



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**“MEJORA DE LA RESPUESTA SÍSMICA DE PUENTES  
PEATONALES USANDO EL SISTEMA DUAL EN EL DISTRITO  
DE LOS OLIVOS, LIMA 2018”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**AUTOR:**

**APAZA GUTIERREZ ARNOLD JARED**

**ASESOR:**

**MG MARQUINA CALLACNA RODOLFO**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

**DISEÑO SÍSMICO Y ESTRUCTURAL**

**LIMA – PERÚ**

**2018-I**



**ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE  
TESIS**

Código : FO6-PP-PR-02.02  
Versión : 09  
Fecha : 23-03-2018  
Página : 1 de 1

El Jurado encargado de evaluar la tesis presentada por don(a): Apaza Gutierrez Arnold Jared  
cuyo título es:

**MEJORA DE LA RESPUESTA SÍSMICA DE PUENTES PEATONALES USANDO EL  
SISTEMA DUAL EN EL DISTRITO DE LOS OLIVOS, LIMA 2018"**

Reunido en la fecha, escuchó la sustentación y la resolución de preguntas por el estudiante,  
otorgándole el calificativo de: .....15..... (Número).....Quince..... (Letras).

Lima 06 de Julio del 2018

  
.....  
PRESIDENTE

  
.....  
SECRETARIO

  
.....  
VOCAL

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Responsable del SGC	Aprobó	Vicerrectorado de Investigación
---------	----------------------------	--------	---------------------	--------	---------------------------------

## **DEDICATORIA**

La presente investigación va dedicada a mis padres por su apoyo incondicional, por enseñarme principios y valores como amor, trabajo y confianza, a mis hermanos por brindarme esa compañía llena de alegrías y felicidad, a todas esas personas que confiaron en mi a pesar de todas las circunstancias adversas, por último y más importante a mi Dios por bendecirme y llenarme de fuerzas para ser mejor día a día.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis tíos Willy e Irma por su apoyo constante a mis padres, por ser mi mejor modelo a seguir y brindarme toda su confianza.

A los maestros y asesores que nos brindaron su tiempo y conocimientos y así para lograr nuestros objetivos.

Por último, a las instituciones que me han abierto las puertas y permitido cumplir con los requerimientos de la investigación.

## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, Arnold Jared, Apaza Gutierrez, con DNI: 75253113, estudiante de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad César Vallejo, con la tesis titulada "Mejora de la respuesta sísmica de puentes peatonales usando el sistema dual en el distrito de los olivos, lima 2018", declaro bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

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 de la Universidad César Vallejo.

Lima, 04 de Julio del 2018



Apaza Gutierrez, Arnold Jared

DNI 75253113

## **PRESENTACION**

Señores miembros del Jurado Calificador:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la Tesis titulada "Mejora de la respuesta sísmica de puentes peatonales usando el sistema dual en el distrito de los olivos, lima 2018", la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título Profesional de Ingeniero Civil.

Apaza Gutierrez, Arnold Jared

# ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1	Realidad problemática.....	1
1.2	Trabajos previos.....	3
1.2.1	Antecedentes nacionales.....	3
1.2.2	Antecedentes internacionales.....	4
1.3	Teorías relacionadas al tema.....	6
1.3.1	Tipología de puentes peatonales.....	6
1.3.2	Cargas aplicadas sobre puentes peatonales.....	6
1.3.3	Peligro sísmico en puentes urbanos.....	7
1.3.4	Sistema dual.....	7
1.3.5	Curva de capacidad.....	8
1.3.6	Método del análisis estático no lineal (pushover) .....	9
1.3.7	Resistencia lateral .....	9
1.3.8	Rigidez lateral.....	10
1.3.9	Desplazamiento maximo .....	11
1.3.10	Respuesta sísmica .....	11
1.3.11	Tipología estructural.....	11
1.3.12	Vulnerabilidad sísmica.....	12
1.4	Formulación del problema de investigación.....	13
1.4.1	Problema general: .....	13
1.4.2	Problema específico: .....	13
1.5	Justificación de estudio .....	13
1.5.1	Por lo social:.....	14
1.5.2	Por lo económico:.....	14
1.5.3	Por lo ambiental:.....	14
1.6	Objetivos de la investigación.....	15

1.6.1	Objetivo general:.....	15
1.6.2	Objetivos específicos:.....	15
1.7	Hipótesis dela investigación. ....	15
1.7.1	Hipótesis general. ....	15
1.7.2	Hipótesis específica:.....	15
II.	METODOLOGÍA .....	16
2.1	Diseño de la investigación .....	16
2.1.1	Enfoque de la investigación .....	16
2.1.2	Tipo de investigación .....	16
2.1.3	Método de investigación: .....	17
2.2	Variables y Operacionalización. ....	17
2.2.1	Identificación de las variables: .....	17
2.3	Población y muestra.....	18
2.3.1	Población.....	18
2.3.2	Muestra.....	18
2.4	Tecnicas e Instrumentos De Recoleccion De Datos .....	19
2.4.1	Instrumentación y validez de recolección de datos.....	19
2.4.2	Confiabilidad .....	20
2.5	Análisis de datos .....	20
2.6	Aspectos éticos .....	21
III.	RESULTADOS .....	22
3.1	Ubicación del primer puente peatonal estudiado: Puente Yanbal .....	22
3.2	Levantamiento de información .....	24
3.3	Sistematización de la información recopilada .....	24
3.4	Microzonificación símica de la zona .....	25
3.5	Definición de la demanda sísmica.....	26
3.6	Modelamiento de la estructura .....	28

3.7	Aplicación de cargas gravitacionales .....	29
3.8	Formas de modo de la estructura .....	30
3.9	Respuesta sísmica .....	32
3.10	Análisis Estático No lineal .....	35
3.11	Evaluación del espectro de capacidad.....	39
3.12	Evaluación del punto de desempeño .....	41
3.13	Propuesta de reforzamiento.....	42
3.14	Evaluación del Puente Peatonal Santa Luisa .....	47
3.14.1	Evaluación de las características del puente.....	47
3.14.2	Cargas gravitacionales.....	48
3.14.3	Secciones de los elementos estructurales .....	49
3.14.4	Análisis modal .....	50
3.15	Definición de la demanda sísmica .....	53
3.15.1	Análisis modal espectral.....	55
3.15.2	Análisis estático no lineal .....	58
3.15.3	Formación de rotulas plásticas.....	59
3.15.4	Propuesta de reforzamiento .....	62
IV.	DISCUSIONES.....	66
V.	CONCLUSIONES .....	68
VI.	RECOMENDACIONES .....	69
VII.	REFERENCIAS.....	70
VIII.	ANEXOS .....	74
8.1	MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN.....	75
8.2	Matriz de consistencia.....	76
8.3	GRAFICOS DE SAP2000 .....	77
8.4	Estudio de Suelos .....	80

8.5	Autorización de la versión final del trabajo (coordinación de investigación)	83
8.6	Acta de originalidad de la tesis (asesor).....	84
8.7	Autorización de publicación de tesis en el repositorio (alumno).....	85
8.8	Pantallazo del turnitin (docente).....	86

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Colapso de puentes debido a la acción sísmica. ....	2
Figura 1-2:	Estructura con base en columnas y muros estructurales, sistema dual, de acuerdo con la norma E030. ....	8
Figura 1-3:	Patrón de cargas laterales y curva de capacidad asociada. ....	9
Figura 1-4:	Pórticos de concreto armado y sistema dual en una edificación, <i>National Earthquake Hazards Reduction Program</i> (NHERP, 2013). ....	12
Figura 3-1:	Ubicación de la estructura bajo estudio. Fuente: Elaboración propia. ....	22
Figura 3-2:	Vista panorámica del puente peatonal bajo estudio. Fuente: Elaboración propia. ....	23
Figura 3-3:	Escalera izquierda y conexión típica a la viga. Fuente: Elaboración propia. ....	23
Figura 3-4:	Escalera derecha y conexión de columna a viga. Fuente: Elaboración propia. ....	23
Figura 3-5:	Características geométricas del puente estudiado. Fuente: Elaboración propia. ....	24
Figura 3-6:	Características de las secciones transversales encontradas en el puente bajo estudio. Fuente: Elaboración propia. ....	25

Figura 3-7: Microzonificación sísmica de los olivos y periodos característicos del suelo. Fuente: Centro Peruano-Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID). .....	26
Figura 3-8: Definición del espectro de demanda, de acuerdo con los lineamientos de la norma E030. Fuente: Elaboración propia. ....	28
Figura 3-9: Modelo tridimensional de puente peatonal °Yambal°, elaborado en ETABS v16. Fuente: Elaboración propia. ....	28
Figura 3-10: Secciones de los elementos estructurales presentes en el puente estudiado. Fuente: Elaboración propia. ....	29
Figura 3-11: Cargas muertas y vivas aplicadas en la estructura. Fuente: Elaboración propia. ....	29
Figura 3-12: Primera forma de modo de la estructura analizada $T=0.38$ s. Fuente: Elaboración propia. ....	30
Figura 3-13: Segunda forma de modo de la estructura analizada $T=0.29$ s. Fuente: Elaboración propia. ....	31
Figura 3-14: Segunda forma de modo de la estructura analizada $T=0.17$ s. Fuente: Elaboración propia. ....	31
Figura 3-15: Cuarta forma de modo de la estructura analizada $T=0.16$ s. Fuente: Elaboración propia. ....	31
Figura 3-16: Quinta forma de modo de la estructura analizada $T=0.15$ s. Fuente: Elaboración propia. ....	32
Figura 3-17: Sexta forma de modo de la estructura analizada $T=0.09$ s. Fuente: Elaboración propia. ....	32
Figura 3-18: Desplazamientos máximos en dirección x, 7mm, debidas al sismo en x. Fuente: Elaboración propia. ....	33

Figura 3-19: Desplazamientos máximos en dirección z ,1.83 cm, debidas al sismo en x. Fuente: Elaboración propia.....	33
Figura 3-20: Desplazamientos máximos en dirección y, 1.98 cm debidas al sismo en y. Fuente: Elaboración propia.....	34
Figura 3-21: Desplazamientos máximos en dirección z (1.45 cm) ; y(4.52cm), debidas al sismo en y. Fuente: Elaboración propia. ....	34
Figura 3-22: Modelo de la sección transversal de la viga usada en el puente analizado. Fuente: Elaboración propia. ....	35
Figura 3-23: Diagrama momento curvatura de la viga del puente. Fuente: Elaboración propia. ....	35
Figura 3-24: Distribución de esfuerzos normales en la sección de la viga estudiada. Fuente: Elaboración propia. ....	36
Figura 3-25: Modelo de la sección transversal de la columna de puente analizado. Fuente: Elaboración propia. ....	37
Figura 3-26: Diagrama momento curvatura de la viga del puente. Fuente: Elaboración propia. ....	37
Figura 3-27: Diagrama de deformaciones axiales presentes en la columna. Fuente: Elaboración propia. ....	38
Figura 3-28: Determinación del espectro de capacidad del puente estudiado. Fuente: Elaboración propia. ....	39
Figura 3-29: Desarrollo de rotulas plásticas en la estructura estudiada. Fuente: Elaboración propia. ....	40
Figura 3-30: Determinación del punto de desempeño de la estructura estudiada. Fuente: Elaboración propia. ....	41

Figura 3-31: Propuesta de reforzamiento de columnas existentes. Fuente: Elaboración propia. ....	42
Figura 3-32: Modelamiento de la propuesta de reforzamiento de columnas en puente estudiado. Fuente: Elaboración propia. ....	42
Figura 3-33: Diagrama momento curvatura de la sección analizada, alrededor del eje x, eje débil. Fuente: Elaboración propia.....	43
Figura 3-34: Diagrama momento curvatura de la sección analizada, alrededor del eje y, eje fuerte. Fuente: Elaboración propia.....	44
Figura 3-35: Curva de capacidad de la estructura reforzada. Fuente: Elaboración propia. ....	44
Figura 3-36: Determinación del punto de desempeño de la estructura reforzada, para un sismo con periodo de retorno de $T_r=475$ años. Fuente: Elaboración propia. ....	45
Figura 3-37: Determinación del punto de desempeño en ejes fuerza y desplazamiento de la estructura reforzada, para un sismo con periodo de retorno de $T_r=475$ años. Fuente: Elaboración propia. ....	45
Figura 3-38: Determinación del punto de desempeño en ejes fuerza y desplazamiento de la estructura reforzada, para un sismo con periodo de retorno de $T_r=2500$ años. Fuente: Elaboración propia. ....	46
Figura 3-39: Vista panorámica del puente Santa Luisa. Fuente: Elaboración propia. ....	47
Figura 3-40: Vista lateral del puente Santa Luisa. Fuente: Elaboración propia. ....	47
Figura 3-41: Cargas gravitacionales aplicadas al puente analizado.....	48
Figura 3-42: Columna circular de 60 cm de diámetro con varillas de 5/8 in y 3/8 in. Fuente: Elaboración propia. ....	49

Figura 3-43: Sección transversa de la viga-losa con varillas de ½ in. Fuente: Elaboración propia. ....	49
Figura 3-44: Primera (T1=0.86 s) y segunda (T2=0.49 s) formas de modo de la estructura del puente Santa Luisa. Fuente: Elaboración propia. ....	50
Figura 3-45: Tercera (T3= 0.44 s) y cuarta (T4=0.32 s) formas de modo de la estructura del puente Santa Luisa. Fuente: Elaboración propia. ....	51
Figura 3-46: Definición del espectro de demanda, de acuerdo con los lineamientos de la norma E030. Fuente: Elaboración propia. ....	54
Figura 3-47: Modelo de elementos finitos preparado para el análisis sísmico modal espectral. Fuente: Elaboración propia. ....	55
Figura 3-48: Desplazamiento lateral máximo medido en la estructura estudiada, de 5.38 cm. Fuente: Elaboración propia. ....	56
Figura 3-49: Desplazamiento vertical máximo de la viga, de 2.1 cm. Fuente: Elaboración propia. ....	56
Figura 3-50: Desplazamiento en el eje vertical 0.1 mm Fuente: Elaboración propia. ....	57
Figura 3-51: Columna circular típica de concreto armado de 60 cm de diámetro y su diagrama momento curvatura. Fuente: Elaboración propia. ....	58
Figura 3-52: Sección transversal la viga longitudinal del puente estudiado. Fuente: Elaboración propia. ....	58
Figura 3-53: Diagrama momento curvatura de la viga longitudinal del puente estudiado. Fuente: Elaboración propia. ....	59
Figura 3-54: Modelo tridimensional del puente de dos vanos. Fuente: Elaboración propia. ....	59

Figura 3-55: Formación de rotulas plásticas en el puente Santa Luisa. Fuente: Elaboración propia. ....	60
Figura 3-56: Determinación del punto de desempeño de la estructura para un sismo con $T_r=2500$ años. Elaboración propia.....	61
Figura 3-57: Reforzamiento propuesto para la columna central. Elaboración propia. .....	62
Figura 3-58: Reforzamiento propuesto para la columna exterior. Elaboración propia. .....	63
Figura 3-59: Curva de desempeño de la estructura reforzada. Elaboración propia. .....	64
Figura 3-60: Determinación del punto de desempeño de la estructura reforzada. Elaboración propia. ....	64
Figura 3-61: Modelo tridimensional de la estructura reforzada en SAP 2000. Elaboración propia. ....	65

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal el estudio de la vulnerabilidad sísmica de dos puentes peatonales del distrito de los Olivos, específicamente los puentes llamados Yanbal y Santa Luisa, así como una propuesta de reforzamiento basada en la aplicación del sistema dual, es decir, una combinación de pórticos y placas de concreto armado. El reforzamiento propuesto tuvo como objetivo principal mejorar sustancialmente la respuesta sísmica de los mencionados puentes, siendo el principal criterio adoptado el de mantener la continuidad de los servicios después de un evento sísmico.

Por las características de esta investigación, la misma fue calificada como una investigación aplicada, mientras que el diseño propuesto fue experimental. Además, se hizo uso de modelos de análisis no lineal como principal de técnica de predicción de la respuesta sísmica de las estructuras analizadas.

Los resultados muestran que el puente Yanbal, de tan sólo dos columnas como sistema resistente a cargas laterales, resultó tener un gran nivel de vulnerabilidad sísmica, evidenciando que ante la acción de un sismo con un periodo de retorno de 2500 años, la estructura ya no podría prestar los servicios para los cuales fue diseñado. En el caso del puente Santa Luisa, que contaba con tres columnas como sistema resistente lateral, se concluyó que ante la acción de un sismo con las mismas características el daño resultaba moderado. Además, el reforzamiento propuesto permitió mejorar de manera notable la respuesta sísmica de las mencionadas estructuras.

Palabras clave.

Puentes peatonales, vulnerabilidad sísmica, reforzamiento, análisis no lineal.

## **ABSTRACT**

The main objective of this research work was to study the seismic vulnerability of two foot bridges in the Olivos district, specifically the bridges called Yanbal and Santa Luisa, as well as a reinforcement proposal based on the application of the dual system that is a combination of porticos and reinforced concrete plates. The main purpose of the proposed reinforcement was to substantially improve the seismic response of the aforementioned bridges, the main criterion adopted being to maintain the continuity of the services after a seismic event.

For the characteristics of this research, it was qualified as an applied research, while the proposed design was experimental. In addition, non-linear analysis models were used as the main technique for predicting the seismic response of the structures analyzed.

The results show that the bridge Yanbal, of only two columns as a system resistant to lateral loads, turned out to have a high level of seismic vulnerability, evidencing that before the action of an earthquake with a return period of 2500 years, the structure no longer could provide the services for which it was designed. In the case of the Santa Luisa Bridge, which had three columns as a lateral resistive system, it was concluded that before the action of an earthquake with the same characteristics the damage was moderated. In addition, the proposed reinforcement made it possible to significantly improve the seismic response of the mentioned structures.

Keywords.

bridges, seismic vulnerability, reinforcement, non-linear analysis.

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Realidad problemática

En los últimos decenios y a lo largo del mundo se han sucedido una serie de eventos sísmicos de gran magnitud que han terminado afectando de manera negativa a la población y su economía, uno de los más importantes y recientes fueron los eventos sísmicos sucedidos en México, específicamente los eventos ocurridos los días 7 y 19 de septiembre del 2017 en las costas del estado de Chiapas y Puebla, que fueron sismos con magnitudes de 8.2 Mw y 7.1 Mw, que a la fecha han reportado ya 324 víctimas mortales, 60 estructuras colapsadas, alrededor de 2200 colegios dañados, y según los últimos reportes de la secretaría de protección civil, un puente colapsado en la ciudad de Oxaca; otro de los eventos sísmicos de mayor magnitud fue el terremoto de Chile, ocurrido en el año 2010, frente a las costas del Biobío, al sur del país, este evento tuvo una magnitud de 8.8Mw y está considerado como el segundo más fuerte en la historia de ese país, ya que dejó un total de 521 personas fallecidas, dos millones de damnificados, 133 hospitales dañados y 6168 centros educativos con serios daños, además se ha estimado que las pérdidas económicas asociadas a este evento fueron de 52568 millones de dólares.

En el caso peruano, los sismos de mayor magnitud e intensidad ocurridos en los últimos años, fueron los sismos de Arequipa en el 2001 y Pisco en el 2007, las que dejaron cuantiosas pérdidas de vidas humanas y materiales, además de acuerdo con el CISMID, debido al largo periodo de silencio sísmico observado en la costa central de país, el Perú se encontraría muy susceptible a sufrir de un evento sísmico de gran magnitud, evento que unido al gran porcentaje de informalidad en la construcción del país, terminaría provocando cuantiosas pérdidas de vidas humanas y económicas, que de acuerdo al índice de riesgos de ciudades sostenibles del 2015 .De acuerdo a (Lloyd's, 2015), *“Lima es la urbe con más amenaza de pérdidas económicas frente a terremotos entre 301 ciudades; sería del orden de los 35 500 millones de dólares, una de las cifras más elevadas a nivel mundial.”*

El colapso de las estructuras debido a diversas contingencias, especialmente a un evento sísmico, tiene consecuencias fatales, no sólo en términos de vidas humanas, sino también en términos económicos, pues el colapso de una edificación no solo puede producir la muerte de sus ocupantes o usuarios, sino también en general la pérdida de la estructura; sin embargo, muy a menudo, no se toma en cuenta el hecho de que el colapso de otro tipo de estructuras, como los puentes peatonales, pueden acarrear problemas sociales post-sismo muy importantes, debido que los puentes peatonales en la actualidad, dentro de la ciudad de Lima, se han convertido en puntos de tránsito peatonal de gran importancia debido a los largos recorridos de autopistas que presenta la ciudad.

De lo planteado anteriormente se desprende que la investigación sobre el mejoramiento del comportamiento estructural de los puentes peatonales, es de gran importancia, pues es uno de los estándares más importantes de la ciudad de Lima.



Figura I-1: Colapso de puentes debido a la acción sísmica.

En este trabajo se propone el estudio del efecto del uso del sistema dual en el mejoramiento del comportamiento estructural de los puentes peatonales del distrito de los Olivos, con la finalidad de poder proponer las medidas preventivas/correctivas necesarias para minimizar los efectos de un posible sismo en las costas peruanas.

## 1.2 Trabajos previos.

### 1.2.1 Antecedentes nacionales

- Ortiz (2013), en su tesis de maestría **titulada** “Evaluación del comportamiento vibratorio de puentes peatonales bajo carga peatonal”, presentada a la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), tiene como **objetivo** el estudio de las propiedades dinámicas de puentes peatonales, mediante la aplicación de vibraciones ambientales, la **metodología** aplicada con este fin fue experimental, ya que se colocaron sensores de aceleración en puntos estratégicos de la estructura. De los **resultados** encontrados se puede afirmar que las frecuencias vertical, longitudinal, y lateral, eran mayores a 5Hz y, por tanto, la estructura presenta un riesgo insignificante, de acuerdo con esto, el comportamiento del puente peatonal será satisfactorio durante su vida útil. Sin embargo, se **concluyó** que se debe rigidizar la estructura para controlar los movimientos laterales.
- Ampuero (2012), en su tesis de grado, **titulada** “Consideraciones estructurales en el análisis y diseño de puentes”, presentada ante la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), expone un estudio analítico que tuvo como **objetivo** principal los tipos puentes y los sistemas estructurales más usados en el análisis y diseño de este tipo de estructuras. Para el análisis de los puentes, el autor estableció el uso de programa SAP2000, sin embargo, propone el estudio de la estructura mediante el **Método** De Los Elementos Finitos, además se exploró la aplicación del método de cálculo presentado por el Dr. Gregor Wollmann y se obtuvo como **resultado** principal que dicho método permite obtener buenas estimaciones en el cálculo de fuerzas en el cable y viga de rigidez. Se **concluyó** que dichas metodologías nos permiten la modelación de estructuras con geometrías más complejas y por tanto más confiables.
- Casimiro (2012), en su tesis de grado **titulada** “Desempeño Sísmico De Edificaciones Bajo El Sismo De Nivel Ocasional” presentada ante la

Universidad Nacional De Ingeniería(UNI), cuyo **objetivo** es la determinación del nivel de desempeño sísmico para edificaciones bajo el sismo ocasional, aquel con un periodo de retorno a 75 años. Para esto se usó como **metodología** el FEMA 257, programada manualmente mediante código Fortran. Se **concluyó** que el comportamiento de los elementos estructurales permanecen dentro del límite del rango elástico, y para el sistema estructural dentro de los límites de aceptabilidad con respecto a las distorsiones de entrepisos con un mínimo de 0.007 según la normativa, también se estableció que para la aceleración máxima de 0.29g presenta el agrietamiento del recubrimiento y el acero de refuerzo permanecen dentro del rango elástico, se establece que para emplear muros estructurales en el diseño del edificio, éstas tendrán la capacidad de soportar las cargas laterales debido a la rigidez de la sección del muro estructural cuando se impone una acción sísmica con una aceleración máxima de 0.293g el edificio responderá elásticamente.

#### 1.2.2 Antecedentes internacionales.

- Rivera (2013), en su trabajo de investigación **titulado** “Evaluación Simplificada de la Vulnerabilidad Sísmica de Puentes Urbanos” presenta una serie de pasos, que tienen como **objetivo** principal, la estimación de la vulnerabilidad sísmica de puentes urbanos, en esta **metodología** encontramos información relevante sobre la influencia de la tipología estructural en la vulnerabilidad sísmica, se **concluye** que los puentes con una baja redundancia estructural y sin el confinamiento adecuado, tienden a tener mayor vulnerabilidad sísmica, como se ha podido observar en experiencias internacionales como, los efectos del sismo de Kobe de 1995, en las estructuras de puentes.
- Aburto (2013), en su tesis de grado **titulada** “Análisis de la Vulnerabilidad Sísmica del Puente Pedro de Valdivia-Chile”, presenta una serie de estudios que tienen como **objetivo** principal el estudio de la vulnerabilidad sísmica del puente Pedro de Valdivia-Chile. Con esta finalidad se presenta la **metodología** de la curva de capacidad para la estimación de la vulnerabilidad sísmica de puentes urbanos, en este proceso se lleva a

cabo un análisis estático no lineal, con la finalidad de determinar la curva característica de la estructura, que nos brinda información relevante acerca de su punto de fluencia, deformación de fluencia, resistencia lateral última y deformación última, además se presenta un método para el cambio de coordenadas de D-V a Sd-Sv, lo que nos permite superponer la curva de capacidad con el espectro de demanda, lo que finalmente nos permite evaluar el punto de desempeño sísmico y así determinar finalmente el nivel de vulnerabilidad. Se **concluye** que el puente bajo estudio tendría un desempeño sísmico de prevención del colapso, si se tuviera un sismo con un periodo de retorno de 475 años.

- Tena y Pérez (2012), presentaron un artículo titulado “Evaluación simplificada de la vulnerabilidad sísmica de puentes urbanos”. Este trabajo tiene como **objetivo** principal el estudio de la vulnerabilidad sísmica de puentes urbanos dentro de la ciudad de Nuevo México. Para esto se presenta una **metodología** basada en el uso de espectros de ductilidad, este tipo de curvas dan el valor de la ductilidad demandada por un sismo en función de los periodos estructurales, de esta manera siempre es posible saber qué nivel de ductilidad requerirá una estructura específica bajo un sismo específico, además el método propuesto fue aplicado a la evaluación de la línea B del metro de México. Se **concluye** que los puentes mencionados tuvieron un buen desempeño sísmico al haber sido sometidos a sismos de subducción. Específicamente se encontró que bajo un sismo con un periodo de retorno de 2500 años, es decir el sismo máximo considerado, los puentes urbanos se encontrarían dentro del estado de seguridad de vida.

