mi hermana porque sin ella, nada hubiese sido posible.

Al Ing. Rodolfo Marquina y al Ing. Abel Muñiz, por la dedicación y conocimientos que me brindó durante su asesoría.

Página del jurado

Declaratoria de autenticidad



Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, **RIVERA PAJUELO, Daniel Fernando** estudiante de la Facultad de Ingeniería y Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad César Vallejo sede Lima Norte, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan al Informe de Investigación titulado:

“Comportamiento sísmico del puente 7 tipo Viga Losa con empleo de aisladores sísmicos del proyecto Línea Amarilla, Rimac 2018”, es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicado ni presentado anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Lima 12 de julio de 2019

Apellidos y Nombres del Autor RIVERA PAJUELO, Daniel Fernando	
DNI: 73519073	Firma 
ORCID: 0000-0003-3056-6147	



ÍNDICE

	Pág.
Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Página del jurado.....	iv
Declaratoria de autenticidad.....	v
Índice.....	vi
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MÉTODO.....	30
2.1. Tipo y diseño de investigación.....	30
2.2. Operacionalización.....	31
2.3. Población, muestra y muestreo.....	31
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	32
2.5. Procedimiento.....	33
2.6. Métodos de análisis de datos.....	33
2.7. Aspectos éticos.....	34
III. RESULTADOS.....	35
IV. DISCUSIÓN.....	69
V. CONCLUSIONES.....	76
VI. RECOMENDACIONES.....	78
REFERENCIAS.....	79
ANEXOS.....	85

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Secciones para el diseño de un puente.....	13
Tabla 2 Diferentes secciones para su análisis y evaluación estructural.....	13
Tabla 3 Zonas Sísmicas	15
Tabla 4 Zonas Sísmicas	17
Tabla 5 <i>Perfiles de suelos.</i>	17
Tabla 6 Sistema de clasificación AASHTO	19
Tabla 7 Cargas durante el proceso constructivo.....	20
Tabla 8 Datos de puente tipo viga losa.....	36
Tabla 9 <i>Cargas permanentes DC y DW de las estructuras</i>	41
Tabla 10 <i>Características del puente y de la subestructura</i>	46
Tabla 11 <i>Cargas sísmicas por unidad de longitud</i>	47
Tabla 12 <i>Cálculo del periodo fundamental.</i>	47
Tabla 13 <i>Cálculo de desplazamientos y fuerzas.</i>	48
Tabla 14 <i>Periodos y vibraciones en los 12 primeros modos</i>	48
Tabla 15 <i>Valores espectrales utilizado para el análisis</i>	49
Tabla 16 <i>Respuesta para sismo longitudinal</i>	50
Tabla 17 <i>Respuesta para sismo Transversal</i>	50
Tabla 18 <i>Desplazamientos en la superestructura con carga sísmica</i>	50
Tabla 19 <i>Desplazamientos en la subestructura con carga sísmica</i>	50
Tabla 20 <i>Materiales del aislador LRB</i>	51
Tabla 21 <i>Apoyos con aisladores sísmicos</i>	51
Tabla 22 <i>Posibles valores de D_L, que han sido fabricados y probados y que pueden ser usados en los apoyos.</i>	51
Tabla 23 <i>Iteraciones para el diseño preliminar del aislador</i>	54
Tabla 24 <i>Propiedades en el sistema de aislamiento de límite inferior</i>	56
Tabla 25 <i>Propiedades en el sistema de aislamiento de límite inferior</i>	57
Tabla 26 <i>Parámetros lineales usado del sistema de aislamiento con apoyos LRB.</i>	58
Tabla 27 <i>Periodos y frecuencias de los 12 modos, análisis Límite inferior</i>	58
Tabla 28 <i>Periodos y frecuencias de los 12 modos, análisis Limite inferior</i>	58
Tabla 29 <i>Valores de los parámetros T_{eff}, ξ_{eff} y B</i>	59

Tabla 30 <i>Respuesta Límite inferior – sismo longitudinal</i>	60
Tabla 31 <i>Respuesta Límite inferior – sismo transversal</i>	60
Tabla 32 <i>Respuesta Límite superior – Sismo longitudinal</i>	60
Tabla 33 <i>Respuesta Límite superior – Sismo transversal</i>	60
Tabla 34 <i>Desplazamientos límite inferior - superestructura</i>	60
Tabla 35 <i>Desplazamientos límite superior - superestructura</i>	61
Tabla 36 <i>Desplazamiento límite inferior - subestructura</i>	61
Tabla 37 <i>Desplazamiento límite superior - Subestructura</i>	61
Tabla 38 <i>Comparación de resultados de esfuerzos con el método multimodal</i>	62
Tabla 39 <i>Comparación de frecuencias, periodo y amortiguación</i>	64
Tabla 40 <i>Comparación desplazamientos aislado y no aislado, empleando el método multimodal</i>	64
Tabla 41 <i>Resultados de comportamiento sísmico</i>	67
Tabla 42 <i>Comparación de resultados de esfuerzos con el método multimodal</i>	69
Tabla 43 <i>Comparación de frecuencias, periodo y amortiguación</i>	71
Tabla 44 <i>Comparación desplazamientos aislado y no aislado, empleando el método multimodal</i>	72
Tabla 45 <i>Resultados de comportamiento sísmico</i>	74
Tabla 46 <i>Matriz Operacional de Variable independiente</i>	85
Tabla 47 <i>Matriz operacional de variable dependiente</i>	86
Tabla 48 <i>Matriz de consistencia</i>	87

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1</i> Puente referencial, similar a puente 07.....	5
<i>Figura 2</i> Mapa de isoaceleraciones de 10% de excedencia.....	15
<i>Figura 3</i> Mapa de zonificación sísmica	16
Figura 4 Camión de diseño, características.	21
<i>Figura 5</i> Tandem de diseño.....	21
Figura 6 Aislador elastomérico de bajo amortiguamiento.....	22
Figura 7 Aislador elastomérico con núcleo de plomo	23
Figura 8 Aislador con péndulo friccionante	23
Figura 9 Acciones transmitidas a apoyos	24
Figura 10 Aparato de apoyo elastomérico.....	25
Figura 11 Ubicación satelital de Puente 7	35
Figura 12 Sección transversal.....	37
Figura 13 Vista en planta.....	37
Figura 14 Elevación de puente 7	37
Figura 15 Modelo de análisis en 3D en CSI BRIDGE, con las dos líneas de carriles del puente	39
Figura 16 Subestructura, mostrando la conexión con la superestructura.	40
Figura 17 Modelamiento puente tipo viga losa	40
Figura 18 Sección transversal típica indicando componentes	41
Figura 19 Carga lineal de la barrera en el eje.	42
Figura 20 Carga superficial de capa rodadura.	42
Figura 21 Sección transversal considerando carga vehicular	44
Figura 22 Carga peatonal aplicada a lo largo del puente.....	44
<i>Figura 23</i> Dimensiones del aisladore LRB	52
<i>Figura 24</i> Aislador sísmico pandeado.....	53
Figura 25 Esquema del aislador de goma con núcleo de plomo.	56
Figura 26 Gráfico de comparación entre el puente sin y con aislación, aplicando un sismo longitudinal.....	62
Figura N° 27 Gráfico de comparación entre el puente sin y con aislación, aplicando un sismo transversal.	63

Figura N° 28 Gráfico de comparación de desplazamientos del puente sin y con aislación, aplicando un sismo longitudinal en la subestructura.	65
Figura 29 Comparación de desplazamientos del puente, aplicando un sismo transversal en la subestructura.	65
Figura 30 Comparación de desplazamientos del puente, aplicando un sismo longitudinal en la superestructura.	66
Figura 31 Comparación de desplazamientos del puente, aplicando un sismo transversal en la superestructura.	66
Figura 32 Gráfico de comparación entre el puente, aplicando un sismo longitudinal.	69
Figura 33 Comparación entre el puente, aplicando un sismo transversal.	70
Figura 34 Comparación de desplazamientos del puente sin y con aislación.	72
Figura 35 Comparación de desplazamientos del puente, aplicando un sismo transversal en la subestructura.	73

RESUMEN

Esta investigación titulada “Comportamiento sísmico del puente 7 tipo viga losa con y sin aisladores sísmicos del proyecto Línea Amarilla, Rímac”. Las teorías desarrolladas para el estudio del puente con y sin aisladores son: características de aisladores, dimensiones del puente y análisis sísmicos.

En la investigación se fijó como **objetivo** general, determinar la mejor respuesta sísmicas que brindará el puente tipo viga losa con o sin aisladores sísmicos. El método para esta tesis se recopiló información de quienes señalan la necesidad de evaluar sus tipos, características y eficiencia antisísmica de los mismos. En la investigación se aplicó el **método** científico, del tipo explicativo-correlativo y con un **diseño** no experimental; en cuanto a la población para esta investigación comprende al proyecto Línea Amarilla y se toma como muestra al puente viaducto 7. Los resultados encontrados fueron los siguientes: Con el análisis multimodal, resultó que los puentes con aislación sísmica reducen los esfuerzos, mejoran los periodos y reducen los desplazamientos. En la investigación se **concluyó** en que el puente con aisladores, tiene un mejor comportamiento sísmico a su situación actual que emplea apoyos elastoméricos.

Palabras Clave: Comportamiento sísmico, aisladores sísmicos, puentes, cargas, desplazamiento.

ABSTRACT

This research entitled "Seismic behavior of bridge type 7 beam with and without seismic isolators of the Yellow Line project, Rímac". The theories developed for the study of the bridge with and without insulators are: characteristics of insulators, dimensions of the bridge and seismic analysis.

In the research, it was set as a general objective to determine the best seismic response that the beam type slab will provide with or without seismic isolators. The method for this thesis was collected information from those who point out the need to evaluate their types, characteristics and anti-seismic efficiency of them. In the research the scientific method was applied, of the explanatory-correlative type and with a non-experimental design; As for the population for this investigation, it includes the Yellow Line project and the bridge viaduct 7 is taken as a sample. The results were as follows: With the multimodal analysis, it turned out that the bridges with seismic isolation reduce the efforts, improve the periods and they reduce the displacements. In the investigation it was concluded that the bridge with insulators, has a better seismic behavior to its current situation that uses elastomeric supports.

Keywords: Seismic behavior, seismic isolators, bridges, loads, displacement.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere a la aislación en puentes, que se puede definir como protección sísmica estructural, lo cual aportará una mejor alternativa de solución ante los sismos a los que están expuestos. El Perú es uno de los países que se encuentra en el anillo de fuego y debido a ello, está muy propenso a sufrir constantes movimientos telúricos. Actualmente, existen diversos métodos que ayudan a la estructura a tener una adecuada respuesta sísmica; pero no se tiene información precisa y concreta de qué método es el más adecuado para cada una de las estructuras. Para tener una idea más clara, en la ciudad de Lima, los puentes son muy usados como método para poder descongestionar las vías afectadas por el caos vehicular; haciendo que estas estructuras ganen más protagonismo en nuestra sociedad.

El presente trabajo tiene como finalidad el estudio de los aisladores sísmicos como una solución efectiva ante un movimiento sísmico, demostrando de manera técnica y teórica la mejora que aportan los aisladores sísmicos, usando teorías relacionadas al tema, investigaciones previamente realizadas y analizando un caso particular. Para poder realizar la investigación se usará como modelo el puente número 7 del proyecto línea amarilla en el Rimac; el cual actualmente cuenta con unos aparatos de apoyo elastoméricos, ubicados entre la losa y los pilares.

Los métodos utilizados fueron: el método unimodal, utilizado para calcular el comportamiento sísmico de la estructura solo con el empleo de apoyos elastoméricos y el método multimodal, utilizado para analizar el comportamiento sísmico del puente con el empleo de aisladores sísmicos, estos análisis fueron con el uso del software CSI Bridge.

En la investigación se fijó como objetivo general, determinar la mejor respuesta sísmica que brindará el puente tipo viga losa con o sin aisladores sísmicos, para esta tesis se recopiló información de quienes señalan la necesidad de evaluar sus tipos, características y eficiencia antisísmica de los mismos. En la investigación se aplicó el método científico, del tipo explicativo-correlativo y con un diseño no experimental; en cuanto a la población para esta investigación comprende al proyecto Línea Amarilla y se toma como muestra al puente viaducto 7. Los resultados encontrados fueron los siguientes: Con el análisis multimodal,

resultó que los puentes con aislación sísmica reducen los esfuerzos, mejoran los periodos y reducen los desplazamientos.

En la investigación se detallará una comparación entre el puente en su actual condición y este mismo con el uso de aisladores sísmicos, esto con la finalidad de brindar una información detallada sobre la alternativa que brinde una mejor respuesta sísmica.

En la investigación se concluyó en que el puente con aisladores tiene un mejor comportamiento sísmico a su situación actual que emplea apoyos elastoméricos, demostrando que la mejora es en un 50% aproximadamente. La investigación fue elaborada en los siguientes capítulos:

En el capítulo I se realiza la recopilación de trabajos previos, teorías relacionadas al tema, se plantea los problemas, la justificación, la hipótesis y los objetivos.

En el capítulo II veremos el método usado, explicado mediante el diseño, tipo, nivel, variables, población y muestra; del mismo modo, se podrá hallar la técnica, instrumentos, validez y confiabilidad.

En el capítulo III se mostrará el análisis del puente, usando sus dimensiones y describiendo la situación actual del puente, así como los resultados obtenidos y la discusión realizada con antecedentes.

En el capítulo IV llegamos a las conclusiones obtenidas.

En el capítulo V encontramos a las recomendaciones, optimas para lograr unos buenos resultados.

En el capítulo VI referencias bibliográficas.

En el capítulo VII, los anexos, como planos, certificados de laboratorio de suelos, fichas de recolección de datos y otros.

1.1. Realidad Problemática

Países como México, Japón y Chile, son países que sufren constantes movimientos telúricos, haciendo que la alerta a nivel mundial sea de gran magnitud. Esto debido a que la capacidad de destructiva de un sismo es de altos efectos, generando caos, desorden y daños muy grandes en la población; siendo las estructuras uno de los puntos más vulnerables. “Los terremotos son un fenómeno natural. Cuando nos causan daños graves hablamos de desastres. Aunque el fenómeno natural aún no es predecible, los desastres se pueden prevenir. La ciencia nos da los conocimientos para hacerlo.” (Valdés, 2016, párr. 1). Según el autor, existen maneras de prevenir y estar preparados para sismos y así minimizar los daños.

Es por ello, que los países con mención anterior se vienen preparando constantemente para poder afrontar sismos de grandes magnitudes. Uno de los grandes elementos que aportan una adecuada capacidad antisísmica son los aisladores y disipadores, ya que debido al comportamiento de la estructura y materiales de cada uno de estos elementos aportan para mejorar el comportamiento antisísmico de las estructuras. “En efecto, se trata en general de que las construcciones puedan resistir sin daños los sismos de mediana intensidad y de mayor probabilidad de ocurrencia y de admitir daños económicamente reparables, para los sismos destructivos de poca probabilidad de ocurrencia.” (Giuliani, 1987, pag.65). Según afirmaciones como las realizadas por el autor, cada país se encuentra desarrollando mejoras estructurales constantemente, y uno de los puntos con mayor desarrollo es el vial.

El Perú es uno de los países que se encuentra ubicado dentro del anillo de fuego del pacífico, siendo esta zona la más propensa a sufrir constantes movimientos telúricos, y esto se origina debido a que está posicionado sobre el encuentro de varias placas tectónicas, dentro de ellas están la placa Nazca y la placa sudamericana, sobre éstas dos se posiciona nuestro territorio y es por ello el gran peligro sísmico en el que se encuentra el país. Se calcula que el 90% de los sismos del mundo y el 80% de los terremotos más importantes, se origina en alguna parte del Cinturón de Fuego del

Pacífico. En los últimos 48 años, se han registrado 10 terremotos de gran magnitud en el país, que van desde los 6.2 a 8.0 grados en la escala de Richter.

“Lima, la capital del Perú, arrastra un silencio sísmico desde 1746, lo que significa que tiene mucha energía acumulada y que en algún momento podría generarse un movimiento telúrico de magnitud importante, para lo cual debemos estar preparados” (Tavera,2017) Según lo informado por el autor, a la fecha no se ha registrado otro sismo de tal magnitud en nuestra ciudad; originando así 50 años de silencio sísmico. Según el Instituto Geofísico del Perú (IGP), en nuestras costas se viene acumulando energía que puede generar un terremoto de entre 8,5 y 8,8 en la escala de Richter. Según lo previamente explicado, la ciudad de Lima se encuentra en una gran posibilidad de sufrir un sismo de gran magnitud.

Debido a lo previamente explicado, es prioridad de los ingenieros civiles velar por tener estructuras con resistencia sísmica, que brinden seguridad y que éstas sean factibles económicamente en la ejecución.

Una de las estructuras más usadas dentro de una ciudad que se encuentra en constante crecimiento, son los puentes; debido a que éstos se usan para salvar pendientes, ríos y para unir distritos, es así que estas estructuras deben colaborar con el correcto funcionamiento de una ciudad.

Los viaductos son puentes que se usan para aliviar el caótico tráfico de nuestra ciudad, siendo una de las estructuras que requiere de especial consideración, pues de ocurrir un sismo de gran magnitud, en el preciso momento en el que se encuentran varios vehículos sobre la estructura y que esta no tenga los reforzamientos correctos, daría como resultado grandes daños materiales y humanos.

Frente a esta problemática, se plantea el tema de buscar la mejor alternativa para la construcción y aportar una mejor respuesta sísmica del puente, pues es de mucho interés conocer la alternativa más efectiva y económica para proteger esta estructura de vital importancia.

Siendo una de las maneras más eficaces de proteger una estructura el uso de aisladores sísmicos, ya que son unos elementos que menor impacto económico genera y hace que la energía sísmica sea disipada desde punto claves, como son las bases y uniones entre una estructura y otra, como es el caso de los puentes viga losa.

De acuerdo a lo previamente explicado, en esta investigación se aplicará el uso de cálculos tradicionales y además, el modelamiento mediante el programa computacional CSI BRIDGE; el cual nos brindarán una mejor comparativa y una mejor conclusión.



Figura 1 Puente referencial, similar a puente 07

Fuente: Perú construye, 2017

1.2. Trabajos Previos

Antecedentes Internacionales

Según León (2016) en su tesis **Titulada:** “DISIPADORES Y AISLADORES SÍSMICOS, MODELO DE PUENTE VEHICULAR CON DISIPADOR Y SIN DISIPADOR DE ENERGÍA, COMPARACIÓN DE LA RESPUESTA SÍSMICA” **Objetivo** es el de describir las ventajas frente a movimiento sísmicos de los aisladores y disipadores sísmicos en un puente tipo viga losa, definiendo los desplazamientos y esfuerzos que sufrirá la estructura. **El método** para lograr esta investigación, se recopilará información de estudios previos a fin de poder determinar los parámetros requeridos para definir a los disipadores y aisladores sísmicos dentro de un modelo estructural. La investigación **concluyó** en que los aisladores elastoméricos reducen en un 25% la energía que proviene de la vibración mecánica, esto debido a que la energía absorbida por el neopreno disipa a tal manera que deforma el aislador. También, se observó que con el uso de aisladores se obtiene un periodo de 0.9844 s^{-1} , mientras que la estructura convencional presentó un periodo de 0.6624 s^{-1} . Así mismo, se observó que al momento de evaluar las fuerzas internas y cortantes en la base de las pilas, una estructura con sistema convencional registra valores entre 1093 kN y 1095.7 kN, mientras la que posee sistema de control antisísmico, arroja valores de entre 448.1 kN y 453.3 kN.

Argüello (2015) en su tesis **titulada** “DISEÑO DE APOYOS PARA PUENTES DE ACUERDO A LA ESPECIFICACIÓN AASHTO LRFD 6ta EDICIÓN” **el objetivo** de la investigación tiene como finalidad definir la función específica de los apoyos elastoméricos dentro de un puente, para desarrollar esta investigación se hizo un análisis profundo de la especificación para luego proceder al diseño de apoyo con el uso de hojas de cálculo en Excel. Esta tesis **concluye** en que, los apoyos elastoméricos usan los refuerzos de acero o fibras con la finalidad de darle mayor resistencia, el apoyo sin refuerzos de acero no cumple con los esfuerzos de compresión debido a que no supera los 0.09 Ksi, mientras que el apoyo con acero supera los 0.175 Ksi, cumpliendo así con la resistencia a compresión, rotación y corte, en estos casos supera a los 5.00 Ksi y 3.00Ksi, pero no cumple con la estabilidad requerida que tiene que ser mayor a 0.19 in. Así mismo se comprueba que

los apoyos no cumplen una función sísmica debido a que no supera los parámetros establecidos por el AASHTO LRFD.

Vásquez (2016) en su investigación **denominada** “EFECTO DE LA AISLACIÓN SÍSMICA MEDIANTE APOYOS DE NEOPRENO EN EL PUENTE BICENTENARIO DE CONCEPCIÓN” la cual tuvo como **objetivo** el determinar si los actuales apoyos de neopreno que posee el puente Bicentenario en Chile cumplen con la función de aislación sísmica frente a un movimiento telúrico. Para poder **desarrollar** la tesis, se usaron modelos de elementos finitos mediante el software SAP2000, con el cual se evaluaron desplazamientos y aceleraciones máximas obtenidas, para al final poder determinar el grado de aislación que aportan estos aisladores, así mismo para poder realizar un estudio tiempo – historia, se tuvo que utilizar registros sísmicos. **La conclusión** de la investigación, se llegó a la conclusión de que los apoyos de neopreno no se comportan como aisladores sísmicos y que estos solo cumplen la función de disgregar al puente entre la subestructura y superestructura, haciendo que esta sea más flexible. Sin embargo, la estructura sometida a análisis con los apoyos de neopreno logra un periodo de 0.49 segundos a comparación de la que cuenta con una conexión rígida de 0.33 segundos, dando una comparación de periodo de 0.16 segundos.

Peralta (2018) en su investigación **titulada** “EVALUACIÓN DE LA ROTACIÓN SÍSMICA DEL TABLERO EN PUENTES RECTOS E INFLUENCIA DEL TRAVESAÑO” la cual tuvo como **objetivo** evaluar si posibles asimetrías en las propiedades del puente son capaces de determinar la rotación de la subestructura en puentes rectos. El **método** para poder desarrollar el proyecto de investigación se utilizó un modelo tridimensional mediante en el software computacional Opensees para estudiar la respuesta sísmica del puente, paso seguido se pasó a analizar 3 asimetrías en la subestructura del puente y la influencia de diafragmas en la estructura. Finalmente se llegó a la **conclusión** de que se tuvo que interactuar con el roce de la superestructura con los apoyos elastómericos Los valores máximos obtenidos, para una pseudo aceleración de 2.5 g, de los desplazamientos relativos del tablero, de los desplazamientos relativos de los apoyos elastoméricos, desplazamientos relativos residuales de los apoyos elastoméricos y desplazamientos

longitudinales del tablero son 23.8, 26.5, 5.8 y 14.6 centímetros. Adicionalmente, estos desplazamientos tienen medianas máximas de 9.5, 6.5, 3.8 y 10.7 centímetros, y promedios máximos de 13, 11, 3.8 y 10.7 centímetros respectivamente.

