



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Mejora de la respuesta sísmica de puentes peatonales usando disipadores de energía metálicos, Lima 2020

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

**AUTOR:**

Lima Ñahuero, Jhoel

<https://orcid.org/0000-0001-6416-3157>

**ASESOR:**

Mg. Benites Zuñiga, José Luis

<https://orcid.org/000-0003-4459-494X>

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño Sísmico y Estructural

**Lima – Perú**

**2020**

### **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.

### **Agradecimiento**

Agradezco a mis tíos Carlos y Rosa 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.

## Índice de contenidos

Carátula.....	i
Agradecimiento .....	ii
Dedicatoria.....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de gráficos y figuras.....	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	9
III. METODOLOGÍA.....	20
3.1 Tipo y diseño de investigación .....	20
3.2 Variables y operacionalización.....	21
3.3 Población, muestra y muestreo.....	21
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	23
3.5 Procedimiento .....	24
3.6 Método de análisis de datos.....	25
3.7 Aspectos éticos.....	25
IV. RESULTADOS.....	26
V. DISCUSIÓN .....	62
VI. CONCLUSIONES .....	64
VII. RECOMENDACIONES.....	65
REFERENCIAS.....	67
ANEXOS .....	70

## Índice de tablas

Tabla 1: Matriz de consistencia.....	71
Tabla 2: Matriz de Operacionalización .....	72
Tabla 3: Ficha de recolección de datos.....	73

## Índice de gráficos y figuras

Figura 1: Colapso del puente peatonal Pedestrian en los Estados Unidos .....	1
Figura 2: Ubicación espacial del puente Pedestrian.....	2
Figura 3: Mapa de microzonificación sísmica del Perú .....	4
Figura 4: Vista panorámica del puente peatonal San Luis. Fuente. Elaboración propia .....	5
Figura 5: Patrón de cargas laterales y curva de capacidad asociada.....	12
Figura 6: Pórticos de concreto armado y sistema dual en una edificación, <i>National Earthquake Hazards Reduction Program</i> .....	15
Figura 7: Distribución de la energía sísmica en un edificio sin disipadores .....	16
Figura 8: Distribución de la energía sísmica en un edificio con disipadores .....	16
Figura 9: Geometría de los disipadores metálicos... ..	17
Figura 10: Aplicación clásica con diagonales metálicos.....	18
Figura 11: Aplicación mediante muros desacoplados .....	19
Figura 12: Vista panorámica del puente peatonal San Luis .....	22
Figura 13: Ubicación de la estructura bajo estudio.....	25
Figura 14: Ubicación de la estructura bajo estudio.....	27
Figura 15: Vista panorámica del puente peatonal bajo estudio.....	28
Figura 16: Escalera izquierda y conexión típica a la viga.....	30
Figura 17: Escalera derecha y conexión de columna a viga .....	32
Figura 18: Características geométricas del puente estudiado.....	33
Figura 19: Características de las secciones transversales encontradas en el puente bajo estudio .....	35
Figura 20: Microzonificación sísmica de Villa el Salvador y periodos característicos del suelo.....	36
Figura 21: Definición del espectro de demanda, de acuerdo con los lineamientos de la norma E030 .....	37
Figura 22: Modelo tridimensional de puente peatonal San Luis, elaborado en SAP 2000 .....	39
Figura 23: Secciones de los elementos estructurales presentes en el puente estudiado.....	41
Figura 24: Cargas gravitacionales... ..	43
Figura 25: Primera forma de modo de la estructura analizada $T=0.38$ s.....	45

## Resumen

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo presentar una técnica de reforzamiento de puentes peatonales basada en el uso de disipadores de energía metálicos y la cuantificación de las mejoras obtenidas mediante la aplicación de la citada técnica. La metodología empleada en el desarrollo del presente trabajo consistió en el estudio del comportamiento sísmico del puente peatonal usando técnicas de análisis no lineal. Asimismo, para el modelado del comportamiento no lineal de los disipadores de energía metálicos se usaron modelos link, estos elementos se encuentran ubicados dentro de la librería disponible del software de análisis no línea SAP 2000. Finalmente, los resultados obtenidos en la estructura reforzada y sin reforzar son comparados y se cuantifica las mejoras en los parámetros de interés. Los resultados encontrados muestran claramente que la estructura en su estado actual presentó un desempeño sísmico inadecuado, estando muy cerca de un desempeño sísmico conocido como prevención de colapso. Esto en términos prácticos significa que la estructura, tal como está, recibirá un daño tan grave que puede provocar el colapso de la estructura analizada. En cuanto al reforzamiento propuesto, se ha observado que logró mejorar notablemente el desempeño sísmico de la estructura, logrando un desempeño sísmico operacional.