### **1.3 Teorías relacionadas al tema.**

#### **1.3.1 Tipología de puentes peatonales**

La tipología de puentes urbanos en la ciudad de Lima es muy variada, ya que para empezar se han podido apreciar puentes de concreto armado y puentes de acero, además dentro de los primeros se han podido observar puentes que usan columnas de concreto unidas monolíticamente a vigas, las que a su vez sustentan las pasarelas de tránsito peatonal; también existen puentes que usan placas de concreto en la dirección más flexible, esto con finalidad de poder brindarle mayor rigidez en esta dirección; así mismo, existen puentes peatonales que tienen escaleras y otros con rampas, a continuación se hace un lista de los tipos de puentes más comunes en la práctica de la ingeniería.

##### **1.3.1.1 Puentes tipo pórtico**

Son aquellos puentes en los que las columnas de concreto armado se conectan de manera monolítica con las vigas y en algunos casos directamente con las losas de concreto (Tena y Pérez, 2012), este tipo de construcción hace que la estructura resista cargas laterales a través de la transmisión de momentos flectores en sus nodos, por lo que tanto las vigas, como las columnas son elementos estructurales con responsabilidad sísmica (Moehle , 2012 y Rivera, 2013).

##### **1.3.1.2 Puentes con vigas pos tensadas**

Este tipo de sistema de construcción de puentes, deja la responsabilidad sísmica a las columnas o los pilares de concreto armado, y usa la técnica del pos tensado en las vigas de concreto con fines únicamente gravitacionales, dejando además que las vigas conecten a las columnas para obligarles a moverse coordinadamente, lo que provoca que todos los elementos verticales trabajen para resistir las fuerzas sísmica (Rivera, 2013).

#### **1.3.2 Cargas aplicadas sobre puentes peatonales**

Las cargas aplicadas sobre puentes peatonales son de dos tipo esenciales, las cargas gravitacionales, y debido a la ubicación del Perú, las cargas sísmicas; las primeras son debidas al peso propio de la estructura, los accesorios, los acabados y la carga viva, representada usualmente por el paso de los peatones; el segundo tipo de cargas provienen de la aceleración del terreno

como consecuencias de un sismo en determinado lugar, por tanto son en muchas ocasiones difíciles de predecir y en la actualidad se les da un tratamiento netamente probabilístico (E030, 2016; Rivera, 2013).

### **1.3.3 Peligro sísmico en puentes urbanos**

Debido a su ubicación geográfica, el Perú se encuentra situado frente a la zona donde la placa de Nazca subyace en la placa Sudamericana, por tanto es una zona de gran actividad sísmica, y aunque en la actualidad no se puede predecir ni el lugar ni el momento en el que ocurrirá un sismo, si se pueden hacer predicciones probabilistas del tema, de acuerdo con esto, la norma (E030, 2016), establece un mapa de peligro sísmico del Perú, en este mapa existen cuatro zonas con niveles de peligro bien definidos, y estos están dados en probabilidad de excedencia de un nivel de aceleración del suelo en un periodo de tiempo dado, en el caso peruano y el caso de la mencionada norma, los niveles de aceleración dados en cada zona tienen un 10% de probabilidad de ser excedidos en un periodo de retorno de 50 años y el caso de interés, en un eventual sismo.

### **1.3.4 Sistema dual**

Es un sistema mixto que combina las ventajas de los pórticos de concreto armado con la gran rigidez lateral aportada por muros de concreto. En el Capítulo 21 *“Disposiciones especiales para el diseño sísmico”* de la Norma Técnica E.060, Concreto Armado del RNE; se establece para un sistema dual que la fuerza cortante que toman los muros está entre 20 % y 80 % del cortante en la base del edificio y los pórticos deberán ser diseñados para resistir por lo menos 30 % de la fuerza cortante en la base.

En la siguiente imagen se muestra el sistema dual. En este sistema los muros estructurales tienden a tomar una mayor proporción de los niveles inferiores mientras que los pórticos pueden disipar energía en los niveles superiores.



Figura I-2: Estructura con base en columnas y muros estructurales, sistema dual, de acuerdo con la norma E030.

### 1.3.5 Curva de capacidad

Toda estructura tiene una capacidad intrínseca de poder resistir cargas laterales, claro está que si la estructura estudiada fue construida con adobe, es de esperar que la capacidad de esta frente a cargas laterales, sea muy baja, al ser comparada con una estructura construida con base en muros de concreto armado, o una estructura de acero correctamente diseñada. En la ingeniería estructural, es importante poder caracterizar el posible comportamiento de una estructura frente a cargas sísmicas, en especial poder determinar los niveles máximos de cargas laterales con los que una estructura podrá responder frente a determinados sismos, y aún más importante, poder estimar la capacidad de deformación de esta antes de la falla, pues entre la filosofía del diseño sísmico, esta que las estructuras deben ser dúctiles, es decir tener una gran capacidad de deformación antes del colapso (E060, 2003; Moehle, 2013).

Una de las maneras más utilizadas y adecuadas para lograr este fin, es la curva de capacidad, que es una función que relaciona las fuerzas laterales aplicadas a la estructura con los correspondientes desplazamientos, generalmente medidos en el techo o ultimo nivel de la estructura bajo estudio.

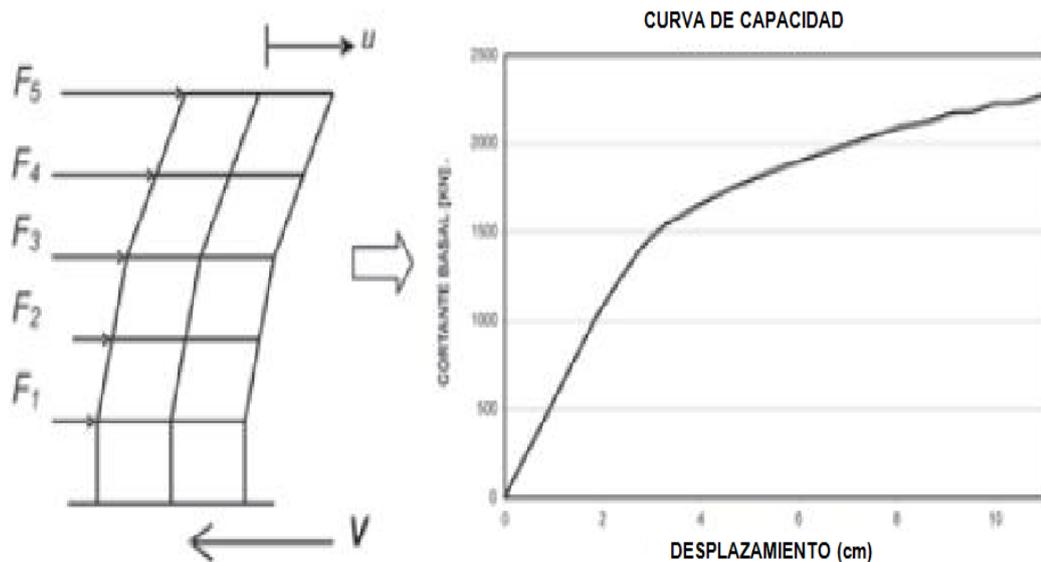


Figura I-3: Patrón de cargas laterales y curva de capacidad asociada.

### 1.3.6 Método del análisis estático no lineal (pushover)

Este método tiene como objetivo la determinación de la curva de capacidad de una estructura, para esto se apoya en modelos de análisis no lineales, específicamente modelos de plasticidad de concentrada, en este tipo de modelos, podemos suponer que las relaciones no lineales se concentran esencialmente en los extremos de las columnas y las vigas (Otani, 2012).

Para la obtención de la curva de capacidad se empieza aplicando un patrón de cargas laterales, usualmente asociadas con la primera forma de modo de la estructura analizada (Wilson, 2012), y en las sucesivas etapas del análisis, las cargas van siendo aumentadas, gradualmente hasta llegar al colapso de la edificación, en cada caso se hizo el cálculo de los desplazamientos y las fuerzas, los puntos obtenidos terminan formando la curva de capacidad de la estructura (Chopra, 2014).

### 1.3.7 Resistencia lateral

Es la fuerza lateral máxima que una estructura puede tolerar sin sufrir inestabilidad, este valor se puede obtener a partir de las curvas de capacidad, como se indica en la Figura I-3. De acuerdo con la norma E030, la resistencia lateral mínima, a la que una estructura debe ser diseñada, se obtiene de acuerdo con la siguiente expresión:

$$V = \frac{ZUCS}{R}W$$

Donde:

$Z$ : Factor de zona, depende de la ubicación de la estructura.

$U$ : Factor de uso de la estructura, depende de la importancia.

$S$ : Factor de suelo.

$C$ : Factor de amplificación, depende del periodo del suelo.

$R$ : Factor de reducción de fuerzas sísmicas.

$W$ : Peso de la estructura.

### 1.3.8 Rigidez lateral

Rigidez lateral es la propiedad de una estructura de oponerse a las deformaciones. También podría definirse como la capacidad de soportar fuerzas laterales sin deformarse o desplazarse excesivamente. Se mide en centímetro, o una unidad equivalente, debido a la definición, la rigidez lateral se mide en t/cm, t/m, kN/m, entre otras unidades consistentes, se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$K_e = \frac{Fy}{Dy}$$

Donde:

$K_e$  : Rigidez elástica de la estructura.

$Fy$  : Fuerza asociada a la fluencia de la estructura.

$Dy$  : Desplazamiento asociado a la fluencia de la estructura.

Es importante aclarar en este punto que distintos sistemas estructurales tienen distintos niveles de rigidez, generalmente las estructuras de muros de concreto son las estructuras más rígidas, seguidas de los sistemas duales, y en el lugar de las estructuras más flexibles tenemos a los pórticos de concreto armado. Según la norma (E030, 2016). "Se entiende por rigidez lateral mínima a aquella que permite obtener un desplazamiento relativo máximo de entrepiso del orden de 0.007".

### 1.3.9 Desplazamiento maximo

En el caso de edificaciones es el desplazamiento asociado con la máxima resistencia lateral de la estructura y por tanto se mide en centímetros. Según la norma (E030, 2016) “En caso se realice un análisis de la resistencia última se podrá utilizar las especificaciones del ASCE/SEI 41 SEISMIC REHABILITATION OF EXISTING BUILDINGS.

De acuerdo con la norma E030 (2016), el desplazamiento máximo se obtiene aplicando la siguiente expresión:

$$\Delta_{max} = 0.75R\Delta_e$$

Donde:

$\Delta_{max}$  : Desplazamiento máximo inelástico.

$\Delta_e$  : Desplazamiento máximo elástico.

$R$  : Factor de reducción de fuerza sísmica.

### 1.3.10 Respuesta sísmica

En términos cualitativos, la respuesta sísmica de una edificación, es la forma como responde una estructura frente a la acción de las cargas externas inducidas por sismos, esta respuesta, es caracterizada con la medición de parámetros asociados con la respuesta de la estructura, tales como, fuerzas cortantes, desplazamientos y distorsiones, también pueden ser indicadores importantes los niveles de aceleración de entrepiso, ya que en investigaciones previas, se ha demostrado que estos parámetros están asociados con los daños en el contenido de las edificaciones (Bozzo y Barbat, 2012).

### 1.3.11 Tipología estructural

La tipología estructural, es un término que hace referencia a los sistemas estructurales que conforman una edificación. De acuerdo con la norma de diseño sismo resistente del Perú (E030, 2016, E030, 2003 y E060, 2003), existen sistemas estructurales con base en acero estructural, concreto armado, albañilería confinada, e incluso madera. En este trabajo nos enfocaremos en estructuras de concreto armado, y dentro de estos podemos

decir que, existen sistemas estructurales bien definidos, tales como, pórticos de concreto armado, muros de concreto, el sistema dual, que es una combinación de pórticos y muros de concreto armado (NEHRP, 2013), como se puede observar en la siguiente figura.

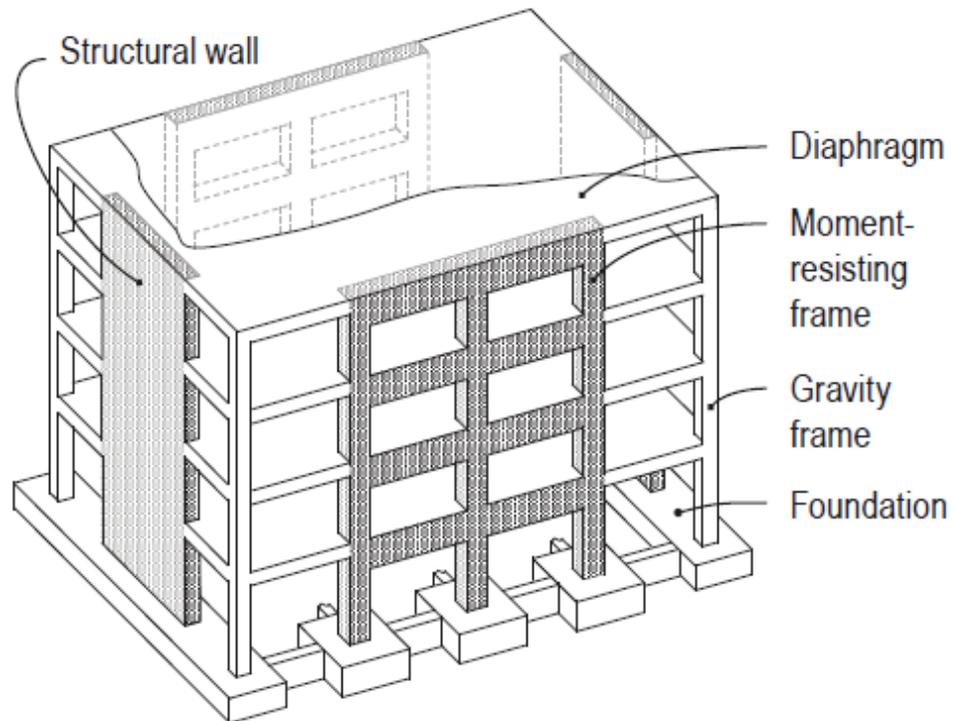


Figura I-4: Pórticos de concreto armado y sistema dual en una edificación, *National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP, 2013)*.

### 1.3.12 Vulnerabilidad sísmica

De acuerdo con Barbat (2012), la vulnerabilidad sísmica de una estructura es la predisposición intrínseca de esta a sufrir daños durante la ocurrencia de un evento sísmico específico. Es así que estructuras concebidas de manera diferente tienen un nivel de vulnerabilidad sísmica distinto unos de otros, tal es el caso, por ejemplo de las estructuras construidas de adobe, ya que resulta obvio que estas son considerablemente más vulnerables frente a sismos que sus contrapartes construidas usando materiales como el concreto armado.

## **1.4 Formulación del problema de investigación.**

### **1.4.1 Problema general:**

¿El uso del sistema dual mejorará la respuesta sísmica de puentes peatonales en el distrito de los olivos?

### **1.4.2 Problema específico:**

1. ¿El uso del sistema dual disminuirá el desplazamiento horizontal de puentes peatonales en el distrito de los olivos?
2. ¿El uso del sistema dual mejorará la resistencia lateral de puentes peatonales en el distrito de los olivos?
3. ¿El uso del sistema dual incrementará la rigidez lateral de puentes peatonales en el distrito de los olivos?

## **1.5 Justificación de estudio**

El tema del proyecto de investigación es elegido en razón que el reforzamiento de las estructuras civiles en especial de los puentes peatonales representa un línea de investigación de importancia dada la característica única que presentan los países ubicados a lo largo de las costas del pacifico del continente sudamericano, del cual nuestro país es parte, en cual se caracteriza por su alta actividad sísmica, lo que determina que en nuestro país la preocupación referente a la mitigación de desastre producto de movientes sísmicos de alta intensidad se convierta en uno de los temas a los que se debería abocar la investigación en la ingeniería civil; en el presente caso concreto los puentes peatonales, vías de comunicación que han ganado gran importancia dentro de la ciudad de Lima, revisten una importancia destacable dada la frecuencia del uso que se hace de las mismas, por lo cual debe proyectarse el mejoramiento de su comportamiento estructural con la finalidad de poder garantizar el seguridad de los usuarios. Por ello en el presente proyecto se investiga el mejoramiento del comportamiento estructural de dichas estructuras.

La investigación se realiza con el propósito de mejorar el comportamiento estructural que en la actualidad presentan los puentes peatonales del distrito de los Olivos, tiene como finalidad que mediante el uso de del sistema dual se pueda lograr un aumento importante en el desempeño de dicha

característica; con dicha mejora se lograría brindar mayor seguridad a la gran cantidad de usuarios de dichos puentes del distrito de los Olivos.

#### **1.5.1 Por lo social:**

La trascendencia social que presenta la investigación sobre el mejoramiento del comportamiento estructural de puentes peatonales, incide sobre la seguridad de la población usuaria, en especial en la ciudad de Lima donde dichas estructuras han ganado un rol de gran importancia para el traslado de los peatones a lo largo de la ciudad, así como para el aumento de la vida útil de dichas estructuras; esta investigación beneficiará a los vecinos del distrito de los Olivos en razón que la población de estudio sobre el aumento del comportamiento estructural se ubicará dentro de dicho distrito.

#### **1.5.2 Por lo económico:**

La investigación sobre el mejoramiento del comportamiento estructural de puentes peatonales ayuda a resolver el problema del alto riesgo sísmico que presenta la ciudad de Lima por efecto de la falta de planeamiento y la deficiente ejecución de edificaciones, así como por el desgaste de las mismas, todo lo anterior mediante la mitigación de desastres estudiándose el efecto de la aplicación del sistema dual en el mejoramiento del comportamiento estructural de los puentes peatonales del distrito de los Olivos esto hará que los puentes sean capaces de resistir eventos sísmicos evitando que estas colapsen y mitigando así grandes pérdidas económicas y futuros gastos en reparación o demolición de estas .

#### **1.5.3 Por lo ambiental:**

La presente investigación disminuye el número de puentes colapsados por efecto de un sismo, los que beneficiará indirectamente al medio ambiente, ya que se evitará la producción de residuos sólidos, propios del colapso de estructuras.

## **1.6 Objetivos de la investigación.**

### **1.6.1 Objetivo general:**

Determinar cuánto influye la aplicación del sistema dual, al mejoramiento de la respuesta sísmica de puentes peatonales en el distrito de los Olivos.

### **1.6.2 Objetivos específicos:**

1. Determinar en cuanto disminuye el desplazamiento horizontal en los puentes peatonales en el distrito de los Olivos, al aplicarse el uso del sistema dual.
2. Determinar en cuanto mejora la resistencia lateral que presentan los puentes peatonales, mediante la aplicación del sistema dual en el distrito de los Olivos.
3. Evaluar el incremento de rigidez lateral de puentes peatonales, mediante el uso del sistema dual en el distrito de los Olivos.

## **1.7 Hipótesis de la investigación.**

### **1.7.1 Hipótesis general.**

El uso del sistema dual mejora la respuesta sísmica de puentes peatonales en el distrito de los Olivos.

### **1.7.2 Hipótesis específica:**

1. El uso del sistema dual disminuye el desplazamiento horizontal de puentes peatonales en el distrito de los olivos
2. El uso del sistema dual mejora la resistencia lateral de puentes peatonales en el distrito de los olivos
3. El uso del sistema dual incrementa la rigidez lateral de puentes peatonales en el distrito de los olivos

## METODOLOGÍA

### 2.1 Diseño de la investigación

#### 2.1.1 Enfoque de la investigación

De acuerdo con Hernández Sampieri et al. (2014), existen dos tipos esenciales de enfoques de una investigación científica, estos son el enfoque cuantitativo y cualitativo, de acuerdo con el mismo autor, se dice que una investigación es cuantitativa, si se dese estudiar variables medibles (Hernández Sampieri et al., 2014; Arbayza et al., 2014).

De acuerdo con las definiciones dadas y de acuerdo al tipo de investigación usado, podemos decir que se aplicará el ENFOQUE CUANTITATIVO de la investigación científica. Ya que el presente plan de Tesis proyecta un tipo de investigación en un enfoque cuantitativo, se abocará en la recolección de datos para probar una hipótesis con base en la medición numérica.

#### 2.1.2 Tipo de investigación

Los tipos de investigación comúnmente aceptados en la práctica de la investigación científica, están vinculados con sus objetivos y métodos. De acuerdo con Arbayza (2014), y la guía de investigación de la Universidad Cesar Vallejo (UCV, 2017), una investigación aplicada está orientada a la solución de los problemas prácticos de la ingeniería, mediante la aplicación de teorías existentes.

De acuerdo con lo mencionado, el tipo de investigación propuesta será **APLICADA**, porque desea mejorar la inadecuada respuesta sísmica de puentes peatonales. Ya que se ha observado que estos usualmente tienen pórticos de concreto armado como sistema resistente a cargas laterales, por lo que resultan muy flexibles en la dirección transversal, esto los convierte estructuras muy flexibles en esta dirección, hecho que está relacionado directamente con el daño estructural, es decir, tendrán una respuesta sísmica inadecuada en dirección transversal. Para esto se usará el sistema dual, en lugar de pórticos de concreto armado.

### **2.1.3 Método de investigación:**

De acuerdo con Hernández Sampieri et al. (2014), los métodos de investigación pueden clasificarse en métodos experimentales y no experimentales, de acuerdo con el mismo autor, un método de investigación es experimental, si existe manipulación intencional y controlada de la o las variables independientes y se mide el efecto de esta manipulación en la variable dependiente; si por otro lado, se estudia al objeto de estudio, tal como se presenta, entonces el método de estudio es no experimental.

De acuerdo con lo mencionado y de acuerdo a los objetivos de la investigación propuesta, el método de investigación a emplearse será el **EXPERIMENTAL** (Hernández Sampieri et. al., 2015), debido a que existirá manipulación deliberada de la variable independiente, es decir, se manipulará el tipo de sistema estructural de diseño de un puente, específicamente pórticos y placas de concreto armado, y se observará el efecto de esta en la respuesta sísmica de la estructura bajo estudio, para esto se ha planteado realizar este trabajo mediante simulaciones numéricas, usando el software de análisis no lineal SAP 2000. Además, por el tipo de manipulación de la variable independiente, se dice que estamos ante un tipo causa-efecto, ya que como se mencionó, se pretende evaluar el efecto del sistema estructural, en la respuesta sísmica de puentes peatonales.

## **2.2 Variables y Operacionalización.**

### **2.2.1 Identificación de las variables:**

#### **1) Variable Independiente: SISTEMA DUAL.**

- Concepto: En edificaciones, dentro de la tipología de sistemas estructurales sistemas estructurales, se llama sistema dual, a la combinación de pórticos y placas de concreto armado.

- **DIMENSIONES**

- Dimensiones de las placas y columnas.
- Resistencia a la compresión de columnas placas, vigas y tablero.
- Cortante absorbido por las placas y columnas.

## 2) Variable Dependiente: RESPUESTA SÍSMICA.

- Concepto: El comportamiento estructural es, en términos intuitivos, la forma como responde una estructura ante determinadas acciones externas, estas pueden ser: sismos, explosiones, cargas de servicio, etc.

El comportamiento estructural está definido por, la resistencia lateral, la rigidez lateral y sus desplazamientos.

- **DIMENSIONES**

- Desplazamiento Horizontal.
- Resistencia lateral.
- Rigidez lateral.

### 2.3 Población y muestra

#### 2.3.1 Población

Según Hernández Sampieri et. al. (2014), el Universo o Población (aquella sobre la cual el investigador desea establecer una conclusión) **se construye una vez se haya definido la unidad de análisis**, en palabras textuales de este autor, tenemos que, *“Una vez que se ha definido cuál será la unidad de análisis, se procede a delimitar la población que va a ser estudiada y sobre la cual se pretende generalizar los resultados”* (Hernández Sampieri et al., 2014: 174). Por tanto, y tomando en cuenta nuestra unidad de análisis, delimitaremos la población del estudio de la siguiente forma:

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, podemos plantear que, la población vendrá dada por todos los puentes peatonales ubicados dentro del distrito de Los olivos, y que además satisfacen las siguientes condiciones.

- Puentes de concreto armado.
- Tablero de concreto armado.
- Puentes Pevtonales

#### 2.3.2 Muestra

De acuerdo con Hernández Sampieri et. al. (2014), las muestras son un subconjunto de la población de estudio, elegidas bajo ciertas consideraciones que dependerán del tipo de estudio realizado. Según este

autor y otros especialistas en el tema, existen esencialmente dos tipos de muestras, las probabilistas y las no probabilistas (Hernández Sampieri et. al., 2014; Arbayza, 2014; Alayza et. al., 2014, Domínguez et. al., 2010).

En las muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o de quien hace la muestra. Aquí el procedimiento no es mecánico ni con base en fórmulas de probabilidad, sino que depende del proceso de toma de decisiones de un investigador o de un grupo de investigadores y, desde luego, las muestras seleccionadas obedecen a otros criterios de investigación. (Hernández Sampieri et al., 2014: 176).

En el tipo de muestreo no probabilístico; no se precisa que la muestra elegida sea representativa, sino que esta será elegida de acuerdo con los objetivos de la investigación, que en este caso sería determinar la mejora de la respuesta sísmica de puentes peatonales, al usar el sistema dual en este tipo de estructura. Con esta finalidad, en este trabajo de investigación se hará uso de un **muestreo no probabilístico**, con los siguientes casos de análisis.

- Puente Peatonal Santa Luisa (con 3 columnas).
- Puente Peatonal Yanbal (con 2 columnas)

## **2.4 Técnicas e Instrumentos De Recoleccion De Datos**

### **2.4.1 Instrumentación y validez de recolección de datos**

De acuerdo con Hernández Sampieri et al. (2013), la validez de un instrumento de investigación, indica el grado en que un instrumento realmente mide la variable que se pretende estudiar.

De acuerdo, con esto, podemos observar que los instrumentos usados en el desarrollo de la presente tesis, son usualmente usados en la práctica de la ingeniería, por tanto, no es posible dudar de la validez de estos instrumentos.

En cuanto a la ficha de recolección y procesamiento de datos, estas se hicieron evaluar por tres especialistas con amplia experiencia en el tema, quienes emitieron una opinión favorable a estas y esto se ratificó, con su firma y sello.

Tabla 2.1-1: Porcentaje de validación de las fichas de recolección y procesamiento de datos.

	Nombres y Apellidos	Profesión	Puntaje
Especialista N°1	Santos Ricardo Padilla Picher	Ingeniero Civil	98%
Especialista N°2	Jose Benites Zúñiga	Ingeniero Civil	94%
Especialista N°3	Raul Antonio Pinto Barrantes	Ingeniero Civil	95%
Promedio			96%

En la tabla 1, se muestran los datos de los especialistas y las respectivas puntuaciones dadas a las fichas de recolección y procesamiento de datos, de estos resultados podemos decir que las fichas propuestas son válidas para los fines perseguidos.