Alejandro (2017) en su estudio **titulado** “CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE PUENTES” la cual como **objetivo** tuvo, proponer un método simplificado de evaluación de vulnerabilidad sísmica, basado en métodos existentes y agregando los avances de los últimos años. El **método** debe ser general, de manera que pueda ser aplicado a todas las tipologías de puentes de la República Argentina. Llegando a la **conclusión** que, Uno de los parámetros analizados es la cuantía de refuerzo transversal y se evalúa para 10 columnas de altura (H)=1.52 m, diámetro (D)=0.51 m, cuantía de refuerzo longitudinal (ρ_s)=0.011 y relación de carga axial (P')=0.10. Para una cuantía de 0.0065 ($\phi 6$ separadas 4.5 cm) se obtienen desplazamientos límite de 3.4, 23.0 y 68.4 mm, para los estados de daño ligero, moderado y completo. El otro parámetro analizado es la altura de la columna y se evalúa para 10 columnas de D=0.61 m, $\rho_s=0.015$, $\rho_s=0.007$ y $P'=0.07$. Para una columna de 5 m de altura se obtienen desplazamientos límite de 55, 101, 355 y 450 mm para los estados de daño ligero, moderado, extensivo y completo, respectivamente. Cuanto mayor sea la cuantía, tanto más grande será el límite de desplazamiento. Lo mismo ocurre para la altura.

Antecedentes Nacionales

Sueldo y Olórtiga (2017) en su tesis **titulada** “DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN PUENTE DE VIGAS POSTENSADAS QUE CRUZA EL RÍO RÍMAC EN ZÁRATE” tiene como **objetivo** elaborar el análisis estructural de la composición de un puente de vigas potensadas con una luz entre ejes de pilares de 75.5. Para esto, se usó la metodología cuantitativa, que consistía en realizar cálculos para el diseño y además, el uso del software CSI BRIDGE. Se concluyó en que para el diseño de las vigas. Para el análisis sísmico, se usó un el modelo en SAP2000. Se **concluyó** que el espectro de diseño y los efectos de segundo orden no afectan considerablemente al puente tipo viga losa por lo que se diseñó por el estado límite de Servicio I. De este análisis se pudieron obtener los efectos que el sismo introdujo sobre los pilares y las

vigas del tramo extremo. Además, se obtuvieron los efectos que tuvo el apoyo elastomérico ubicado en la unión de vigas extremas y vigas centrales, los cuales tuvieron una dureza de 60 Shore, módulo de corte de $9,1 \text{ kg/cm}^2$ y un las platinas de refuerzo de $F_y=2531 \text{ kg/cm}^2$, contó con un ancho y ancho de 0.60 m , espesor de 20 cm . Los pilares forman un nudo rígido con las vigas extremas, se diseñaron por los estados límites de Resistencia I y Evento Extremo I.

Melchor (2016) realizó una investigación **titulada** “INFLUENCIA DE LOS APOYOS ELASTOMÉRICOS EN LA RESPUESTA SÍSMICA EN PUENTES”, la cual tuvo como **objetivo** dar a conocer la respuesta sísmica de un puente de tablero continuo que usa apoyos elastoméricos, dicho puente posee una conexión no monolítica entre la superestructura y la subestructura. Esto debido a que actualmente las prácticas de diseño en el Perú no consideran a detalle las condiciones que debe poseer estos apoyos en conexiones no monolíticas, pese a su gran trabajo al transferir fuerzas sísmicas a la subestructura. El **método** para poder realizar la investigación, se recopiló información a fin de poder obtener los parámetros físicos y geométricos que darán objeto a la rigidez y comportamiento sísmico de los apoyos, paso seguido se hicieron modelos estructurales del puente a fin de poder tener las respuestas sísmicas locales y globales al poseer o no los aparatos elastoméricos. La investigación **concluye** en que los apoyos elastoméricos aportan un tipo de aislación sísmica en la estructura, esto debido a la reducción de esfuerzos que sufrirían los pilares, también se debe a una mejor redistribución con mayor equivalencia entre los elementos que conforman la subestructura del puente (pilares y estribos). Por otro lado, se constató que los apoyos elastoméricos ubicados sobre los estribos, cumplen la función de disipadores, ya que influyen en el rango inelástico del material, siendo así que la cortante basal se disminuye considerablemente con el uso de apoyos elastoméricos, ya que en el modelo que no tiene apoyo se estima que sufrirá una cortante basal de 9589.2 kN , mientras que en la que cuenta con apoyos elastoméricos tendrá una cortante basal de 4650.8 kN . Es así, que ante sollicitaciones sísmicas menores al sismo de diseño que corresponden a un periodo medio de recurrencia de 475 años, los pilares permanecerán sin sufrir ningún daño.

Minchán (2016) en su tesis **titulada** “COMPARACIÓN DE LA RESPUESTA SÍSMICA DE PUENTES VIGA – LOSA, CON Y SIN AISLADORES SÍSMICOS, EN CAJAMARCA” tuvo como **objetivo** realizar la comparación de la respuesta sísmica de dos puentes viga-losa con dimensiones distintas, uno con una luz de 20m y otro con una luz de 25 m. Ambos puentes cuentan con un diseño tradicional y también se hizo uso de aisladores sísmicos, el estudio fue realizado en la región de Cajamarca. El **método** para poder realizar la investigación, se hizo uso de programas computacionales (CSI BRIDGE), siguiendo parámetros normativos alineados a la AASHTO LRFD, para ello se usaron métodos simplificados, multimodales y tiempo – historia para ambos casos. La presente investigación, **concluye** en que el uso de aisladores sísmicos de modelo elastomérico con núcleo de plomo (LRB) reduce en un 50% frente a un sismo longitudinal al puente y en un 25% en un sismo transversal, así mismo indica que la disipación de la energía se presenta en los aisladores mediante la deformación del mismo, esto da como resultado que con el uso de estos aparatos brinda una mayor seguridad estructural frente a un sismo.

Zayas (2017) en su artículo **titulado** “ESTÁNDAR DE AISLAMIENTO SÍSMICO PARA LA FUNCIONALIDAD CONTINUA” tuvo como **objetivo** especificar los factores de capacidad de los miembros para los aisladores sísmicos como se requiere para cumplir con los criterios de la Tabla C.1.3.1b de ASCE para limitar el riesgo de colapso de las estructuras. El **método** para poder realizar la investigación, se hizo uso de cálculos manuales y computacionales, comparando estándares internacionales y calculando los daños internos sufridos en la estructura, **concluye** que el daño por movimientos sísmicos a componentes arquitectónicos y a estructuras, a menos del 2% de los costos de reemplazo de las instalaciones para las estructuras de categoría III y IV de riesgo y a menos del 4% de los costos de reemplazo de las instalaciones para las estructuras de Categoría de Riesgo I y II.

Herrera (2018) en su tesis **titulado** “DESEMPEÑO SÍSMICO EN EDIFICACIONES CON AISLADORES ELASTOMÉRICOS Y AMORTIGUADORES DE FLUIDO VISCOSO” tuvo como **objetivo** el comportamiento sísmico estructural de las edificaciones que van desde los 6 hasta los 12 pisos de altura, estas edificaciones son a porticadas de concreto armado,

empleando herramientas o elementos que aporten una mayor protección sísmica. El **método** se basa en el análisis de estructuras de baja y gran altura, esto con la finalidad de poder analizar a los elementos sísmicos a diferentes alturas, **concluye** que para estructuras a porticadas con esbeltez menor a 1.2 y frecuencias superiores a 0.6Hz, se determinó que la cortante basal máxima y derivas entrepisos se reduce con el empleo de amortiguadores a comparación de los aisladores.

1.3. Teorías relacionadas al tema

Puente

Un puente es una estructura de servicio, la que permite interrumpir un cruce natural, es decir ríos, quebradas, alguna vía o un medio de circulación, esto para no imposibilitar la continua circulación de los vehículos o personas. En otras palabras, esta estructura ayuda a que una vía sigue su recorrido, sin afectar su continuo tránsito. (García, 2006, p.15).

Puente viga-losa

El puente en mención, es de concreto armado, la cual tiene entre dos o más apoyos, la estructura también está constituida por vigas longitudinales y este tipo de viga son las que transmiten las cargas hacia los estribos o elementos verticales, en el caso de la armadura de la losa, va en sentido perpendicular al sentido del tránsito (Chung, 2006, p.3).

Partes de la estructura de un puente

- **Superestructura**

Es la zona que se encuentra en contacto con los usuarios del puente, es decir entra en contacto con vehículos, peatones, etc. Esta parte del puente, está conformado por vigas longitudinales o armaduras, las cuales poseen diversos elementos que van de manera transversal al eje de la calzada. Esta estructura se encuentra en la parte superior del puente, sobre los estribos y elementos verticales. (Kamaitis, 2013, p.6).

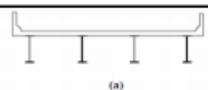
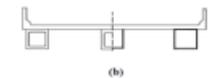
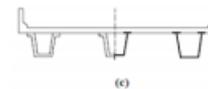
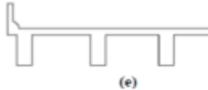
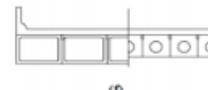
- **Subestructura**

Es la parte que soportará a la superestructura, las cuales se usan monolíticamente o no, la función principal de la estructura es la de transmitir las cargas desde la unión de estos elementos, hayas la cimentación del puente y seguido al suelo. Además, es lo que da soporte vertical al puente, además de que podrá soportar cargas como las del viento, río, socavación, etc. (Parsons, 2017, p.4).

Tipos de superestructuras habituales

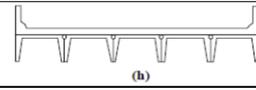
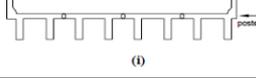
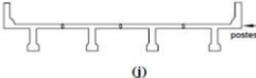
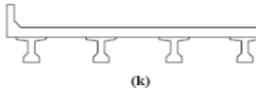
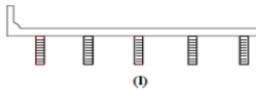
Entre los tipos de superestructuras que tipifica la norma AASHTO, brinda modelos de secciones transversales, los mismos que tendrán que ser considerados para el diseñador, junto a esto se debe considerar el material y evaluación de la estructura misma. (Mellon, 2018, p.2)

Tabla 1 Secciones para el diseño de un puente

ELEMENTOS DE APOYO	TIPO DE TABLERO	SECCIÓN TRANSVERSAL TÍPICA
Viga de acero	Losa de hormigón colada in situ, losa de hormigón prefabricada, emparrillado de acero, paneles	 (a)
Vigas cajón cerradas de acero u hormigón prefabricado	Losa de hormigón colada in situ	 (b)
Vigas cajón abiertas de acero u hormigón prefabricado	Losa de hormigón colada in situ, losa de tablero de hormigón prefabricado	 (c)
Viga cajón de múltiples celdas de hormigón colado in situ	Hormigón monolítico	 (d)
Viga Te de hormigón colado in situ	Hormigón monolítico	 (e)
Vigas cajón prefabricadas de hormigón macizas, alivianadas o con conectores de corte	Sobrecapa de hormigón colado in situ	 (f)
Vigas cajón prefabricadas de hormigón macizas, alivianadas o conectores de corte y con postesado transversal	Hormigón integral	 (g)

Fuente: LRFD AASHTO

Tabla 2 Diferentes secciones para su análisis y evaluación estructural

ELEMENTOS DE APOYO	TIPO DE TABLERO	SECCIÓN TRANSVERSAL TÍPICA
Secciones tipo canal de hormigón prefabricado con conectores de corte	Sobrecapa de hormigón colado in situ	 (h)
Secciones doble Te de hormigón prefabricado con conectores de corte y con o sin postesado	Hormigón integral	 (i)
Sección Te de hormigón prefabricado con conectores de corte y con sin postesado transversal	Hormigón integral	 (j)
Secciones doble Te o Te con nervio de hormigón prefabricado	Hormigón colado in situ, hormigón prefabricado	 (k)
Vigas de madera	Hormigón colado in situ, o tablonés, paneles encolados / clavados o madera tensada	 (l)

Fuente: LRFD AASHTO

Sismo resistencia

El fin de esta especialidad es proteger la vida de los seres humanos, además de brindarles la seguridad para poder habitar una edificación sin tener el temor de que ocurra un colapso. Del mismo modo, como en toda ingeniería es de proteger la propiedad en sí, como los bienes del inmueble; cuidando así la economía del propietario. (Luna, Valdés y Gonzales, 2016, p.11)

Respuesta sísmica

Los espectros de respuesta de terremotos reales son altamente irregulares, sus formas reflejan los detalles de sus contenidos de frecuencia específicos y fase. Existen varios aspectos que tienen influencia en las características del espectro de respuesta: la magnitud, el mecanismo de ruptura de la falla y la distancia entre la estación y el epicentro son los más importantes. (Rojas, 2003, p. 9)

Cargas sísmicas: EQ

Según Lozano (2014) Para la norma AASHTO LRFD, tiene unos principios que influyen en la carga sísmica.

- Mantenerse dentro del rango elástico, sin que la estructura sufra daños, frente a sismos leves a moderados.
- Los daños que puedan originarse en un puente, deben de detectarse sin complicaciones y debe tener acceso a la inspección y posterior reparación

Coefficientes de aceleración

Mediante el uso de los mapas de isoaceleraciones, podemos hallar el coeficiente de aceleración. Se debe de tener en cuenta que el nivel de excedencia para 50 años de vida útil, la cual es válida para un periodo de recurrencia de aproximadamente 475 años (Zayas, 2017, p.27)

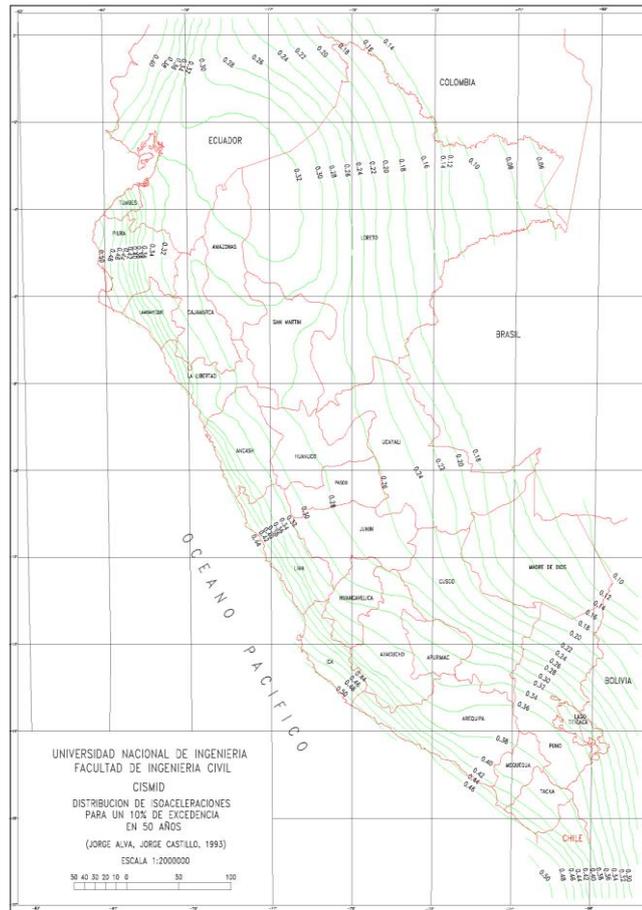


Figura 2 Mapa de isoaceleraciones de 10% de excedencia.

Fuente CISMID, 1993.

La norma sismorresisten E.030 del año 2016, del RNE especifica 4 zonas sísmicas aplicables para el Perú. En la tabla N°4 se puede encontrar el coeficiente de aceleración para cada una de las zonas y en la figura N°3 muestra la distribución de las zonas.

Tabla 3 Zonas Sísmicas

Zona	Coeficiente de aceleración (A=Z)
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Fuente: Norma E030



Figura 3 Mapa de zonificación sísmica

Fuente: E.030, 2016

Categorías según la importancia del puente

Para poder determinar la categorización del puente, se debe de tener en cuenta los requisitos sociales y de supervivencia, del mismo modo se debe de tener en cuenta la seguridad y defensa. Al momento de determinar un puente, se debe considerar las futuras transformaciones que afectarán las condiciones y requisitos. (Stabile, 2018, p.10).

Del mismo modo, se deben de categorizar los puentes considerando requisitos mínimos para su análisis, del mismo modo se determinará los coeficientes de

alteración de respuesta. Para la norma AASHTO LRFS se considera tres categorías de importancia.

Tabla 4 Zonas Sísmicas

Categorías	Descripción
Críticos	Se mantendrán abiertos para toda clase de tráfico, pese a que le hayan aplicado 475 años de retorno, así mismo, debe de quedar listo para recibir vehículos de emergencia, con fines de seguridad y/o defensa inmediata, pese a sufrir un sismo máximo probable (2500 años de retorno)
Esenciales	Se mantendrá abierto para vehículos de emergencia, con fines de seguridad y/o defensa inmediata, después de sufrir un sismo de diseño de 475 años de retorno
Otros	Se pueden cerrar a fin de repararlos después de sufrir un sismo máximo probable

Fuente: AASHTO LRFD 2007

- **Efectos de sitio o coeficiente de sitio**

En una base rocosa se modifica las aceleraciones, esto debido a los estratos de un suelo, para lo cual las condiciones del suelo local tienen que ser una clara relación con los daños ocurridos por un sismo (Acero, 2004, p.45)

Para el coeficiente de sitios se debe considerar los tipos de suelos definidos en la tabla 7

Tabla 5 Perfiles de suelos.

Tipo de perfil de suelo	Descripción	Coefficiente de sitio (S)
I	Roca de naturaleza esquistosa o cristalina; de cualquier tipo, con la característica de tener una onda de corte >765 m/s Suelo de contenido rígido de profundidad de 60m y suelos sobre tocas, determinados como depósitos estables de arena, grava o arcilla rígida.	1.0
II	Los perfiles compuestos por arcilla rígida o estratos profundos, excedentes a 60m, los cuales poseen suelos no cohesivos, además los suelos sobre rocas son depósitos estables de arenas, arcillas o gravas.	1.2
III	Perfiles con arcillas medianamente rígidas, blandas y arenas, estas se caracterizan por 9 m o más, de arcillas blandas o medianamente rígidas sin o con capas de suelos no cohesivos o capas intermedias de arena.	1.5
IV	Un perfil con limos o arcillas blandas de más de 12m de grosor de estratos (velocidad de onda de corte <153 m/s)	2.0

Fuente: AASHTO LRFD 2007

En caso un suelo no posea un nivel de detalle de las propiedades, así mismo, el perfil no concuerde con ningún cuadro, se debe usar el coeficiente de sitio aplicado al perfil de suelo tipo II.

Estado límite de fatiga y fractura

Para este tipo de métodos, se deberá ejecutar una serie de juegos de restricciones dentro de un rango de esfuerzos causados por el camión de diseño, lo cual ocurre dentro de un número esperado de ciclos en un rango de esfuerzos. (Hussein, 2017, p.4)

Para el caso del estado de fatiga, se debe asegurar las limitantes como el desarrollo de grietas cuando se apliquen ciertas cargas consecutivas, las cuales podrán prever la rotura alrededor de la vida de diseño de puentes. (Almerich, 2010, p.115)

- Resistencia I. Ajuste básico de esfuerzos aplicados al uso vehicular común del puente, sin viento.
- Resistencia II. Combinación de cargas con diseño especial, aplicando vehículos específicos, con circulación restringida o ambos, no se considera viento.
- Resistencia III. Combinación de cargas, las cuales presentan un puente con cargas de vientos de velocidades superiores a 90 km/h.
- Resistencia IV. Combinación de cargas que se obtiene a través de las cargas permanentes y las provocadas por la sobrecarga.
- Resistencia V. Combinaciones de cargas para el uso de vehículos comunes con velocidades de viento de 90 km/h.
- Servicio I. Combinaciones de cargas que influyen en la operación del puente, con una carga de viento de 90 km/h, tomando todas las cargas a sus valores comunes.
- Servicio II. Combinaciones de carga, con la función de poder controlar la fluencia de estructuras de acero y el resbalamiento causado por la sobrecarga vehicular.
- Servicio III. Cargas relacionadas a la tracción en la superestructura de hormigón pretensado, cuyo objetivo es controlar las fisuras.
- Servicio IV. Relación de cargas exclusivamente influenciadas por la tracción en subestructuras de hormigón pretensado, con el objetivo de controlar las fisuras.

- Fatiga. Como el mismo nombre lo indica, está relacionado a la sobrecarga vehicular respectiva y la respuesta dinámica bajo un único camión de diseño. A continuación, se proporcionarán las combinaciones consideradas como las más críticas.

Tabla 6 Sistema de clasificación AASHTO

Combinación de Cargas	DC DD DW EH EV ES EL	LL IM CE BR PL LS	WA	WS	WL	FR	TU CR SH	TG	SE	Usar sólo uno por vez				
										EQ	IC	CT	CV	
Estado Límite														
RESISTENCIA I (a menos que se especifique lo contrario)	Y_p	1.75	1.00	-	-	1.00	0.50/1.20	Y_{TD}	Y_{SZ}	-	-	-	-	-
RESISTENCIA II	Y_p	1.35	1.00	-	-	1.00	0.50/1.20	Y_{TD}	Y_{SZ}	-	-	-	-	-
RESISTENCIA III	Y_p	-	1.00	1.4	-	1.00	0.50/1.20	Y_{TD}	Y_{SZ}	-	-	-	-	-
RESISTENCIA IV Sólo EH, EV, ES, DW, DC	Y_p	-	1.00	-	-	1.00	0.50/1.20	-	-	-	-	-	-	-
RESISTENCIA V	Y_p	1.35	1.00	0.4	1.00	1.00	0.50/1.20	Y_{TD}	Y_{SZ}	-	-	-	-	-
EVENO EXTREMO I	Y_p	Y_{EQ}	1.00	-	-	1.00	-	-	-	1.00	-	-	-	-
EVENO EXTREMO II	Y_p	0.5	1.00	-	-	1.00	-	-	-	-	1.00	1.00	1.00	-
SERVICIO I	1.00	1	1.00	0.3	1.00	1.00	1.00/1.20	Y_{TD}	Y_{SZ}	-	-	-	-	-
SERVICIO II	1.00	1.3	1.00	-	-	1.00	1.00/1.20	-	-	-	-	-	-	-
SERVICIO III	1.00	0.8	1.00	-	-	1.00	1.00/1.20	Y_{TD}	Y_{SZ}	-	-	-	-	-
SERVICIO IV	1.00	-	1.00	0.7	-	1.00	1.00/1.20	-	1.00	-	-	-	-	-
FATIGA- Sólo LL, IM y CE	-	0.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Tabla Factores para cargas permanentes LRFD AASHTO

En el caso de la superestructura, en el Perú conviene usar lo siguiente.

$$\gamma_p = 1.25 \text{ a } 0.90 \text{ para DC}$$

$$\gamma_p = 1.50 \text{ a } 0.65 \text{ para DW}$$

Para el estado límite de resistencia 1, se simplifica así:

$$Rl = 1,25xDC + 1,50xDW + 1,75(LL + .33LL + PL + LS)$$

Este estado se encuentra diseñado con esfuerzos últimos, Y el de “servicio I” así:

$$SI = 1.00xDC + 1.00DW + 1.00(LL + .33LL + PL + LS)$$

Para el caso de servicio, este va más enfocado en que no salgan grietas en la estructura, para tener un mejor control del agrietamiento. Para ello, es recomendable la reducción de la resistencia de materiales “ f_y y f_c ”².

Tabla 7 Cargas durante el proceso constructivo.

Tipo de carga	Factor de Carga	
	Máximo	Mínimo
DC: Elemento y accesorios	1.25	0.90
DD: Fricción negativa (downdrag)	1.80	0.45
DW: Superficies de rodamiento e instalaciones para servicios públicos	1.50	0.65
EH: Empuje horizontal del suelo		
• Activo	1.50	0.90
• En reposo	1.35	0.90
EL: Tensiones residuales de montaje	1.00	1.00
EV: Empuje vertical del suelo		
• Estabilidad global	1.00	N/A
• Muros de sostenimiento y estribos	1.35	1.00
• Estructura rígida enterrada	1.30	0.90
• Marcos rígidos	1.35	0.90
• Estructuras flexibles enterradas y otras, excepto alcantarillas metálicas rectangulares	1.95	0.90
• Alcantarillas metálicas rectangulares flexibles	1.50	0.90
ES: Sobrecarga de suelo	1.50	0.75

Fuente: LRFD AASHTO Tabla 3.4.1-2

Cargas

Cargas permanentes

Son las cargas que se encontraran durante toda la vida útil del puente y solo se verá afectas, ante modificaciones sustanciales. (Di Pace, Morales, Torrent y Bueno, 2019, p. 4)

Cargas transitorias

Son las que están en constante variación y están de acuerdo a un término relativos a su valor medio. (Zink y Horner,2018, p.2)

Sobrecargas Gravitatorias: LL y PL

Sobrecarga vehicular: LL

La sobrecarga vehicular asignada sobre el puente, designado será el HL-93.

Camión de diseño

Para determinar las características del camión, nos guiaremos de la norma AASHTO LRFD, en la cual se considera un aumento de carga dinámica. El camión, tiene una

separación de ejes de 145 kN, la cual variará de 4.30 a 9.0 m, a fin de producir efectos de fuerzas extremas. (Rodríguez, 2012, p.189)

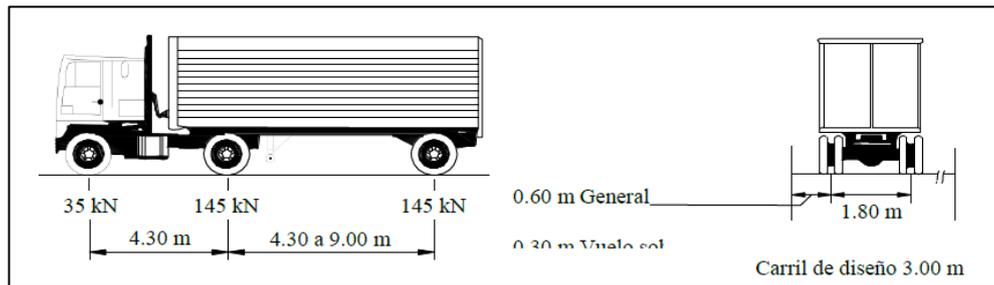


Figura 4 Camión de diseño, características.

Fuente: AASHTO LRFD (2007)

Carga del carril de diseño

El carril de diseño, posee una carga de 9,3 kN/m, la cual se encuentra uniformemente distribuida en toda la dirección longitudinal. Por otro lado, transversalmente la carga del carril de diseño tiene un ancho de 3,00 m. Las cargas de carril de diseño no están sujetas a un incremento por carga dinámica. (Rodríguez, 2012, p.189)

Tándem de diseño

Consiste en dos ejes de 110 kN, los cuales están separados por 1,20 m. Esta separación debe considerar un incremento por carga dinámica (Baxter, 2017,p.3)

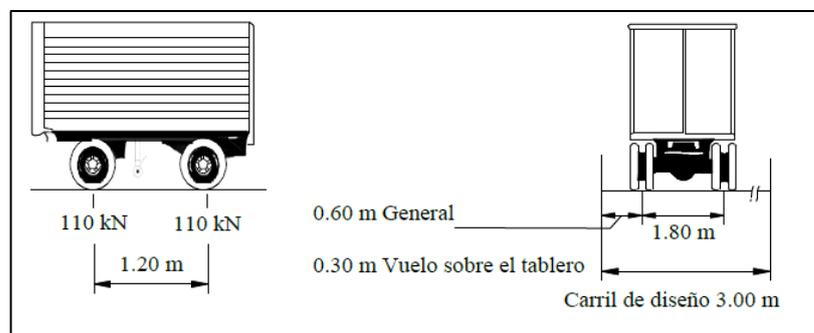


Figura 5 Tandem de diseño

Fuente: AASHTO LRFD, 2007

Cargas peatonales: PL

Para este tipo de cargas, se aplicará una de 3.6×10^{-3} MPa en las veredas de 0.60 m de ancho, esta carga considera una sobrecarga vehicular de diseño (Collins y Maguire, 2013, p.5)

1.4. Aisladores sísmicos

“Los aisladores aportan a la estructura regular una mayor flexibilidad mediante la moderación del periodo natural. También se puede usar cuando el periodo es más largo, sin embargo, el exceso en la flexibilidad puede alterar los beneficios obtenidos. Recientes tecnologías de aisladores sísmicos otorgan sofisticaciones como núcleos dúctiles de materiales que permiten aportar algo de amortiguación a la estructura y permiten una aplicación más eficiente de aisladores en edificios con periodos fundamentales mayores a 1seg.” (Mellon, 2018, p.6)

Tipos de aisladores sísmicos

- **Aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento (LDRB)**

Esta clase de aisladores son los más comunes y de menor complejidad dentro de los de su clase. Este tipo de sistema presenta un amortiguamiento mínimo, es por ello que se usan en conjuntos, con la intención de poder disipar la mayor cantidad de energía posible dentro de sus limitaciones. Este modelo es uno de los más fáciles en fabricación. (Tena y Hernández, 2017, p.17)



Figura 6 Aislador elastomérico de bajo amortiguamiento

Fuente: CCHC, 2010

- **Aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB)**

Estos aisladores presentan una estructura similar al aislador que acabamos de comentar, a diferencia de que este modelo presenta un núcleo de plomo, el cual se encuentra al centro del aislador. Al momento de un sismo, este dispositivo presenta deformaciones laterales, esto debido a que libera la energía a manera de calor. Al finalizar la actividad sísmica, la goma vuelve a su posición normal y el núcleo se recristaliza. (Tena y Hernández, 2017, p.17)

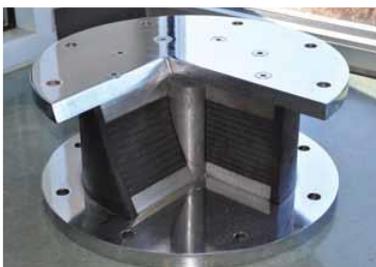


Figura 7 Aislador elastomérico con núcleo de plomo

Fuente: CCHC, 2010

- **Péndulos friccionales**

Este modelo presenta unos péndulos que actúan a fricción y se encontrarán en deslizamiento ante un movimiento telúrico. Esto debido a que la superficie es cóncava, haciendo que este presente características y ventajas auto centrantes. Después de un sismo, el aislador vuelve a su posición inicial; esto debido a su geometría y a la fuerza de la gravedad. (Tena y Hernández, 2017, p.17)

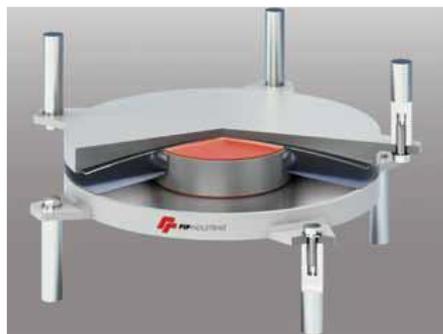


Figura 8 Aislador con péndulo friccionante

Fuente: CCHC, 2010

Trasmisión de cargas

Para puentes las cargas son transmitidas de manera vertical, de la losa a los estribos, para que al final puedan llegar a la cimentación, uno de los elementos que colaboran con una mejor transmisión de cargas son los llamados apoyos o aparatos de apoyo. (Díaz y Haach, 2017, 10)

Los aparatos, deben de ser capaces de recepcionar las fuerzas horizontales y verticales las cuales provienen de los tableros. Otra función que deben de tener los dispositivos en cuestión deben de permitir ciertos movimientos y negar otros. (Liangliang y Antipasli, 2014, p.3).

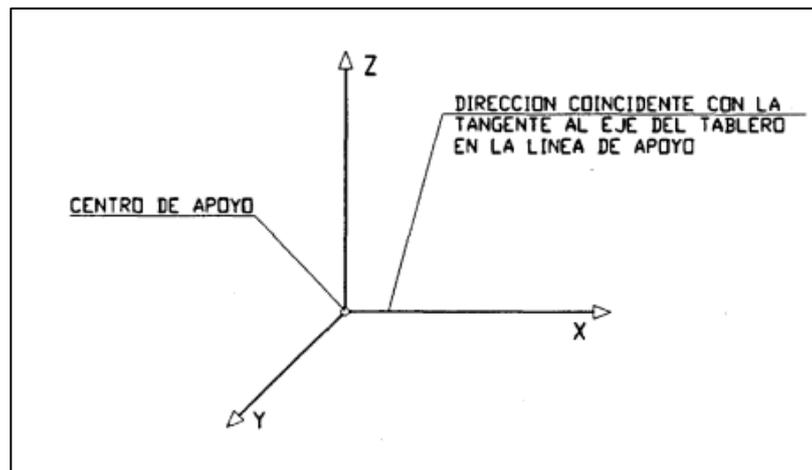


Figura 9 Acciones transmitidas a apoyos

Fuente: Ministerio de obras públicas, transporte y medio ambiente de España, 1995

Aparatos de apoyo

Estos sistemas se relacionan con el tablero y con las subestructuras. Es decir, este aparato de apoyo estará afecto a ciertos movimientos relativos entre la superestructura y la subestructura según los ejes (Imagen N°6). Este tipo de apoyos pueden ser fijos, libres, entre otros; esto se define según el diseño que tenga el puente y las cargas que soportará el mismo.

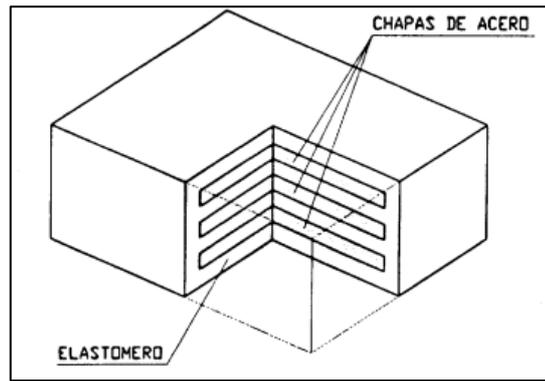


Figura 10 Aparato de apoyo elastomérico

Fuente: Ministerio de obras públicas, transporte y medio ambiente de España, 1995

- **Apoyo de neopreno zunchado**

Se puede apreciar en la imagen N°5 que existen planchas de acero entre los bloques de caucho o elastómero, los cuales sirven para protegerlos de la corrosión, además de que dan rigidez al aparato de apoyo.

1.5. Formulación del problema

Problema general

¿Cuál es el comportamiento sísmico del puente 7 tipo viga losa con el empleo de aisladores sísmicos del proyecto línea amarilla, Rímac?

Problemas específicos

- ¿Cómo reduce los esfuerzos el uso de aisladores sísmicos en el puente viaducto 7 del proyecto línea amarilla, Rímac?
- ¿Cuáles son las derivas que presenta el puente viaducto 7 con el uso de aisladores sísmicos en el proyecto línea amarilla, Rímac?
- ¿Cuánto reducen los desplazamientos con el uso de aisladores sísmicos en el puente viaducto 7 del proyecto línea amarilla?

1.6. Justificación

La finalidad del presente proyecto, es analizar, comparar y concluir sobre la efectividad y rentabilidad económica entre, los aparatos de apoyo elastoméricos y los aisladores sísmicos. Siendo así que se realizará el análisis comparativo entre ambas soluciones, para poder concluir en la mejor alternativa; la cual colaborará con los futuros diseño de puentes en nuestro país y con la cultura antisísmica que tanta falta hace en nuestra sociedad.

Técnica

Al no encontrar información concreta sobre la mejor solución ante sismos para puentes a nivel nacional, esta investigación busca brindar la mejor alternativa económica y técnica sobre el uso de aparatos antisísmicos; colaborando así con la prevención y con la cultura antisísmica.

Social

Con esta investigación, se buscar resolver de manera más efectiva el uso de aparatos antisísmicos; colaborando así con la economía de nuestro país y además con la seguridad que se brindará a la población al momento de usar las estructuras. Así mismo, ayudará a brindar mayor tecnología a nuestra ciudad.

Económica

Nuestro objetivo como ingenieros, es brindar una solución totalmente factible, que brinde la mejor alternativa económica y que a la vez resulte ser de una calidad excepcional. Es por ello que, con esta investigación, se buscará conocer la alternativa que nos aporte una mejor perspectiva en relación al tiempo – beneficio.

1.7. Hipótesis

Hipótesis general

Se mejorará el comportamiento sísmico del puente 7 tipo viga losa con el empleo de aisladores sísmicos del proyecto línea amarilla, Rímac

Hipótesis específicas

- Los aisladores sísmicos reducen significativamente los esfuerzos en el puente 7 del proyecto línea amarilla, Rímac
- Las derivas se reducen en el puente viaducto 7 con el uso de aisladores sísmicos en el proyecto línea amarilla, Rímac
- Los desplazamiento reducen de gran magnitud con el uso de aisladores sísmicos en el puente viaducto 7 del proyecto línea amarilla.

1.8. Objetivos

Objetivo general

Determinar el comportamiento sísmico del puente 7 tipo viga losa con el empleo de aisladores sísmicos del proyecto línea amarilla, Rímac

Objetivos específicos

- Calcular la reducción de esfuerzos con el uso de aisladores sísmicos en el puente viaducto 7 de proyecto línea amarilla, Rímac
- Analizar las derivas que presenta el puente viaducto 7 con el uso de aisladores sísmicos en el proyecto línea amarilla, Rímac
- Evaluar en cuánto reducen los desplazamientos con el uso de aisladores sísmicos en el puente viaducto 7 del proyecto línea amarilla

II. MÉTODO

2.1. Tipo y diseño de investigación

Según Hernández Sampieri Roberto (2014) “Podría definirse como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de estudios en los que no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables. Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para analizarlos” (p.186)

La investigación propuesta se trata de una investigación **no experimental** debido a que se observará la respuesta sísmica del puente viaducto 7 de manera natural, sin realizar ninguna alteración.

Tipo de Investigación

Según Behar Rivero Daniel (2008) “La investigación aplicada se encuentra estrechamente vinculada con la investigación básica, pues depende de los resultados y avances de esta última; esto queda aclarado si nos percatamos de que toda investigación aplicada requiere de un marco teórico. Busca confrontar la teoría con la realidad. Es el estudio y aplicación de la investigación a problemas concretos, en circunstancias y características concretas. Esta forma de investigación se dirige a su aplicación inmediata y no al desarrollo de teorías.” (p.20)

El presente proyecto se trata de una investigación **tipo aplicada**, debido a que se busca enriquecer la cultura antisísmica aplicada en puentes, ya que se buscará mejorar la respuesta sísmica del puente viaducto 7 del proyecto línea amarilla.

Nivel de Investigación

Para Hernández, Fernández y Baptista (2010) Los niveles de investigación, se enfocan en la profundidad que aplica a un estudio dentro de una investigación de los valores que pertenecen a un fenómeno estudiado.

La presente investigación está basada en un **nivel correlacional**, debido a que se realizará la comparación entre dos modelos de sistemas antisísmicos aplicados a un puente de tipo viga losa.

2.2. Operacionalización

Variable independiente

Como variable independiente tenemos a los **aisladores sísmicos**, esto debido a que es la causa de la variable dependiente (Ver anexo 1 y 2).

Variable dependiente

Como variable dependiente tenemos al **comportamiento sísmico** en el puente 7 del proyecto Línea Amarilla, Rímac, esto debido a que es el efecto que darán los aisladores sísmicos cuando estén frente a un movimiento telúrico (Ver anexo 1 y 2).

2.3. Población, muestra y muestreo

Población

“Conjunto de individuos que tienen una o más propiedades en común, se encuentran en un espacio o territorio que les es propio y varían en el transcurso del tiempo. Esto es muy notorio en las cohortes o promociones estudiantiles, tornando imprescindible que se feche el periodo de las observaciones sobre la muestra escogida.” (Arroyave, 2009, agosto 13).

En esta investigación la población son todos los puentes del proyecto Línea Amarilla.

Muestra

Para este tipo de investigación, el muestreo debe de ser influenciado por la persona o personas que se indican en la muestra o se ha realizado a razones de comodidad. (Villa, 2010, p.11)

Para esta investigación la muestra es el Puente viaducto 7, esta es de tipo no probabilístico debido a que la elección fue a criterio del autor ya que se cuenta con acceso a la información del puente.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Técnicas

El desarrollo de esta investigación, será mediante el uso del software CSI BRIDGE, en el cual se modelará un puente viga losa, con y sin aisladores elastoméricos con núcleo de plomo.

Instrumentos

- Investigaciones anteriores.
- Programa computacional CSI BRIDGE
- LFRD AASHTO
- Manual de puentes.
- Ficha técnica de aislador sísmico con núcleo de plomo (LRB)
- Ficha de recolección de datos.
- Ficha de resultados de CSI BRIDGE.

Validez y confiabilidad

Para la validez de los instrumentos a usar, se solicitó la validación y evaluación de 3 ingenieros civil colegiados (Ver Anexos 4)

De la evaluación surgieron los siguientes resultados, 88.03% para la ficha de recolección de datos y 100.00% para la ficha de resultados.

2.5. Procedimientos

Para poder realizar estos objetivos, se realizarán modelamientos computacionales mediante el software CSI BRIDGE, el cual cuenta con procedimientos didácticos y precisos sobre las posibles respuestas sísmicas.

Con respecto al tema económico, se solicitarán los precios al proveedor de aisladores sísmicos CCTV, el cual posee una amplia variedad de precios y finalmente se compara para escoger la mejor opción entre el aislador sísmico y el apoyo elastomérico.

Finalmente, se realiza la comparación entre ambos modelos de puentes, se discute y se da la mejor opción tanto técnica como económica.

Las cargas que se emplearán serán según el AASHTO LRFD 2007, en la cual incluye las cargas vivas, muertas, vehiculares, peatonales y sísmicas.

2.6. Métodos de análisis de datos

Análisis comparativo del puente viga losa en su condición actual y con el uso de aisladores sísmicos de tipo elastómero con núcleo de plomo. La estructura será evaluada ante sismos de dirección transversal y longitudinal al puente.

El fin de la presente investigación es poder determinar si el uso de aisladores sísmicos contribuye con el correcto funcionamiento del puente antes una eventualidad sísmica, además la estructura debe de ser viable y económicamente factible en una relación costo beneficio.

En la presente investigación, primero se recolectará todos los datos necesarios para poder analizar el puente tipo viga losa, los datos requeridos se describen en la ficha

de recolección de datos que se encuentra en el Anexo 3. Del mismo modo, se deberá de obtener los datos sísmicos de la zona de ubicación del puente, el cual se encuentra en el distrito del Rímac.

Así mismo, mediante el uso de fichas técnicas de los aisladores sísmicos con núcleo de plomo (LRB), se recolectarán los datos necesarios para poder extraer las propiedades mecánicas que poseé este sistema y además sobre las dimensiones requeridas para poder utilizarse un puente de este tipo.

Análisis de puente tipo viga losa

Para poder realizar el análisis del puente en condiciones actuales y con el uso de aisladores sísmicos, se usará como guía AASHTO LFRD, la cual pide realizar análisis mediante los siguientes métodos.

- Método simplificado o de la carga uniforme
- Método espectral unimodal
- Método espectral multimodal

Los métodos unimodal y multimodal, se puede aplicar a varios softwares. El método simplificado, es usado a fin de evaluar resultados del análisis dinámico.

2.7. Aspectos éticos

Con esta investigación se busca una mejoría en el sistema antisísmico de puentes, colaborando así con la seguridad en estructuras de gran importancia. En la presente tesis, es elaborada de manera original y con responsabilidad del autor.

III. RESULTADOS

3.1. Análisis

Ubicación

La investigación está basada en el puente viaducto 7 del proyecto línea amarilla, ubicado en el distrito del Rimac en el pueblo joven “Huascarán”).

Coordenadas:

Latitud: 12° 2'20.84"S

Longitud: 77° 2'22.03"O

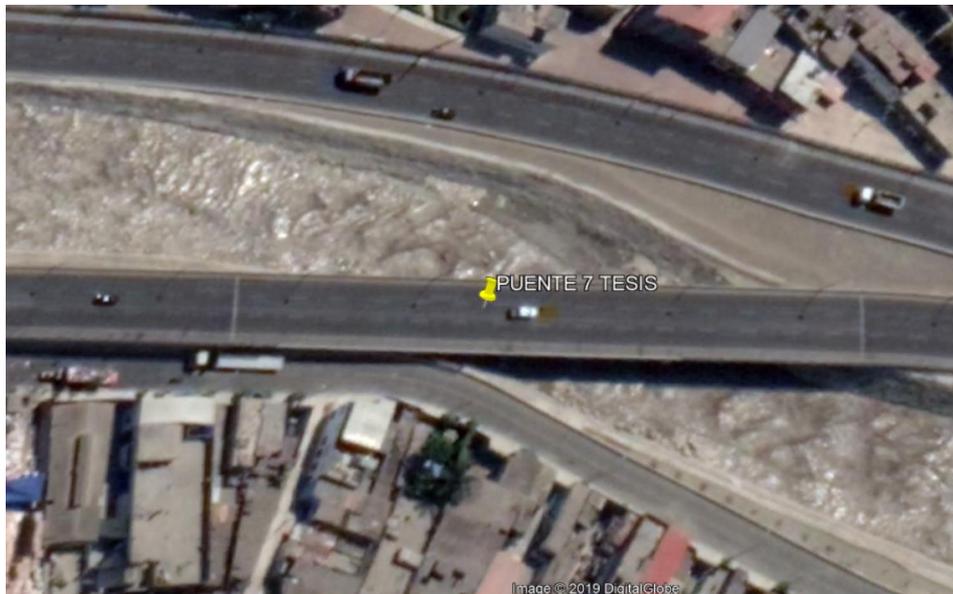


Figura 11 Ubicación satelital de Puente 7

Fuente: Google Earth, 2019

Características de la estructura

La estructura objeto de estudio, es un puente tipo Viga Losa de 76.25 m de luz. El puente cuenta con tres tramos, apoyado en 2 estribos y 2 pilares.

La estructura fue diseñada para salvar una pendiente del río Rimac, cuenta con 2 vías de tránsito en un solo sentido.

Tabla 8 Datos de puente tipo viga losa.

Descripción	Datos
Superestructura	Viga Losa
Puente	Múltiples tramos simplemente apoyados
Longitud total	76.25
Número de tramos	3.00
Junta sísmica	0.15
Diafragma cada tramos	4.00
Camión de diseño	HL93
Carriles	2.00
Ancho	7.20
Ancho total del puente	8.70
Longitud de volado $w' > 3t$ (m)	0.70
Luz libre entre vigas $S' < 4$ (m)	1.45
Espesor de losa $t > S'/20 > 0.175$ (m)	0.20
Peralte viga principal: $h > 0.070L'$ (m)	1.35
Ancho viga principal: $b > 0.0157$	0.50
Peralte diafragma: $hd = 0.7h$ (m)	1.00
Ancho diafragma: $bd > 0.25$ (m)	0.30
Subestructura	Pilar una columna
Longitud de viga cabezal: Bc (m)	10.00
Altura de pilares (viga cabezal): H (m)	9.00
Separación de ejes de columnas: $C = 2S$ (m)	0.00
Diámetro de columna: $Dc > 0.1H > 0.9$ (m)	0.00
Peralte interior viga cabezal: $hi > 0.1Bc$ (m)	1.20
Peralte exterior viga cabezal: $he = 0.7hi$ (m)	1.20
Ancho viga cabezal: $hc > 2N + Sj > Dc$ (m)	1.65

Fuente: Plano Nort-PT-227 y cálculo de dimensiones

La superestructura está compuesta de concreto armado simplemente apoyado, para esto existe 4 vigas que transmitirán la carga sobre estribos y pilares.