#### **2.4.2 Confiabilidad**

De acuerdo con Hernández Sampieri et al. (2014), la confiabilidad de un instrumento de medición se refiere al grado en que su aplicación repetida al mismo individuo u objeto produce resultados iguales (Hernández-Sampieri et al., 2014; Kellstedt y Whitten, 2013; y Ward y Street, 2009).

En cuanto a la confiabilidad de los instrumentos, podemos decir que la confiabilidad de estos instrumentos viene garantizada por el uso cotidiano de estos en la ingeniería civil, además de tener garantía de los fabricantes; en este punto es importante recordar que la mayor parte de este trabajo se realizará usando equipos calibrados en un laboratorio, por lo que los instrumentos usados en el desarrollo de este trabajo, tienen garantizada la confiabilidad de medición.

#### **2.5 Análisis de datos**

Los datos recolectados en las mediciones in situ serán procesados mediante el uso de software especializado, específicamente SAP 2000. Las columnas y vigas serán idealizadas mediante el uso de modelos de elementos finitos, denominados en el entorno del programa como elementos Frame. Las cargas y los pesos presentes serán modeladas como cargas distribuidas

lineales, además, en lo referido al cálculo de las masas dinámicas, estas se harán de acuerdo con los lineamientos de la norma peruana de diseño sísmico (E030, 2016).

Finalmente, los datos serán procesados mediante el uso del análisis estático no lineal, y el punto de desempeño será calculado usando el método de los coeficientes. Es importante aclarar en este punto que el citado método tiene una base teórica estadística, por lo que los resultados obtenidos son en sí mismos son derivados de un estudio probabilístico y no aplicada un tratamiento estadístico adicional.

## **2.6 Aspectos éticos**

Toda la información consignada en el presente documento es propiedad intelectual del autor de la misma, en tanto que las ideas, gráficos, tablas y cualquier otro tipo relacionado de terceros ha sido citados de manera adecuada, dándoles a estos autores el crédito y el mérito que por derecho se han ganado, para esto se han seguido las pautas del citado de acuerdo al sistema ISO 690.

## RESULTADOS

### 3.1 Ubicación del primer puente peatonal estudiado: Puente Yanbal

Con la finalidad de evaluar la vulnerabilidad sísmica de los puentes peatonales elegidos para el presente estudio, se procedió a la evaluación in situ, de la estructura elegida, localizada cerca de la universidad Cesar Vallejo, específicamente, el puente localizado en la parada Yanbal, como se muestra en la Figura III-1.



Figura III-1: Ubicación de la estructura bajo estudio. Fuente: Elaboración propia.

La mencionada estructura consta de dos columnas de concreto armado de 60 cm x60 cm, las que están unidas de manera rígida a una viga de concreto armado, tal como se muestra en la Figura III-2. En este punto resulta útil aclarar que la mencionada estructura cubre un claro de 24 m de longitud, los que tiene carriles de doble sentido. Además, la mencionada vía se trata de una vía rápida, por lo que la finalidad de esta estructura es poner a salvo la vida y la seguridad de los transeúntes, que día a día se movilizan de sus hogares rumbo a cumplir con sus actividades diarias.



Figura III-2: Vista panorámica del puente peatonal bajo estudio. Fuente: Elaboración propia.



Figura III-3: Escalera izquierda y conexión típica a la viga. Fuente: Elaboración propia.



Figura III-4: Escalera derecha y conexión de columna a viga. Fuente: Elaboración propia.

### 3.2 Levantamiento de información



Con la finalidad de poder determinar las características geométricas y el estudio de suelos de la estructura estudiada, se procedió con un programa de trabajo de campo.

### 3.3 Sistematización de la información recopilada

La información recopilada del trabajo de campo se ha sistematizado y se han obtenido los siguientes resultados.

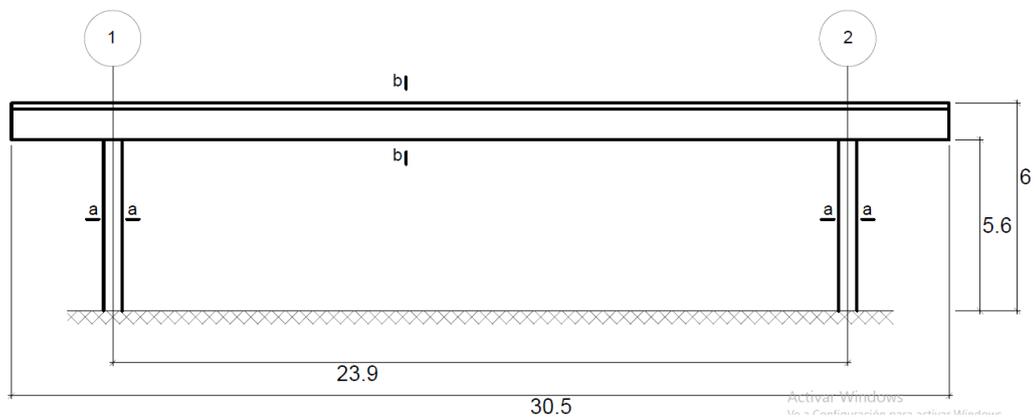


Figura III-5: Características geométricas del puente estudiado. Fuente: Elaboración propia.

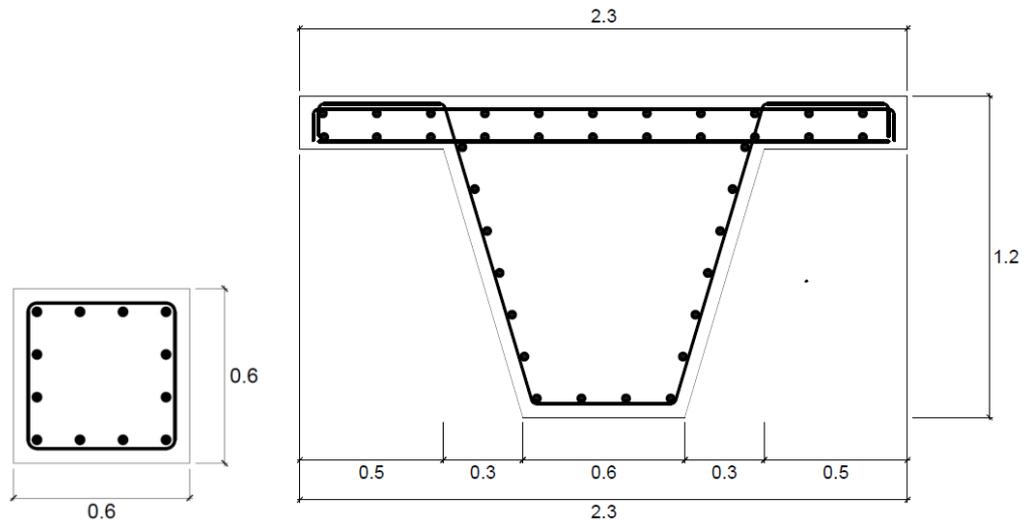


Figura III-6: Características de las secciones transversales encontradas en el puente bajo estudio. Fuente: Elaboración propia.

### 3.4 Microzonificación sísmica de la zona

Con la finalidad de poder determinar la demanda sísmica, se requiere conocer de manera más o menos precisa de las características de los suelos en los que la estructura se encuentra cimentada. Con este fin, en este trabajo de investigación se ha procedido de dos formas. La primera consiste en el uso de información existente, tales como los estudios de microzonificación sísmica hechas por el centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).

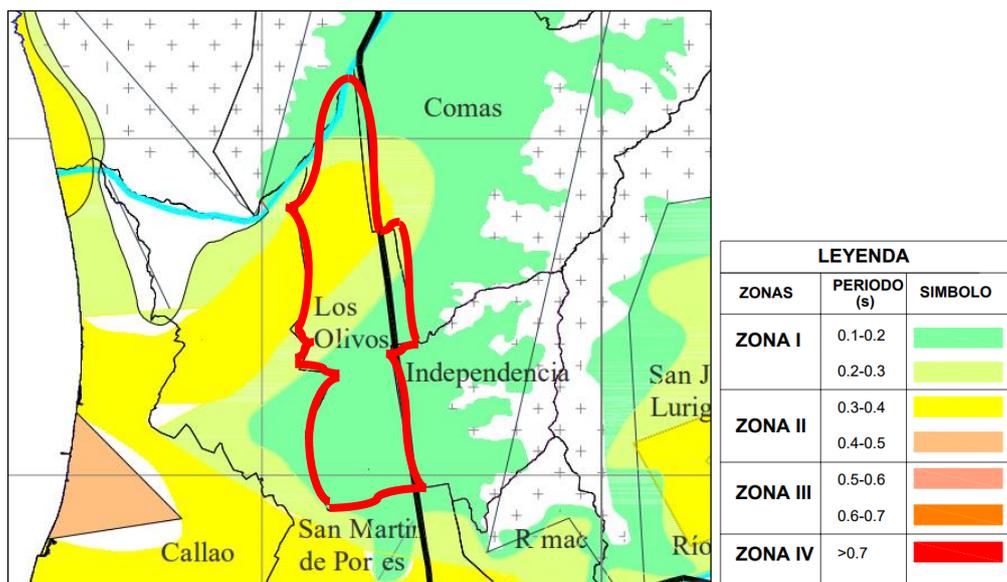


Figura III-7: Microzonificación sísmica de los olivos y periodos característicos del suelo. Fuente: Centro Peruano-Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID).

Un extracto del mencionado estudio se muestra en la Figura III-7, de este se puede apreciar que en el distrito de Comas predominan, esencialmente, dos tipos de suelos, calificados, de acuerdo al mismo estudio como zonas I y II. Se debe tener cuidado de no confundir estas zonas con las zonas definidas por la norma de diseño sísmo resistente para definir los niveles de peligro sísmico.

### 3.5 Definición de la demanda sísmica

La definición de la demanda sísmica es uno de los pasos más importantes a la hora de estudiar la vulnerabilidad sísmica de una estructura, pues el nivel de vulnerabilidad necesariamente se verá asociado al nivel de la demanda sísmica. Dentro la ingeniería moderna, se acostumbra a expresar la demanda sísmica por medio de espectros de diseño, los que a su vez dependen de una serie de parámetros que dependen su posición geográfica, el tipo de estructura, el tipo de suelo de fundación y hasta del sistema estructural.

Z	0.45	Factor de zona, pues se trata de la ciudad de Lima
S	1.05	Factor de suelo, suelo intermedio (CISMID)
	Tp	0.60
	Tl	2.00
U	1.00	Factor de uso (Estructuras Importantes)
Ro	8.00	Factor de reducción básico. (Pórticos)
Ia	1.00	Irregularidad en altura
Ip	1.00	Irregularidad en planta
R	8	Factor de reducción $R=R_o \cdot I_a \cdot I_b$

Sin embargo, el Perú no cuenta con una norma de diseño específica para puentes, y menos una norma específica para el cálculo de la demanda sísmica en puentes peatonales de concreto armado. Sin embargo, en este trabajo se aplicaron los lineamientos de la norma E030 del 2016, en la determinación de la demanda sísmica, en la medida de su aplicabilidad al problema de estudio.

De acuerdo con lo mencionado, los parámetros de zona (Z), uso (U), amplificación sísmica (C) y suelo (S) se eligieron de acuerdo con los lineamientos de la mencionada norma; sin embargo, en cuanto al factor de reducción de fuerzas sísmicas (R), se prefirió la consideración de que la demanda sísmica no se ve reducida, ya que, en general se desconoce la capacidad de disipación de este tipo de estructuras. Tomando en cuenta estas consideraciones, se obtuvo el espectro de demanda sísmica, mostrado en la Figura III-8.

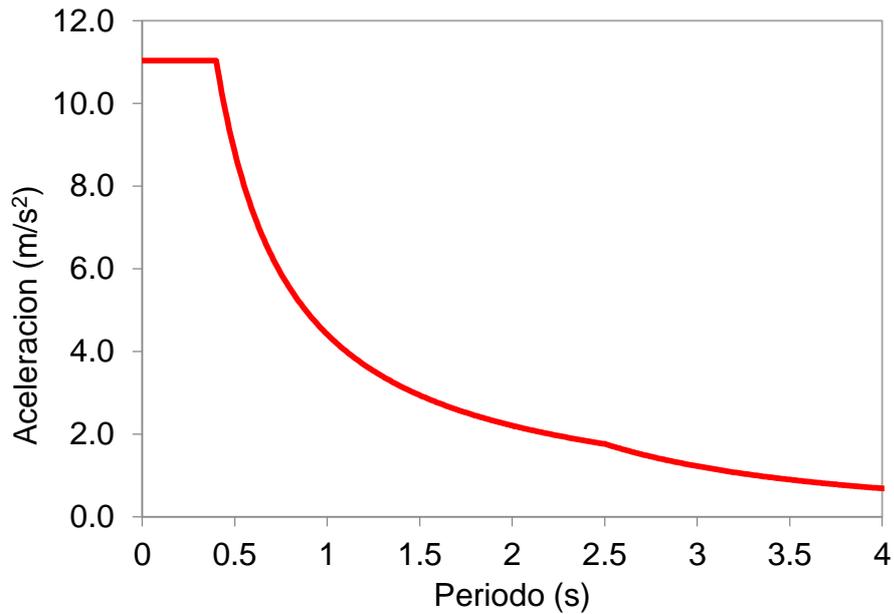


Figura III-8: Definición del espectro de demanda, de acuerdo con los lineamientos de la norma E030. Fuente: Elaboración propia.

### 3.6 Modelamiento de la estructura

Para poder evaluar el comportamiento sísmico de la estructura analizada y por tanto su desempeño sísmico, frente a la acción del sismo considerado, se procedió a la modelación de la estructura en el software de análisis no lineal SAP 2000, como se muestra en la Figura III-9.



Figura III-9: Modelo tridimensional de puente peatonal °Yambal°, elaborado en SAP 2000. Fuente: Elaboración propia.

Como parte del proceso de modelamiento, se procedió al modelamiento de los elementos estructurales que forma parte del sistema resistente de la estructura estudiada. Los resultados de tales modelos se muestran en la Figura III-10.

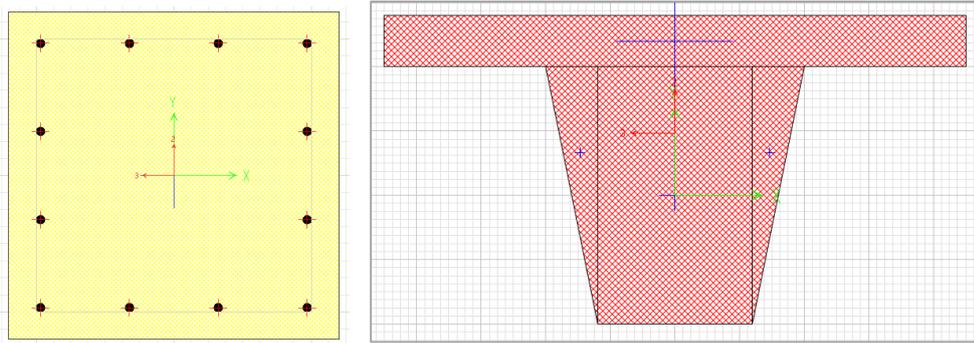


Figura III-10: Secciones de los elementos estructurales presentes en el puente estudiado. Fuente: Elaboración propia.

### 3.7 Aplicación de cargas gravitacionales

La aplicación de cargas gravitacionales es otro paso del análisis sísmico, necesario para poder desarrollar el análisis sísmico de la estructura estudiada. En este punto, resulta importante aclarar que se consideraron, esencialmente, dos tipos de cargas gravitacionales, las cargas muertas y las cargas vivas. Dentro de las primeras se ha considerado las cargas de los acabados más accesorios, con un total de 200 kg/m<sup>2</sup>; mientras que en el segundo caso, se ha considerado una sobrecarga de 500 kg/m<sup>2</sup>, de acuerdo a su función y a la práctica de diseño.

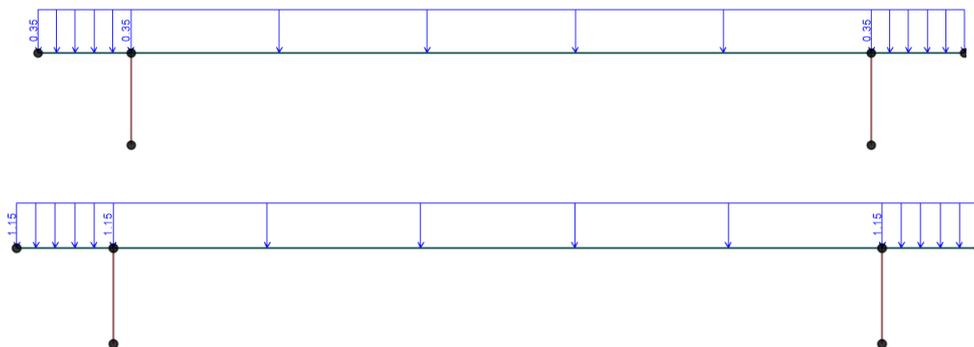


Figura III-11: Cargas muertas y vivas aplicadas en la estructura. Fuente: Elaboración propia.

La aplicación de las cargas mencionadas al modelo se muestra en la Figura III-11. Es importante aclarar que las escaleras no se han modelado como parte del sistema, debido a las limitaciones del software de análisis SAP 2000, que no tiene dentro de su librería de elementos un modelo para la

evaluación del comportamiento no lineal de escaleras, por lo que en este trabajo las escaleras fueron modeladas únicamente como cargas muertas.

### 3.8 Formas de modo de la estructura

Debido a que uno de los métodos de solución más importantes implica el uso del desacoplamiento modal, es decir, se hacen uso de unos parámetros asociados con las características dinámicas de la estructura, llamados formas de modo, en esta sección se presentan los resultados del análisis modal, desarrollados por medio del uso de este software.

Los resultados obtenidos se muestran en las siguientes figuras, de estas es importante resaltar que la primera forma de modo de la estructura estudiada resultó ser traslacional en la dirección transversal al eje del puente, como se muestra en la Figura III-12.

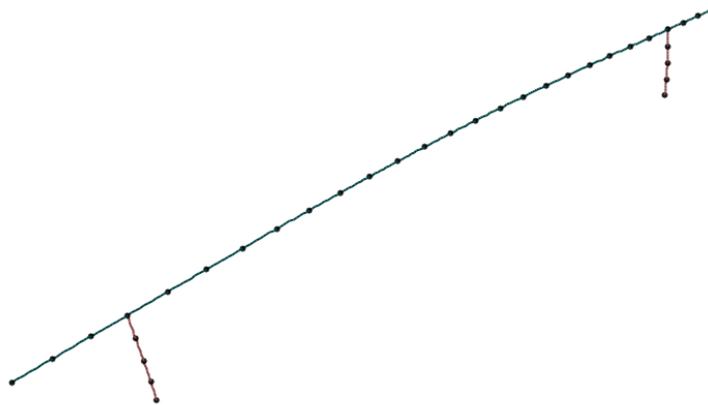


Figura III-12: Primera forma de modo de la estructura analizada  $T=0.38$  s.

Fuente: Elaboración propia.

La segunda forma de modo resultó estar dominada por el movimiento de la viga en el eje z, es decir, en la dirección vertical, como se muestra en la Figura III-13. Este resultado resulta particularmente importante, ya que demuestra que la componente vertical del sismo tendrá una relevancia importante en el cálculo de la respuesta sísmica.

Finalmente, es de importancia comentar la tercera forma de modo, la que resultó ser traslacional en la dirección longitudinal del puente, nuevamente, este hecho nos indica que el puente tiende a moverse esta dirección ante la acción de un sismo en esta dirección.

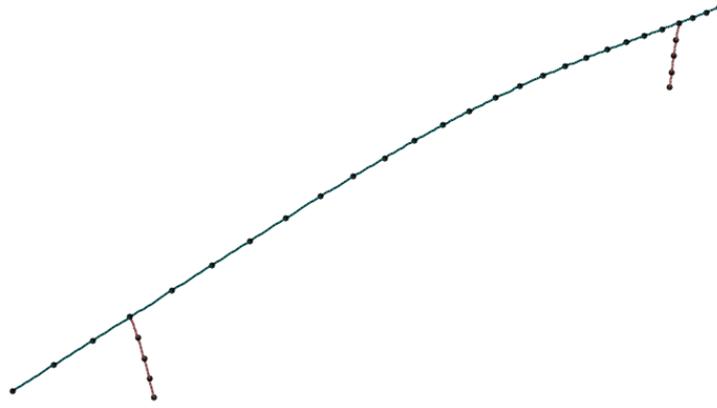


Figura III-13: Segunda forma de modo de la estructura analizada  $T=0.29$  s.  
Fuente: Elaboración propia.

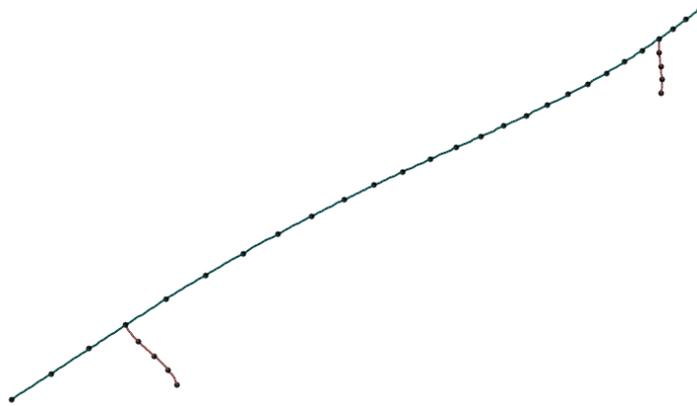


Figura III-14: Segunda forma de modo de la estructura analizada  $T=0.17$  s.  
Fuente: Elaboración propia.

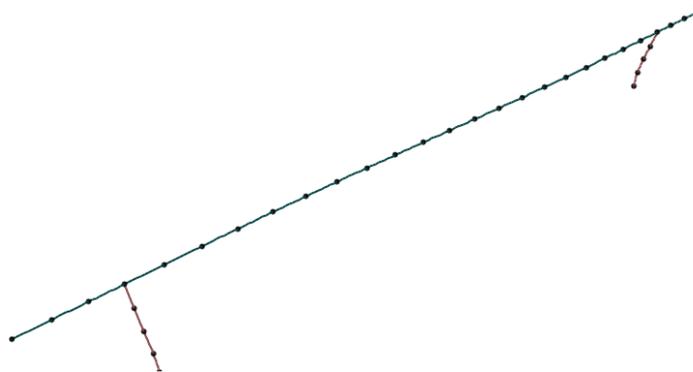


Figura III-15: Cuarta forma de modo de la estructura analizada  $T=0.16$  s. Fuente:  
Elaboración propia.

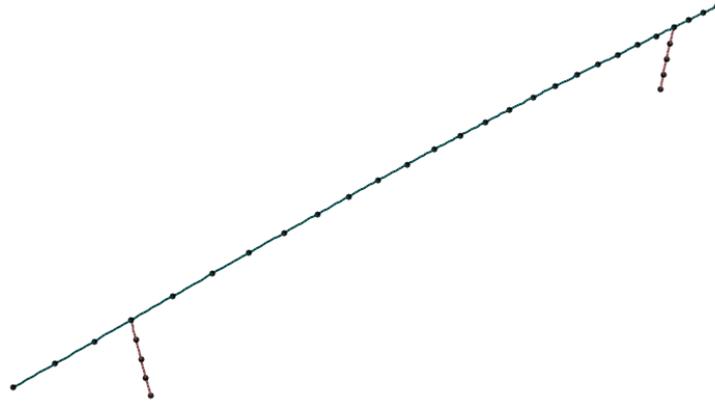


Figura III-16: Quinta forma de modo de la estructura analizada  $T=0.15$  s. Fuente: Elaboración propia.

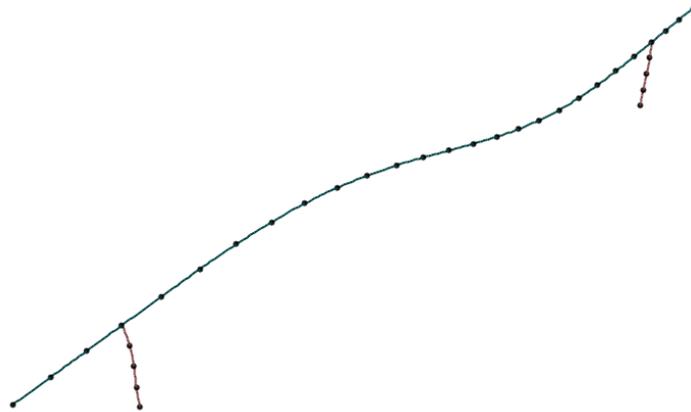


Figura III-17: Sexta forma de modo de la estructura analizada  $T=0.09$  s. Fuente: Elaboración propia.

### 3.9 Respuesta sísmica

Finalmente, al evaluar la respuesta sísmica del puente analizado, se obtienen los desplazamientos máximos, debidas, tanto al sismo en las direcciones  $x$  como las obtenidas en la dirección  $y$ .

En la se muestran los desplazamientos máximos en la dirección  $x$ , encontrando que el desplazamiento máximo en esta dirección fue de 7mm, debido a un sismo con un periodo de retorno de 2500 años, el que es consecuente con el espectro de diseño calculado en la sección correspondiente.

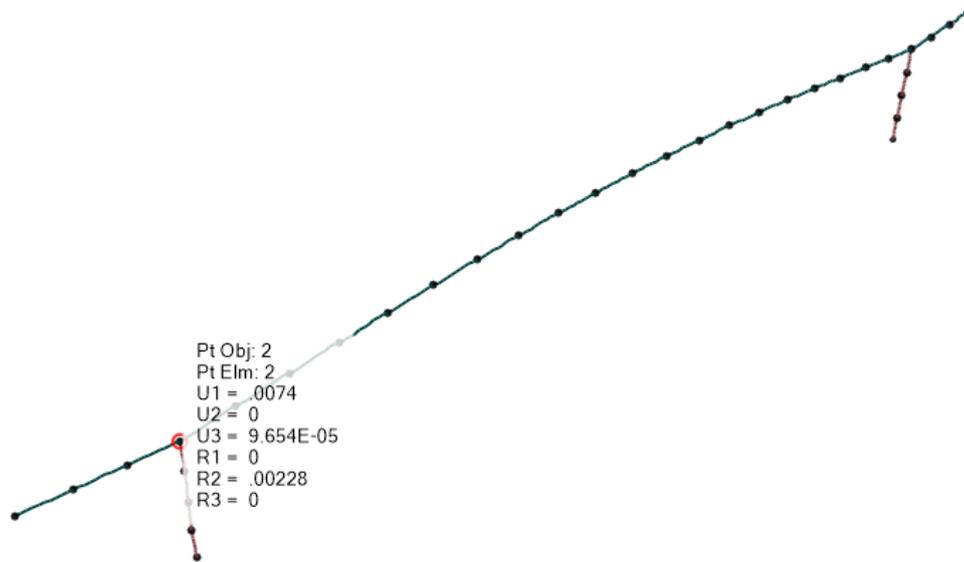


Figura III-18: Desplazamientos máximos en dirección x, 7mm, debidas al sismo en x. Fuente: Elaboración propia.

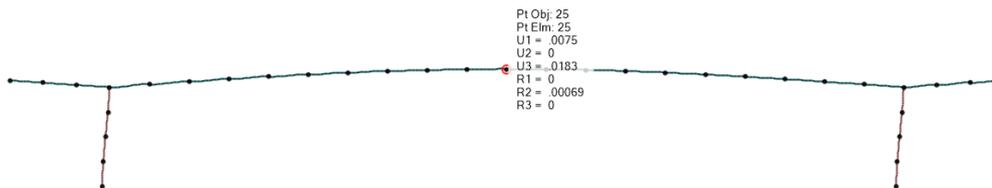


Figura III-19: Desplazamientos máximos en dirección z ,1.83 cm, debidas al sismo en x. Fuente: Elaboración propia.

Sobre esto resulta interesante analizar los desplazamientos verticales del tramo central de la viga del puente estudiado, por lo que en la Figura III-19 se muestran los resultados encontrados, donde se aprecia que el máximo desplazamiento vertical fue de 1.83 cm.

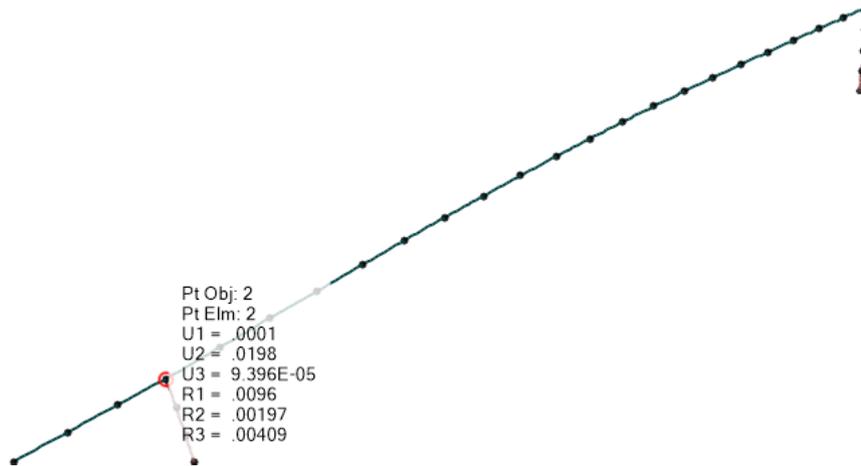


Figura III-20: Desplazamientos máximos en dirección y, 1.98 cm debidas al sismo en y. Fuente: Elaboración propia.

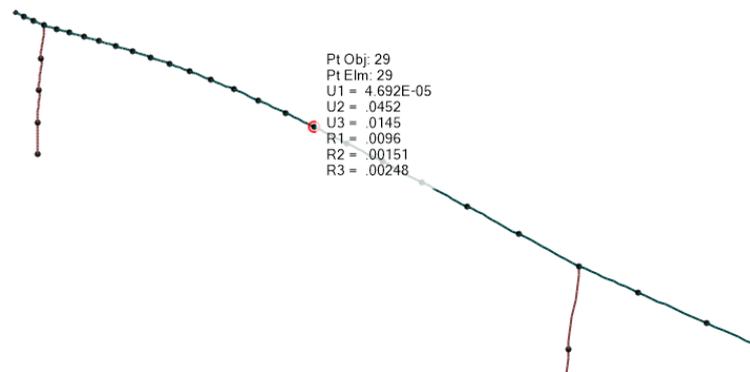


Figura III-21: Desplazamientos máximos en dirección z (1.45 cm); y (4.52cm), debidas al sismo en y. Fuente: Elaboración propia.

Al comparar este valor con el máximo desplazamiento horizontal, se nota que el desplazamiento vertical resultó de mayor importancia. Este hecho puede indicar que es posible la formación de una rotula plástica en el centro de la viga, por lo que habrá que tomar este hecho en consideración en el desarrollo del análisis estático no lineal.

### 3.10 Análisis Estático No lineal

Los análisis mostrados anteriormente formaban parte de los conocidos y ampliamente usados, procedimientos de análisis lineal, sin embargo, estos procedimientos no son capaces de predecir la resistencia ni la capacidad de deformación de una estructura, por lo que en numerosas ocasiones se hace necesario recurrir a procedimientos que sean capaces de tomar en cuenta las propiedades de los elementos y los materiales involucrados.

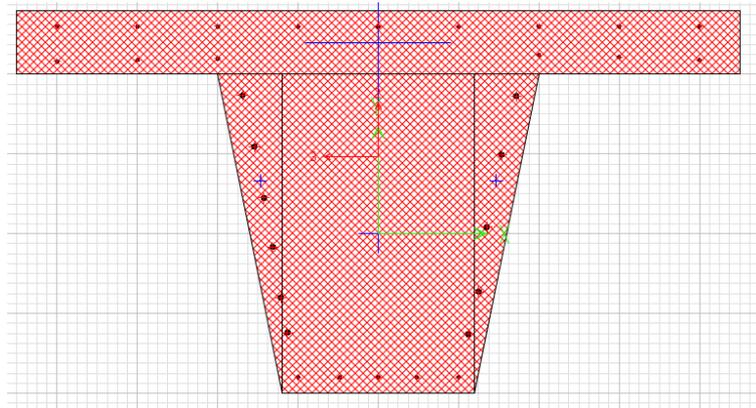


Figura III-22: Modelo de la sección transversal de la viga usada en el puente analizado. Fuente: Elaboración propia.

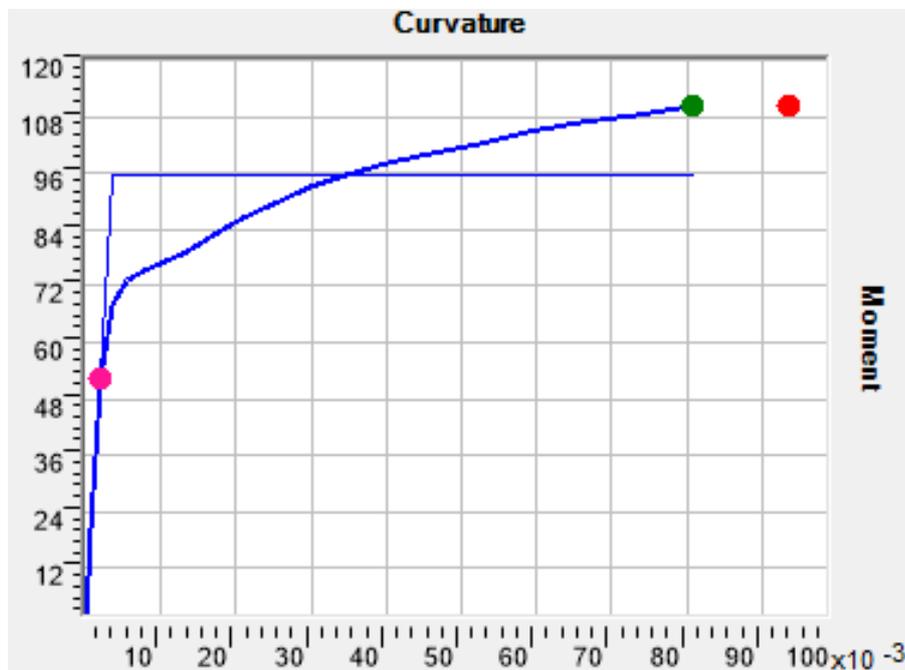


Figura III-23: Diagrama momento curvatura de la viga del puente. Fuente: Elaboración propia.

Es así que se deben recurrir a los procedimientos de análisis no lineal de estructuras. Debido a que estos métodos son capaces de tomar en cuenta las propiedades no lineales de los materiales involucrados, estos nos permiten conocer la resistencia máxima de un elemento y por consiguiente, la resistencia máxima de una estructura.

Se modeló la viga de concreto mediante la aplicación Section Designer del SAP 2000. En esta aplicación se deben ingresar las características geométricas de la estructura, así como las calidades de los materiales involucrados, en este caso el concreto y el acero de refuerzo de longitudinal y transversal, obtenido el resultado presentado en la Figura III-22.

Una vez obtenido el modelo de la sección mencionada, el programa reporta el diagrama momento curvatura de la sección estudiada. Este grafico brinda información de las cargas aplicadas a la estructura y la forma como esta responde ante estas acciones. Además, en el mismo grafico se presentan idealización de este comportamiento, mediante un comportamiento bilineal, encontrando que el momento de fluencia fue de 96 t.m, un valor bastante considerable para las aplicaciones en puentes.

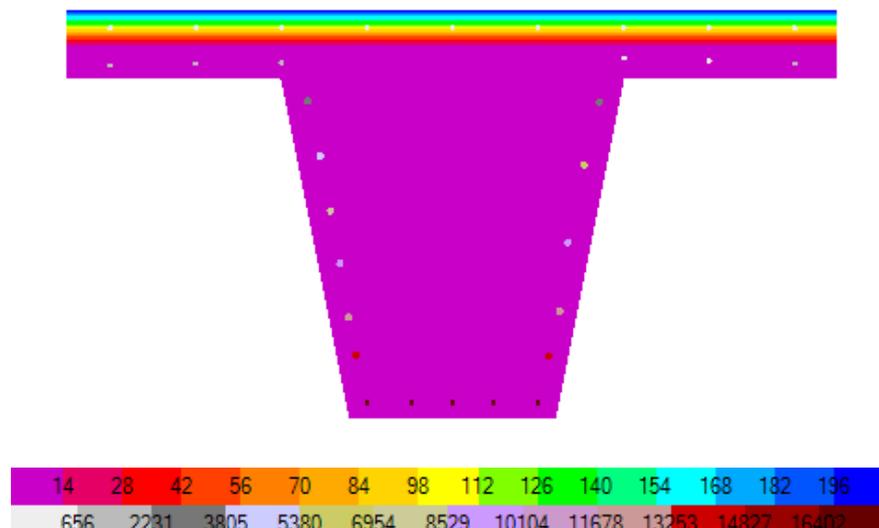


Figura III-24: Distribución de esfuerzos normales en la sección de la viga estudiada. Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente en la se muestran los diagramas de deformaciones unitarias que el programa genera para el cálculo de los diagramas momento curvatura.

En esta sección se muestra el estudio del comportamiento mecánica de la columna cuadrada de 60 cm de lado, al igual que en el caso anterior, la columna se modelo usando el section designer, encontrado los resultados mostrados en la Figura III-25.

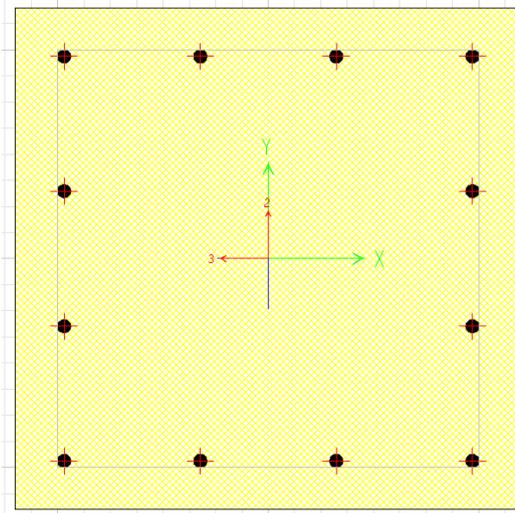


Figura III-25: Modelo de la sección transversal de la columna de puente analizado. Fuente: Elaboración propia.

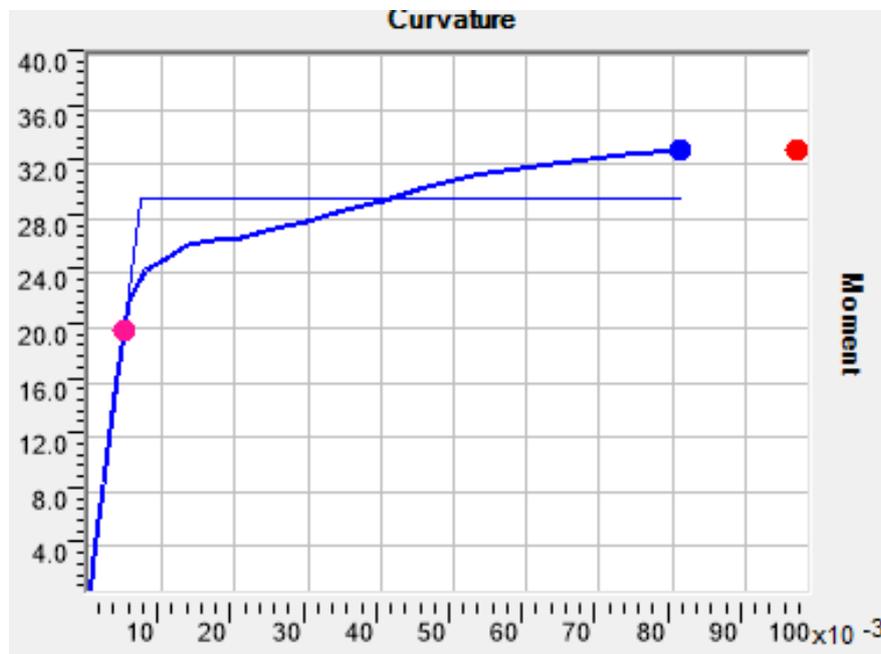


Figura III-26: Diagrama momento curvatura de la viga del puente. Fuente: Elaboración propia.

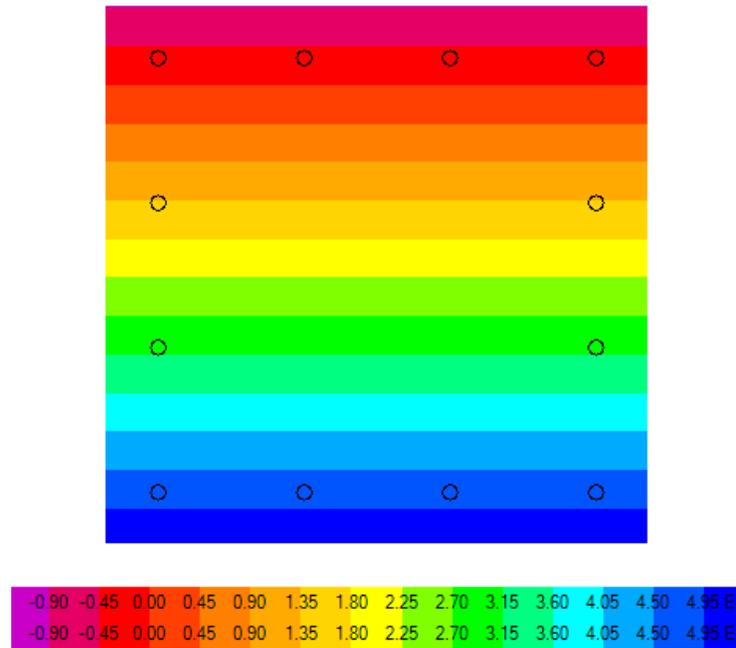


Figura III-27: Diagrama de deformaciones axiales presentes en la columna.  
 Fuente: Elaboración propia.

Una vez modelado, el programa reporta el diagrama momento curvatura de la sección estudiada, los resultados se muestran en la Figura III-26. De este diagrama se puede apreciar que el momento de fluencia de la sección fue de 30 t.m. Además, el programa reporta las distribución de deformaciones unitarias presentes en la sección de concreto armado y se muestran en la Figura III-27.

### 3.11 Evaluación del espectro de capacidad

En la sección anterior se mostró el modelamiento de los elementos del sistema resistente del puente, sin embargo, de acuerdo con los objetivos de este trabajo de investigación, se deben estudiar el comportamiento de la estructura como ente. De acuerdo con esto, se procedió al desarrollo del análisis estático no lineal de la estructura completa, la que obtiene como un ensamble de los elementos resistentes.

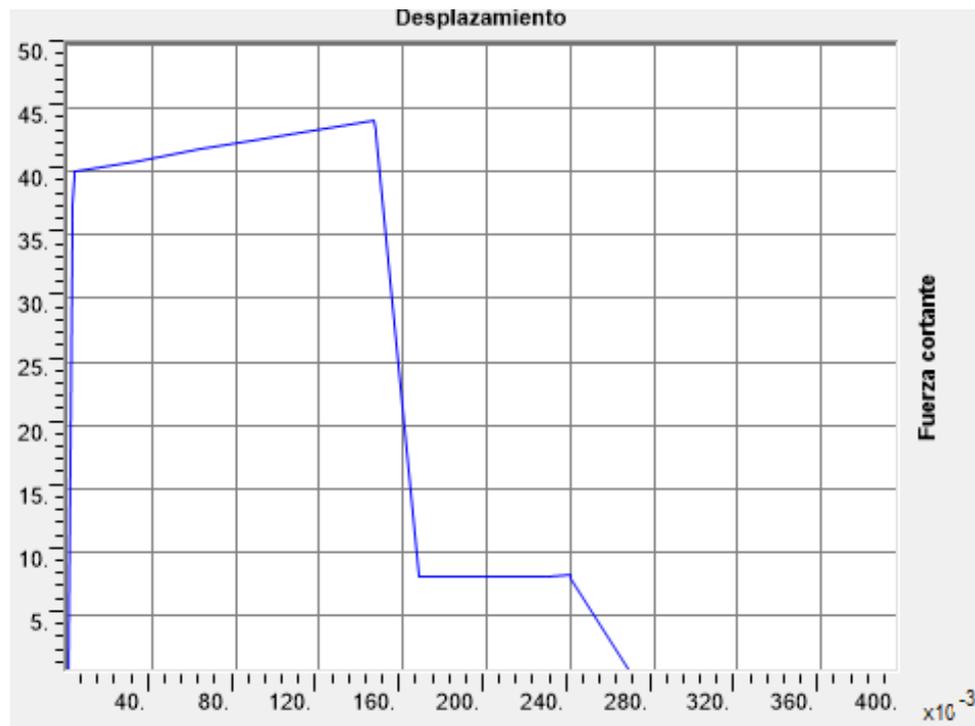


Figura III-28: Determinación del espectro de capacidad del puente estudiado. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos de este análisis se muestran en la Figura III-28, como se puede apreciar, este gráfico relaciona la carga lateral aplicada y las deformaciones laterales obtenidas, por lo que brinda información de la resistencia máxima de la estructura estudiada, además, de este gráfico se puede predecir cuál es la capacidad de desplazamiento máxima. De acuerdo con esto la resistencia lateral máxima fue de 40 t, por lo que es de esperar que, si un sismo logra superar este valor, la estructura se verá seriamente afectada. Además, en la Figura III-29, se muestran los resultados obtenidos del análisis estático no lineal, notándose la formación de las rotulas plásticas en cada caso. En este punto es importante aclarar que las rotulas plásticas

representan la daño que va apareciendo en las columnas, debido a la acción del sismo.

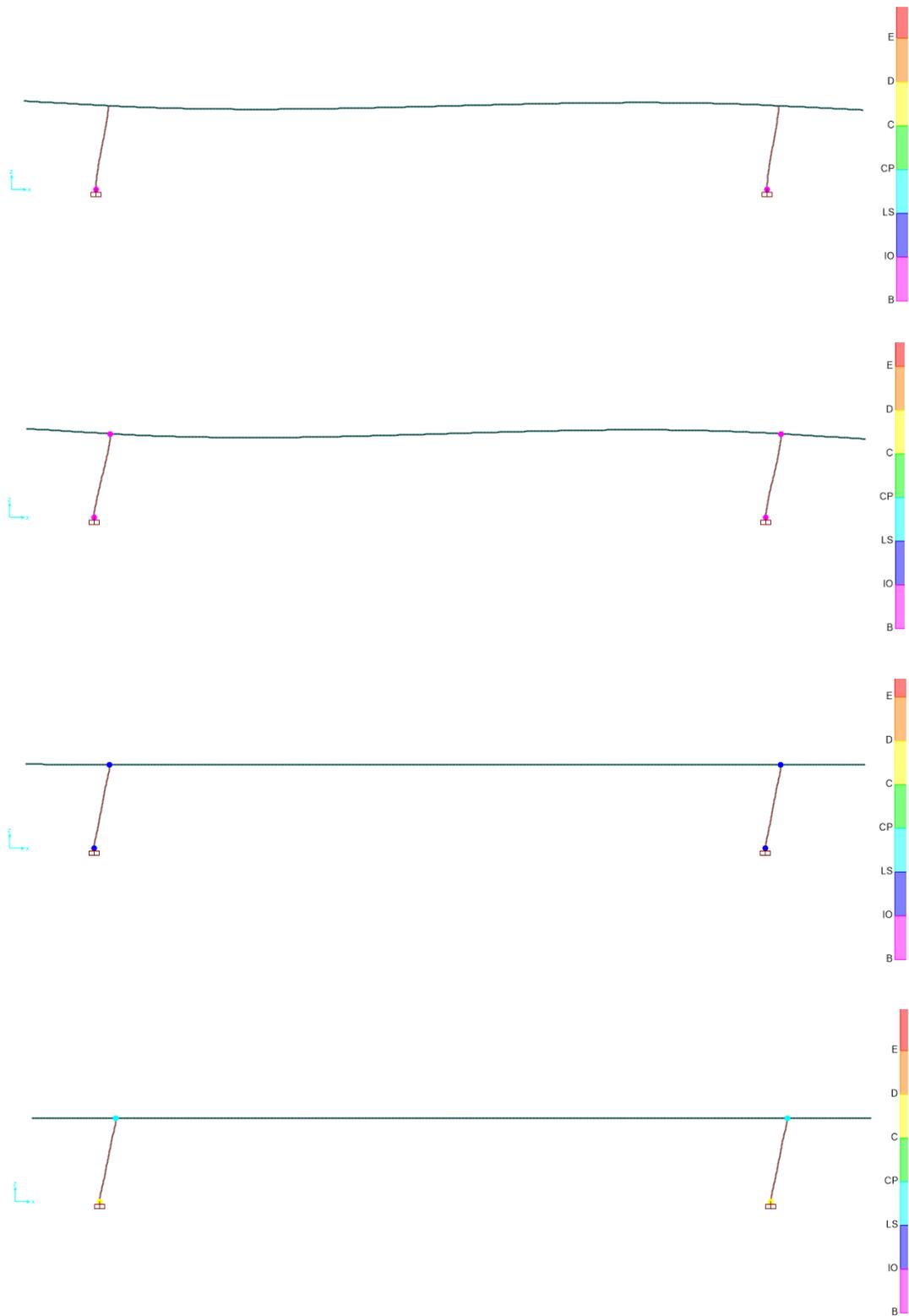


Figura III-29: Desarrollo de rotulas plásticas en la estructura estudiada. Fuente: Elaboración propia.

### 3.12 Evaluación del punto de desempeño

Una vez determinada la curva de capacidad de la estructura, conviene evaluar qué efecto tendrá demanda sísmica sobre esta, para esto se procede al cambio de coordenadas, de fuerzas y desplazamientos al espacio  $S_d$  y  $S_a$ , encontrando los resultados mostrados en la Figura III-30.

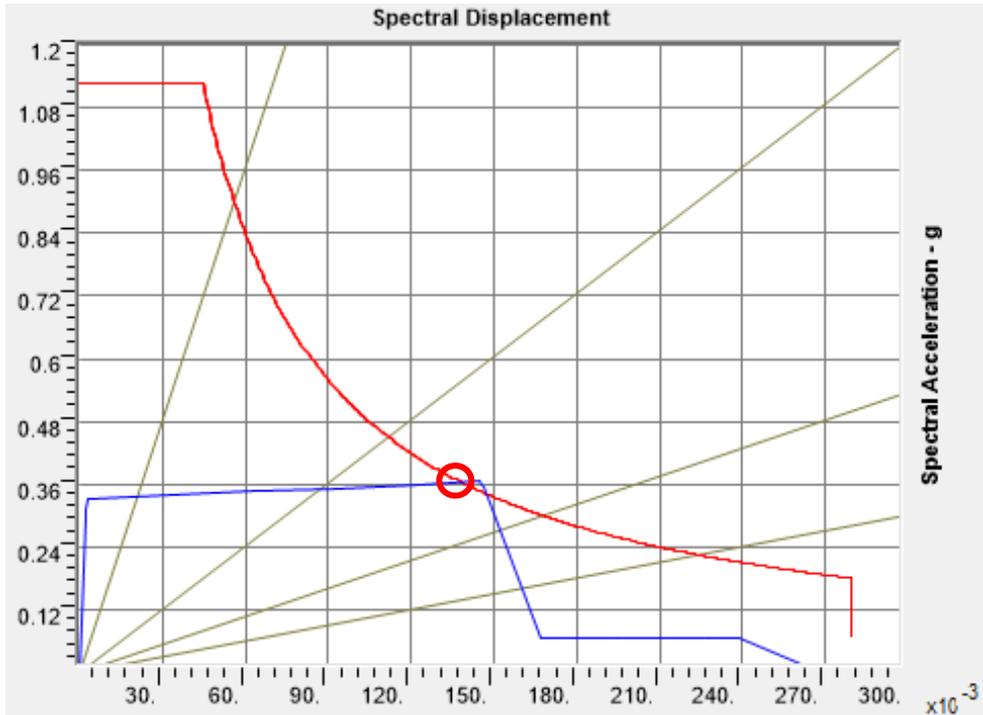


Figura III-30: Determinación del punto de desempeño de la estructura estudiada. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados encontrados muestran que la capacidad de la estructura es insipiente para soportar el nivel de demanda sísmica, por lo que se concluye que esta estructura resulta tremendamente vulnerable a la acción de un sismo.

### 3.13 Propuesta de reforzamiento

En la sección anterior, se determinó que en el estado actual, el puente es altamente vulnerable a un sismo con el nivel de peligro establecido en la norma de diseño sismo resistente, por lo que en esta sección se ha propuesto un reforzamiento de las columnas cuadradas de 60 cm. Con este fin, se propuesto acoplar una placa de 0.90m de longitud, tal como se muestra en la Figura III-31, el resultados final, será el de una placa con cabezal de 1.5 m de largo.