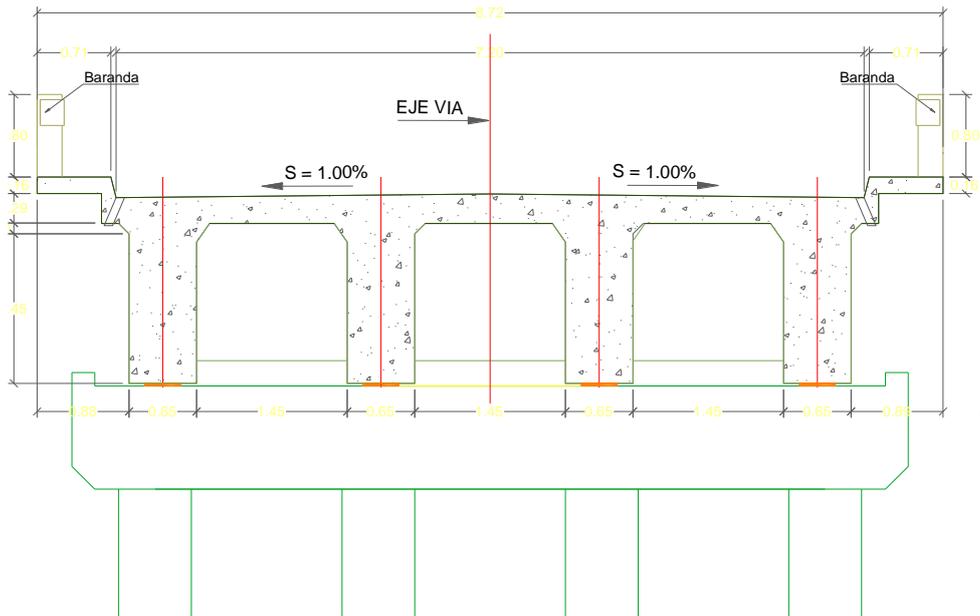


Figura 12 Sección transversal

Fuente: Plano Nort-PT-227 y cálculo de dimensiones



Figura 13 Vista en planta

Fuente: Plano Nort-PT-227 y cálculo de dimensiones

En la subestructura contamos con dos pilares y dos estribos. El pilar posee una configuración de 9.00 m, la cual está formada por un pórtico, conformado por una columna unida por una viga en la zona superior y en una zapata para la parte inferior. En esta investigación se asumieron como rígidos y no fue considerado para el modelo estructural a los estribos.

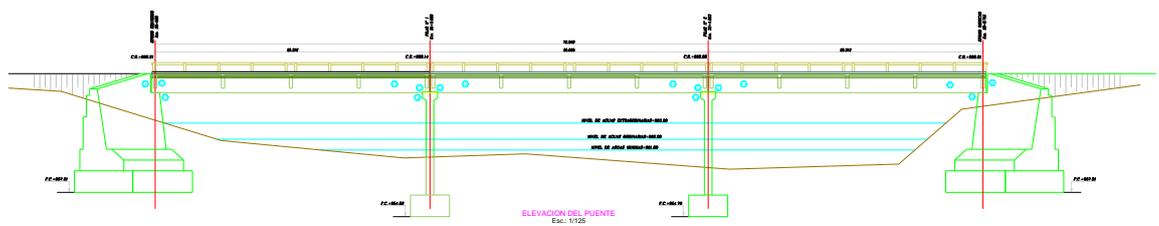


Figura 14 Elevación de puente 7

Fuente: Plano Nort-PT-227 y cálculo de dimensiones

Materiales

Según la metodología AASHTO LRFD y documentación obtenida del puente, las características son las siguientes:

- Resistencia a la compresión: $f'_c = 280 \frac{kg}{cm^2} = 28MPa$
- Módulo de elasticidad: $E_c = 0.043K_1y_c^{1.5}\sqrt{f'_c}$

Donde, y_c proviene de la densidad unitaria del concreto, K_1 proviene del factor de corrección del agregado y f'_c como la resistencia especificada del concreto. Para el concreto con la resistencia normal de $y_c = 2320 kg/m^3$ y $K_1 = 1.0$, se puede tomar la ecuación:

$$E_c = 4800\sqrt{f'_c}$$

De dónde: $E_c 25400 MPa = 253992 kg/cm^2$

Coeficiente de Poisson: $\mu_c = 0.20$

La calidad empleada para el acero de refuerzo es la ASTM A615-Grado 60.

- Resistencia a la fluencia: $f_y = 4200 \frac{kg}{cm^2} = 420 MPa$
- Módulo de elasticidad: $E_c = 2000000 \frac{kg}{cm^2} = 200000 MPa$
- Coeficiente de Poisson: $\mu_c = 0.30$

Descripción del modelo geométrico de análisis

Como software de modelamiento estructural, se usó el programa CSI 2010.

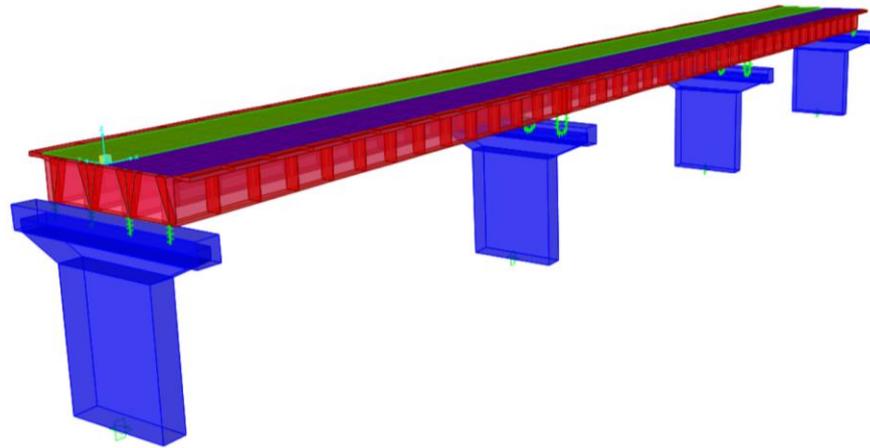


Figura 15 Modelo de análisis en 3D en CSI BRIDGE, con las dos líneas de carriles del puente

Fuente: CSI BRIDGE, elaboración propia.

Superestructura

Las cargas permanentes superficie de rodadura, baranda, vereda y barrera fueron insertadas como cargas directas y distribuidas, en cambio el peso propio de la estructura, fue calculado por el programa.

Subestructura

Para la subestructura se conforma por dos estribos y dos pilares. A fin de investigar a los aisladores sísmicas, los estribos fueron despreciados, modelándolos como resortes fijos en la fundación, los cuales no aportan una rigidez ni masa al modelamiento. Los pilares, están compuestos por tres columnas circulares recubiertas, formado un solo pilar, así mismo se compone por una viga cabezal. La subestructura está modelada como elemento frame tridimensional.

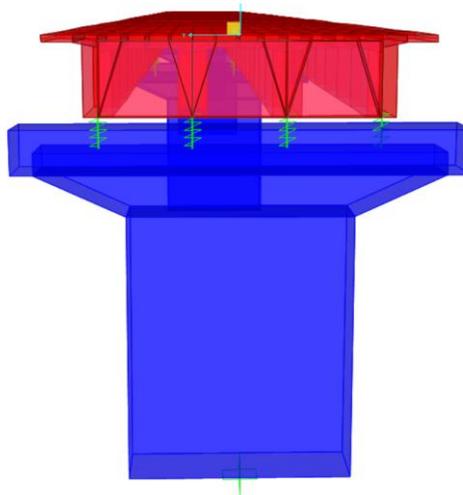


Figura 16 Subestructura, mostrando la conexión con la superestructura.

Fuente: CSI BRIDGE, elaboración propia.

Para el modelamiento, los esfuerzos que se aplican a la superestructura se van transfiriendo a cada punto de apoyo. De este modo, las cargas aplicadas a la viga cabezal son fuerzas reales representativas y las fuerzas distribuidas se cargan a las columnas son precisas.

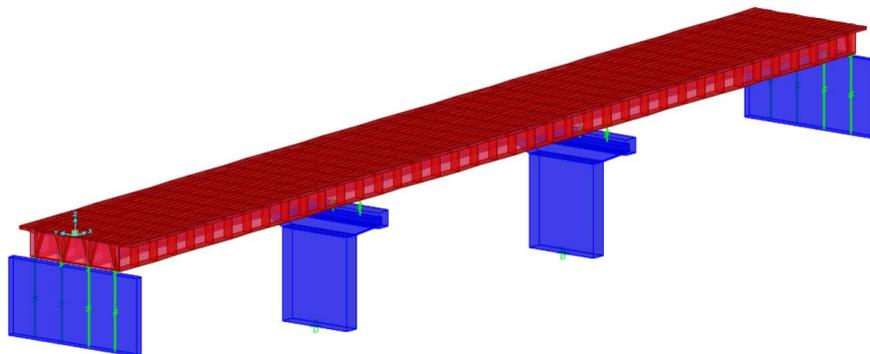


Figura 17 Modelamiento puente tipo viga losa

Fuente: CSI Bridge.

Cargas permanentes - cargas muertas

La AASHTO LRFD 2007, define cargas muertas a:

- EV, DC y DW como cargas muertas

A fin de investigar exclusivamente la disipación que aportan los aisladores, se aplicaron dos cargas (DC y DW).

En cargas permanentes se tiene al peso propio de cada componente estructura y los no estructurales, así como se muestra en la figura 18.

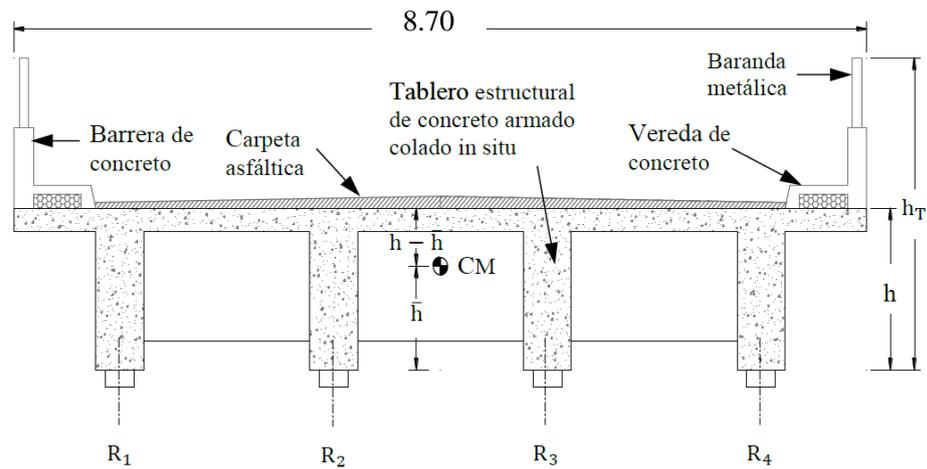


Figura 18 Sección transversal típica indicando componentes

Fuente: Minchán, 2016.

Tabla 9 Cargas permanentes DC y DW de las estructuras

Descripción	Datos
Componente estructural y no estructural DC	
Viga losa	11.56
Diafragmas de concreto armado	3.90
Vereda de concreto armado	0.20
Barrera de concreto + baranda metálica	0.43
Viga + topes de concreto armado	42.74
Columna de concreto armado	44.11
Dispositivos y superficie de rodadura DW	
Superficie de rodadura	0.17

Fuente: Elaboración propia.

La carga determinada se aplicará en el modelo computacional las cargas lineales o distribuidas, a excepción del peso que son calculadas directamente por el programa.

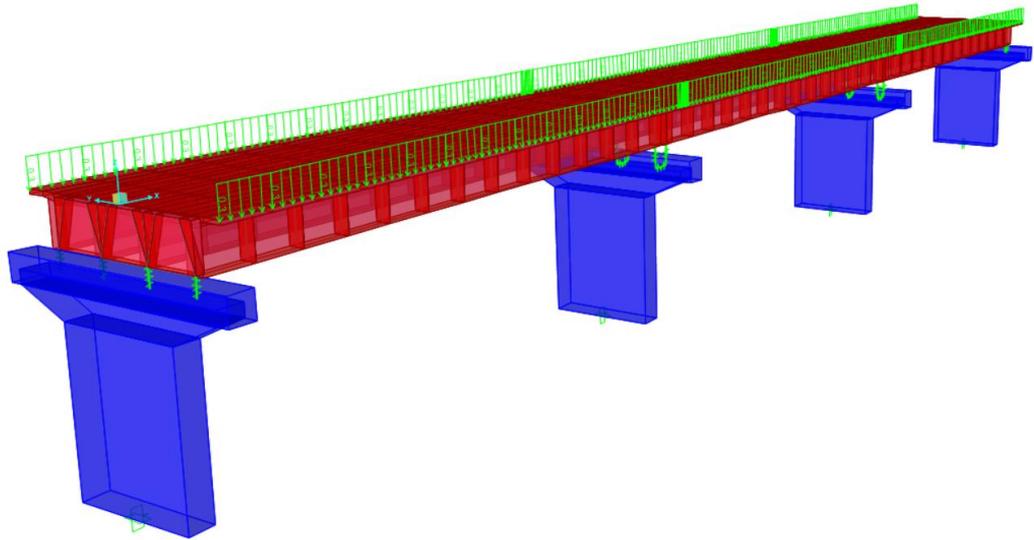


Figura 19 Carga lineal de la barrera en el eje.

Fuente: Elaboración propia

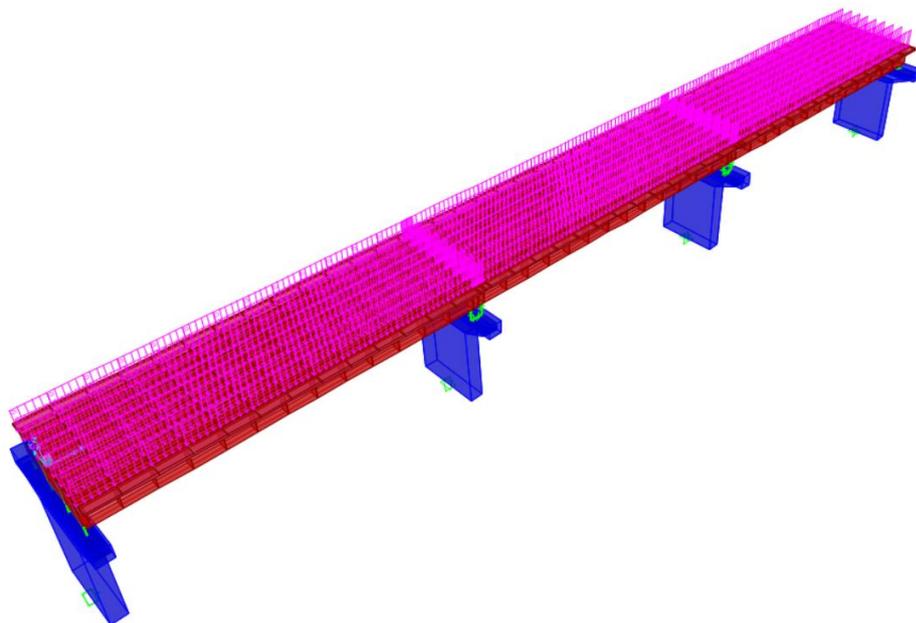


Figura 20 Carga superficial de capa rodadura.

Fuente: Elaboración propia.

Cargas transitorias

El manual AASHTO LRFD, muestra como cargas bajo “cargas vivas”. Son estas:

- Vargas vivas por gravedad (LL y PL)

- Incremento por carga dinámica. (IM)
- Carga centrífuga (CE)
- Frenado (BR)

A fin de investigar la disipación de energía solo se condierará las cargas (LL, IM y BR).

Sobrecarga vehicular (LL)

Número de carriles de diseño

Se forma de la relación $W/3.60$, teniendo como w a el ancho libre de calzada en bordes de sardinel y/o barreras.

$$W_{cs} = 8.70 \text{ m}$$

$$W_{br} = 0.20 \text{ m}$$

$$n = \text{redondeo} \left(\frac{W_{cs} - 2W_{br}}{3.60m} \right) = 2$$

Sobrecarga vehicular de diseño

Se consideró como carga viva vehicular de diseño al HL 93, descrito dentro de la AASHTO LRFD. Esta carga de diseño consiste en una carga de 9.3 kN/m en cada uno de los tramos del puente y un espaciado variable entre eje.

Incremento por carga dinámica (IM)

Para la investigación, se aplicaron según los estados de resistencia, evento extremo y límite de servicio, para lo que, los efectos del tándem de diseño se multiplicarán por el factor de:

$$U_{L+IM} = U_L \left(1 + \frac{IM}{100} \right) = \left(1 + \frac{33}{100} \right) = 1.33$$

En el programa CSI BRIDGE, el aumento por carga dinámica se induce directamente con el camión o tándem de diseño.

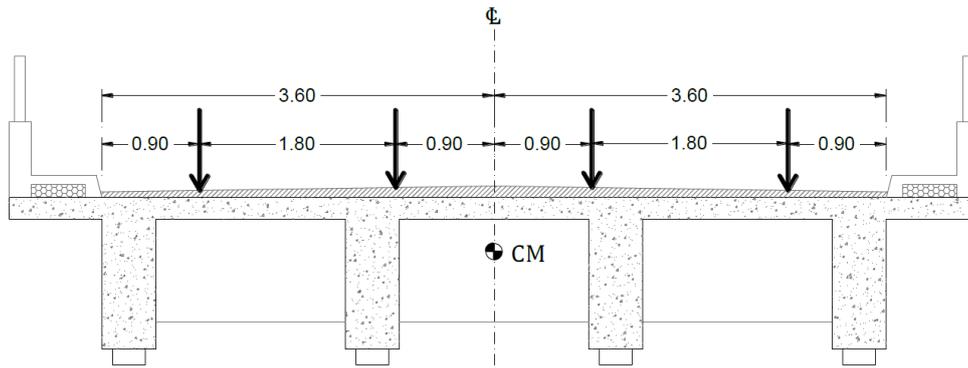


Figura 21 Sección transversal considerando carga vehicular

Fuente: Elaboración propia.

Las cargas fueron aplicadas como cargas estáticas a lo horizontal de la estructura y generadas progresivamente después de cada análisis. Para el puente de varios tramos, debido a su complejidad y repetitividad en los análisis, se usó el software CSI Bridge.

Cargas peatonales: PL

Para el modelamiento, se consideraron veredas para ambos extremos del puente, con un ancho de 0.60m, para lo que se aplicaron cargas peatonales de 0.42 Tn/m².

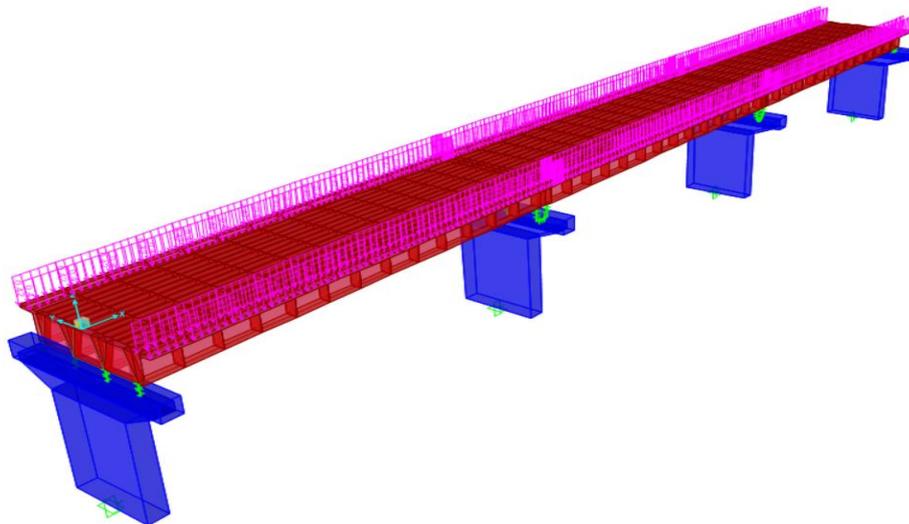


Figura 22 Carga peatonal aplicada a lo largo del puente.

Fuente: Elaboración propia.

Cargas sísmicas: EQ

El puente en estudio tiene tres tramos, la superestructura es de tipo viga de alma llena aplicada in situ con una subestructura de concreto armado. Para ello, se tomó como manual a las especificaciones AASHTO LRFD y el manual de diseño de puentes en el Perú.

Coefficiente de aceleración

Según la figura 2, para la zona de ubicación en Lima, corresponde una aceleración de 0.32, pero según a el mapa sísmico de la E.030 del Perú, Limase considera como la zona sísmica 4. Aplicando un coeficiente de aceleración de 0.45. A fin de plasmar en peor escenario se usó la sollicitación sísmica de $A=0.45$.

Categoría según la importancia del puente

Para el Perú, se considera que la estructura tiene un tiempo de vida útil de 50 años con un porcentaje de excedencia anual del 10%, lo cual equivale a 475 años de periodo de retorno. (Acero, 2004, p.37)

Basado en consideraciones y estructuras en estudio, categorizan como puentes esenciales.

Efectos de sitio.

El perfil de suelo considerado fue del tipo II, el coeficiente de sitio fue $S=1.2$. Debido a que la investigación es de carácter académico y fue basado en la normas como la AASHTO LRFD y el manual de diseño de puentes y carreteras.

Coefficiente de respuesta sísmica elástica

El modo de vibración m , los parámetro establecidos fueron tomados de la norma AASHTO:

$$C_{sm} = \frac{1.2AS}{T_m^{2/3}} \leq 2.5A$$

Donde: “A” es el coeficiente de aceleración.

“S” se asume como el coeficiente de sitio

T_m se toma como el periodo de vibración del modo en segundos.

Factor de modificación de respuesta:

El puente se clasifica como puente esencial y según la configuración estructural en la subestructura del puente.

R= 3.5 Para la subestructura, debido a los pilares múltiples.

R=0.8 En la conexión de la superestructura a estribos.

R=1.0 La conexión de la superestructura a la viga cabezal a los pilares y cimentación.

Fuerzas sísmicas elásticas y desplazamientos

Debido a que es una puente de tramos regulares e incluido en la zona sísmica 4, se debe considerar como método de análisis elástico multimodal (MM). A fin de comparar el puente con y sin aislación, se evaluará con el método unimodal al puente con apoyos elastoméricos.

Análisis espectral unimodal (SM)

Las características de la estructura del puente, se mostrará en la tabla 10 y la sollicitación sísmica para el puente se presentará en la tabla 11.

Tabla 10 Características del puente y de la subestructura

Descripción	Unidad	Puente
Longitud L	m	76.25
Tramos	Und	3
Columnas circulares	Und	3
Diámetro Ø	m	1.20
Altura de pilar H	m	9.00

Inercia columna $I_{xx} = \pi R^4/4$	m ⁴	0.1018
Inercia columna $I_{yy} = \pi R^4/4$	m ⁴	0.1018
Rigidez longitudinal del pilar $K_x = n(12EI/H^3)$	Tn/m	8511.36
Rigidez transversal del pilar $K_y = n(12EI/H^3)$	Tn/m	8511.36

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11 Cargas sísmicas por unidad de longitud

Descripción	Unidad	Puente
Carga superestructura		
Tablero	Tn	462.50
Diafragmas	Tn	31.30
Vereda	Tn	10.40
Barrera + baranda metálica	Tn	34.40
Superficie de rodadura	Tn	48.60
Carga subestructura		
Viga cabezal + topes de concreto armado	Tn	42.74
Columnas	Tn	44.11
Carga sísmica		
Relación Peso superestructura/subestructura	%	14.79
W(x)= Peso tributario /L	Tn/m	16.30
Carga uniforme supuesta	Tn/m	1.00

Fuente: Elaboración propia.

Para el método elástico unimodal, halló el periodo fundamental y las solicitaciones de respuesta, las características se muestran a continuación.

Tabla 12 Cálculo del periodo fundamental.

Descripción	Puente 1
Cálculo de los desplazamiento estáticos $v_s(x)$ provocados por la carga uniforme suspuesta, p_o .	
$V_s = P_o L/K$	0.0047
$\alpha = \int_{\text{Estribo 1}}^{\text{Estribo 2}} v_s L, (m^2)$	0.1880
$\beta = \int_{\text{Estribo 1}}^{\text{Estribo 2}} w(x)v_s(x)dx = wv_s L, (Tn - m)$	3.0636
$Y = \int_{\text{Estribo 1}}^{\text{Estribo 2}} w(x)[v_s(x)]^2 dx = wv_s^2 L, (Tn - m^2)$	0.0144
$Tm = 2\pi \sqrt{\frac{Y}{P_o g a'}}$ (s)	0.552

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13 Cálculo de desplazamientos y fuerzas.

Descripción	Puente 1
Fuerza sísmica estática equivalente $p_e(x)$	
$C_{sm} = \frac{1.2AS}{T_m^{2/3}} \leq 2.5A$, para $A=0.40$ y $S=1.20$	0.85
$P_e(x) = \frac{\beta C_{sm}}{Y} w(x)v_s(x)$, (Tn/m)	13.90
Cálculo del desplazamiento longitudinal, cortante y momento	
$v_s = P_e(x)L/K$ (m)	0.0653
$V_x = P_e(x)L/n$ (Tn/Columna)	277.94
$M_{yy} = v_x h/2$ (Tn/Columna)	1250.71

Fuente: Elaboración propia

Análisis espectral multimodal (MM)

a) Formas de modos y periodos

Para la investigación se plantearon doce modos de vibración, los cuales han sido usados para el método de análisis espectral multimodal, lo que influye en la superposición de respuesta individual para medir la respuesta sísmica estructural total.

Tabla 14 Periodos y vibraciones en los 12 primeros modos

Modo	Periodo	Frecuencia
N°	(Sec)	(Cyc/sec)
1	0.7263	1.6236
2	0.3497	3.5643
3	0.2681	4.9043
4	0.2622	5.0437
5	0.2371	5.7362
6	0.2065	6.9001
7	0.1684	9.2575
8	0.1426	12.0663
9	0.1234	15.6363
10	0.1214	16.1163
11	0.1177	17.1233
12	0.1167	17.4143

Fuente: Elaboración propia

b) Carga espectral

En el método de análisis elástico multimodal se empleó el espectro de diseño elástico de ingreso para medir la carga en el modelo, esto rige tanto para la dirección longitudinal y transversal.

Tabla 15 Valores espectrales utilizado para el análisis

T	C_{sm}	C_{sm}/R
0.001	1.000	0.286
0.1	1.000	0.286
0.2	1.000	0.286
0.3	1.000	0.286
0.4	1.000	0.286
0.5	0.914	0.261
0.6	0.810	0.231
0.7	0.731	0.209
0.8	0.668	0.191
0.9	0.618	0.177
1	0.576	0.165
1.5	0.440	0.126
2	0.363	0.104
2.5	0.313	0.089
3	0.277	0.079
3.5	0.250	0.071
4	0.229	0.065
4.5	0.211	0.060
5	0.197	0.056

Fuente: Elaboración propia

Fuerzas y desplazamientos ambas direcciones

Se usaron 12 modos para caracterizar la respuesta

Tabla 16 Respuesta para sismo longitudinal

Sismo longitudinal					
Puente	Ubicación	Tipo	Axial (Tn)	Cortante (Tn)	Momento (Tn-m)
	Pilar/columna	Sup.	54.25	96.78	115.03
		Inf.	34.68	91.25	785.25

Fuente: Análisis CSI BRIDGE

Tabla 17 Respuesta para sismo Transversal

Sismo transversal					
Puente	Ubicación	Tipo	Axial (Tn)	Cortante (Tn)	Momento (Tn-m)
	Pilar/columna	Sup.	235.62	107.56	382.56
		Inf.	259.65	118.65	489.86

Fuente: Análisis CSI BRIDGE

Tabla 18 Desplazamientos en la superestructura con carga sísmica

Desplazamiento Superestructura		
Puente	Sismo	
	Longitudinal	Transversal
Ubicación	X (m)	Y (m)
Estribo A1	0.0008	0.0035
Centro 1	0.0007	0.0223
Pilar 1	0.0006	0.0389
Pilar 2	0.0396	0.0432
Centro 2	0.0396	0.0233
Estribo B2	0.0396	0.0043

Fuente: Análisis CSI BRIDGE

Tabla 19 Desplazamientos en la subestructura con carga sísmica

Desplazamiento Subestructura		
Puente	Sismo	
	Longitudinal	Transversal
Ubicación	X (m)	Y (m)
Pilar	0.0345	0.0376

Fuente: Análisis CSI BRIDGE

Diseño de aisladores sísmicos con núcleo de plomo (LRB)

En el diseño de los aisladores para un puente, se debe de tener en cuenta las propiedades de los aisladores. Las mismas que se deberán de determinar como parte de un proceso y así poder solicitarlos al fabricante:

- Dimensiones del núcleo de plomo. D_L
- Dimensión adherida del aislador D_B
- Dimensión y cantidad de capas de goma T_r y N .
- Dimensión y cantidad de placa de refuerzos de acero, placas shim t_s

Tabla 20 *Materiales del aislador LRB*

Propiedades	Unidad	Nominal	Rango	
Módulo de corte (goma) G_3	MPa	0.448	0.413	0.483
Resistencia de la fluencia (plomo) G_{L3}	MPa	10.00	10.00	12.00
Resistencia de la fluencia (Placas de acero) F_y	MPa	345.00	345.00	380.00
Módulo volumétrico, K	MPa	2000.00	-	-
Resistencia del concreto f'_c	MPa	28.00	-	-
Módulo de elasticidad E	MPa	25399.21	-	-
Coeficientes de f_1 y f_2 para K/G	-	5580.36	-	-
	f_1	-	1.0	AASHTO 2010
	f_2	-	0.375	

Fuente: AASHTO 2010

Tabla 21 *Apoyos con aisladores sísmicos*

Descripción	Estribos	Pilares
Número de apoyos LRB	8	8

Fuente: Elaboración propia.

Diseño preliminar de los aisladores

Para elegir el diámetro del núcleo de plomo, se debe de tener en cuenta que la fuerza del sistema de aislamiento debe ser en porción del peso W . (Constantinou, 2011, p.15)

Tabla 22 *Posibles valores de D_L que pueden ser usados en los apoyos.*

Apoyo	Puente
x	5930.14
Q_d/W asumido	0.065
Q_d (kN)	385.46

D_L calculado (m)	0.06
---------------------	------

Fuente: Elaboración propia.

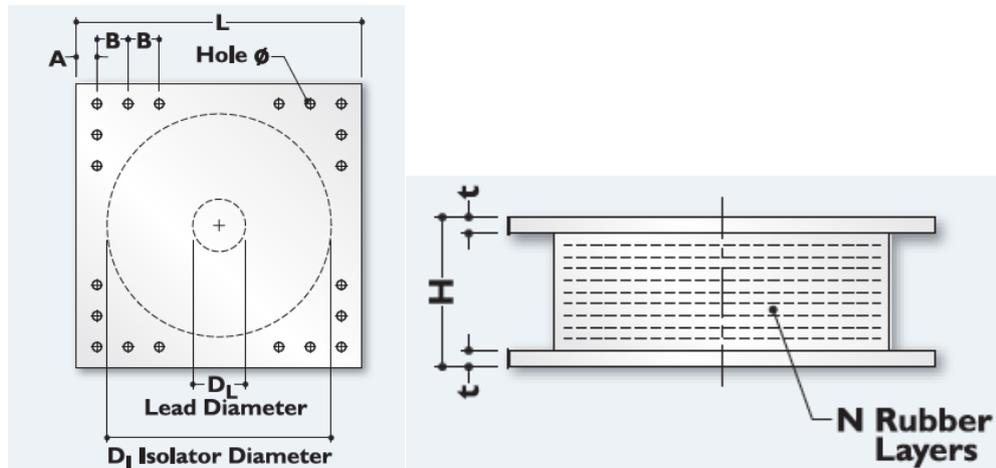


Figura 23 Dimensiones del aisladore LRB

Fuente: Dynamic Isolation Systems, DIS

Para las dimensiones D_B y T_r debe de ser seleccionadas según la regla:

- D_B en el rango de $3D_L$ a $6D_L$
- T_r es igual o mayor al D_L

La regla otorga un comportamiento predecible a los aisladores con núcleo de plomo.

De las tablas 13 y 14 se obtiene el diámetro del núcleo de plomo del aislador $D_L=0.1$ m y el espesor de la goma total $T_r=0.10$ m.

El cálculo del desplazamiento máximo considerado (MCE) se consideró como 1.5 veces el desplazamiento en el DE (sismo de diseño). Es bueno tener en cuenta que para el método simplificado, se multiplica por el factor 1.3. (Constantinou, 2011, p.15)

Por lo tanto.

$$\Delta_{E_{MCE}} = 1.5 \times 1.3 \times \Delta_{E_{DE}} \approx 1.95 \Delta_{E_{DE}}$$

Para la carga vertical, las especificaciones AASHTO 2007 indica que se debe guiar por:

$$\frac{P'_{CTMCE}}{P_u} \geq 1.1$$

Donde P'_{CTMCE} , es la carga de pandeo en el desplazamiento MCE o una carga crítica y P_u es la carga de evento extremo I, la cual es factorizada para la combinación. (AASHTO, 2007)

$$P_u = \gamma D^P D + P_{E_{MCE}} = 1.25P_D + 0.25P_L + 1.5P_{E_{DE}}$$

En este caso P_D , se considera como la carga muerta, $P_{SL_{MCE}}$ es la carga viva sísmica, $P_{E_{MCE}}$ es la carga axial sísmica producida por el movimiento del MCE, P_L como la carga viva y $P_{E_{DE}}$ como la carga sísmica producida por el movimiento del DE (Constantinou, 2011, p.18)

$$P_{SL_{MCE}} = 0.5P_{SL_{MCE}} = 0.25P_L \text{ y } P_{E_{MCE}} = 1.5P_{E_{DE}}$$

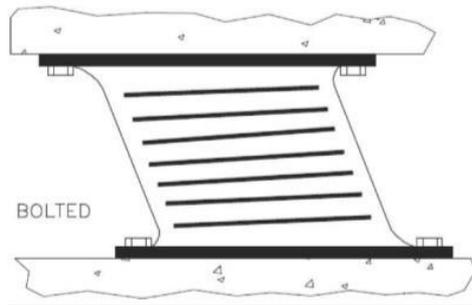


Figura 24 Aislador sísmico pandeado.

Fuente: Constantinou, 2011

Para apoyos circulares huecos, que se empotran, la carga crítica es, (Constantinou, 2011, p.18):

$$P'_{cr_{MCE}} = 0.218 \frac{GD_8^4 (\delta - \sin\delta)}{tT_r \pi}$$

Dónde:

$$\delta = 2 \cos^{-1} \left(\frac{\Delta}{D} \right) = 2 \cos^{-1} \left(\frac{0.25\Delta_s + 1.5\Delta_{E_{DE}}}{D_B} \right)$$

En aisladores huecos de diámetro adherido exterior, la relación de área reducida es aproximadamente (Minchan, 2016, p.35)

$$\frac{A_r}{A} \approx \frac{(\delta - \sin \delta)}{\pi}$$

En las ecuaciones, $\Delta_{E_{DE}}$ y $P_{E_{DE}}$ se muestra el desplazamiento del aisladores en el pilar y adicional, la fuerza axial en el DE. La carga $1.5\Delta_{E_{DE}} = P_{E_{DE}}$. En consecuencia:

$$Pu = 1.25 \times 397.31 + 0.25 \times 312.18 + 397.31 = 971.99 \text{ kN}$$

El espesor de la capa de goma t , como valor máximo requerido se calculó aplicando la siguiente ecuación (Constantinou, 2011, p.18):

$$t \leq 0.218 \frac{GD_B^4(\delta - \sin \delta)}{1.1PuTr \pi}$$

Para el uso del valor mínimo $G=0.413\text{MPa}$ para cálculos de rigidez y el valor nominal de $G=0.448\text{MPa}$ para el control de seguridad.

Tabla 23 Iteraciones para el diseño preliminar del aislador

Propiedades	Iteraciones					Ecuación
$D_B^{-1}(m)$	0.315	0.365	0.415	0.48	0.53	Diámetro adherido
$K_d(kN/m)$	4631	6395	8419	11439	14059	Ecuación (2-31) $G=0.413\text{MPa}$
D_d asumido (m)	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	Desplazamiento DE
$K_{eff}(kN/m)$	18992	20757	22781	25800	28421	-
$T_{eff}(s)$	1.12	1.07	1.02	0.96	0.92	-
ξ_{eff}	0.342	0.313	0.285	0.252	0.228	-
B	1.70	1.70	1.69	1.62	1.58	-
$A(g)$	0.31	0.32	0.34	0.36	0.39	$A(g) = \frac{A}{BT_{eff}^b}$
D_D (m)	0.098	0.092	0.088	0.084	0.081	-
$0.25\Delta_s + \Delta_{EMCR}(m)$	0.177	0.177	0.177	0.177	0.177	$0.25\Delta_s + 1.5FD_D$
Relación de área reducida	0.324	0.408	0.474	0.541	0.583	Ecuación (3-7) y (3-8)
t requerido para estabilidad (m)	0.003	0.007	0.013	0.026	0.042	Ecuación (3-9) $G=0.448\text{MPa}$

Fuente: Elaboración propia

El proceso de iteración mostrado en la tabla anterior, seleccionamos los aisladores para el puente con los siguientes parámetros:

$$D_B = 0.415m, T_r = 0.10m, 11 \text{ capas}@t = 0.01m, G_{nominal} = 0.448MPa, DL = 0.10m.$$

Propiedades del aislador

Módulo de corte de goma:

$$G_3 = 0.448MPa, \text{rango: } 0.413 \text{ a } 0.483 MPa$$
$$G_1 = 1.1 G_3 | \max = 1.1 \times 0.483 = 0.531 MPa$$

Esfuerzo de fluencia efectiva del plomo:

$$\sigma_{L3} = 10 \text{ a } 12 MPa$$
$$\sigma_{L1} = 1.35\sigma_{L3} = 1.35 \times 12 = 16.20 MPa$$

Límite inferior

$$G = G_3 | \min = 0.413 MPa$$

Esfuerzo de fluencia efectiva del plomo:

$$G = G_3 | \min = 10 MPa$$

Límite superior

Módulo de corte de goma:

$$G = G_3 | \min = 0.413 MPa$$

Esfuerzo de fluencia efectiva del plomo:

$$G = G_3 | \min = 10 MPa$$

Factor de envejecimiento λ :

$$\lambda_a = 1.1 \text{ para el módulo de corte de la goma}$$

Factor de recorrido λ :

$$\lambda_{tr} = 1.2 \text{ para el esfuerzo de fluencia efectiva del plomo}$$

Módulo de corte de la goma:

$$G = G_1 \times \lambda_a = 0.531 \times 1.1 = 0.584MPa$$

Esfuerzo de fluencia efectiva del plomo:

$$G_L = G_{L1|max} \times \lambda_{tr} = 16.20 \times 1.2 = 19.44 \text{ MPa}$$

Las propiedades de los aisladores de núcleo de plomo, fueron determinantes para poder hallar las dimensiones de los aisladores, los cuales fueron introducidos al modelamiento estructural del puente.

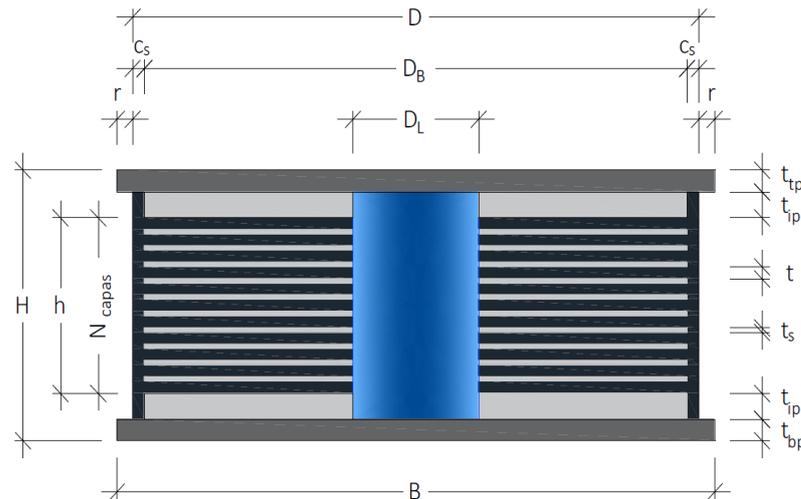


Figura 25 Esquema del aislador de goma con núcleo de plomo.

Fuente: Minchán M., 2016

Fuerzas sísmicas elásticas y desplazamientos

El sistema de aislamiento, posee propiedades generales, las cuales han sido calculadas y tabuladas en la tabla a continuación.

Tabla 24 Propiedades en el sistema de aislamiento de límite inferior

Descripción de parámetro del aislador	Puente
1.- Rigidez post-elástica del sistema $K_d = \frac{GA_r}{T_r} = \frac{G \times \pi \times (D_B^2 - D_L^2)}{4 \times T_r} \text{ (kN/m)}$	9301.62
2.- Resistencia característica del sistema $Q_d = A_L \sigma_L = \frac{\pi \times D_L^2}{4} \times \sigma_L \text{ (kN)}$	1256.64
3.- Desplazamiento de fluencia Y (m)	0.0254

Fuente: Elaboración propia

Análisis espectral multimodal (MM)

El análisis fue realizado a través del software CSI BRIDGE, para lo cual cada aislador se modela como un elemento link vertical de 3 dimensiones conectado rígidamente en los extremos.

Cálculo de la rigidez vertical de los aisladores

La configuración de la rigidez vertical del apoyo no deformado lateralmente se da por:

$$K_v = \frac{A_r}{T_r} \left[\frac{1}{E_c} + \frac{4}{3K} \right]^{-1}$$

En la ecuación, T_r es el espesor total de la goma, A_r es el área de goma adherida, K es el módulo volumétrico de la goma.

El módulo de compresión E_c se da por:

$$E_c = 6GS^2F$$

La rigidez se basa en el uso del valor del módulo de corte.

$$G = 0.8 \times 0.448 = 0.358$$

Tabla 25 Propiedades en el sistema de aislamiento de límite inferior

Descripción de parámetro del aislador	Puente
Factor para calcular el módulo de compresión ($F \leq 1$) $F = 1$ para un apoyo sin un agujero que permite pandeo (Constantinou et al, 2007).	1.00
Área reducida $A_r = \frac{\pi}{4} [(D_B + C_s)^2 - D_L^2] (m^2)$	0.14
Factor de forma $S = \frac{A_r}{\pi D_B t'} \quad A_r = \frac{\pi}{4} [D_B^2 - D_L^2]$	10.38
Módulo de compresión $E_c = 6GS^2F (MPa)$	231.47
Módulo de compresibilidad de la goma, K (MPa)	2000
Rigidez vertical $S = \frac{A_r}{T_r} \left[\frac{1}{E_c} + \frac{4}{3K} \right]^{-1} (kN/m)$	282267

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26 *Parámetros lineales usado del sistema de aislamiento con apoyos LRB.*

Parámetros de apoyo	LI	LS
Rigidez efectiva horizontal $K_{eff}(kN/m)$	1498.51	4519.55
Rigidez vertical $K_v(kN/m)$	282267	282267
Altura del aislador H (m)	0.253	0.253
Masa dinámica ($kN - s^2/m$)	0.175	0.175

Fuente: Elaboración propia

Formas de modos y periodos

Los períodos naturales de vibración del puente para los 12 modos se muestran a continuación:

Tabla 27 *Periodos y frecuencias de los 12 modos, análisis Límite inferior*

Modo	Periodo	Frecuencia
N°	(Sec)	(Cyc/sec)
1	1.1989	0.9574
2	1.1305	1.0162
3	1.0930	1.0519
4	0.7331	1.6040
5	0.6798	1.7426
6	0.6566	1.8112
7	0.3225	4.2854
8	0.3009	4.7109
9	0.2947	4.8483
10	0.2799	5.2137
11	0.2764	5.3096
12	0.2347	6.7803

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28 *Periodos y frecuencias de los 12 modos, análisis Limite inferior*

Modo	Periodo	Frecuencia
N°	(Sec)	(Cyc/sec)
1	0.7950	1.4692
2	0.7426	1.5816

3	0.6755	1.7550
4	0.5402	2.2601
5	0.4659	2.6903
6	0.4635	2.7075
7	0.3004	4.7206
8	0.2998	4.7348
9	0.2790	5.2374
10	0.2759	5.3218
11	0.2591	5.8316
12	0.2185	7.5995

Fuente: Elaboración propia

Carga espectral

Se utilizó el espectro de diseño elástico de ingreso, a fin de proporcionar las cargas para la modelación. El espectro se basó en lo especificado en la Norma AASHTO 2010, este se aplica en ambas direcciones del sismo, logitudinal y transversal. Tener en cuenta que el espectro fue introducido para la dirección horizontal.

La reducción de amortiguación B para periodos mayores o iguales a $0.8 T_{eff}$.

Tabla 29 Valores de los parámetros T_{eff} , ξ_{eff} y B

PARÁMETRO	LI	LS
Periodo efectivo T_{eff}	0.9976	0.5745
Amortiguamiento efectivo ξ_{eff}	0.2741	0.2686
Factor de reducción de amortiguamiento B	1.67	1.66

Fuente: Elaboración propia

Fuerzas y desplazamientos en cada dirección

El software CSI BRIDGE calculará las combinaciones modales. Para la investigación se usaron 12 modos para caracterizar la respuesta.

Tabla 30 *Respuesta Límite inferior – sismo longitudinal*

Puente	Ubicación	Tipo	Axial (Tn)	Cortante (Tn)	Momento (Tn-m)
	Pilar/columna	Sup.		0.13	42.98
Inf.			0.13	44.41	384.27

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31 *Respuesta Límite inferior – sismo transversal*

Puente	Ubicación	Tipo	Axial (Tn)	Cortante (Tn)	Momento (Tn-m)
	Pilar/columna	Sup.		152.88	58.51
Inf.			152.93	61.72	262.96

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32 *Respuesta Límite superior – Sismo longitudinal*

Puente	Ubicación	Tipo	Axial (Tn)	Cortante (Tn)	Momento (Tn-m)
	Pilar/columna	Sup.		0.13	41.04
Inf.			0.13	42.66	365.23

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33 *Respuesta Límite superior – Sismo transversal*

Puente	Ubicación	Tipo	Axial (Tn)	Cortante (Tn)	Momento (Tn-m)
	Pilar/columna	Sup.		217.73	81.27
Inf.			215.85	80.25	359.24

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34 *Desplazamientos límite inferior - superestructura*

Puente	Desplazamiento Superestructura	
	Sismo	
	Longitudinal	Transversal
Ubicación	X (m)	Y (m)
Estribo A1	0.1015	0.0846
Centro 1	0.0005	0.0926
Pilar 1	0.0004	0.1003
Pilar 2	0.0286	0.1001
Centro 2	0.0286	0.0925
Estribo B2	0.0286	0.0846

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35 *Desplazamientos límite superior - superestructura*

Desplazamiento Superestructura

Puente	Sismo	
	Longitudinal	Transversal
Ubicación	X (m)	Y (m)
Estribo A1	0.0562	0.0387
Centro 1	0.0005	0.0500
Pilar 1	0.0004	0.0618
Pilar 2	0.0286	0.0619
Centro 2	0.0286	0.0501
Estribo B2	0.0286	0.0387

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36 *Desplazamiento límite inferior - subestructura*

Desplazamiento Subestructura

Puente	Sismo	
	Longitudinal	Transversal
Ubicación	X (m)	Y (m)
Pilar	0.0388	0.0158

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37 *Desplazamiento límite superior - Subestructura*

Desplazamiento Subestructura

Puente	Sismo	
	Longitudinal	Transversal
Ubicación	X (m)	Y (m)
Pilar	0.0368	0.0208

Fuente: Elaboración propia

3.2. ANÁLISIS

Calcular la reducción de esfuerzos con el uso de aisladores sísmicos en el puente viaducto 7 de proyecto línea amarilla, Rímac

La comparación de las fuerzas internas del puente sin aislación y del puente con aisladores aisladores.