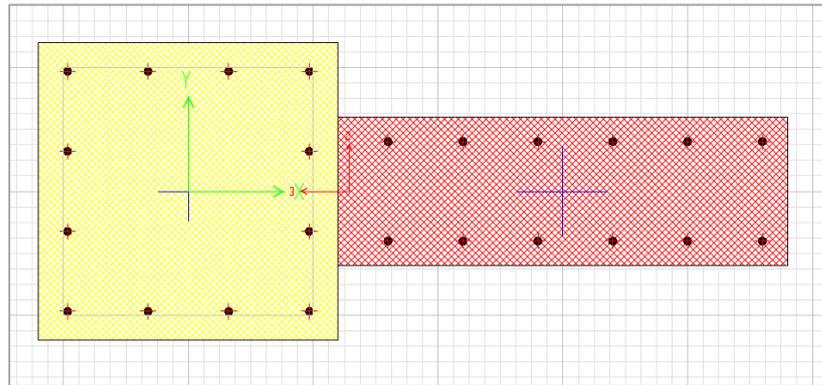


Figura III-31: Propuesta de reforzamiento de columnas existentes. Fuente: Elaboración propia.

Con esta idea en mente, se volvió a analizar la estructura, esta vez, considerando que los elementos verticales fueron tuvieron la sección propuesta, el modelo se muestra en la Figura III-32

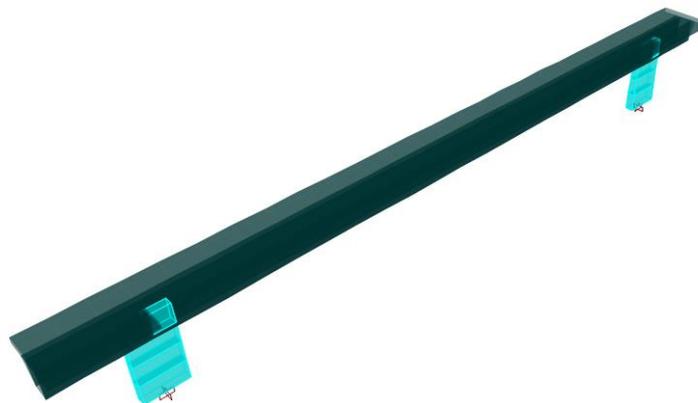


Figura III-32: Modelamiento de la propuesta de reforzamiento de columnas en puente estudiado. Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvieron los diagramas momento curvatura de la sección reforzada, encontrado que la capacidad del elemento se incrementó de manera notable, llegando a alcanzar las 140 t.m de esfuerzo de fluencia, como se muestra en la Figura III-34.

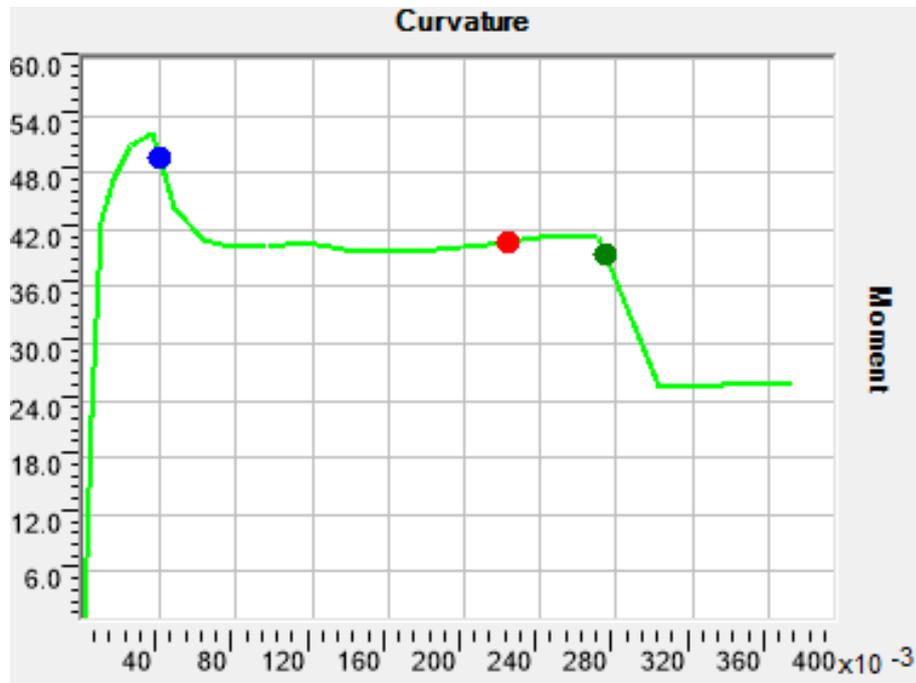


Figura III-33: Diagrama momento curvatura de la sección analizada, alrededor del eje x, eje débil. Fuente: Elaboración propia.

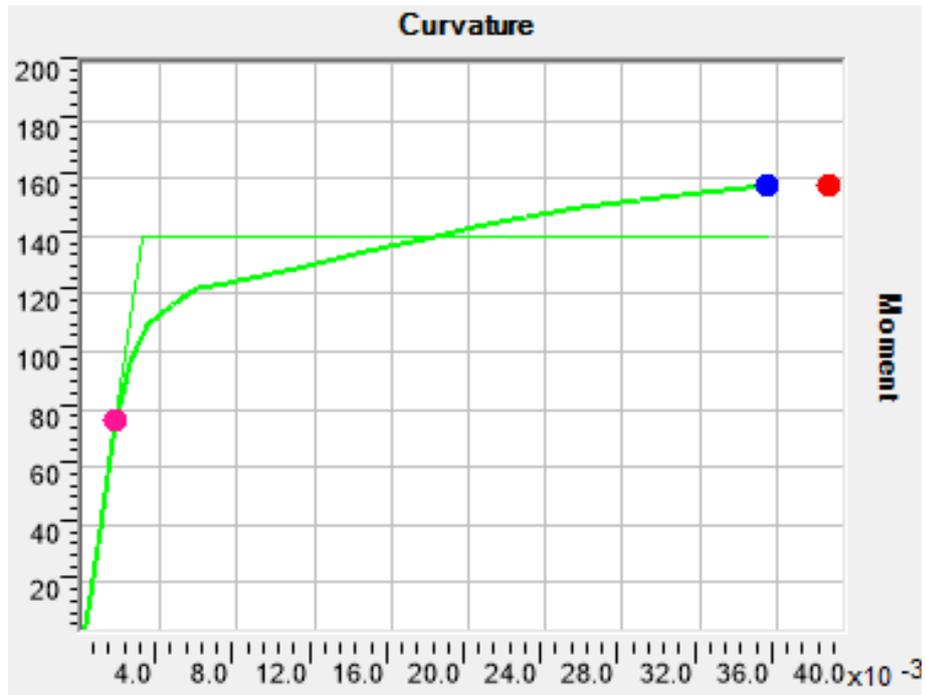


Figura III-34: Diagrama momento curvatura de la sección analizada, alrededor del eje y, eje fuerte. Fuente: Elaboración propia.

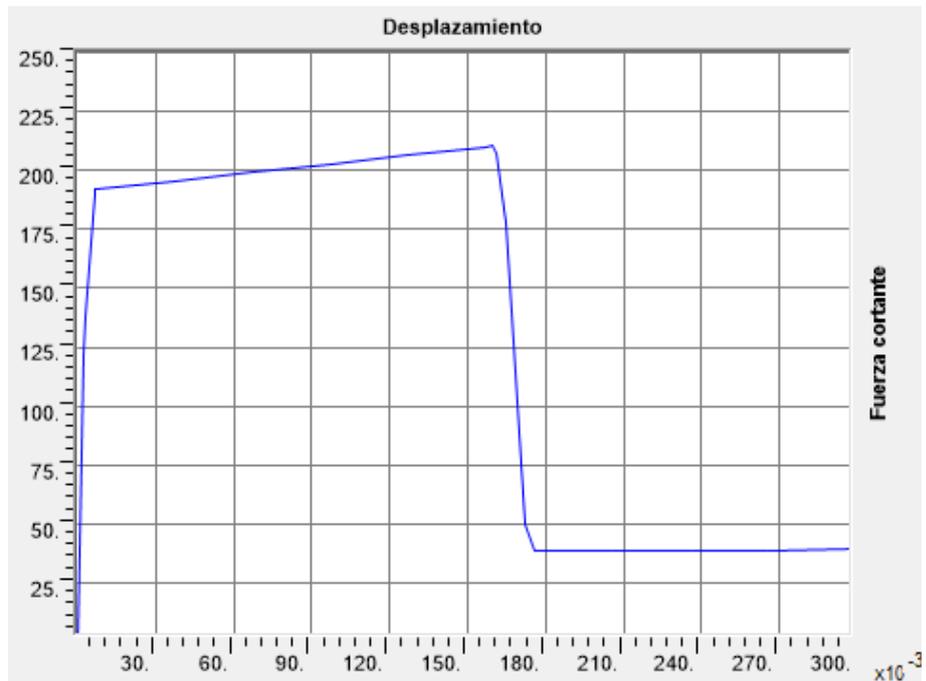


Figura III-35: Curva de capacidad de la estructura reforzada. Fuente: Elaboración propia.

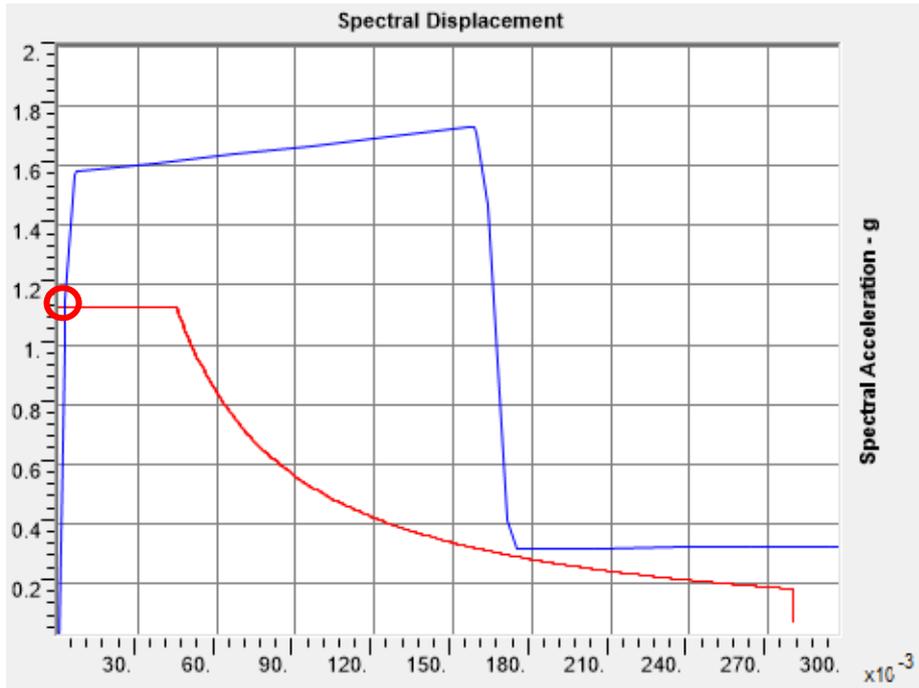


Figura III-36: Determinación del punto de desempeño de la estructura reforzada, para un sismo con periodo de retorno de  $T_r=475$  años. Fuente: Elaboración propia.

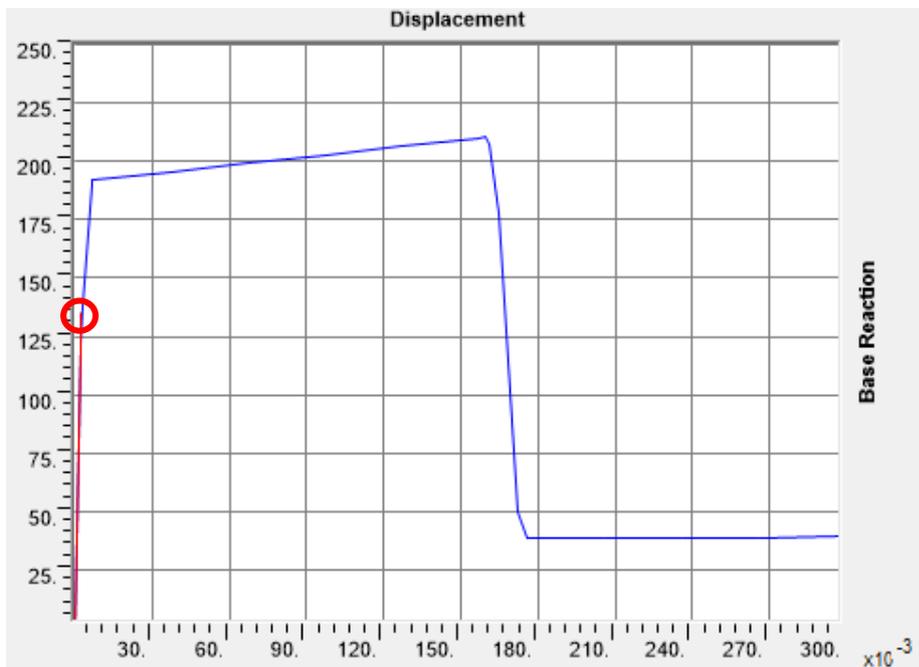


Figura III-37: Determinación del punto de desempeño en ejes fuerza y desplazamiento de la estructura reforzada, para un sismo con periodo de retorno de  $T_r=475$  años. Fuente: Elaboración propia.

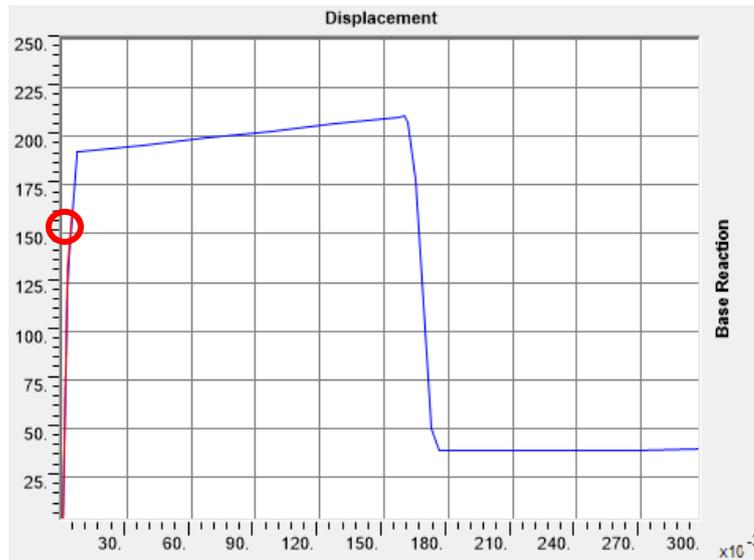


Figura III-38: Determinación del punto de desempeño en ejes fuerza y desplazamiento de la estructura reforzada, para un sismo con periodo de retorno de  $T_r=2500$  años. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se realizó el análisis estático no lineal de la estructura, encontrando los resultados mostrados en la Figura III-35. De este diagrama se puede observar que el momento de fluencia aumento hasta alcanzar aproximadamente las 200 t, un valor considerablemente alto, al ser comparado con las 50 t, de fuerza de fluencia de la estructura si reforzar. Finalmente se calculó el punto de desempeño de la estructura analizada encontrado que este se encontraba en la parte elástica de la estructura, es decir, después del reforzamiento el sismo considerado no generará ningún daño a la estructura estudiada, como se puede observar en la Figura III-37.

A manera de comparación, en la Figura III-38 se obtuvo el punto de desempeño de la misma estructura sometida a un sismo con un periodo de retorno de 2500 años, es decir, un sismo que es 1.5 veces el sismo dado por la norma de diseño sismo resistente. Como se puede ver de estos resultados, la estructura aún se mostró dentro del rango elástico lineal, por lo que se puede asegurar que el reforzamiento propuesto garantizará la integridad y la funcionalidad continua del puente estudiado, aun en el caso de un sismo muy raro.

### 3.14 Evaluación del Puente Peatonal Santa Luisa

#### 3.14.1 Evaluación de las características del puente

Como parte del proceso de evaluación de las estructuras existentes, en esta sección se presenta la evaluación o inspección in situ de la estructura estudiada. En la Figura III-39 se muestra la vista panorámica del puente Santa Luisa.



Figura III-39: Vista panorámica del puente Santa Luisa. Fuente: Elaboración propia.



Figura III-40: Vista lateral del puente Santa Luisa. Fuente: Elaboración propia.

De la inspección se pudo observar que el sistema resistente frente a cargas laterales estuvo conformado esencialmente por pórticos de concreto armado, unidos mediante conexiones rígidas, como se puede observar en la Figura III-39.

La inspección también reveló que las columnas de concreto armado fueron circulares de 60 cm de diámetro con una altura de 5.8m. De la misma se observó que el sistema resistente vertical estuvo conformado por tres columnas de concreto armado espaciadas aproximadamente 16m.

### 3.14.2 Cargas gravitacionales

Debido a las características del modelamiento, las cargas de gravedad deben aplicarse como cargas distribuidas linealmente, estas fueron obtenidas tomando en cuenta que las cargas muertas debidas a los accesorios y acabados son del orden de los 200 kg/m<sup>2</sup>, mientras que las cargas vivas fueron de 500 kg/m<sup>2</sup>.

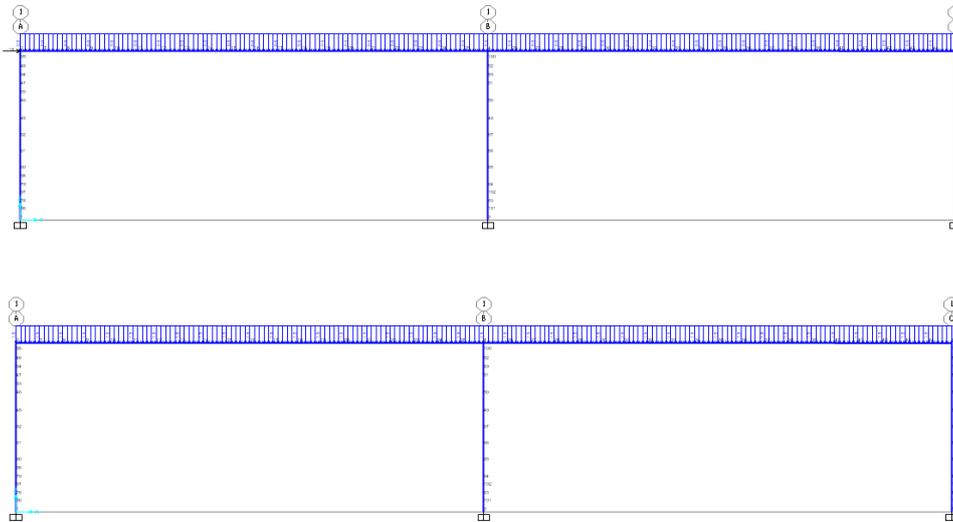


Figura III-41: Cargas gravitacionales aplicadas al puente analizado.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.14.3 Secciones de los elementos estructurales

De la recolección de datos se obtuvieron las dimensiones de los elementos estructurales. Se encontró que las columnas tuvieron un diámetro de 0.60m, con un refuerzo de longitudinal de dieciséis varillas longitudinales de 5/8 in y refuerzo transversal de 3/8 in.

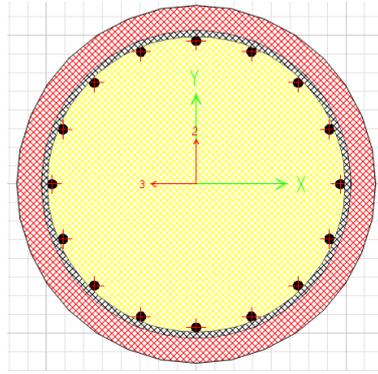


Figura III-42: Columna circular de 60 cm de diámetro con varillas de 5/8 in y 3/8 in. Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la viga losa, se encontró que tenía un refuerzo longitudinal de 1/2 in, mientras que el refuerzo transversal consistió en varillas de 3/8 in, tal como se muestra en la figura 3.43. La longitud de la losa fue de 2.5m, mientras que el ancho del conjunto losa viga fue de 0.60 m.

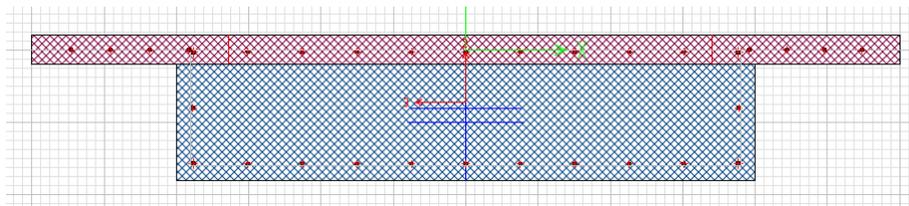


Figura III-43: Sección transversal de la viga-losa con varillas de 1/2 in. Fuente: Elaboración propia.

### 3.14.4 Análisis modal

Con la finalidad de poder estudiar las características dinámicas del puente Santa Luisa, se procedió a realizar un análisis modal. Los análisis modales son técnicas que permiten estudiar las formas en las que las estructuras vibrarían de encontrarse libre cargas externas.

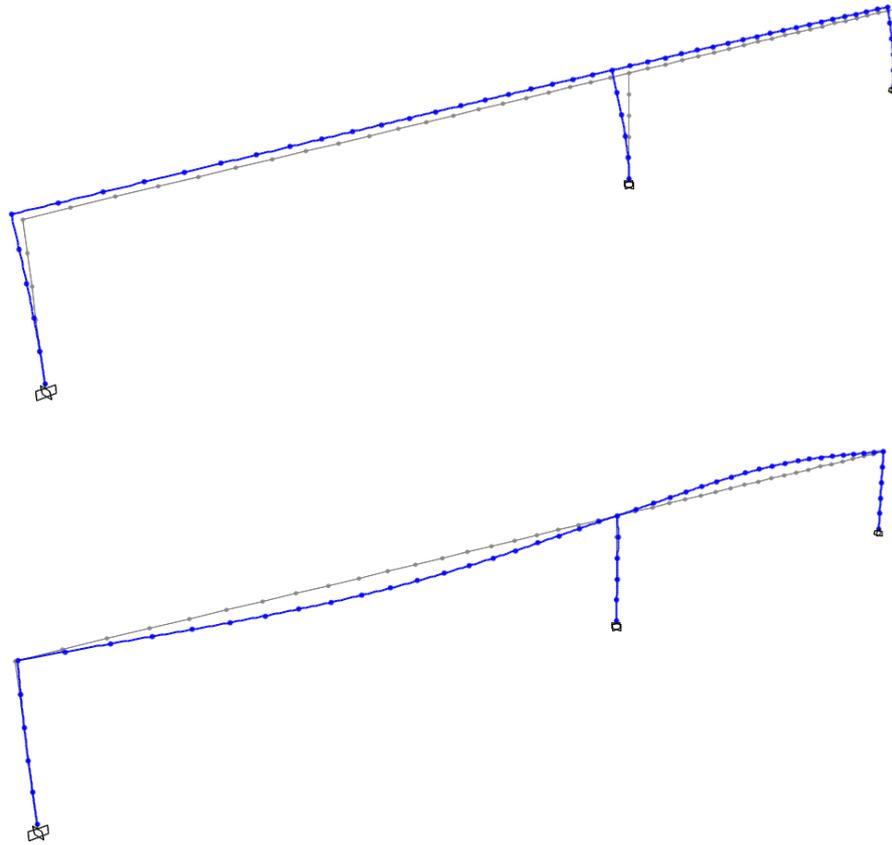


Figura III-44: Primera ( $T_1=0.86$  s) y segunda ( $T_2=0.49$  s) formas de modo de la estructura del puente Santa Luisa. Fuente: Elaboración propia.

El cálculo de las formas de modo resulta en información de gran valor, pues las formas de modo determinan la respuesta sísmica de una estructura, es decir, si la primera forma de modo resulta trasnacional, es muy probable que la respuesta sísmica resulta trasnacional. Es importante tener en cuenta que las estructuras tienen, en general, infinitas formas de modo, por lo que la repuesta de estas dependerá en gran medida del tipo de fuerzas actuantes.

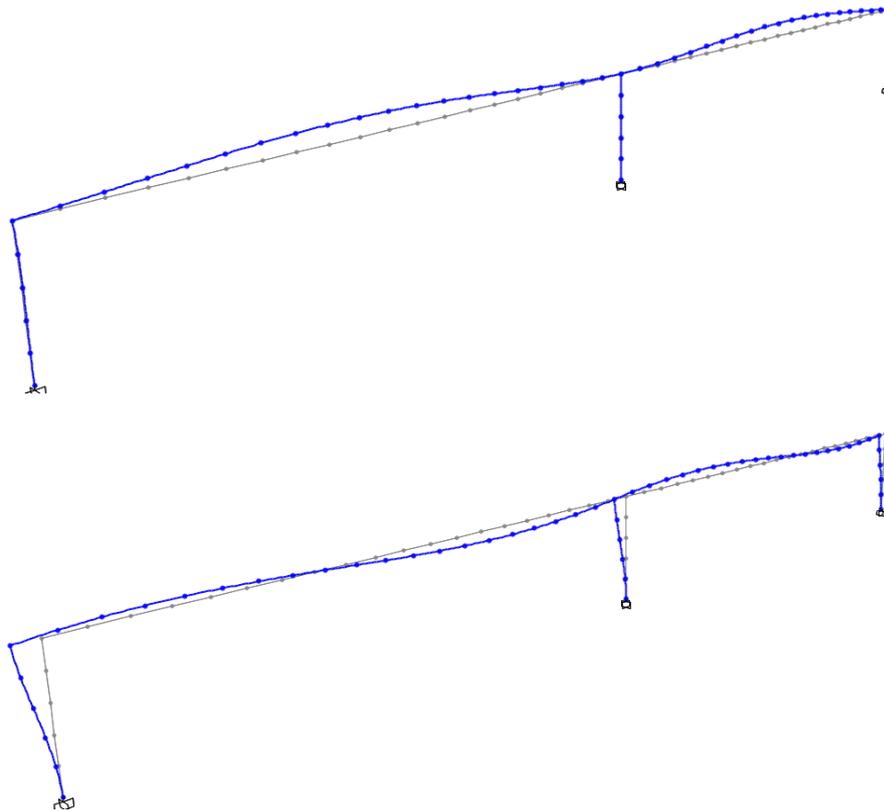


Figura III-45: Tercera ( $T_3= 0.44$  s) y cuarta ( $T_4=0.32$  s) formas de modo de la estructura del puente Santa Luisa. Fuente: Elaboración propia.