Tabla 38 Comparación de resultados de esfuerzos con el método multimodal

	PUENTE 07		
	NO AISLADO	LI	LS
Sismo Longitudinal			
Fuerza axial (Tn)	34.68	0.13	0.13
Cortante Basal (Tn)	91.25	44.41	42.66
Momento en la base (Tn-m)	785.25	384.27	365.23
Sismo Transversal			
Fuerza axial (Tn)	259.65	152.93	215.85
Cortante basal (Tn)	118.65	61.72	80.25
Momento en la base (Tn-m)	489.86	262.96	359.24

Fuente: Elaboración propia

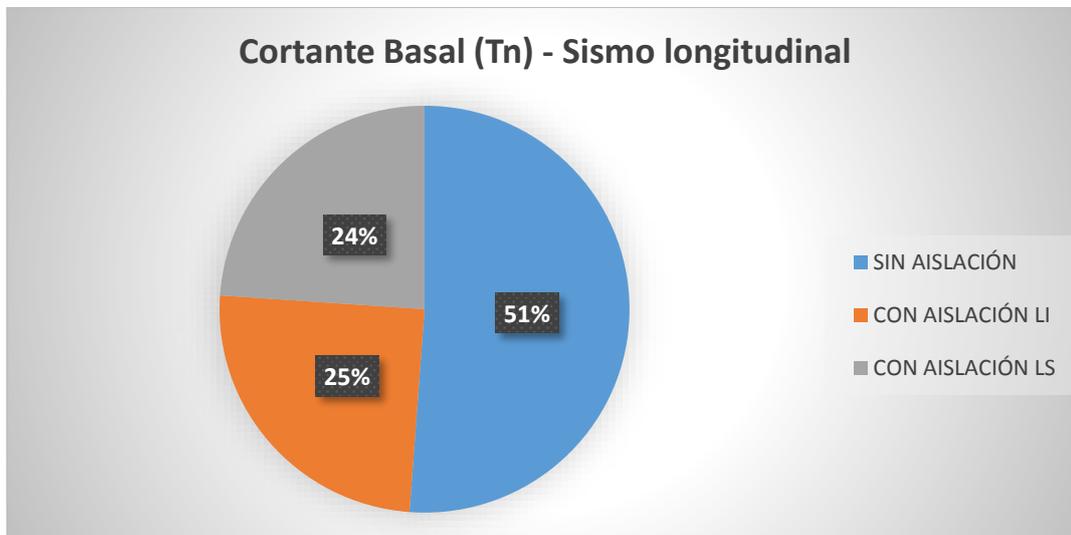


Figura 26 Gráfico de comparación entre el puente sin y con aislación, aplicando un sismo longitudinal.

Fuente: Elaboración propia.

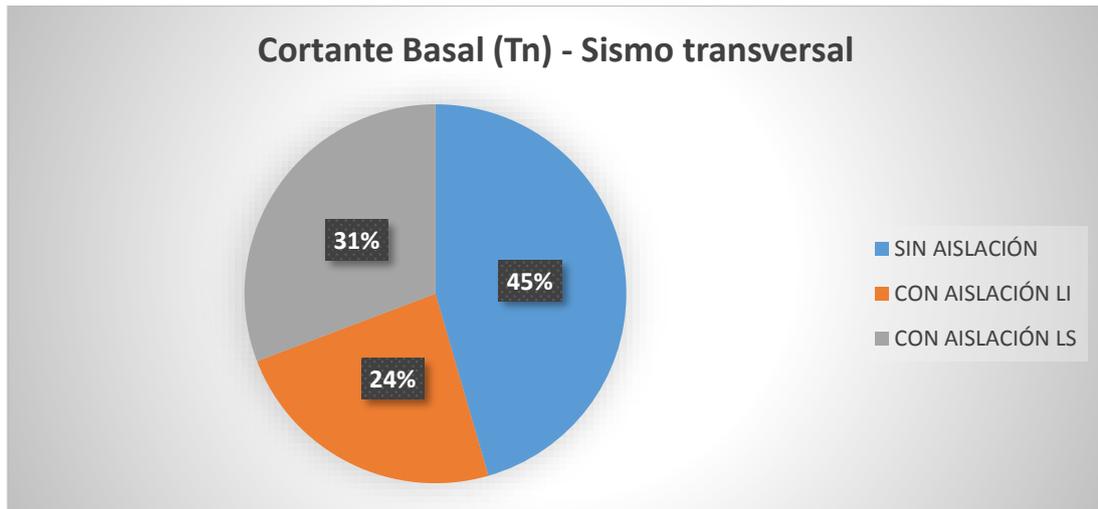


Figura N° 27 Gráfico de comparación entre el puente sin y con aislación, aplicando un sismo transversal.

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

- En la tabla 40 se observa que los resultados obtenidos en el puente con el empleo de aisladores sísmicos, muestra una disminución notable en las fuerzas internas, esto debido a que la transmisión de cargas y las fuerzas propias de la estructura y medio ambiente se distribuyen de mejor manera, gracias a la estructura de los aisladores sísmicos.
- En los gráficos 26 y 27 muestra que la disminución de la cortante basal reduce en aproximadamente 50%, empleando los aisladores sísmicos. Con esta información, ya se puede ir concluyendo en que el uso de aisladores sísmicos, mejora considerablemente la estructura y protección del puente, mejorando su respuesta ante sismos.

Analizar los periodos que presenta el puente viaducto 7 con el uso de aisladores sísmicos en el proyecto línea amarilla, Rímac

Tabla 39 *Comparación de frecuencias, periodo y amortiguación*

Descripción	Puente		
	NO AISLADO	LI	LS
Periodo (s)	0.7263	1.1989	0.7950
Frecuencia (Hz)	1.6236	0.9574	1.4692
Amortiguamiento	5%	27.41%	26.86%

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

En la tabla 41 se muestran los resultados obtenidos en el puente sometido a cargas sísmicas, mostrando que los puentes que empleas aisladores sísmicos de límite inferior amplían el periodo de vibración y reduce la frecuencia de oscilación; mientras que, con el uso de aisladores sísmicos de límite superior, se muestra ligeramente mayor y menor en el periodo y frecuencia respectivamente. Esto debido a que al evaluar un aislador con límite inferior, no influyen los valores de envejecimiento y deterioro por el paso del tiempo, afectado por el clima y factores externos, es decir se evalúa con el uso de un aislador nuevo. Caso contrario ocurre con el uso de aisladores en límite superior, estos aisladores demuestran todos los factores previamente descritos, demostrando que es un puente con uso de aisladores afectados al paso del tiempo.

Evaluar en cuánto reducen los desplazamientos con el uso de aisladores sísmicos en el puente viaducto 7 del proyecto línea amarilla

Tabla 40 *Comparación desplazamientos aislado y no aislado, empleando el método multimodal*

Descripción			
	NO AISLADO	AISLACIÓN LI	AISLACIÓN LS
Sismo longitudinal			
Desplazamiento en la viga cabezal (m)	0.0396	0.0286	0.0286
Desplazamiento en la losa (m)	0.0345	0.0388	0.0368

Sismo Transversal			
Desplazamiento en la viga cabezal (m)	0.0376	0.1003	0.0619
Desplazamiento en la losa (m)	0.0432	0.0158	0.0208

Fuente: Elaboración propia.

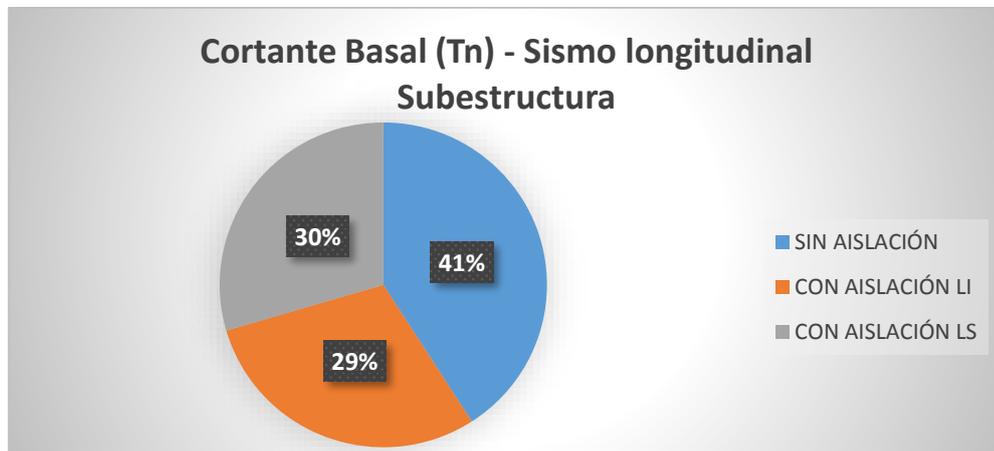


Figura N° 28 Gráfico de comparación de desplazamientos del puente sin y con aislación, aplicando un sismo longitudinal en la subestructura.

Fuente: Elaboración propia.

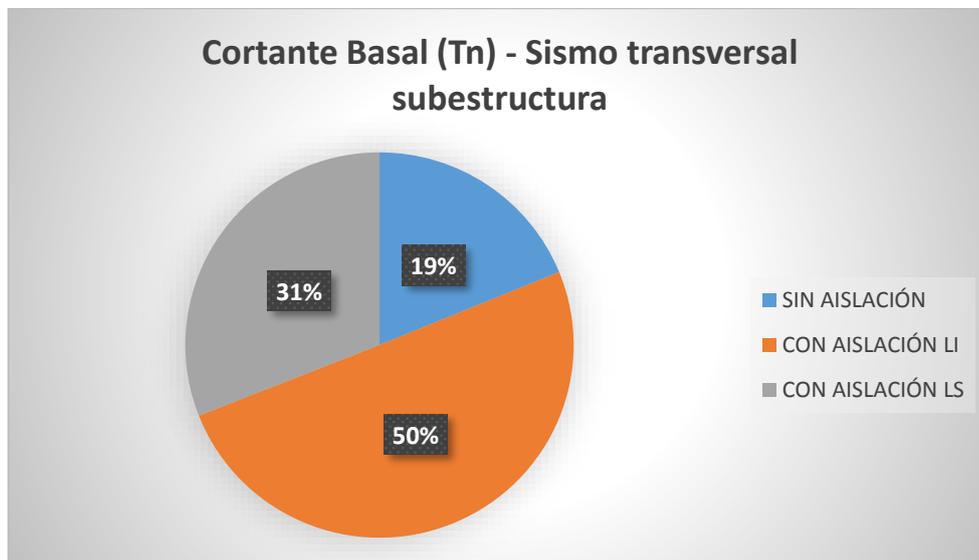


Figura 29 Comparación de desplazamientos del puente, aplicando un sismo transversal en la subestructura.

Fuente: Elaboración propia.

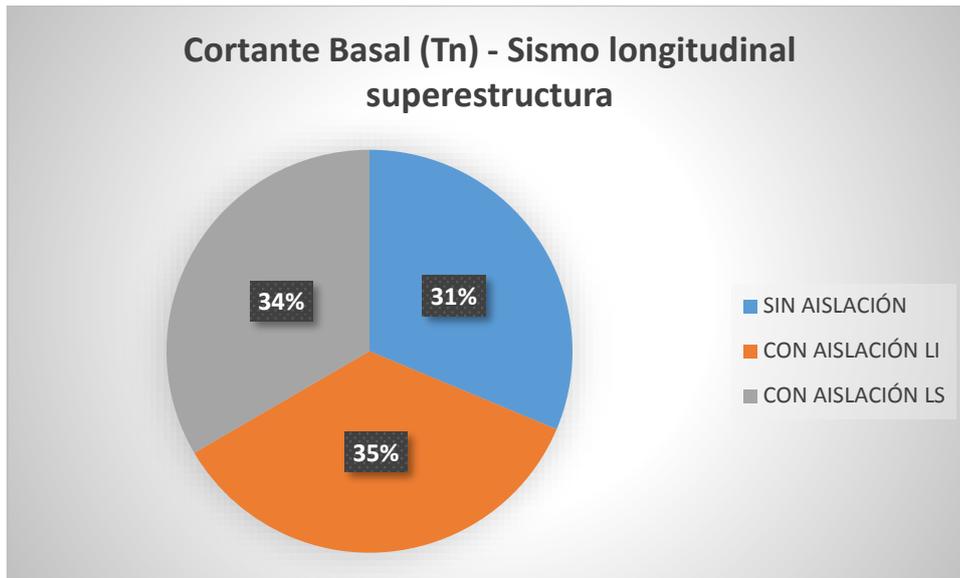


Figura 30 Comparación de desplazamientos del puente, aplicando un sismo longitudinal en la superestructura.

Fuente: Elaboración propia.

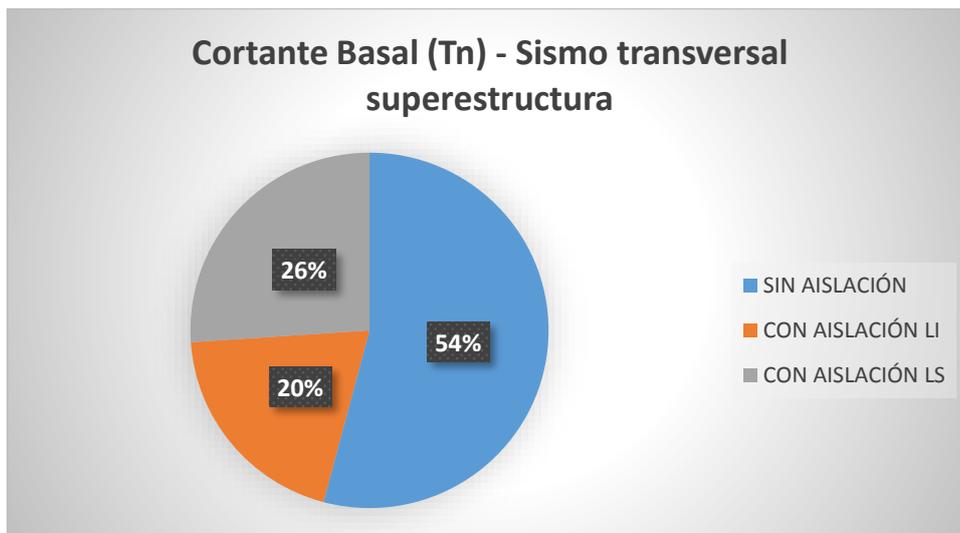


Figura 31 Comparación de desplazamientos del puente, aplicando un sismo transversal en la superestructura.

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

- En la tabla y gráficos de resultados, se muestran que la subestructura y superestructura obtuvieron desplazamientos, producto del análisis espectral multimodal. Se puede

apreciar, que se obtuvieron resultados positivos con la hipótesis planteada, es decir se mostró que la reducción de desplazamientos obtenidos con la aislación es notoria a comparación de los desplazamientos obtenidos con el puente en su situación actual. Se debe de recalcar que para la subestructura cumple con lo previamente descrito, caso contrario ocurre con la superestructura, pues los desplazamientos aumentaron, esto debido a que la aislación se presenta en la unión de estas dos partes, liberando la mayor cantidad de energía en la superestructura. Del mismo modo, se observa que no tiene mayor influencia en que el aislador posea un límite superior o inferior, debido a que los resultados no varían notoriamente.

Determinar el comportamiento sísmico del puente 7 tipo viga losa con el empleo de aisladores sísmicos del proyecto línea amarilla, Rímac

Tabla 41 Resultados de comportamiento sísmico

DESCRIPCIÓN		No Aislado	Aislación LI	Aislación LS	Comparación
Sismo Longitudinal	Fuerza axial (Tn)	34.68	0.13	0.13	63%
	Cortante Basal (Tn)	91.25	44.41	42.66	
	Momento en la base (Tn-m)	785.25	384.27	365.23	
	Desplazamiento subestructura(m)	0.0396	0.0286	0.0286	
	Desplazamiento superestructura(m)	0.0345	0.0388	0.0368	
Sismo Transversal	Fuerza axial (Tn)	259.65	152.93	215.85	41%
	Cortante Basal (Tn)	118.65	61.72	80.25	
	Momento en la base (Tn-m)	489.86	262.96	359.24	
	Desplazamiento subestructura(m)	0.0376	0.1003	0.0619	
	Desplazamiento superestructura(m)	0.0432	0.0158	0.0208	

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

Al finalizar la investigación, podemos ver que los resultados finales, lograron demostrar que los puentes con aislación sísmica resultan tener un mejor comportamiento sísmico que los puentes con una estructura normal. Es decir

actualmente el puente en evaluación, cuenta con apoyos elastoméricos los cuales también son denominados como aisladores de baja amortiguación. Otra de las grandes diferencias, es que los aisladores con núcleo de plomo cuentan con un mayor tiempo de vida, esto debido a que, al momento de interactuar con un sismo, el núcleo se fluye sin ningún problema y cuando el sismo pasa, el núcleo de plomo se recristaliza.

Del mismo modo, se puede observar que la absorción de energía que cada uno de los elementos posee, van desde el 63% para sismos longitudinales y 43% para sismos transversales, esto debido a que el área a aislar en un sismo en esta dirección es menor y esto hace algo más complicada la aislación. Por otro lado, los aisladores de límite inferior, aporta una mayor amortiguación y por lo tanto aporta un mejor comportamiento.

IV. DISCUSIÓN

Calcular la reducción de esfuerzos con el uso de aisladores sísmicos en el puente viaducto 7 de proyecto línea amarilla, Rímac

Tabla 42 Comparación de resultados de esfuerzos con el método multimodal

	PUENTE 07		
	NO AISLADO	AISLACIÓN LI	AISLACIÓN LS
Sismo Longitudinal			
Fuerza axial (Tn)	34.68	0.13	0.13
Cortante Basal (Tn)	91.25	44.41	42.66
Momento en la base (Tn-m)	785.25	384.27	365.23
Sismo Transversal			
Fuerza axial (Tn)	259.65	152.93	215.85
Cortante basal (Tn)	118.65	61.72	80.25
Momento en la base (Tn-m)	489.86	262.96	359.24

Fuente: Elaboración propia

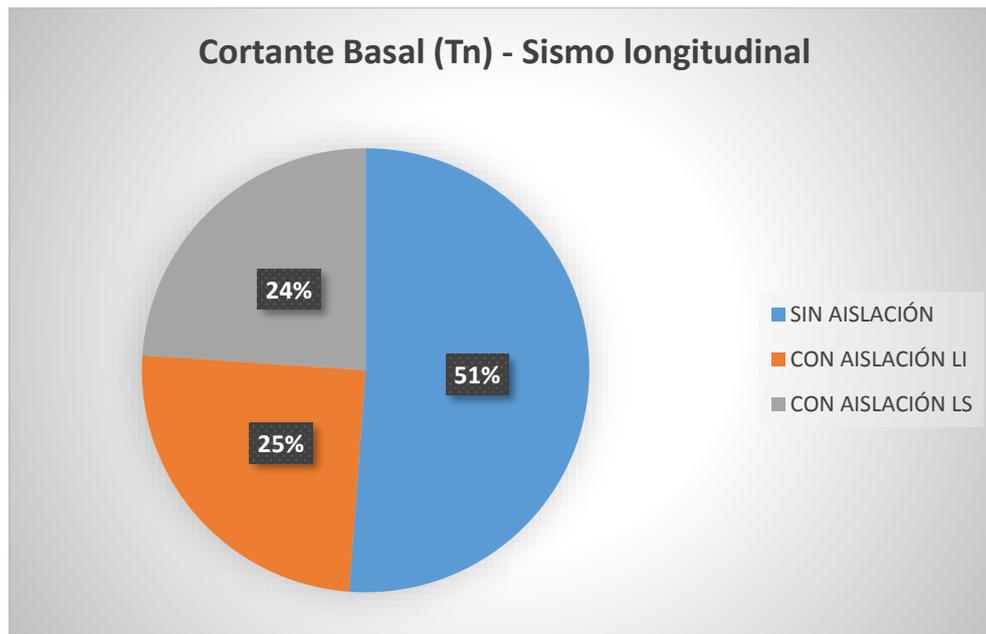


Figura 32 Gráfico de comparación entre el puente, aplicando un sismo longitudinal.

Fuente: Elaboración propia.

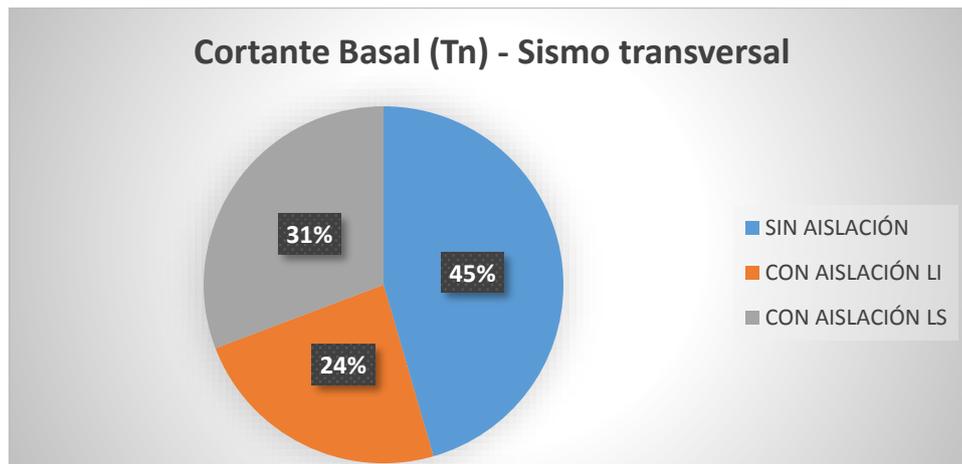


Figura 33 Comparación entre el puente, aplicando un sismo transversal.

Fuente: Elaboración propia.

Al respecto (Minchán, 2016, pag.156) citado como antecedente nacional, da como resultado que las fuerzas internas se reducen en un 50% aproximadamente, tanto para aisladores inferiores y superiores. Así mismo, muestra que el efecto se aplica tanto como para un sismo longitudinal, como para un sismo transversal, muestra de esto es la cortante basal que presenta uno de los modelos que plantea el autor; mostrando que la estructura recibe 112.42 Tn sin el empleo de aisladores, mientras que con el empleo de aisladores recibe solo 53.83 Tn.

Asimismo (León, 2016, pag.80) citado como antecedente internacional, nos muestra que un puente con el uso de aisladores sísmicos, reduce hasta en un 92% los esfuerzos provocados por un sismo. Un ejemplo de ello, es cuando muestra que el puente motivo de estudio, muestra valores de 35.45 kN sin el uso de aisladores, mientras que el puente que posee aisladores sísmicos, da como resultado 0.32 kN. Demostrando así la amplia disminución de los esfuerzos.

Como se puede observar, los resultados en los antecedentes antes mencionados, son tan igual como los resultados obtenidos en el presente estudio; por consiguiente se concluye que el objetivo fue logrado.

Analizar los periodos que presenta el puente viaducto 7 con el uso de aisladores sísmicos en el proyecto línea amarilla, Rímac

Tabla 43 *Comparación de frecuencias, periodo y amortiguación*

Descripción	Puente 7		
	NO AISLADO	LI	LS
Periodo (s)	0.7263	1.1989	0.7950
Frecuencia (Hz)	1.6236	0.9574	1.4692
Amortiguamiento	5%	27.41%	26.86%

Fuente: Elaboración propia.

Al respecto (Melchor, 2016, pag.49) citado como antecedente nacional, da como resultado que el desplazamiento sufrido por los modelos de puentes utilizados por el autor, muestran que el periodo resultante de los puentes con el uso de aisladores sísmicos es mayor al modelo que no cuenta con aisladores sísmicos. Del mismo modo, afirma que la frecuencia del sismo en el puente es menor que a la que normalmente recibe una estructura sin aislación.

Así mismo, (Vasquez, 2016, pag.64) citado como antecedente internacional, muestra como resultado que el periodo de vibración en puentes aislados, son menores, debido a que los aisladores sísmicos absorben gran parte de las vibraciones afectas a la estructura, reduciendo así el movimiento propio del puente. Otra de las observaciones realizadas en la investigación, es que mientras mayor sea las cargas sometidas a la estructura, mayor será el periodo y por defecto la frecuencia se reducirá.

Como se puede observar, los resultados en los antecedentes antes mencionados, son tan igual como los resultados obtenidos en el presente estudio; por consecuente se concluye que el objetivo fue logrado.

Evaluar en cuánto reducen los desplazamientos con el uso de aisladores sísmicos en el puente viaducto 7 del proyecto línea amarilla

Tabla 44 Comparación desplazamientos aislado y no aislado, empleando el método multimodal

Descripción	Puente 7		
	NO AISLADO	AISLACIÓN LI	AISLACIÓN LS
Sismo longitudinal			
Desplazamiento en la viga cabezal (m)	0.0396	0.0286	0.0286
Desplazamiento en la losa (m)	0.0345	0.0388	0.0368
Sismo Transversal			
Desplazamiento en la viga cabezal (m)	0.0376	0.1003	0.0619
Desplazamiento en la losa (m)	0.0432	0.0158	0.0208

Fuente: Elaboración propia.

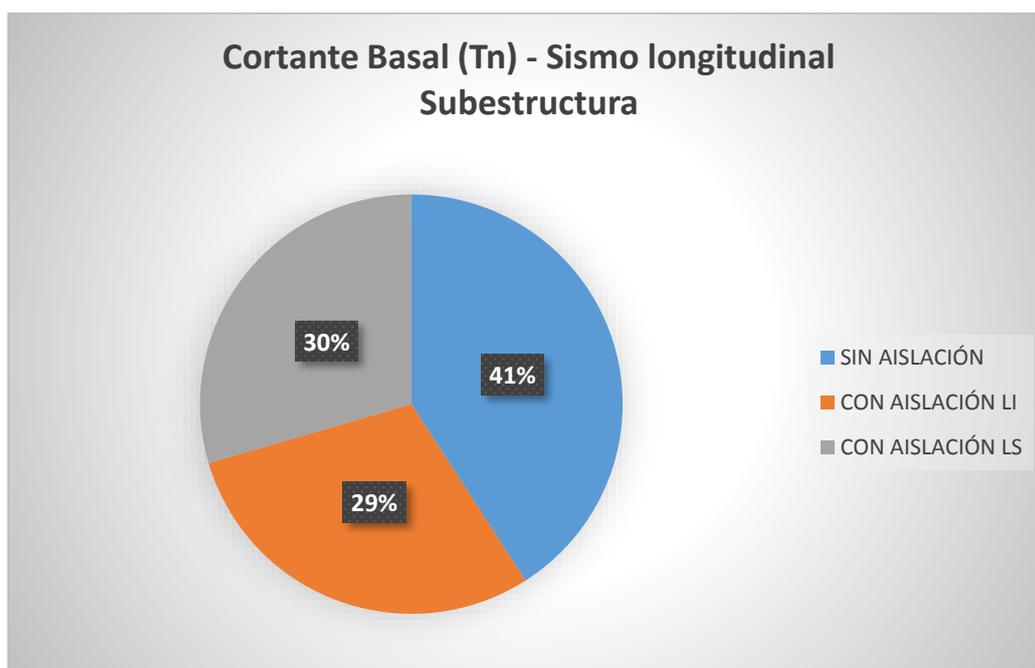


Figura 34 Comparación de desplazamientos del puente sin y con aislación.

Fuente: Elaboración propia.

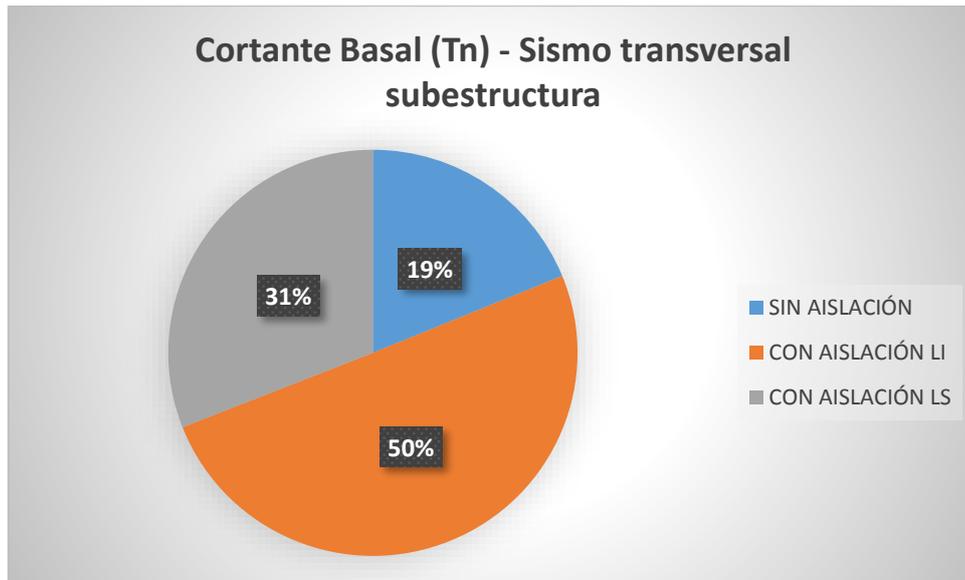


Figura 35 Comparación de desplazamientos del puente, aplicando un sismo transversal en la subestructura.

Fuente: Elaboración propia.

Al respecto (Melchor, 2016, pag.71) citado como antecedente nacional, da como resultado que los desplazamientos obtenidos en el puente aislado son menores considerablemente a comparación con los que no cuentan con aisladores, estos resultados fueron evaluados en los pilares y estribos. En el estudio, se observó que el puente aislado muestra un desplazamiento de 0.050 cm, mientras que en el puente no aislado, mostró un desplazamiento de 0.045 cm. Así mismo da como conclusión que los desplazamientos se disipan a manera de calor en los aisladores sísmicos.

Así mismo, (Argüello, 2015, pag.79) citado como antecedente internacional, muestra como resultado que el desplazamiento en un puente aislado resulta menor tanto para sismos transversales como longitudinales, demostrando así que los aisladores aportan una conexión muy flexible en la interface superestructura y la subestructura. El autor en sus resultados obtiene un desplazamiento en el puente aislado de 0.20, mientras que en los no aislados presentan un valor de 1.69, mostrando así que el desplazamiento se reduce en más del 70%.

Como se puede observar, los resultados en los antecedentes antes mencionados, son tan igual como los resultados obtenidos en el presente estudio; por consecuente se concluye que el objetivo fue logrado.

Determinar el comportamiento sísmico del puente 7 tipo viga losa con el empleo de aisladores sísmicos del proyecto línea amarilla, Rímac

Tabla 45 Resultados de comportamiento sísmico

DESCRIPCIÓN		No Aislado	Aislación LI	Aislación LS	Comparación
Sismo Longitudinal	Fuerza axial (Tn)	34.68	0.13	0.13	63%
	Cortante Basal (Tn)	91.25	44.41	42.66	
	Momento en la base (Tn-m)	785.25	384.27	365.23	
	Desplazamiento subestructura(m)	0.0396	0.0286	0.0286	
	Desplazamiento superestructura(m)	0.0345	0.0388	0.0368	
Sismo Transversal	Fuerza axial (Tn)	259.65	152.93	215.85	41%
	Cortante Basal (Tn)	118.65	61.72	80.25	
	Momento en la base (Tn-m)	489.86	262.96	359.24	
	Desplazamiento subestructura(m)	0.0376	0.1003	0.0619	
	Desplazamiento superestructura(m)	0.0432	0.0158	0.0208	

Fuente: Elaboración propia

Al respecto (Minchán, 2016, pag. 180) citado como antecedente nacional, muestra que el comportamiento sísmico aplicado a un puente de 120 m de luz, tiene un mejor comportamiento al momento de afrontar un sismo, ya que los aisladores reducen en un 54% los desplazamientos y el cortante basal. Demostrando así que el comportamiento en un puente aislado es mejor en más del 50% que un puente que cuente con los apoyos tradicionales. Del mismo modo, Minchán hace un análisis usando el método Tiempo-Historia, en el cual recopila información de sismo predecesores y hace un análisis más exacto, en el cual demostró que los aisladores con núcleo de plomo, son la mejor opción para la protección sísmica de puentes.

Del mismo modo (Vasquez, 2016, pag. 108) citado como antecedente internacional, mostró que el comportamiento sísmico de un puente con aisladores, tendrá un mejor comportamiento a comparación de puentes que no cuenten ningún tipo de apoyo, ya que comprueba que un puente correctamente aislado, puede llegar a disipar hasta el

70% de la energía proveniente de un movimiento telúrico, para esto hay factores que se tiene que tener en cuenta, como la ubicación del puente, topografía, clima y recurrencia de eventos sísmicos.

Así como se puede describir previamente, los autores llegaron a la misma conclusión a la que se llegó en la presente investigación. Ellos probaron que los aisladores aportan un mejor comportamiento sísmico en estructuras como puentes, ya que gracias a la misma forma estructural, colabora con la fácil ubicación de los aisladores, debido a que facilita el trabajo de los aisladores, disipando toda la energía que va ascendiendo desde las zapatas y pilares, llegando hasta la viga y losa del puente.

V. CONCLUSIONES

- Se pudo demostrar que las fuerzas halladas en la comparación de los puentes, fueron en más de un 50 %, tanto para aisladores en límite inferior y en el límite superior, mostrando que el cortante basal producto del sismo, fue reducida de gran manera. Así mismo, se demuestra que la hipótesis fue verdadera, ya que se comprueba que las fuerzas que someten a un puente con aisladores sísmicos fueron reducidas gracias al empleo de estos elementos.
- El análisis del puente, concluye que los resultados obtenidos en el puente sometido a cargas sísmicas, mostrando que los puentes con el empleo de aisladores sísmicos de límite inferior amplían el periodo de vibración y reduce la frecuencia de oscilación; mientras que con el uso de aisladores sísmicos de límite superior, se muestra ligeramente mayor y menor en el periodo y frecuencia respectivamente.
- La presente investigación concluye que la subestructura y superestructura obtuvieron desplazamientos, producto del análisis espectral multimodal. Se puede apreciar, que se obtuvieron resultados positivos con la hipótesis planteada, es decir se mostró que la reducción de desplazamientos obtenidos con la aislación es notoria a comparación de los desplazamientos obtenidos con el puente en su situación actual. Se debe de recalcar que para la subestructura cumple con lo previamente descrito, caso contrario ocurre con la superestructura, pues los desplazamientos aumentaron, esto debido a que la aislación se presenta en la unión de estas dos partes, liberando la mayor cantidad de energía en la superestructura. Del mismo modo, se observa que no tiene mayor influencia en que el aislador posea un límite.
- Después de realizar los análisis en los diferentes factores que influyen dentro del comportamiento sísmico, se comprobó que el comportamiento de la estructura frente a un movimiento telúrico, será mejor cuando esté aislada sísmicamente con el uso de aisladores con núcleo de plomo, que con el uso de apoyos elastoméricos. Determinando que en porcentaje, los aisladores disipan en un 63% para sismos longitudinales y en un 41% para sismos transversales, esta diferencia se debe a que

el área aislada transversalmente es menor a la longitudinal. En otras palabras, el sismo transversalmente, es de mayor impacto que el longitudinal.

VI. RECOMENDACIONES

- Después del estudio realizado, se recomienda el uso de aisladores en puentes de concreto armado, de tipo viga losa. Esto debido a que los desplazamientos son reducidos tanto longitudinales como transversales, a comparación de un puente con una unión monolítica.
- Para un correcto modelamiento en CSI BRIDGE, se debe tener en cuenta, los requisitos y limitaciones de la Norma Peruana E.030 Diseño Sismorresistente, para poder interpretar los resultados que nos proporciona el programa.
- Se recomienda el uso de aisladores con núcleo de plomo, pues estos dan un mejor aporte a los puentes, a comparación de los demás aisladores, debido a que el de baja amortiguación no posee el mismo tiempo de vida útil que el aislador motivo de estudio.
- Se recomienda tener en cuenta los valores brindados por los reglamentos, pero para el caso de puentes, es recomendable el uso de la norma AASHTO LRFD, ya que es más completa y se basa en años de experiencia internacional, esta norma ya cuenta con valores y fórmulas establecidas para el uso de los mismos ante cualquier escenario.

REFERENCIAS

ABAZZA, Hussein y RODGERS, Charner. 5th Annual International Conference on Architecture and Civil Engineering (ACE 2017). A Multi-Disciplinary Approach to Understand Icy Conditions Over Bridges.[en línea]. 2017, n°27. [Fecha de consulta: 27 de mayo del 2019]. Disponible en <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=11&sid=b849de17-1770-4c26-8591-19b222757e9d%40sdc-v-sessmgr03&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=123136467&db=egs>.
ISSN: 2301-394X.

ABURTO Calderón, Pilar. Análisis de la vulnerabilidad sísmica del puente Pedro de Valdivia – Chile. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Valdivia: Universidad Austral de Chile, Escuela de Ingeniería Civil, 2013. 209 p.

ACEVEDO Laos, Víctor. Diseño de un puente con estructura de acero. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, 2015. 107p.

ALEJANDRO Danna, Javier. Caracterización y evaluación de la Vulnerabilidad sísmica de puentes. Tesis (Doctor en ingeniería). Argentina: Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, 2017. 265 p.

ALMERICH Chulia, Ana. Diseño, según estados límites, de estructuras de hormigón armado con redondos de fibra de vidrio GFRP. Tesis (Docto en Ingeniería Civil). Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras, 2010. 261p.

ARELLANO Meza, Eduardo. Análisis, diseño y comparación estructural y económica de puentes en concreto presforzado con sistemas de aislamiento sísmico. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Facultad de Ingeniería, 2008. 161p.

ARGÜELLO Ordóñez, Felipe. Diseño de apoyos para puentes de acuerdo a la Especificación AASHTO LRFD 6ta Edición. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Quito: Universidad San Francisco de Quito, Colegio Ciencias e Ingenierías, 2015. 120 p.

BAXTER, Daniel y STIPPELMANS, Krista. Bridge Rescue. Winona span latest to benefit from I-35W legislation. [en línea]. Mayo 2017, n°5. [Fecha de consulta: 27 de mayo del 2019]. Disponible en <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=5&sid=b849de17-1770-4c26-8591-19b222757e9d%40sdc-v-sessmgr03&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=122852285&db=a9h>.
ISSN: 8750-9229.

BLINE, Michael y KENT, Daniel. Roads & Bridges. Getting on program: County bridge management in Ohio boosts safety. [en línea]. Mayo 2017, n°5. [Fecha de consulta: 27 de mayo del 2019].

Disponible en <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=3&sid=b849de17-1770-4c26-8591-19b222757e9d%40sdc-v-sessmgr03&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbG12ZQ%3d%3d#AN=122852284&db=egs>.

ISSN: 8750-9229.

CHUNG, Man. International Bridges. Long Standing. [en línea]. Setiembre 2014, n°5. [Fecha de consulta: 25 de mayo del 2019].

Disponible en <http://eds.a.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=30&sid=f32b0278-fa6c-45b6-8060-5b073c146cd2%40sessionmgr4008>.

ISSN: 126863757.

Canadian Consulting Engineer. St. Croix River Crossing [en línea]. 2018, n°6. [Fecha de consulta: 25 de mayo de 2019].

Disponible en <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=2&sid=72c9fa05-4350-4f0a-84d48769789e253%40sessionmgr4006&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbG12ZQ%3d%3d#AN=133127749&db=egs>.

ISSN: 0008-3267

CARMONA, Pedro y ROSAS Fetta, JESUS. Análisis Comparativo del Comportamiento Sísmico Dinámico del diseño normativo sismo-resistente de un sistema dual frente. Lima : s.n., 2015.

CARRERA Ortiz, Darwin. Análisis sísmico y modelamiento de la prueba de carga del puente sur de esmeraldas. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Sangolquí: Escuela Politécnica del Ejercito, Carrera de Ingeniería Civil, 2011. 127p.

CARRILLO Robles, Cecilia. Análisis comparativo de diferentes aisladores sísmicos para edificaciones esenciales con fines de reducción de daños — Hospital de llave, Puno 2017. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, 2017. 137p.

COLLINS, William y MAGUIRE Marc. Concrete International. Toward Improving Concrete in Developing Countries. [en línea]. Agosto 2013, n°8. [Fecha de consulta 26 de mayo del 2019].

Disponible en <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=36&sid=f32b0278-fa6c-45b6-8060-5b073c146cd2%40sessionmgr4008&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=89575316&db=iih>.

ISSN: 0162-4075.

CRESENZI, Brian. The New NY Bridge Construction. Concrete production, testing, and evaluation. Setiembre 2019 n°5. [Fecha de consulta 28 de mayo 2019].

Disponible en <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=22&sid=b849de17-1770-4c26-8591-19b222757e9d%40sdc-v-sessmgr03&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=135659526&db=iih>.

ISSN: 0162-4075.

DELGADO Alarcón, Ronal. Comparación técnico económico entre el uso de aisladores elastoméricos y placas de concreto armado en una edificación de 8 pisos. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, 2017. 237p.

DÍAZ, José y HAACH, Vladimir. Bridge Structures. Numerical study of a new construction sequence for railway viaducts utilizing a movable scaffolding system. [en línea]. 2017, n°1. [Fecha de consulta: 27 de mayo del 2019].

Disponible en <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=7&sid=b849de17-1770-4c26-8591-19b222757e9d%40sdc-v-sessmgr03&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=124429088&db=iih>.

ISSN: 1573-2487.

DI PACE, Guillermo, EBENSPERGER, Luis, TORRENT, Roberto y BUENO, Veronica. Concrete International. From Cradle to Maturity: A holistic service-life approach for concrete bridges. Abril 2019, n°8. [Fecha de consulta: 27 de mayo del 2019].

Disponible en <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=22&sid=b849de17-1770-4c26-8591-19b222757e9d%40sdc-v-sessmgr03&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=135659526&db=iih>.

ISSN: 0162-4075.

GUTIERREZ, Christoopher, VALDÉS, Jesús y GONZALES Carlos. Construction Technology. Dyna Ingeniería e Industria [en línea]. Noviembre-diciembre 2016, n.º 122868899. [Fecha de consulta: 23 de mayo de 2019].

Disponible en <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=4&sid=f32b0278-fa6c-45b6-8060-5b073c146cd2%40sessionmgr4008&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=122868899&db=fua>

ISSN: 0012-7361

HARMSSEN, Teodoro E. Diseño de estructuras de concreto armado. 4a ed. Lima: Fondo Editorial Pontificia Universidad Católica del Perú, 2005. 689pp. ISBN: 9972427307

HERNANDEZ SAMPIERI, Roberto, FERNANDEZ COLLADO, Carlos y BAPTISTA LUCIO, María del Pilar. Metodología de la Investigación. 5ª ed. México D.F.: McGRAW-Hill/ Interamericana Editores, S.A. 2010. 613pp. ISBN: 978-6071502919

IZAGUIRRE Corona, Ariel. Sistema de aisladores sísmicos de base para edificios. Tesis (Título de Ingeniero Civil). México: Instituto Politécnico Nacional, Escuela superior de ingeniería y arquitectura, 2007. 124p.

KAMAITIS, Zenonas. Influence of functionally obsolete bridges on the efficiency of road network. Part ii: case studies. The baltic journal of road and bridge engineering [en línea]. 2013, n.º. [Fecha de consulta: 23 de mayo de 2019].

Disponible en <http://eds.a.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=9&sid=f32b0278-fa6c-45b6-8060-5b073c146cd2%40sessionmgr4008>.

ISSN: 1822-427X

LEON Joya, Laura. Disipadores y aisladores sísmicos, modelos de puente vehicular con disipador y sin disipador de energía, comparación de la respuesta sísmica. Tesis (título de Ingeniero Civil). Bogotá: Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería, 2016. 98 p.

LI, Yan, ZHANG, Liangliang y ANTIPASHI. Engineering Science and Technology Review. Study on the Spatial Stress of the Chongqing Yangtze River Bridge in China. [en línea]. Mayo – Setiembre 2014, n.º4. [Fecha de consulta: 25 de mayo del 2019].

Disponible en <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=33&sid=f32b0278-fa6c-45b6-80605b073c146cd2%40sessionmgr4008&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=edsbas.3CC53B32&db=edsbas>.

ISSN: 3CC53B32.

LUNA, Christopher, GONZALES, Jesús y GONZALES, Carlos. Evaluation of the seismic isolation capacity of conventional bridge rubber bearings. Estudios Públicos [en línea]. Dura 2016, n.o 68 [Fecha de consulta: 21 de Noviembre de 2016]. Disponible en <http://dx.doi.org/10.6036/8034>.

MELCHOR Placencia, Carlos. Influencia de los apoyos elastoméricos en la respuesta sísmica de puentes. Tesis (Título profesional de ingeniería civil). Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, 2016. 152 p.

MELLON, Dorie. Accelerated Bridge Construction. Seismic effect. [en línea]. Mayo 2018, n.º5. [Fecha de consulta: 27 de mayo del 2019].

Disponible en <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=16&sid=b849de17-1770-4c26-8591-19b222757e9d%40sdc-v-sessmgr03&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=129494220&db=a9h>.

ISSN: 8750-9229.

MINCHÁN Pajares, Manuel. Comparación de la respuesta sísmica de puentes Viga-Losa, con y sin aisladores sísmicos, en Cajamarca. Tesis (Maestría en Ciencias). Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca, Escuela de postgrado, 2016. 184 p.7

MINISTERIO DE OBRA PÚBLICA, TRANSPORTES Y MEDIO AMBIENTE (ESPAÑA). Nota técnica sobre aparatos de apoyo para puentes de carretera. Director General de Carretera. Madrid, España, 1995. 45p.

PARSONS, Jim. ENR: Engineering News-Record. Key Bridge Replacement Spans Several Obstacles. [en línea]. Diciembre 2017 – enero 2018 , n°24. [Fecha de consulta: 25 de mayo del 2019].

Disponible en <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=29&sid=f32b0278-fa6c-45b6-8060-b073c146cd2%40sessionmgr4008&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=126863757&db=bth>.