De los resultados presentados se puede observar que la primera forma de modo fue traslacional en la dirección transversal al puente analizado, como se observa en la Figura III-44. Esta forma de modo, sin embargo, no se tomará en cuenta en el análisis sísmico, debido a que en la dirección transversal existen rampas de concreto armado destinadas a las escaleras, las que se no se han tomado en cuenta en el modelamiento, debido a que el software usado no posee modelos para este tipo de elementos en su librería. Además, es importante aclarar que las escaleras, le brindarían rigidez y apoyo lateral a la estructura estudiada en caso se presente una acción en esta dirección.

La segunda forma de modo tiene una forma contenida en el plano del puente, de hecho, como se observa en la Figura III-45, esta forma de vibración indica que la vibración trasversal de la viga es un fenómeno importantes, estas respuesta tiene mucho sentido, ya que la luz presente entre las columnas de la estructura es de 16m, un valor considerablemente elevado. Los resultados indican que ante la eventual acción de un sismo con una componente vertical

considerable, es posible llegar a tener deflexiones importantes en la estructura, lo que puede llevar al colapso del tablero.

En cuanto a la tercera forma de modo, presentada en la Figura III-44, se observa, nuevamente, que son el conjunto tablero viga, los elementos que tienen una respuesta evidente y mucho más pronunciada, si se compara con los elementos restantes. Los resultados de la tercera forma de modo, no hacen más que indicar, nuevamente, que la vibración transversal del tablero viga, es uno de los parámetros importantes en la respuesta sísmica, en especial, en el caso en el que se tenga una componente vertical importante del sismo.

Finalmente, al observar la cuarta forma de modo de la estructura estudiada, se puede observar que esta, nuevamente esta contenida en el plano del puente, y que, además, es traslacional en dirección longitudinal del puente estudiado. Este resultado resulta importante, puesto que las demandas sísmicas impuestas a las estructuras, usualmente son más importantes en las direcciones laterales. De los resultados presentados se puede concluir que, ante la acción de un sismo lateral, la estructura estudiada terminará respondiendo de forma muy similar a la cuarta forma de modo.

Además, debido a las características de esta cuarta forma de modo, se observa que los elementos más demandados, son los elementos verticales, es decir las columnas circulares de 60 cm de diámetro. Es precisamente este resultado, el que justifica el estudio de la respuesta sísmica de la edificación presentada en esta sección, mediante el uso del análisis estático no lineal.

### 3.15 Definición de la demanda sísmica

La definición de la demanda sísmica es uno de los pasos más importantes a la hora de estudiar la vulnerabilidad sísmica de una estructura, pues el nivel de vulnerabilidad necesariamente se verá asociado al nivel de la demanda sísmica. Dentro la ingeniería moderna, se acostumbra a expresar la demanda sísmica por medio de espectros de diseño, los que a su vez dependen de una serie de parámetros que dependen su posición geográfica, el tipo de estructura, el tipo de suelo de fundación y hasta del sistema estructural.

Z	0.45	Factor de zona, pues se trata de la ciudad de Lima ( )
S	1.05	Factor de suelo, suelo intermedio (CISMID)
Tp	0.60	
Tl	2.00	
U	1.00	Factor de uso (Estructura Importante)
Ro	8.00	Factor de reducción básico (Pórticos).
la	1.00	Irregularidad en altura
lp	1.00	Irregularidad en planta
R	8	Factor de reducción $R=Ro.la.lb$

Sin embargo, el Perú no cuenta con una norma de diseño específica para puentes, y menos una norma específica para el cálculo de la demanda sísmica en puentes peatonales de concreto armado. Sin embargo, en este trabajo se aplicaron los lineamientos de la norma E030 del 2016, en la determinación de la demanda sísmica, en la medida de su aplicabilidad al problema de estudio.

De acuerdo con lo mencionado, los parámetros de zona (Z), uso (U), amplificación sísmica (C) y suelo (S) se eligieron de acuerdo con los lineamientos de la mencionada norma; sin embargo, en cuanto al factor de reducción de fuerzas sísmicas (R), se prefirió la consideración de que la demanda sísmica no se ve reducida, ya que, en general se desconoce la

capacidad de disipación de este tipo de estructuras. Tomando en cuenta estas consideraciones, se obtuvo el espectro de demanda sísmica, mostrado en la Figura III-8.

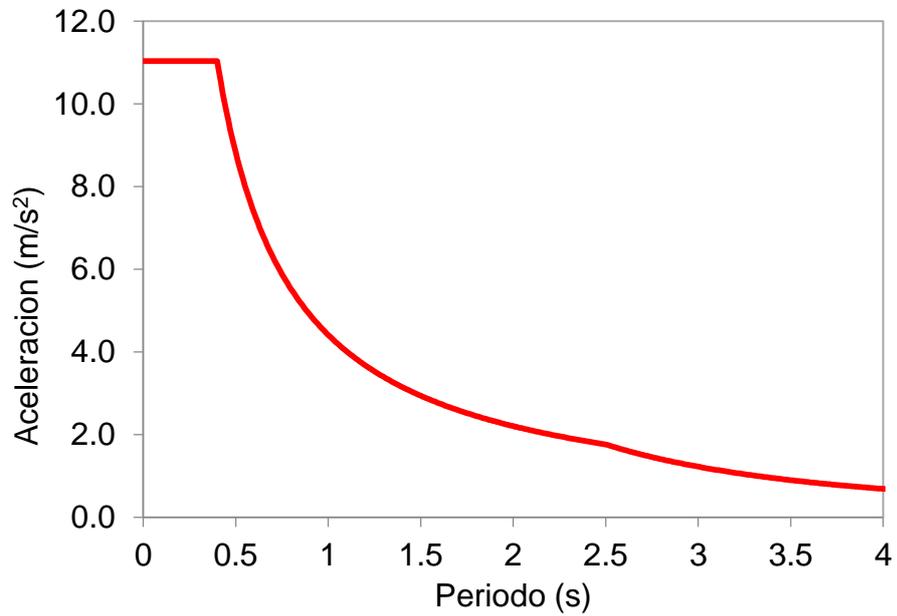


Figura III-46: Definición del espectro de demanda, de acuerdo con los lineamientos de la norma E030. Fuente: Elaboración propia.

### 3.15.1 Análisis modal espectral

El estudio de la respuesta sísmica de una estructura frente a la acción de cargas laterales es uno de los pasos más importantes a la hora de evaluar los posibles efectos de un sismo sobre una estructura, por lo que, en esta sección se han presentado los resultados del análisis sísmico, usando el método de superposición modal espectral.

Para poder obtener una respuesta adecuada, es importante ejecutar, previamente, un análisis modal, en este caso los resultados usados se obtuvieron de los presentados en la sección anterior. Además, se ha definido la demanda sísmica mediante el espectro de demanda presentado, igualmente en la sección anterior. Finalmente, el modelo de elementos finitos propuesto se muestra en la Figura III-48.

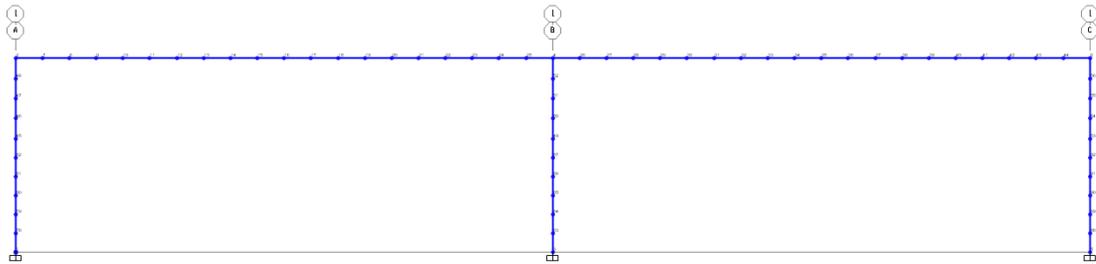


Figura III-47: Modelo de elementos finitos preparado para el análisis sísmico modal espectral. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar de esta gráfica, el puente ha sido idealizado como un ensamble de elementos Frame, los que además, se han discretizado usando el mallado presentado. El tamaño de la malla elegido, resultó ser adecuado, pues permite la evaluación de las formas de modo, adaptándose a la demanda de curvatura requerida.

Los resultados encontrados, en cuanto de desplazamientos laterales se muestran en la Figura III-48, encontrando que los máximos desplazamientos laterales fueron de 5.38 cm, para las tres columnas. Aunque, en general, el nivel de desplazamientos laterales no fue excesivamente grande, resulta muy considerable, ya que las distorsiones laterales máximas están en el orden de 9.3/1000. Si se compara este valor, con el límite de distorsiones máximas presentado en la norma de diseño simorresistente (E030, 2016),

para el caso de edificaciones, de 7/1000, se puede observar que sobrepasa con toda facilidad este valor, indicando este resultado que, es posible la ocurrencia de algún nivel de daño en la edificación estudiada.

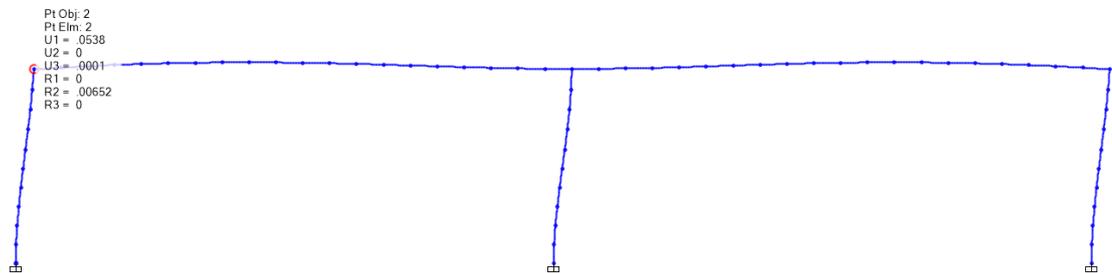


Figura III-48: Desplazamiento lateral máximo medido en la estructura estudiada, de 5.38 cm. Fuente: Elaboración propia.

Resulta interesante e importante, además, estudiar los máximos desplazamientos transversales alcanzados por el conjunto tablero viga, ya que esto permitirá poder en evidencia, la posibilidad de la formación de rotulas plásticas en el centro de luz de la viga estudiada. Los resultados encontrados se muestran en la Figura III-49, estos indican que el desplazamiento transversal del conjunto, alcanzó los 2.1 cm de desplazamiento. Si se divide este desplazamiento entre la luz de la viga, se encuentra 1/761, un valor, bastante bajo, si se considera que la norma de diseño en concreto armado (E060, 2003), menciona que la relación máxima de deflexión entre la luz de una viga no debe exceder de 1/480.

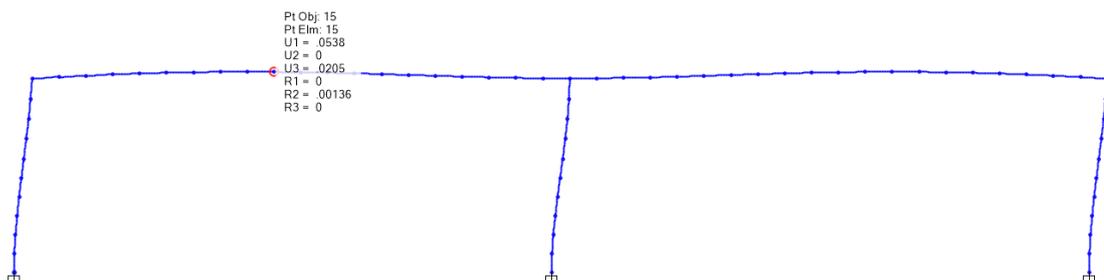


Figura III-49: Desplazamiento vertical máximo de la viga, de 2.1 cm. Fuente: Elaboración propia.

Los desplazamientos laterales de la estructura frente a la acción del sismo se muestran en la Figura III-50.

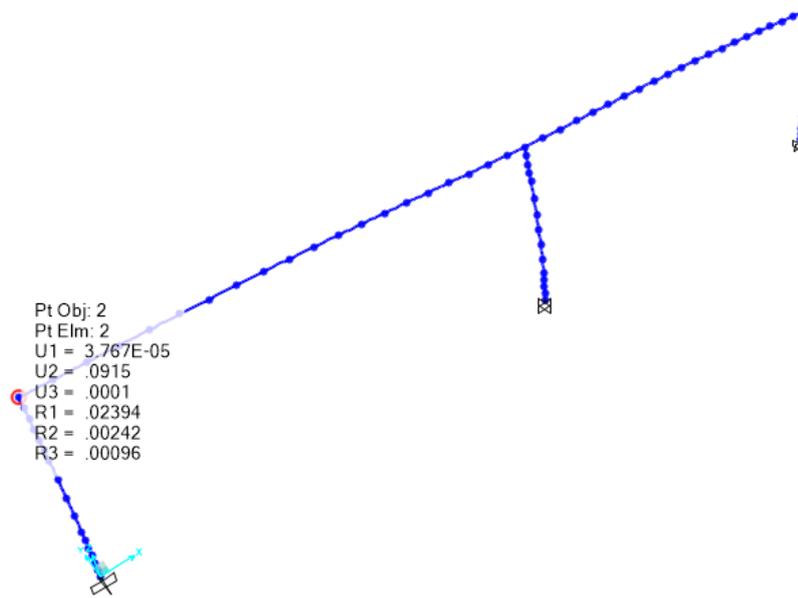


Figura III-50: Desplazamiento en el eje vertical 0.1 mm Fuente: Elaboración propia.

### 3.15.2 Análisis estático no lineal

La correcta evaluación del desempeño sísmico de la edificación presentada en este trabajo de investigación requiere de un estudio detallado de las características mecánicas de los elementos componentes, tales como las columnas, placas y vigas. Uno de los métodos disponibles para la evaluación de las características mecánicas de una edificación es el estudio de las características no lineales de esta, para esto se deben considerar las características no lineales de los materiales que los componen.

En la Figura III-51, se muestra el diagrama momento curvatura de una sección circular de una columna de concreto armado. Los resultados más importantes son el momento de fluencia y la capacidad de deformación, los que, en el presente caso fueron de 32.0 t.m y  $95/100 \times 10^{-3}$ , respectivamente.

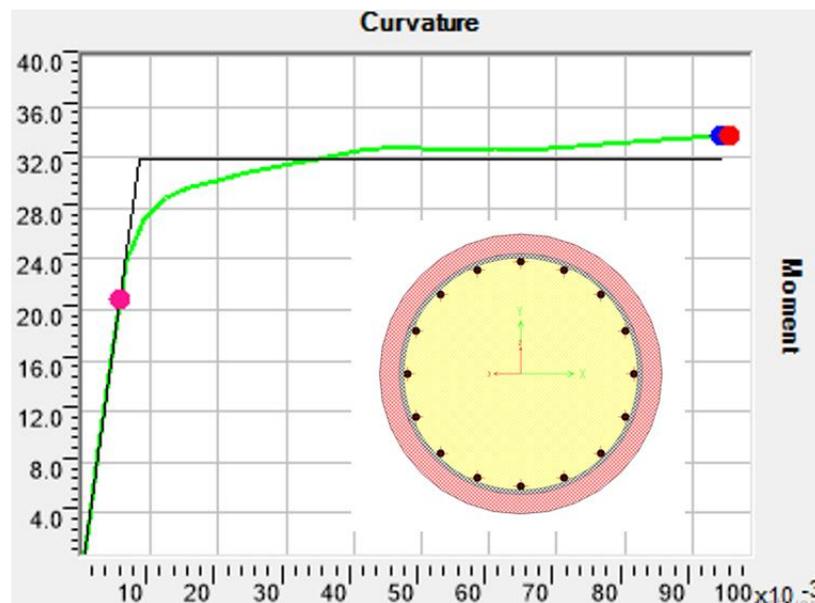


Figura III-51: Columna circular típica de concreto armado de 60 cm de diámetro y su diagrama momento curvatura. Fuente: Elaboración propia.

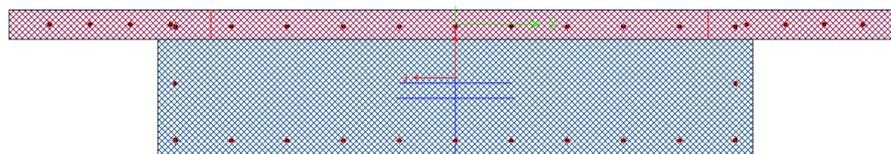


Figura III-52: Sección transversal la viga longitudinal del puente estudiado. Fuente: Elaboración propia.

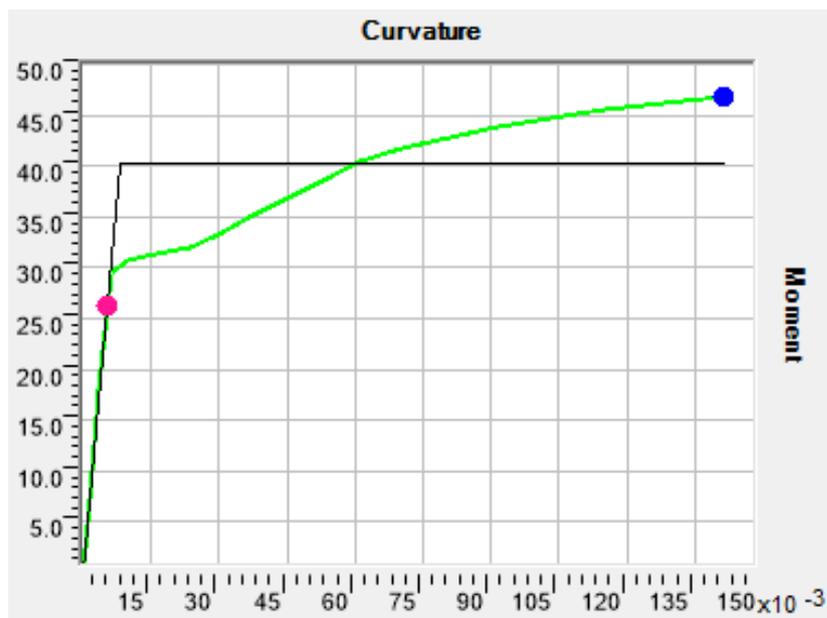


Figura III-53: Diagrama momento curvatura de la viga longitudinal del puente estudiado. Fuente: Elaboración propia.



Figura III-54: Modelo tridimensional del puente de dos vanos. Fuente: Elaboración propia.

### 3.15.3 Formación de rotulas plásticas

El proceso del análisis no lineal consiste en la ubicación de las zonas en las que hay formación de rotulas plásticas. Las rotulas plásticas son el resultado de las altas demandas de desplazamiento sobre un elemento estructural, por lo general aparecen concentradas en ciertas zonas, como en el caso de las columnas y las vigas, en las que se ha observado experimentalmente que aparecen en los extremos. En la Figura III-55 se muestra una secuencias de la formación de rotulas en la estructura.

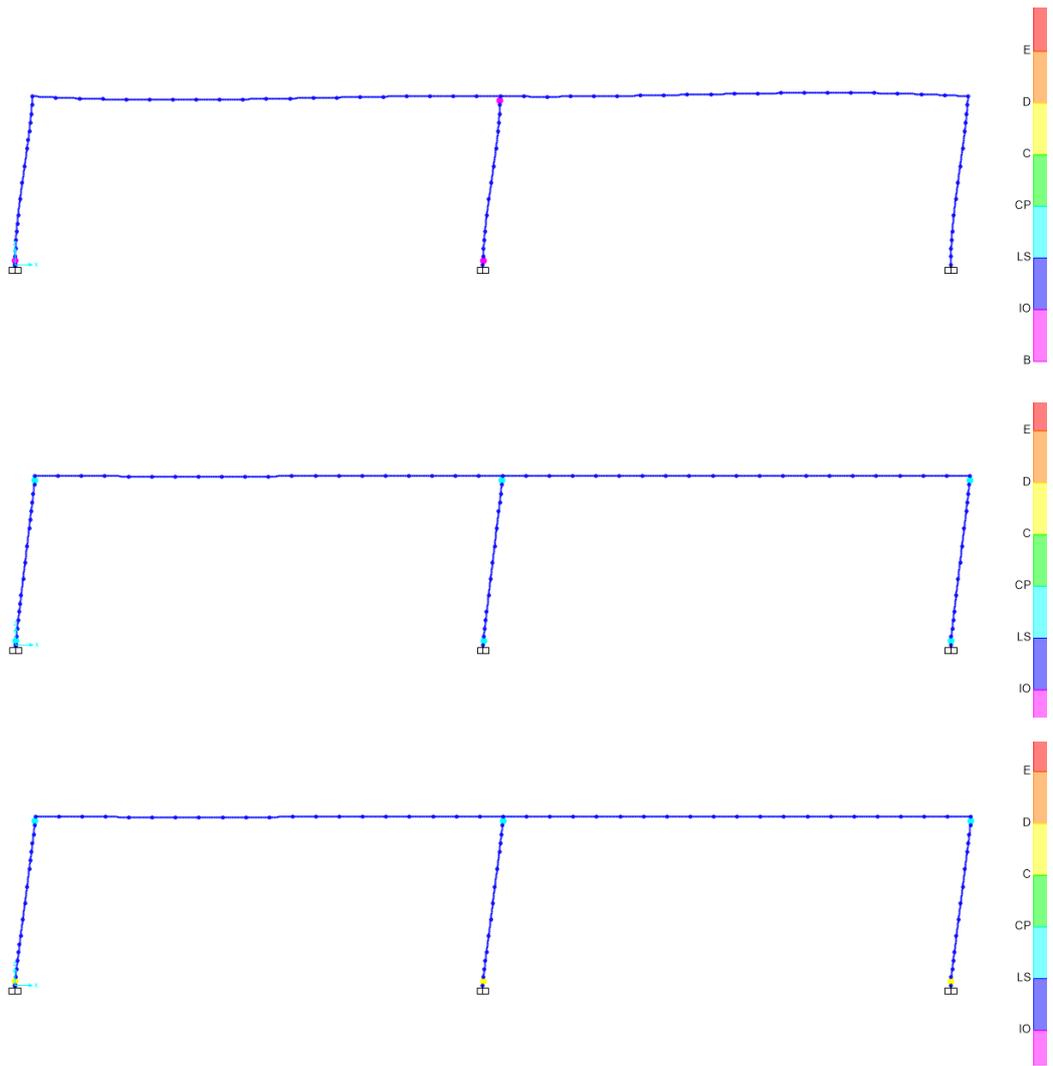


Figura III-55: Formación de rotulas plásticas en el puente Santa Luisa.

Fuete: Elaboración propia.

Los resultados encontrados, del análisis estático no lineal, nos muestran la curva de capacidad de la estructura analizada, mostrada en color azul en la Figura III-56. De este resultado se puede apreciar que la fuerza lateral de fluencia fue de 32 t, con un desplazamiento asociado de 2 cm. Además, conviene anotar que la capacidad de desplazamiento de la estructura fue de 34 cm, como se muestra en la misma figura.

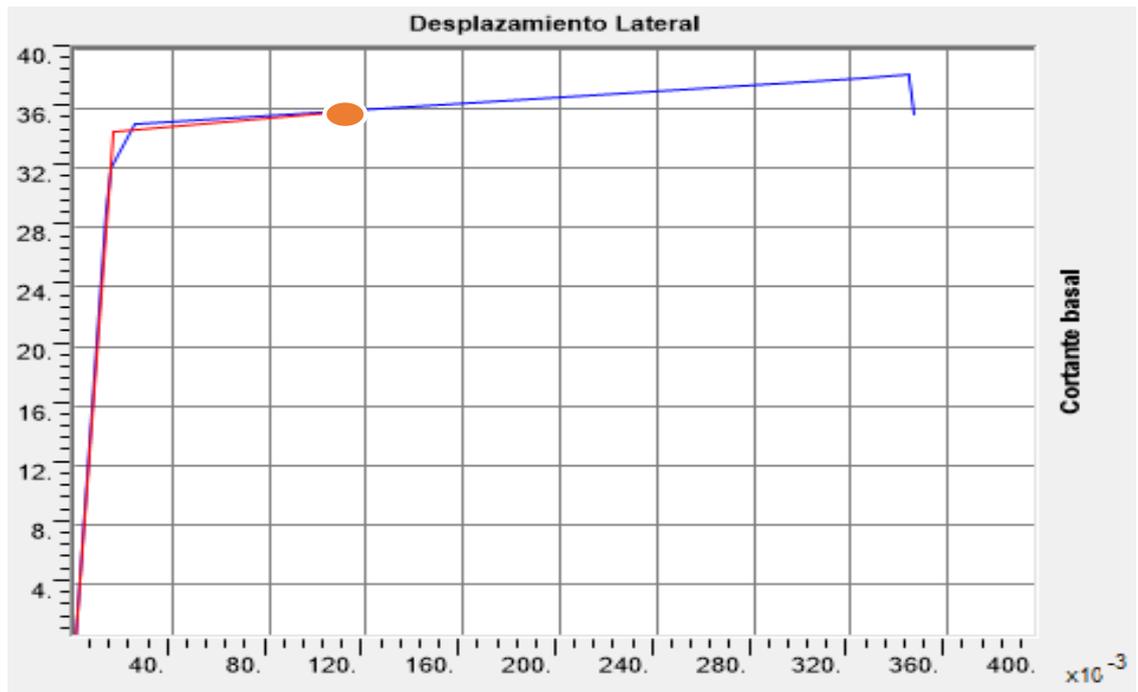


Figura III-56: Determinación del punto de desempeño de la estructura para un sismo con  $T_r=2500$  años. Elaboración propia.

Finalmente, se evaluó el punto de desempeño aplicando el método de los coeficientes, encontrándose la curva de color rojo, mostrada en la Figura III-56. Este resultado indica que ante un sismo con un nivel de peligro de 2500 años de periodo de retorno, la estructura se encontrará en un estado de daño moderado.

### 3.15.4 Propuesta de reforzamiento

Aunque los resultados encontrados en la sección anterior muestran que el desempeño sísmico del puente Santa Luisa es el adecuado, se ha propuesto un reforzamiento a las columnas existentes, que permitirían incrementar la capacidad de los elementos estructurales y por tanto de la estructura. Este reforzamiento tendrá como objetivo lograr que el puente analizado no presente daño ante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud.

De acuerdo con estos objetivos se ha realizado un proceso iterativo hasta obtener con el reforzamiento más adecuado, como se mencionó en el párrafo anterior, este debe lograr que la estructura permanezca sin daño ante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud.

El resultado del proceso iterativo se muestra en la Figura III-56. El reforzamiento propuesto ha considerado que se deben adosar elementos de concreto armado a los lados de la columna central, de tal forma que el resultado sea como el de una placa con un núcleo central, de ser hecho así, la longitud efectiva de la placa sería de 1.20m.