ISSN: 0891-9526.

PERALTA Núñez, Leonel. Evaluación de la rotación sísmica del tablero en puentes rectos e influencia del travesaño. Tesis (Título de ingeniero Civil). Chile: Pontificia Universidad Católica De Chile, Escuela de Ingeniería, 2018. 168 p.

Study on the Spatial Stress of the Chongqing Yangtze River Bridge in China. Yan Li, Liangliang Zhang, Antipasli. 2014. 4, China : Journal of Engineering Science & Technology, 2014, Vol. 7. 1791-2377.

SAYENGA, Don. Historical paper. United by wire: the men who built the Brooklyn Bridge. Abril 2019, n°4. [Fecha de consulta: 27 de mayo del 2019].

Disponible en <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=20&sid=b849de17-1770-4c26-8591-19b222757e9d%40sdc-v-sessmgr03&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=136078930&db=egs>.

ISSN: 0277-4275.

SPEED, Vicki. ENR: Engineering News-Record. Spans of Innovation: Design and construction advancements push the boundaries of conventional practice. [en línea]. Diciembre del 2018, n°2. [Fecha de consulta: 27 de mayo del 2019].

Disponible en <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=9&sid=b849de17-1770-4c26-8591-19b222757e9d%40sdc-v-sessmgr03&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=133429461&db=egs>.

ISSN: 0891-9526.

STABILE, Tom. Best Projects. New Goethals Bridge Took Direct Aim at Its Hurdles. [en línea]. Septiembre – Octubre 2018, n°26. [Fecha de consulta: 27 de mayo del 2019].

Disponible en <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=14&sid=b849de17-1770-4c26-8591-19b222757e9d%40sdc-v-sessmgr03&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=132128436&db=bth>.

Disponible en <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=14&sid=b849de17-1770-4c26-8591-19b222757e9d%40sdc-v-sessmgr03&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=132128436&db=bth>.

Disponible en <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=14&sid=b849de17-1770-4c26-8591-19b222757e9d%40sdc-v-sessmgr03&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=132128436&db=bth>.

ISSN: 0891-9526.

SUELDO, Luis y Olórtiga, Marco. Diseño estructural de un puente de vigas postensadas que cruza el río Rímac en Zárate. Tesis (Ingeniero civil). Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú, facultad de ciencias e ingeniería, 2017. 110p.

VERGARA Navarrete, Cynthia. Estudio comparativo de aisladores sísmicos FPS de primera y segunda generación. Tesis (Magister en estructuras y ciencias de los materiales). Quito, Ecuador: Universidad Central de Ecuador, Facultad de ingeniería, ciencias físicas y matemática, 2016. 247p.

VÁSQUEZ Arenada, Luis. Efecto de la aislación sísmica mediante apoyos de neopreno en el puente bicentenario de concepción. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Chile: Universidad Católica de la Santísima Concepción, Facultad de Ingeniería, 2016. 142 p.

VERGARA Navarrete, Cynthia. Estudio comparativo de aisladores sísmicos FPS de primera y segunda generación. Tesis (Magister en estructuras y ciencias de los materiales). Quito: Universidad Central de Ecuador, Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática, 2015. 247p.

ZINK, Thomas y HORNER, Daniel. Accelerated Bridge Construction. In the shadow of the GWB. [en línea]. Septiembre 2018, n°9. [Fecha de consulta: 27 de mayo del 2019].

Disponible en <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=16&sid=b849de17-1770-4c26-8591-19b222757e9d%40sdc-v-sessmgr03&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=129494220&db=a9h>.

Disponible en <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=16&sid=b849de17-1770-4c26-8591-19b222757e9d%40sdc-v-sessmgr03&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=129494220&db=a9h>.

Disponible en <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=16&sid=b849de17-1770-4c26-8591-19b222757e9d%40sdc-v-sessmgr03&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=129494220&db=a9h>.

ISSN: 8750-9229.

ANEXOS

ANEXO 1: Matriz Operacional de Variables

Tabla 46 *Matriz Operacional de Variable independiente.*

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO
Aisladores Sísmicos	“Es una herramienta de alta tecnología que protege una estructura de los efectos destructivos de un sismo. El aislamiento sísmico separa la base de la edificación del suelo, permitiendo que se comporte de manera flexible ante los movimientos de la tierra.” (DETEK, 2018)	<ul style="list-style-type: none"> Tipo bajo amortiguamiento 	<ul style="list-style-type: none"> Rigidez elástica Deformación de fluencia Amortiguamiento 	<ul style="list-style-type: none"> Ficha técnica de aisladores sísmicos. LFRD AASHTO Manual de puentes
	DEFINICIÓN OPERACIONAL	<ul style="list-style-type: none"> Tipo núcleo de plomo 	<ul style="list-style-type: none"> Amortiguación. Núcleo de plomo Dimensiones 	<ul style="list-style-type: none"> Fichas y manuales de aisladores sísmicos.
	“...en un evento sísmico, proveen a la estructura la suficiente flexibilidad para diferenciar la mayor cantidad posible el periodo natural de la estructura con el periodo natural del sismo, evitando que se produzca resonancia, lo cual podría provocar daños severos o el colapso de la estructura” . (Tecnoav, 2013)	<ul style="list-style-type: none"> Tipo triple péndulo 	<ul style="list-style-type: none"> Espesor Estructura Material de fabricación 	<ul style="list-style-type: none"> LFRD AASHTO Ficha técnica de aisladores sísmicos.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 47 Matriz operacional de variable dependiente.

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
Comportamiento Sísmico	<p>“Las fuerzas a las que se ve sometido un edificio relacionan el peso de este con la aceleración que se produce en el terremoto. Los espectros son unas curvas que le permiten al ingeniero calcular esa fuerza sísmica”. (UCR, 2011)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Esfuerzos 	<ul style="list-style-type: none"> • Cargas verticales • Cargas muertas • Cargas móviles. 	<ul style="list-style-type: none"> • Planos y memorias de cálculos del puente. • Informes geotécnicos de la zona.
	<p>DEFINICIÓN OPERACIONAL</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Periodos 	<ul style="list-style-type: none"> • Carga sísmica • Desplazamientos • Zona de estudio 	<ul style="list-style-type: none"> • Planos y memorias de cálculos del puente. • Norma AASHTO LRFD.
	<p>“ La respuesta sísmica de los sistemas estructurales no es única, varía con el tiempo dependiendo de la aceleración del suelo y pueden ser dadas en función de los desplazamientos, velocidades y aceleraciones.” (Michan, 2016)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Desplazamientos 	<ul style="list-style-type: none"> • Empujes de viento • Carga sísmica • Cargas móviles 	<ul style="list-style-type: none"> • Ficha técnica de aisladores sísmicos • Datos proporcionados por proveedor de aisladores sísmicos.

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 2: Matriz de Consistencia

Tabla 48 Matriz de consistencia.

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES
<p>Problema general ¿Cuál es el comportamiento sísmico del puente 7 tipo viga losa con el empleo de aisladores sísmicos del proyecto línea amarilla, Rímac?</p> <p>Problemas específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo reduce los esfuerzos el uso de aisladores sísmicos en el puente viaducto 7 del proyecto línea amarilla, Rímac? • ¿Cuáles son los periodos que presenta el puente viaducto 7 con el uso de aisladores sísmicos en el proyecto línea amarilla, Rímac? • ¿Cuánto reducen los desplazamientos con el uso de aisladores sísmicos en el puente viaducto 7 del proyecto línea amarilla? 	<p>Objetivo general Determinar el comportamiento sísmico del puente 7 tipo viga losa con el empleo de aisladores sísmicos del proyecto línea amarilla, Rímac</p> <p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Calcular la reducción de esfuerzos con el uso de aisladores sísmicos en el puente viaducto 7 de proyecto línea amarilla, Rímac • Cuantificar los periodos que presenta el puente viaducto 7 con el uso de aisladores sísmicos en el proyecto línea amarilla, Rímac • Evaluar en cuánto reducen los desplazamientos con el uso de aisladores sísmicos en el puente viaducto 7 del proyecto línea amarilla 	<p>Hipótesis general Se mejorará el comportamiento sísmico del puente 7 tipo viga losa con el empleo de aisladores sísmicos del proyecto línea amarilla, Rímac</p> <p>Hipótesis específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los aisladores sísmicos reducen significativamente los esfuerzos en el puente 7 del proyecto línea amarilla, Rímac • Los periodos aumentan se reducen en el puente viaducto 7 con el uso de aisladores sísmicos en el proyecto línea amarilla, Rímac • Los desplazamiento reducen de gran magnitud con el uso de aisladores sísmicos en el puente viaducto 7 del proyecto línea amarilla. 	<p>Variable Independiente Aisladores Sísmicos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo bajo amortiguamiento • Tipo núcleo de plomo • Tipo triple péndulo
			<p>Variable Dependiente Comportamiento Sísmico</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Esfuerzos • Derivas • Desplazamientos

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 3: Fichas de evaluación

Fichas de recolección de datos

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	FACULTA DE INGENIERÍA	PROYECTO	LIMA NORTE	2018
	DE INVESTIGACIÓN			II

TÍTULO DE INVESTIGACIÓN: "RESPUESTA SÍSMICA DEL PUENTE 7 TIPO VIGA LOSA CON Y SIN AISLADORES SÍSMICOS DEL PROYECTO LÍNEA AMARILLA, RÍMAC"

AUTOR: DANIEL FERNANDO RIVERA PAJUERO

RESULTADOS DEL SOFTWARE SAP 2000

DISEÑO DE AISLADOR SÍSMICO		VALIDACIÓN	
DESCRIPCIÓN	VALORES	De Acuerdo - 1	No está de acuerdo - 0
Espesor			
Altura Total			
Ancho			
Módulo de corte de la goma			
Resistencia de fluencia del plomo			
Resistencia de fluencia de placas de acero			
Módulo volumétrico de la goma			
Número de aisladores LRB			

DESCRIPCIÓN	PUENTE VIGA LOSA				VALIDACIÓN	
	ESTÁTICO		PSEUDOESTÁTICO		De Acuerdo - 1	No está de acuerdo - 0
	ACTUAL	CON AISLADOR	ACTUAL	CON AISLADOR		
Periodo (s)						
Frecuencia (Hz)						
Amortiguamiento						
Deflexiones						
Sismo Longitudinal						
Deflexión máximo Pilares (m)						
Deflexión máximo Losa (m)						
Sismo Transversal						
Deflexión máximo Pilares (m)						
Deflexión máximo Losa (m)						
Desplazamientos						
Sismo Longitudinal						
Desplazamiento máximo Viga Cabezal (m)						
Desplazamiento máximo Losa (m)						
Sismo Transversal						
Desplazamiento máximo Viga Cabezal (m)						
Desplazamiento máximo Losa (m)						
Comparación de fuerzas internas						
Sismo Longitudinal						
Fuerza axial (Tn)						
Cortante Basal (Tn)						
Momento en la base (Tn-m)						
Sismo Transversal						
Fuerza axial (Tn)						
Cortante Basal (Tn)						
Momento en la base (Tn-m)						
Precio						
Cantidad						
Tiempo de mantenimiento						
Costo de mantenimiento						
TOTAL						0

OBSERVACIONES:

FIRMA _____

APELLIDOS Y NOMBRES:

CIP:

Validación de datos

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	FACULTA DE INGENIERÍA	INVESTIGACIÓN	PROYECTO DE	LIMA NORTE	2018 II

TÍTULO DE INVESTIGACIÓN: "RESPUESTA SÍSMICA DEL PUENTE 7 TIPO VIGA LOSA CON Y SIN AISLADORES SÍSMICOS DEL PROYECTO LÍNEA AMARILLA, RÍMAC"

AUTOR: DANIEL FERNANDO RIVERA PAJUELO

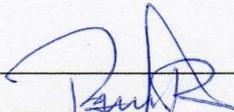
RESULTADOS DEL SOFTWARE SAP 2000

DISEÑO DE AISLADOR SÍSMICO		VALIDACIÓN	
DESCRIPCIÓN	VALORES	De Acuerdo - 1 está de acuerdo - 0	No
Espesor		1	
Altura Total		1	
Ancho		1	
Módulo de corte de la goma		1	
Resistencia de fluencia del plomo		1	
Resistencia de fluencia de placas de acero		1	
Módulo volumétrico de la goma		1	
Número de aisladores LRB		1	

DESCRIPCIÓN	PUENTE VIGA LOSA				VALIDACIÓN	
	ESTÁTICO		PSEUDOESTÁTICO		De Acuerdo - 1 está de acuerdo - 0	No
	ACTUAL	CON AISLADOR	ACTUAL	CON AISLADOR		
Periodo (s)					1	
Frecuencia (Hz)					1	
Amortiguamiento					1	
Deflexiones						
Sismo Longitudinal						
Deflexión máximo Pilares (m)					1	
Deflexión máximo Losa (m)					1	
Sismo Transversal						
Deflexión máximo Pilares (m)					1	
Deflexión máximo Losa (m)					1	
Desplazamientos						
Sismo Longitudinal						
Desplazamiento máximo Viga Cabezal (m)					1	
Desplazamiento máximo Losa (m)					1	
Sismo Transversal						
Desplazamiento máximo Viga Cabezal (m)					1	
Desplazamiento máximo Losa (m)					1	
Comparación de fuerzas Internas						
Sismo Longitudinal						
Fuerza axial (Tn)					1	
Cortante Basal (Tn)					1	
Momento en la base (Tn-m)					1	
Sismo Transversal						
Fuerza axial (Tn)					1	
Cortante Basal (Tn)					1	
Momento en la base (Tn-m)					1	
Precio					1	
Cantidad					1	
Tiempo de mantenimiento					1	
Costo de mantenimiento					1	
TOTAL						

OBSERVACIONES:

FIRMA



APELLIDOS Y NOMBRES:

Rivera Flores Pajuelo Daniel

CIP:

74616

TÍTULO DE INVESTIGACIÓN: "RESPUESTA SÍSMICA DEL PUENTE 7 TIPO VIGA LOSA CON Y SIN AISLADORES SÍSMICOS DEL PROYECTO LÍNEA AMARILLA, RÍMAC"

AUTOR: DANIEL FERNANDO RIVERA PAJUELO

RESULTADOS DEL SOFTWARE SAP 2000

DISEÑO DE AISLADOR SÍSMICO		VALIDACIÓN	
DESCRIPCIÓN	VALORES	De Acuerdo - 1	No está de acuerdo - 0
Espesor		1	
Altura Total		1	
Ancho		1	
Módulo de corte de la goma		1	
Resistencia de fluencia del plomo		1	
Resistencia de fluencia de placas de acero		1	
Módulo volumétrico de la goma		1	
Número de aisladores LRB		1	

DESCRIPCIÓN	PUENTE VIGA LOSA				VALIDACIÓN	
	ESTÁTICO		PSEUDOESTÁTICO		De Acuerdo - 1	No está de acuerdo - 0
	ACTUAL	CON AISLADOR	ACTUAL	CON AISLADOR		
Periodo (s)					1	
Frecuencia (Hz)					1	
Amortiguamiento					1	
Deflexiones						
Sismo Longitudinal						
Deflexión máximo Pilares (m)					1	
Deflexión máximo Losa (m)					1	
Sismo Transversal						
Deflexión máximo Pilares (m)					0	
Deflexión máximo Losa (m)					0	
Desplazamientos						
Sismo Longitudinal						
Desplazamiento máximo Viga Cabezal (m)					1	
Desplazamiento máximo Losa (m)					1	
Sismo Transversal						
Desplazamiento máximo Viga Cabezal (m)					0	
Desplazamiento máximo Losa (m)					0	
Comparación de fuerzas internas						
Sismo Longitudinal						
Fuerza axial (Tn)					1	
Cortante Basal (Tn)					1	
Momento en la base (Tn-m)					1	
Sismo Transversal						
Fuerza axial (Tn)					1	
Cortante Basal (Tn)					1	
Momento en la base (Tn-m)					1	
Precio					1	
Cantidad					1	
Tiempo de mantenimiento					1	
Costo de mantenimiento					1	
TOTAL					20	

OBSERVACIONES:

FIRMA



TÍTULO DE INVESTIGACIÓN: "RESPUESTA SÍSMICA DEL PUENTE 7 TIPO VIGA LOSA CON Y SIN AISLADORES SISMICOS DEL PROYECTO LÍNEA AMARILLA, RÍMAC"

AUTOR: DANIEL FERNANDO RIVERA PAJUELO

RESULTADOS DEL SOFTWARE SAP 2000

DISEÑO DE AISLADOR SÍSMICO		VALIDACIÓN	
DESCRIPCIÓN	VALORES	De Acuerdo - 1	No está de acuerdo - 0
Espesor		1	
Altura Total		1	
Ancho		1	
Módulo de corte de la goma		1	
Resistencia de fluencia del plomo		1	
Resistencia de fluencia de plazas de acero		1	
Módulo volumétrico de la goma		1	
Número de aisladores LRB		1	

DESCRIPCIÓN	PUENTE VIGA LOSA				VALIDACIÓN	
	ESTÁTICO		PSEUDOESTÁTICO		De Acuerdo - 1	No está de acuerdo - 0
	ACTUAL	CON AISLADOR	ACTUAL	CON AISLADOR		
Periodo (s)					1	
Frecuencia (Hz)					1	
Amortiguamiento					1	
Deflexiones						
Sismo Longitudinal						
Deflexión máximo Pilares (m)					1	
Deflexión máximo Losa (m)					1	
Sismo Transversal						
Deflexión máximo Pilares (m)					1	
Deflexión máximo Losa (m)					1	
Desplazamientos						
Sismo Longitudinal						
Desplazamiento máximo Viga Cabezal (m)					1	
Desplazamiento máximo Losa (m)					1	
Sismo Transversal						
Desplazamiento máximo Viga Cabezal (m)					1	
Desplazamiento máximo Losa (m)					1	
Comparación de fuerzas internas						
Sismo Longitudinal						
Fuerza axial (Tn)					1	
Cortante Basal (Tn)					1	
Momento en la base (Tn-m)					1	
Sismo Transversal						
Fuerza axial (Tn)					1	
Cortante Basal (Tn)					1	
Momento en la base (Tn-m)					1	
Precio					0	
Cantidad					0	
Tiempo de mantenimiento					0	
Costo de mantenimiento					0	
TOTAL					29	

OBSERVACIONES:

FIRMA 

ANEXO 3: Memorias de cálculo

UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO

Alumno:

Rivera Pajuelo, Daniel

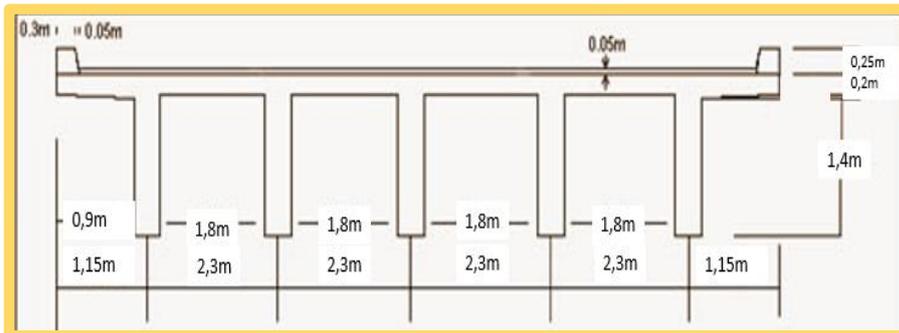
Puente Viga Losa Línea amarilla

Datos:

Long.	76.25 m		
vias:	2		
F'c:	280 Kg/cm ²	Yconcreto	2.4 ton/m
F'y:	4200 Kg/cm ²	Yasfalto	2.25 ton/m
carga	HL-93		
ancho de carril	3.6		
verda y bord.	0.35		

Predimensionamiento

# de vigas	4		
Ancho de viga	0.5 m		
Peralte de viga	5.30 m		
ancho de losa	7.9 m		
espesor de losa (e.)	0.2 m	min	
Separacion entre vigas (S)	1.975 m		1.8 m



Diseño de Losa

CARGAS

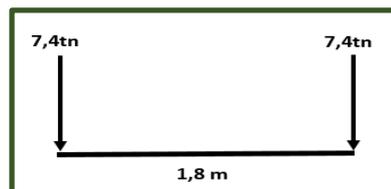
Carga Muerta

Peso de Losa	0.48
peso de asfalto	0.11
MDC	0.16
MDW	0.04

Carga Viva

$M=(S+0,6/9,7)*P$ 1.96 ton-m
 $P=$ 7.4 ton

FR= S/1,8	1.1
MLL=	2.16
MLL+M=	2.87
85%	2.44



Ancho de Franja

EM+= 660+0,55S	1746.25	1.75 m
EM-= 1220+0,25S	1713.75	1.71 m

Momento último

$$Mu = 1.25MDC + 1.5MDW + 1.75MLL + IM$$

MU + =	2.7
MU - =	2.76

Cálculo de Acero

H= 0,2m	recubrimient 4cm
d=20-4	0.16 m
b=	1 m

Para: M +

As:	5.38
a=	0.95

Φ 1/2" =	1.27 cm ²
#barras	5 '@ 20cm

$$AS = \frac{Mu}{0,9 * fy * (d - \frac{a}{2})}$$

$$a = \frac{As * fy}{0,85 * 280 * 100}$$

Para: M -

As:	5.76
a=	1.02

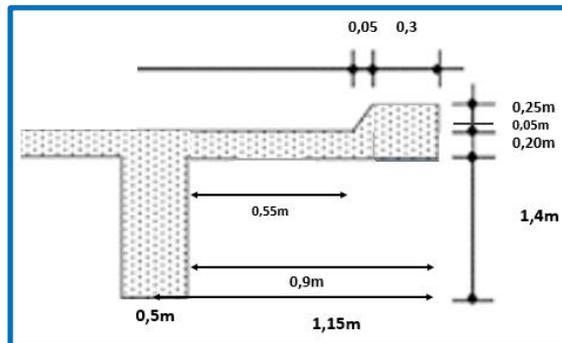
Φ 1/2" =	1.27 cm ²
#barras	5 '@ 20cm

Acero en voladizo

CARGAS

Carga Muerta

P. Losa	0.43
P. Bordillo	0.25
P. asfalto	0.06
MDC losa	0.19
MDC bord.	0.04
MDC=	0.23
MDW	0.02



Carga Viva

MLL=	2.04
MLL+IM =	2.71

ancho de Franja

Ey= 1140+0,833x		
Ey=	1140.23	1.14 m

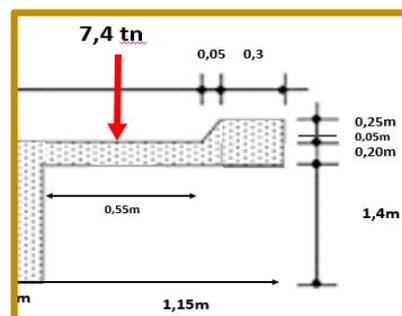
Carga Viva según ancho de franja

MLL+IM/Ey	
MLL+IM =	2.38 ton.m

momento ultimo

MU=	4.48 ton.m
As=	7.74 cm ²

Φ 1/2" =	1.27 cm ²
#barras	7 '@ 20cm



Acero de Temperatura

As= 0,002*100*	3.2	cm ²	Φ 1/2" =	1.27 cm ²
#barras	3 '@	33cm		

ANEXO 4: Procedimiento de modelado

PROCEDIEMIENTO DE MODELADO

SOFTWARE: CSI BRIDGE

Título: Comportamiento Sísmico Del Punte 7 Tipo Viga Losa Con Empleo De Aisladores Sísmicos Del Proyecto Línea Amarilla, Rímac 2018