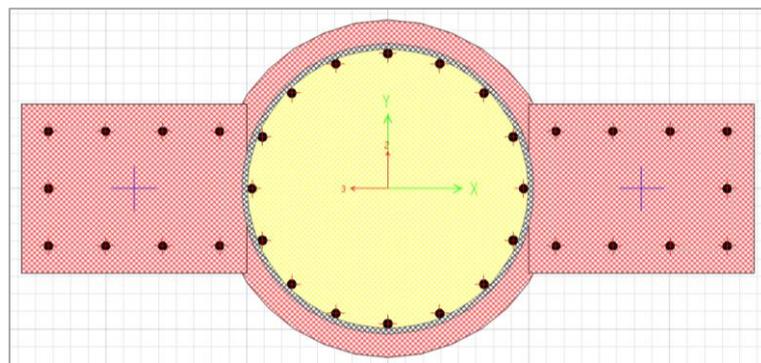


Figura III-57: Reforzamiento propuesto para la columna central. Elaboración propia.

Es importante mencionar que este reforzamiento es adecuado para la columna central, ya que es el ancho mínimo requerido para mejorar el desempeño de la estructura, pero también es el adecuado para no exceder del ancho permitido, por cuestiones de espacio.

En el caso de las columnas exteriores, se ha planteado un reforzamiento similar, pero en estos casos se ha tenido en consideración que es complicado una extensión en ambos sentidos, por lo que el refuerzo se ha planteado únicamente en una dirección, como se muestra en la Figura III-57.

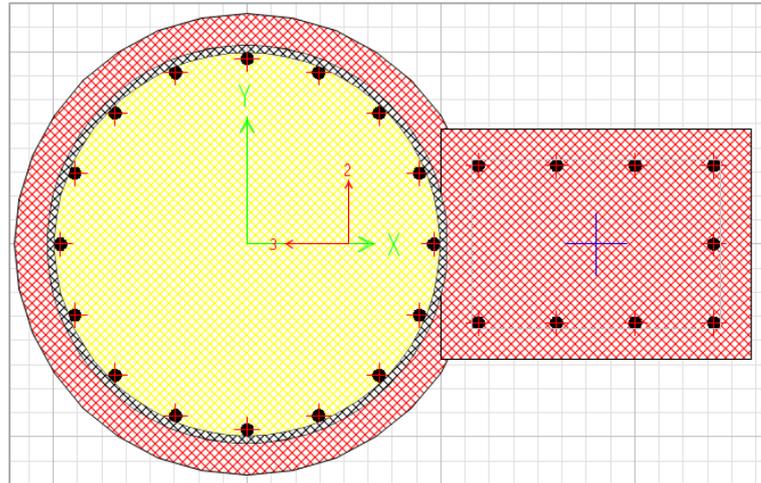


Figura III-58: Reforzamiento propuesto para la columna exterior.

Elaboración propia.

Al igual que el caso anterior, este nuevo elemento debe adosarse al núcleo circular de la columna original. Para poder garantizar una adherencia adecuada, se deben extender los refuerzos transversales dentro del núcleo de la columna y usar un aditivo que permita una perfecta adherencia entre el concreto existente y el colocado más recientemente.

En cuanto a los materiales considerados, se debe mencionar que se han usado varillas corrugadas grado 60 con diámetros de 5/8 in, es decir, se han usado los mismos diámetros que están colocados en el núcleo de la columna. En cuanto al refuerzo transversal, se debe mencionar que se usaron varillas de 3/8 in, y que estos fueron espaciados de manera típica, es decir, el primero a 5cm de la interfaz columna suelo, diez con un espaciamiento máximo de 10 cm y el resto espaciadas cada 20cm.

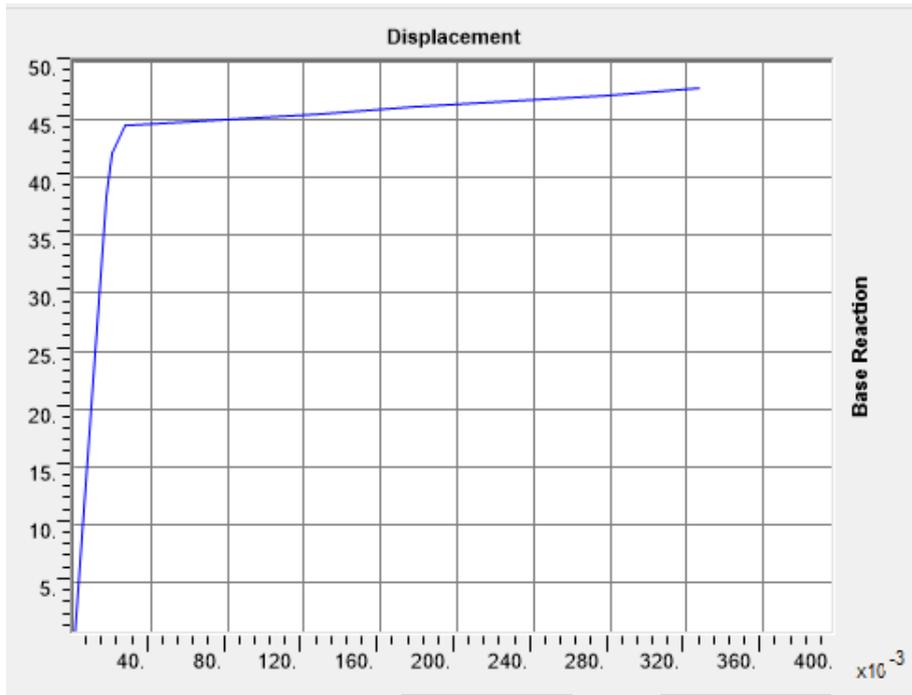


Figura III-59: Curva de desempeño de la estructura reforzada. Elaboración propia.

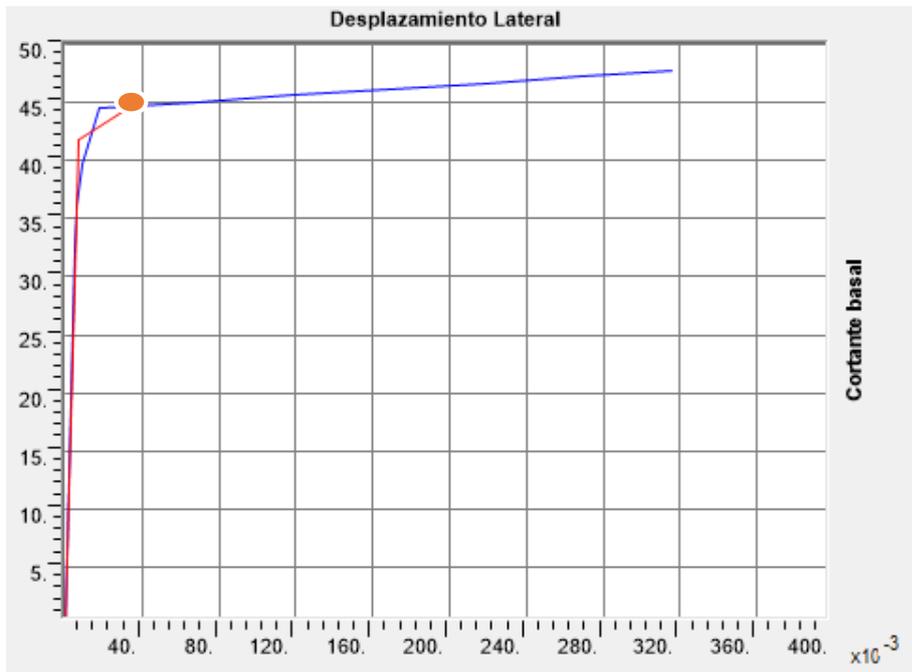


Figura III-60: Determinación del punto de desempeño de la estructura reforzada. Elaboración propia.

Finalmente, se llevó a cabo el análisis estático no lineal de la estructura, la que fue modelada usando el SAP 2000, como se muestra en la Figura III-61. Los resultados se obtuvieron en forma de curva de capacidad, como la mostrada en la Figura III-59.

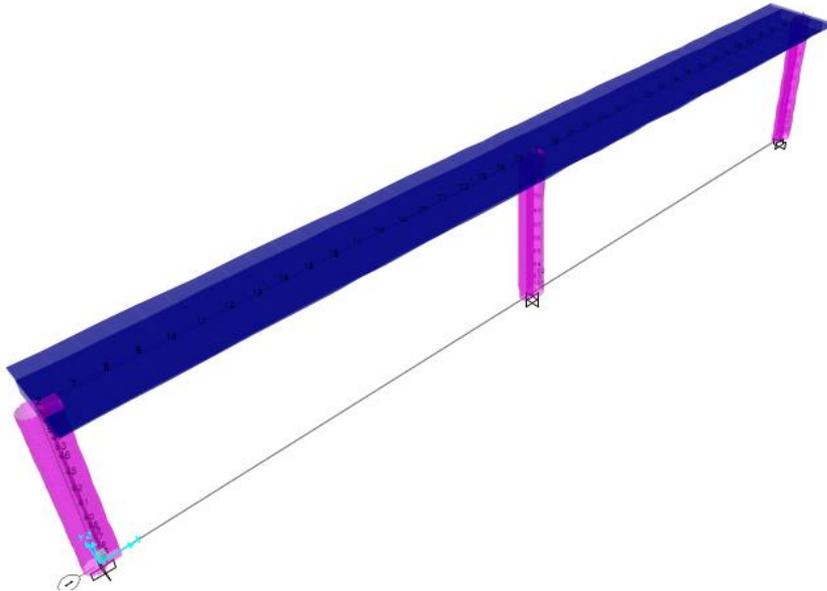


Figura III-61: Modelo tridimensional de la estructura reforzada en SAP 2000. Elaboración propia.

Los resultados encontrados sugieren un incremento importante en la resistencia lateral, ya que en el caso anterior la resistencia de fluencia fue de 35 t, mientras que después del reforzamiento se obtuvo cerca de 45t. Además, el cálculo del punto de desempeño muestra una mejora importante, ya que en el caso anterior este punto alcanzaba el rango no lineal de la estructura, mientras que en el caso mostrado, el punto de desempeño está dentro del rango elástico, es decir, el nivel de daño es insignificante.

## DISCUSIONES

Los resultados encontrados muestran que el primer puente estudiado tuvo un desempeño sísmico inadecuado, ya que el punto de desempeño encontrado se ubicó muy cerca del punto de colapso, lo que indica que la estructura estudiada quedará muy seriamente dañada ante la acción de un sismo con un periodo de retorno de 475 años. Los resultados encontrados son congruentes con los resultados encontrados por la investigación de Rivera (2013), “Evaluación Simplificada de la Vulnerabilidad Sísmica de Puentes Urbanos”, ya que se encontró que los puentes peatonales con bajos niveles de redundancia estructural son muy vulnerables frente a la acción de un sismo. Se encontró que la primera estructura estudiada presentaba únicamente dos columnas de concreto.

En cuanto a la rigidez lateral del puente estudiado, se encontró que esta tuvo un valor de 500t/m, además, se observó que el periodo natural de vibración fue de 0.2s. Estos valores son similares a los obtenidos por Ortiz (2013) “Evaluación del comportamiento vibratorio de puentes peatonales bajo carga peatonal”, quien encontró que los periodos de vibración de los puentes peatonales de dos columnas tenían un valor promedio de 0.3s. En este punto resulta de gran importancia entender que el estudio de Ortiz (2013), se basó en vibraciones ambientales, por lo que los periodos de vibración obtenidos resultan ser bastante confiables, pero solo son válidas dentro del rango elástico de comportamiento, esto debido a que, usualmente, las vibraciones ambientales de las estructuras se dan únicamente en este intervalo.

La metodología implementada consistió en el uso del análisis estático no lineal, método que es capaz de incorporar en su formulación las características no lineales de los materiales involucrados. En este sentido, y de acuerdo con Casimiro (2012) “Desempeño Sísmico De Edificaciones Bajo El Sismo De Nivel Ocasional”, y Ampuero (2012) “Consideraciones estructurales en el análisis y diseño de puentes”, el método mostró ser confiable a la hora de predecir el posible desempeño sísmico de una edificación, ya que combina, tanto el estudio de las características de los materiales, como el estudio de la demanda sísmica. Además, los autores mencionados recomiendan tener en consideración que el punto de desempeño encontrado, no es un valor determinístico, sino que es un valor medio, es decir, existe un 50% de probabilidad de que este valor sea excedido.

## CONCLUSIONES

1. En cuanto a los desplazamientos, de los resultados se pudo observar que la demanda desplazamientos máximos, en el caso de la estructura (Puente Peatonal Santa Luisa), se logró la disminución notable que estaba en el orden de los 4cm. Con respecto a los resultados del Puente Peatonal Yanbal se logró una disminución en los desplazamientos del orden de los 5 cm.
2. De los resultados presentados, en el Puente Peatonal Santa Luisa se pudo observar que la propuesta de reforzamiento logró incrementar la resistencia lateral logrando alcanzar una resistencia de 34 t a 45 t .En el Puente Peatonal Yanbal hubo un incremento en la resistencia lateral logrando una resistencia de 200 t, es decir el cuádruple de la resistencia lateral inicial (50t).
3. De los resultados obtenidos del Puente Peatonal Santa Luisa, el reforzamiento propuesto logró un incremento notable de la rigidez lateral de 1750 t/m (35t/2cm), a una rigidez lateral de 2250 t/m (45t/2cm). En el Puente Peatonal Yanbal se halló en la rigidez un incremento de 500 t/m (40t/8cm) a 3300 t/m (200t/6cm).
4. El comportamiento sísmico de puentes reforzados con placas de concreto logró una mejora notable en el comportamiento del puente Santa Luisa, logrando que la máxima demanda sobre el puente haga que este se encuentre en el límite del rango elástico. Esto resulta ventajoso, ya que no requerirá ninguna reparación post-sismo.

## RECOMENDACIONES

1. Los métodos de análisis obtenidos, nos muestran que en general, los puentes con sólo dos columnas, resultaron ser muy vulnerables a la acción de un sismo. Por lo que se recomienda estudiar la incidencia de la redundancia estructural en la vulnerabilidad de las edificaciones frente a la acción de un sismo.
2. Se recomienda el uso de varillas de acero 5/8 in como refuerzo longitudinal de los elementos que se adosan a las columnas existentes, ya que se observaron buenos resultados.
3. Se recomienda el uso de varillas de acero transversal, especialmente de 3/8 in de diámetro, espaciadas de manera adecuada, según los detalles de cada proyecto.
4. Se recomienda el incremento de las secciones de concreto armado usando una configuración cercana al sistema dual, pues los resultados muestran un buen desempeño en las estructuras que tienen este tipo de refuerzos.

## REFERENCIAS

1. **Aburto Calderón, Pilar Andrea.** *Análisis de la vulnerabilidad sísmica del puente Pedro de Valdivia-Chile.* Valdivia : Universidad Austral de Chile, 2013.
2. **Rivera Vargas, Darío.** *Evaluación simplificada de la vulnerabilidad sísmica de puentes urbanos.* Mexico : Centro Nacional de Prevención de desastres-CENAPRED, 2015.
3. *SEISMIC VULNERABILITY ASSESSMENT OF REINFORCED CONCRETE BUILDINGS USING MICROTREMOR MEASUREMENTS.* **Hamamoto, Takuji y Ozeki, Yusuke.** New Zealand : s.n., 2000, World Conference Earthquake Engineering.
4. **Basurto Cartulin, Rosario del Pilar.** *Vulnerabilidad sísmica y mitigación de desastres en el distrito de San Luis.* Lima : Universidad Ricardo Palma, 2015.
5. **Pinilla Ramos, Camilo Ignacio.** *Correlación entre el perfil de velocidad de propagación de ondas de corte y el espectro de respuesta en suelos.* Santiago de Chile : Universidad de Chile, 2012.
6. **Silva Bustos, Natalia Andrea.** *Vulnerabilidad sísmica estructural en viviendas sociales y evaluación preliminar de riesgo sísmico en la región metropolitana.* Santiago de Chile : Universidad de Chile, 2012.
7. **Flores de los Santos, Roberto Ángel.** *Diagnóstico preliminar de la vulnerabilidad sísmica de las autoconstrucciones en Lima.* Lima : Pontificia Universidad Católica del Perú, 2012.
8. **Vizconde Campos, Adalberto.** *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de un edificio existente.* Lima : Universidad de Piura, 2014.
9. **Constantin, R. y Beyer, K.** *Modelling of Reinforced Concrete Core Walls Under Bi-directional Loading.* Lisboa, Lisboa, Portugal : s.n., 2012.

10. *Behaviour of U-shaped RC walls under quasi-static cyclic diagonal loading.* **Constantin, Raluca y Beyer, Katrin.** 2016, Engineering Structures, págs. 36-52.
11. **Escolano, Margarit, y otros.** *Failure Mechanism of Reinforced Concrete Structural Walls with and without Confinement.* Lisboa, Lisboa, Portugal : s.n., 2012.
12. **Galvez Villacorta, Adolfo.** *Propuesta del Factor de Reduccion de Fuerza Sismica para sistemas estructurales en Concreto Armado con muros reforzados por barras ductiles y mallas electrosoldadas.* s.l. : PUCP, 2008.
13. **Giberson, Melbourne Fernald.** *The response of nonlinear multi-story Structures subject to earthquake excitation.* Pasadena California : California Institut of Technology, 1967. Thesis.
14. **Ilgadi, Otman B.** *Advanced three-dimensional analysis of concrete structures using nonlinear truss models.* Colorado : Colorado University, 2013. Phd Thesis.
15. **Mander, Jhon Barrie.** *Seismic Design of Bridge of Piers.* Christchurch : University of Canterbury, 1983. Phd Thesis.
16. *Seismic Design and Construction Practices for RC Structural Wall Buildings.* **Massone, Leonardo, y otros.** 2012, Earthquake Spectra, págs. 245-256.
17. *Analysis of shear-dominated RC columns using the nonlinear truss analogy.* **Moharrami, Mohammadreza, y otros.** 2014, Earthquake Engineering Structural Dynamics.
18. **Ortiz, Arcangel.** *Diseño Sismico de Muros de Concreto Armado. Bases para el diseño por desplazamientos.* Instituto de Ingenieria UNAM : Mexico, 2014. Tesis de Maestria.
19. *Nonlinear Cyclic Truss Model for Reinforced Concrete Walls.* **Panagiotou, Mario, y otros.** 2012, ACI Structural Journal, págs. 205-2014.

20. **Paulay, Tom y Priestley, Nigel.** *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Building.* New York : John Wiley & Sons, Inc., 1992.
21. *Cyclic behavior of thin RC Peruvian shear walls: Full-scale experimental.* **Quiroz, Luis, Yoshihisa, Maruyama y Zavala , Carlos.** 2013, Engineering Structures, págs. 153-167.
22. **Roca Loayza, Dandy.** *Resistencia Probable a flexocompresión de muros estructurales de concreto armado.* Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 2015. Tesis de Maestría.
23. *The Modified Compression-Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subject to Shear.* **Vecchio, Frank y Collins, Michael.** 1986, ACI Journal, págs. 219-231.
24. *Damage and Implications for Seismic Design of RC Structural Wall Buildings.* **Wallace, Jhon, y otros.** 2012, Earthquake Spectra, págs. 281-299.
25. *Macro-Modeling Reinforced Concrete Structural Walls: State of the Art.* **Wu, Yun-Tian, Lan, Tian-Qing y Xiao, Yan.** 2016, Journal of Earthquake Engineering.
26. *Model for Cyclic Compressive Behavior of Concrete.* **Yankelevsky, David y Reinhardt, Hans.** 1987, Journal of Structural Engineering ASCE, págs. 228-240.
27. *Uniaxial Behavior of Concrete in Cyclic Tension.* **Yankelevsky, David y Reinhardt, Hans.** 1989, Journal of Structure Engineering ASCE, págs. 166-182.
28. *Three-Dimensional Cyclic Beam-Truss Model for Nonplanar Reinforced Concrete Walls.* **Yuan, Lu y Panagiotou, Mario.** 2013, Journal of Structural Engineering, ASCE.
29. *Shear Deformations of Slender Reinforced Concrete Walls under Seismic Loading.* **Beyer, Katrin, Dazio, Alessandro y Priestley, Nigel.** 2011, ACI Structural Journal, págs. 167-177.

30. **Chopra, Anil K.** *Dinamica de Estructuras*. Mexico : Pearson, 2014.
31. **Orakcal, Kutay y Wallace, John W.** *Modeling of slender reinforced concrete walls*. Vancouver, Vancouver, Canada : s.n., 1-6 de August de 2004.
32. **Schoettler, Matthew John.** *Seismic Demands in Precast Concrete Diaphragms*. San Diego : University of california, 2010. Phd Thesis.
33. *Desing and Detailing of RC jacketting for concrete columns.* **Gupta, Nikita, Dhiman, Poonam y Dhiman, Anil.** 2015, Journal of Mechanical and civil Engineering, págs. 54-58.

## **ANEXOS**

### 8.1 MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN

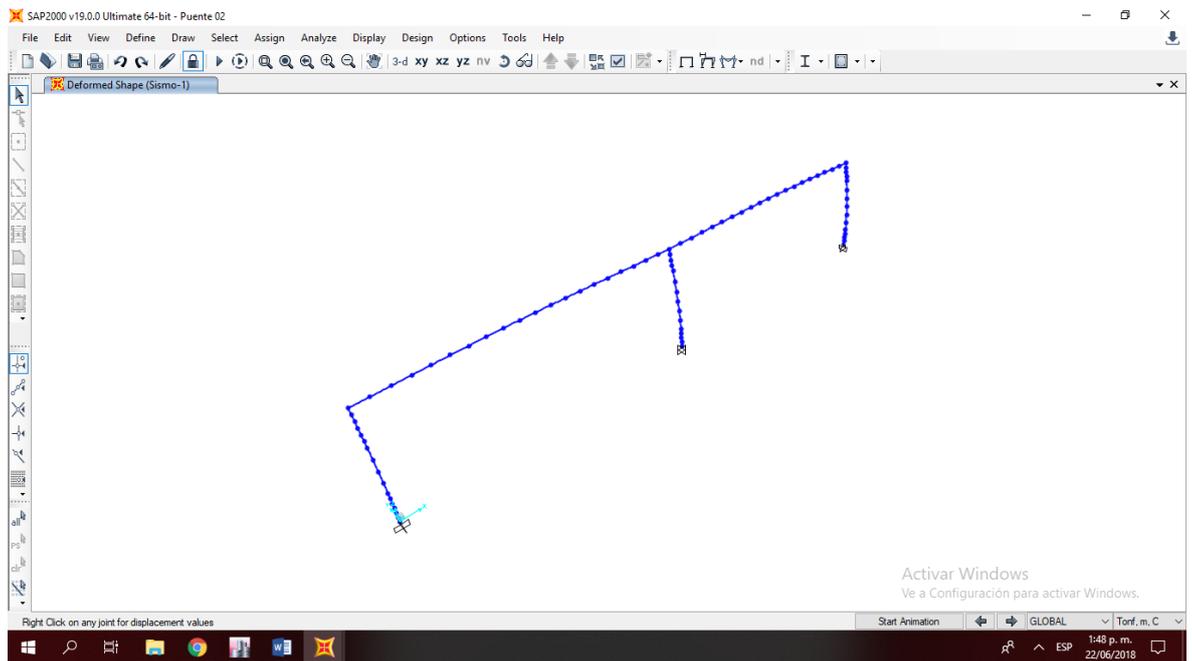
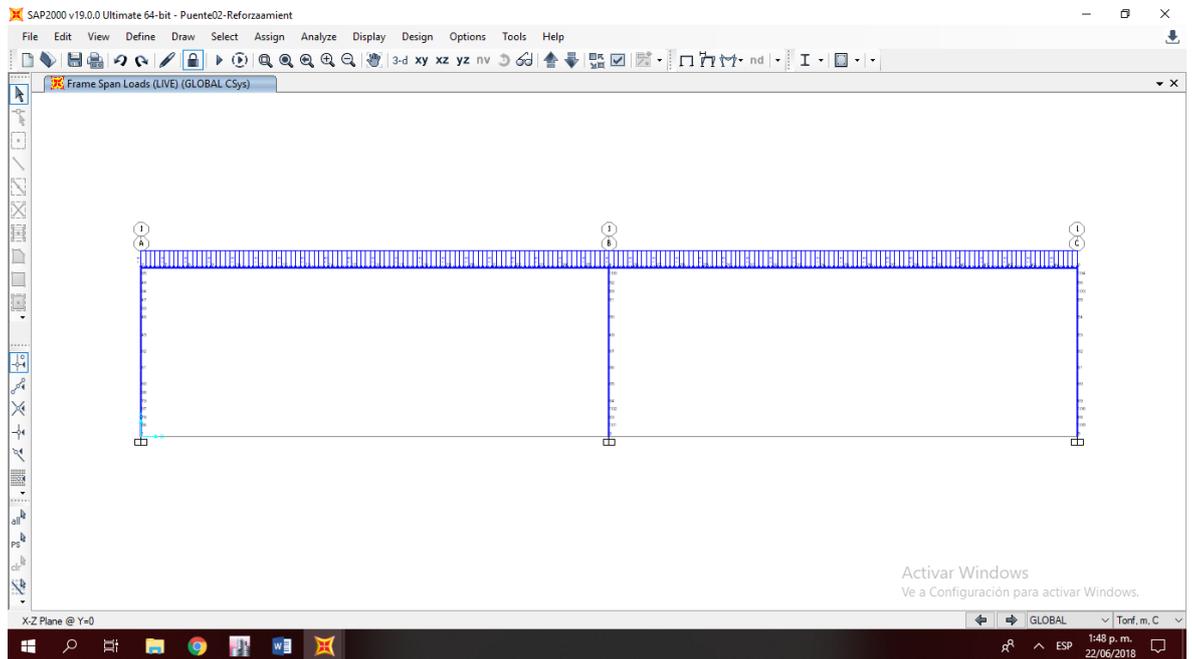
VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
<p><b>- Variable Independiente:</b></p> <p>Sistema dual.</p>	<p>En edificaciones, dentro de los sistemas estructurales, se llama sistema dual, a la combinación de pórticos y placas de concreto armado.</p>	<p>Modelo Numérico</p>	<p>Dimensiones las columnas y placas</p> <p>Resistencia a la compresión del concreto (Columnas, placas).</p> <p>Cortante basal en placas y columnas (Norma E60)</p>	<p>Altura, largo, espesor.</p> <p><math>f'c</math> dato de expedientes</p> <p><math>20\%Vs &lt; Vpl &lt; 80\%Vs</math> <math>20\%Vs &lt; Vcol &lt; 80\%Vs</math></p>
<p><b>-Variable Dependiente:</b></p> <p>Respuesta Sísmica de puentes peatonales.</p>	<p>El comportamiento estructural es la forma como responde una estructura ante determinadas acciones externas, estas pueden ser: sismos, está definido por desplazamientos horizontales, la resistencia lateral y la rigidez lateral</p>	<p>Se utilizará el software SAP 2000 y la herramienta Pushover</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rigidez lateral</li> <li>• Desplazamiento horizontal</li> <li>• Resistencia lateral</li> </ul>	<p>Resultado adquirido por SAP2000 <math>Di = R * De</math></p> <p>Estimación adquirida por SAP2000 Z, U, C, S, R, W</p> <p>Valores obtenidos por SAP2000. <math>Ke = Fy/Dy</math></p>

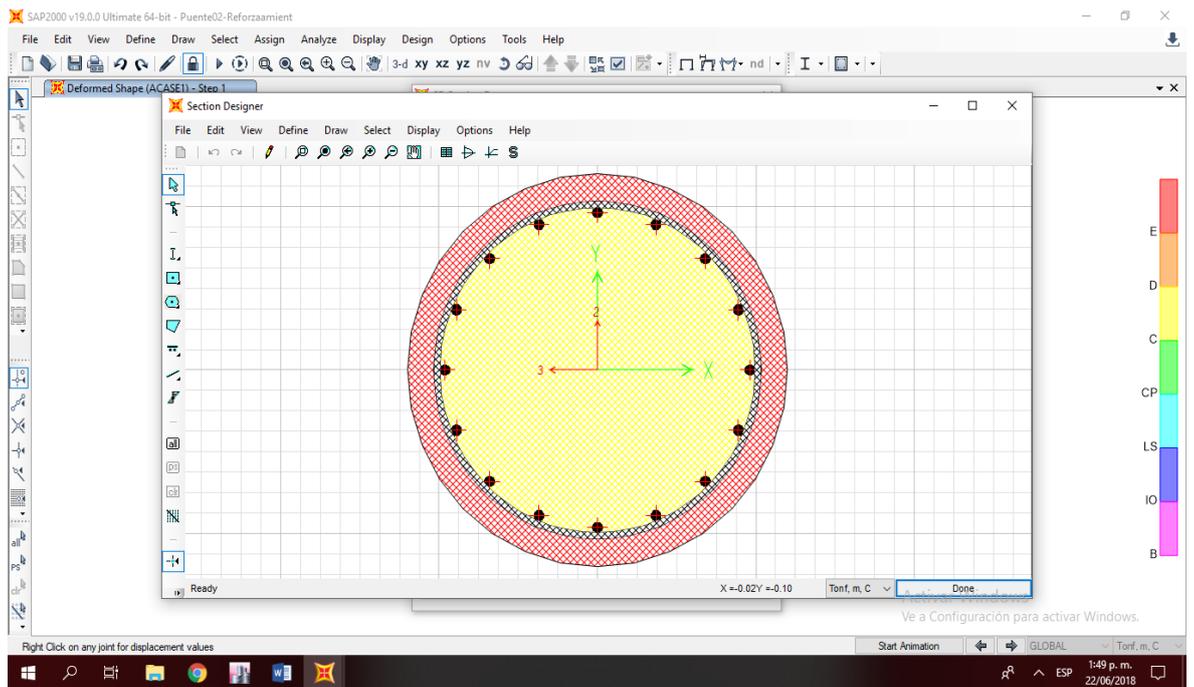
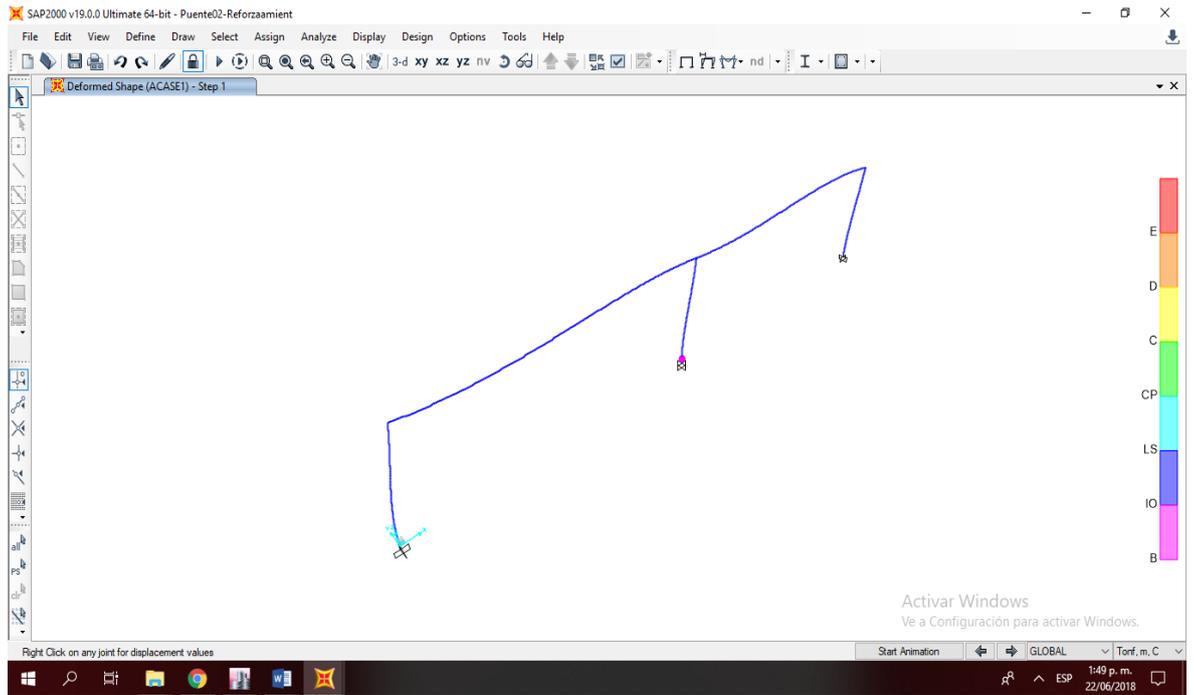
## 8.2 Matriz de consistencia

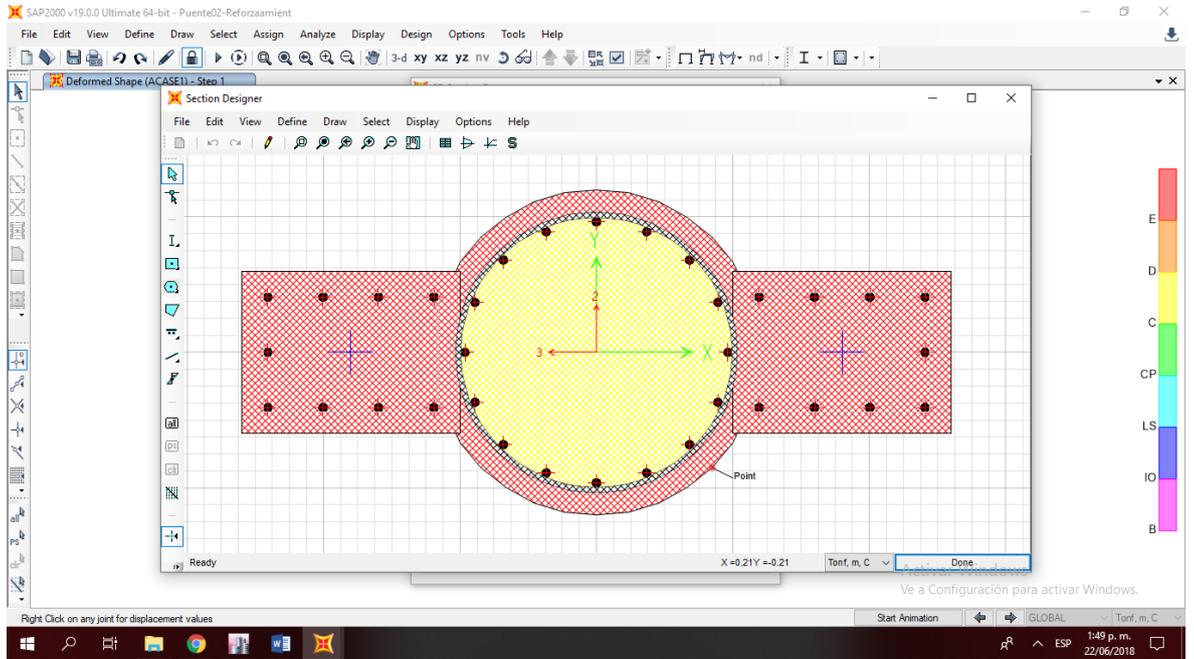
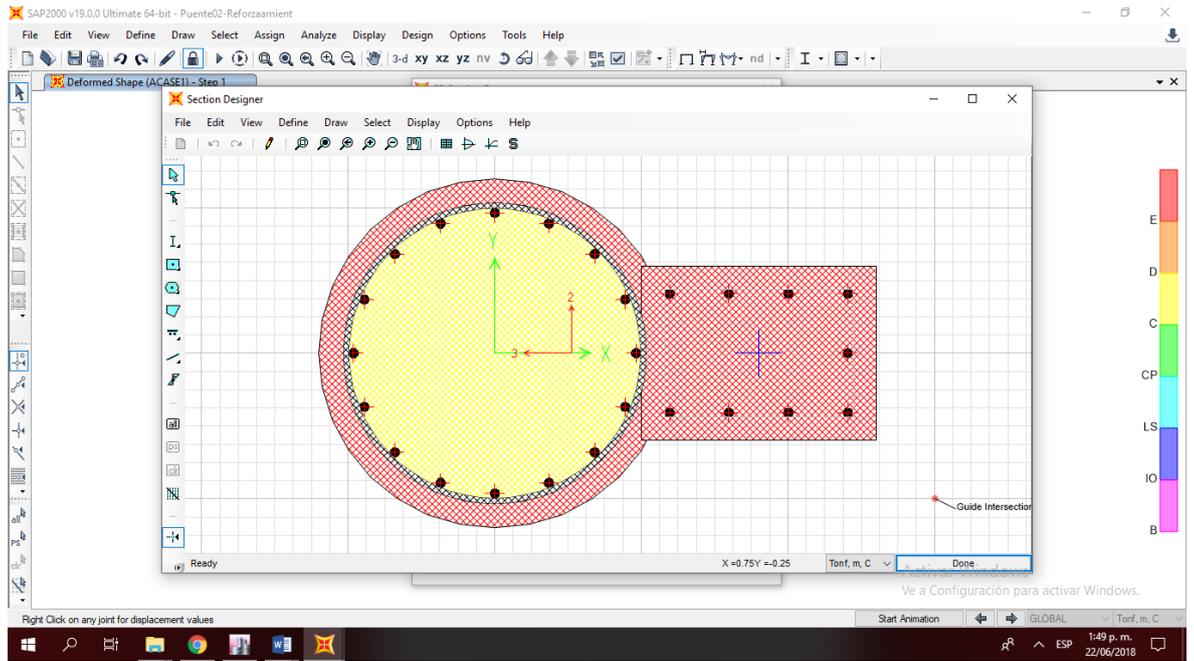
### “MEJORA DE LA RESPUESTA SÍSMICA DE PUENTES PEATONALES USANDO EL SISTEMA DUAL EN EL DISTRITO DE LOS OLIVOS, LIMA 2018”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
-¿El uso del sistema dual mejorará la respuesta sísmica de puentes peatonales en el distrito de los olivos?	-Determinar cuánto influye la aplicación del sistema dual, al mejoramiento de la respuesta sísmica de puentes peatonales en el distrito de los Olivos.	-El uso del sistema dual mejora la respuesta sísmica de puentes peatonales en el distrito de los olivos	<p><b>Variable Independiente:</b></p> <p>Sistema dual.</p>	<p>Dimensiones las columnas y placas</p> <p>Resistencia a la compresión del concreto (Columnas, placas).</p> <p>Cortante basal en placas y columnas (Norma E60)</p>	<p>- <b>Altura.</b></p> <p>- <b>Largo.</b></p> <p>- <b>Espesor.</b></p> <p><b>f'c; dato de expedientes</b></p> <p>20%Vs&lt;Vpl&lt;80%Vs 20%Vs&lt;Vcol&lt;80%Vs</p>
<p><b>Problemas específicos</b></p> <p><b>1)</b> ¿El uso del sistema dual disminuirá el desplazamiento horizontal de puentes peatonales en el distrito de los olivos?</p> <p><b>2)</b> ¿El uso del sistema dual mejorará la resistencia lateral de puentes peatonales en el distrito de los olivos?</p> <p><b>3)</b> ¿El uso del sistema dual incrementará la rigidez lateral de puentes peatonales en el distrito de los olivos?</p>	<p><b>Objetivos Específicos</b></p> <p><b>1)</b> Determinar en cuanto disminuye el desplazamiento horizontal en los puentes peatonales en el distrito de los Olivos, al aplicarse el uso del sistema dual.</p> <p><b>2)</b> Determinar en cuanto mejora la resistencia lateral que presentan los puentes peatonales, mediante la aplicación del sistema dual en el distrito de los Olivos</p> <p><b>3)</b> Evaluar el incremento de rigidez lateral de puentes peatonales, mediante el uso del sistema dual en el distrito de los Olivos.</p>	<p><b>Hipótesis específicas</b></p> <p><b>1)</b> El uso del sistema dual disminuye el desplazamiento horizontal de puentes peatonales en el distrito de los olivos</p> <p><b>2)</b> El uso del sistema dual mejora la resistencia lateral de puentes peatonales en el distrito de los olivos</p> <p><b>3)</b> El uso del sistema dual incrementa la rigidez lateral de puentes peatonales en el distrito de los olivos</p>	<p><b>Variable Dependiente:</b></p> <p>Respuesta Sísmica de puentes peatonales.</p>	<p>Desplazamiento horizontal</p> <p>Resistencia lateral</p> <p>Rigidez lateral</p>	<p>Resultado adquirido por SAP2000 <math>D_i = R \cdot D_e</math></p> <p>Estimación adquirida por SAP2000 Z, U, C, S, R, W</p> <p>Valores obtenidos por SAP2000. <math>K_e = F_y / D_y</math></p>

## 8.3 GRAFICOS DE SAP2000







## 8.4 Estudio de Suelos



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos



INFORME N° S18 - 345

SOLICITANTE : ARNOLD JARED APAZA GUTIERREZ  
 PROYECTO : ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS PARA LA VULNERABILIDAD DE PUENTES PEATONALES EN EL DISTRITO DE LOS OLIVOS  
 UBICACIÓN : PANAMERICANA NORTE, AL FRENTE DE LA UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO, LOS OLIVOS  
 FECHA : 14 DE MAYO 2018

### ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ASTM D3080

Estado : Remoldeado (material < Tamiz N° 4)  
 Muestra : Única  
 Prof. (m.) : -

Especimen N°	I	II	III
Lado del molde (cm.)	5.97	5.97	5.97
Altura Inicial de la muestra (cm.)	1.79	1.79	1.79
Densidad húmeda inicial (gr/cm <sup>3</sup> .)	1.537	1.537	1.537
Densidad seca inicial (gr/cm <sup>3</sup> .)	1.485	1.485	1.485
Cont. de humedad inicial (%)	3.5	3.5	3.5
Altura de la muestra antes de aplicar el esfuerzo de corte (cm.)	1.599	1.595	1.588
Altura final de la muestra (cm.)	1.541	1.529	1.513
Densidad húmeda final (gr/cm <sup>3</sup> .)	2.063	2.069	2.083
Densidad seca final (gr/cm <sup>3</sup> .)	1.726	1.739	1.758
Cont. de humedad final (%)	19.5	19.0	18.5
Esfuerzo normal (kg/cm <sup>2</sup> .)	0.5	1.0	1.5
Esfuerzo de corte máximo (kg/cm <sup>2</sup> .)	0.324	0.616	0.906
Angulo de fricción interna :	30.2 °		
Cohesión (Kg/cm <sup>2</sup> ) :	0.03		

Nota : Los especímenes se remoldearon con la densidad proporcionada por el cliente.  
 Muestra remitida e identificada por el solicitante.

Realizado por : Téc. D. Del Río Ñ.  
 Revisado por : Ing. D. Basurto R.



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS  
 Jefa (e) del Laboratorio N°2 UNI - FIC

Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Apartado 1301 - Perú  
 Teléfono: (511) 381-3842, Central Telefónica: 481-1070 Anexo: 4019  
 e-mail: lms\_fic@uni.edu.pe, lms.servicios@uni.edu.pe, www.lms.uni.edu.pe



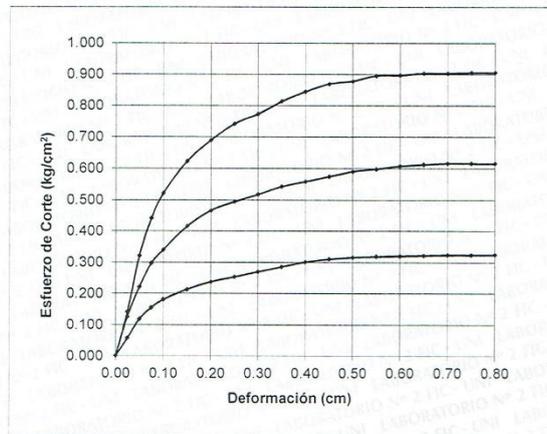
INFORME N° S18 - 345

SOLICITANTE : ARNOLD JARED APAZA GUTIERREZ
PROYECTO : ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS PARA LA VULNERABILIDAD DE PUENTES PEATONALES EN EL DISTRITO DE LOS OLIVOS
UBICACIÓN : PANAMERICANA NORTE, AL FRENTE DE LA UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO, LOS OLIVOS
FECHA : 14 DE MAYO 2018

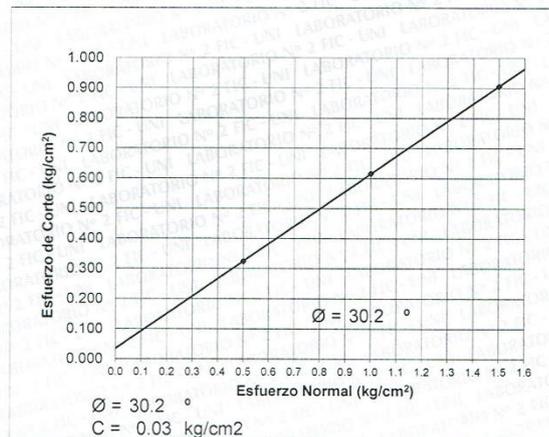
ENSAYO DE CORTE DIRECTO - ASTM D3080

Estado : Remoldeado (material < Tamiz N° 4)
Muestra : Única
Prof. (m.) : -

DEFORMACIÓN TANGENCIAL vs. ESFUERZO DE CORTE



ESFUERZO NORMAL vs. ESFUERZO DE CORTE



Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Apartado 1301 - Perú
Teléfono: (511) 381-3842, Central Telefónica: 481-1070 Anexo: 4019
e-mail: lms\_fic@uni.edu.pe, lms.servicios@uni.edu.pe, www.lms.uni.edu.pe



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

## Facultad de Ingeniería Civil Laboratorio N°2 - Mecánica de Suelos



### INFORME N° S18 - 345

SOLICITANTE : ARNOLD JARED APAZA GUTIERREZ  
 PROYECTO : ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS PARA LA VULNERABILIDAD DE Puentes Peatonales en el Distrito de Los Olivos  
 UBICACIÓN : PANAMERICANA NORTE, AL FRENTE DE LA UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO, LOS OLIVOS  
 FECHA : 14 DE MAYO 2018

### REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Muestra : Única  
 Prof. (m.) : -

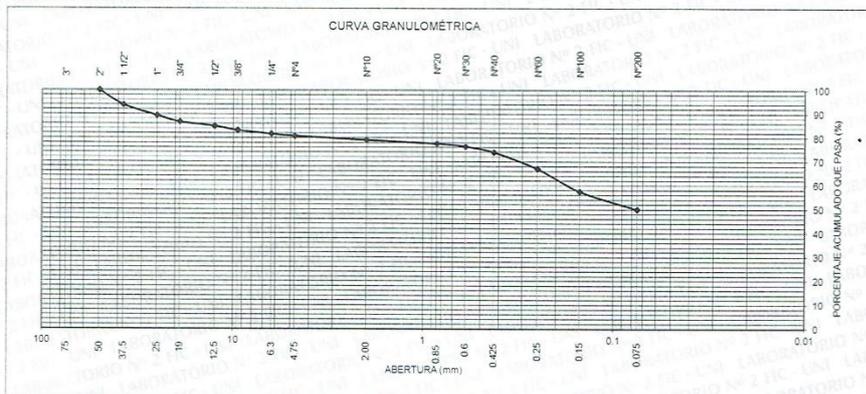
#### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

Tamiz	Abertura (mm)	Parcial Retenido (%)	(% Acumulado)	
			Retenido	Pasa
3"	75.000	-	-	-
2"	50.000	-	-	100.0
1 1/2"	37.500	6.2	6.2	93.8
1"	25.000	4.4	10.6	89.4
3/4"	19.000	2.7	13.3	86.7
1/2"	12.500	1.8	15.1	84.9
3/8"	9.500	1.7	16.8	83.2
1/4"	6.300	1.6	18.4	81.6
N°4	4.750	0.8	19.2	80.8
N°10	2.000	1.7	21.0	79.0
N°20	0.850	1.5	22.5	77.5
N°30	0.600	1.2	23.7	76.3
N°40	0.425	2.4	26.1	73.9
N°60	0.250	6.9	33.1	66.9
N°100	0.150	9.5	42.6	57.4
N°200	0.075	7.5	50.1	49.9
FONDO		49.9		

% Grava	: 19.2
% Arena	: 30.8
% Finos	: 49.9

LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318	
Límite Líquido (%)	: 21.9
Límite Plástico (%)	: 19.2
Índice Plástico (%)	: 2.7

Clasificación SUCS ASTM D2487 : SM



Nota.- La muestra presenta restos de concreto en un 5 % aproximadamente.  
 La muestra fue remitida e identificada por el Solicitante.

Ejecutado por : Téc. D. Del Río Ñ.  
 Revisado por : Ing. D. Basurto R.



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS  
 Jefa (e) del Laboratorio N°2 UNI - FIC

Av. Túpac Amaru 210, Lima 25, Apartado 1301 - Perú  
 Teléfono: (511) 381-3842, Central Telefónica: 481-1070 Anexo: 4019  
 e-mail: lms\_fic@uni.edu.pe, lms.servicios@uni.edu.pe, www.lms.uni.edu.pe

## 8.5 Autorización de la versión final del trabajo (coordinación de investigación)



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

### AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE  
*La Escuela de Ingeniería Civil*

---

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

*APAZA GUTIÉRREZ, DANILO JAMES*

INFORME TÍTULADO:

*MEJORA DE LA RESPUESTA SÍSMICA DE PUENTES PEATONALES  
USANDO EL SISTEMA DUAL EN EL DISTRITO DE 202 DAVILA,  
LIMA 2018*

---

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

*Ingeniero Civil*

---

SUSTENTADO EN FECHA:

NOTA O MENCIÓN :

*06/07/2018  
15 (Quince)*



*[Handwritten Signature]*  
Firma del Coordinador de Investigación de  
Ingeniería Civil

## 8.6 Acta de originalidad de la tesis (asesor)

 <b>UCV</b> UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	<b>ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS</b>	Código : FO6-PP-PR-02.02 Versión : 09 Fecha : 23-03-2018 Página : 1 de 1
--	--	---

Yo, Marquina Callacna Rodolfo; docente de la Facultad de Ingeniería y Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad César Vallejo Lima - Norte, revisor de la tesis titulada "Mejora de la respuesta sísmica de puentes peatonales usando el sistema Dual en el distrito de los Olivos, Lima 2018" del estudiante Apaza Gutierrez Arnold Jared, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 12% verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

Lima 06 de Julio del 2018

  
.....  
Firma  
Marquina Callacna Rodolfo  
DNI: .....  
*6556978*

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Responsable del SGC	Aprobó	Vicerrectorado de Investigación
---------	----------------------------	--------	---------------------	--------	---------------------------------

## 8.7 Autorización de publicación de tesis en el repositorio (alumno)

 <b>UCV</b> UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	<b>AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS EN EL REPOSITORIO</b>	Código : FO6-PP-PR-02.02 Versión : 09 Fecha : 23-03-2018 Página : 1 de 1
--	---	---

Yo Apaza Gutierrez Arnold Jared Identificado con DNI N° 75253113  
Egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la  
Universidad César Vallejo, autorizo (x)  , No autorizo ( )  la divulgación y comunicación pública  
de mi trabajo de investigación titulado  
"MEJORA DE LA RESPUESTA SÍSMICA DE PUENTES PEATONALES USANDO EL  
SISTEMA DUAL EN EL DISTRITO DE LOS OLIVOS, LIMA 2018"; en el Repositorio  
institucional de la UCV

(<http://repositorio.ucv.edu.pe/>), según lo estipulado en el Decreto Legislativo 822, Ley sobre  
Derecho de Autor, Art. 23 y Art. 33



FIRMA

DNI: 75253113

FECHA:

Lima 06 de Julio del 2018

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Responsable del SGC	Aprobó	Vicerrectorado de Investigación
---------	-------------------------------	--------	---------------------	--------	------------------------------------

## 8.8 Pantallazo del turnitin (docente)

Feedback Studio - Google Chrome  
 https://ev.turnitin.com/apps/cezarvallejo/turnitintooltips.aspx?lang=es&is=1

MEJORA DE LA RESPUESTA SISMICA DE PUENTES PEATONALES USANDO EL SISTEMA DUAL EN EL DISTRITO DE LOS OLIVOS, LIMA 2018

feedback studio

**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

"MEJORA DE LA RESPUESTA SISMICA DE PUENTES PEATONALES USANDO EL SISTEMA DUAL EN EL DISTRITO DE LOS OLIVOS, LIMA 2018"

**TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**AUTOR:**  
APAZA GUTIERREZ ARNO D JARED

**ASESOR:**  
MARQUEZA CALLACCA RODOLFO

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**  
DISEÑO SISMICO Y ESTRUCTURAL

**LIMA - PERÚ**  
2018

**Resumen de coincidencias**

12%

Se están viendo fuentes estándar

Ver fuentes en inglés (Beta)

Condiciones

1	Entregado a Universidad...	1 %
2	tesis pucp.edu.pe	1 %
3	Entregado a Universidad...	1 %
4	pt.scribd.com	1 %
5	www.td.cat	1 %
6	biblioteca digital.lice.edu...	<1 %
7	decalayer.es	<1 %
8	Entregado a Universidad...	<1 %

Página 1 de 105    Número de palabras: 13739    High Resolution    Activado    Text-only Report    06:35 P.m. 3/10/2018