Palabras clave: Disipadores de energía metálicos, Respuesta Sísmica

## **Abstract**

The present research work aims to present a pedestrian bridge reinforcement technique based on the use of metallic energy dissipators and the quantification of the improvements obtained by applying the aforementioned technique. The methodology used in the development of this work consisted of the study of the seismic behavior of the pedestrian bridge using non-linear analysis techniques. Likewise, for the modeling of the non-linear behavior of metallic energy dissipators, link models were used, these elements are located within the available library of the SAP 2000 non-line analysis software. Finally, the results obtained in the reinforced and unreinforced structure are compared and the improvements in the parameters of interest are quantified. The results found clearly show that the structure in its current state presented an inadequate seismic performance, being very close to a seismic performance known as collapse prevention. This in practical terms means that the structure, as it is, will receive such serious damage that it could cause the collapse of the analyzed structure. Regarding the proposed reinforcement, it has been observed that it managed to notably improve the seismic performance of the structure, achieving an operational seismic performance.

Keywords: Seismic response, Metal energy dissipators,.



## I. INTRODUCCIÓN

Tal fue el caso del puente Pedestrian, ubicado en los Estados Unidos de Norteamérica. El Puente peatonial era un puente peatonal de aproximadamente 35 m de luz ubicada en una de las vías más importantes de la ciudad de Florida, tal como se muestra en la Figura 1. El puente tenía por objetivo facilitar el acceso de los estudiantes de la Universidad de Florida a su campus.

El desplome de la citada estructura provocó la muerte de cuatro personas que usaban la estructura al momento del incidente, además de la muerte de cuatro personas que cruzaban la vía indirectamente mediante sus vehículos, tal como se observa en la Figura 1. Además de la pérdida de los costos invertidos en la construcción, la vía estuvo inhabilitada por varios días complicando el libre flujo de las actividades comerciales.



Figura 1: Colapso del puente peatonial Pedestrian en los Estados Unidos de Norteamérica.

Los mayores sismos ocurridos recientemente en el Perú fueron los sismos de Arequipa en el 2001 y Pisco en el 2007. Aunque estos sismos no llegaron a alcanzar los 0.45g esperados en la norma peruana de diseño sísmico, causaron gran devastación tanto en vidas humanas como en bienes, especialmente en obras

civiles. De acuerdo con el Instituto de Defensa Civil (INDECI, 2010), se perdieron oficialmente alrededor de 2000 vidas y alrededor de 75000 viviendas quedaron destruidas o inhabitables.

Aunque después de un evento sísmico se presta mayor atención a los daños ocurridos en edificaciones, el daño presente en otro tipo de estructuras puede representar un perjuicio mucho mayor para la sociedad, tal es el caso de los puentes peatonales. El colapso de puentes peatonales puede provocar la pérdida de vidas humanas, no solo de quienes hayan estado haciendo uso de esta estructura al momento del colapso, sino de las personas que viajan en sus vehículos, lo que es muy frecuente en vías rápidas, como el panamericano sur, una de las vías más usadas de la ciudad de Lima. Además, el colapso de estructuras en este tipo de vías puede provocar la interrupción de tales vías provocando que se interrumpa el acceso de alimentos, atención medica entre otras actividades esenciales.



Figura 2: Ubicación espacial del puente Pedestrian.

Los mayores sismos ocurridos recientemente en el Perú fueron los sismos de Arequipa en el 2001 y Pisco en el 2007.

Aunque estos sismos no llegaron a alcanzar los 0.45g esperados en la norma peruana de diseño sísmico, causaron gran devastación tanto en vidas humanas como en bienes, especialmente en obras civiles. De acuerdo con el Instituto de

Defensa Civil (INDECI, 2010), se perdieron oficialmente alrededor de 2000 vidas y alrededor de 75000 viviendas quedaron destruidas o inhabitables.

Aunque después de un evento sísmico se presta mayor atención a los daños ocurridos en edificaciones, el daño presente en otro tipo de estructuras puede representar un perjuicio mucho mayor para la sociedad, tal es el caso de los puentes peatonales.

El Perú se encuentra ubicado en una de las zonas de mayor actividad sísmica del mundo entero, la zona conocida como cinturón de fuego del pacífico. Tal zona está conformada por una serie de formaciones tectónicas en las que unas placas continentales se mueven con respecto de otras con diferentes movimientos, tales como, movimientos de corte, y las de movimiento traslapado, denominadas subducción.

Además, de acuerdo con la teoría de la deriva continental de Alfred Wegener (1890), las placas continentales presentan movimientos de traslación unas respecto de otras, por lo que a menudo es frecuente observar en estas zonas la acumulación de grandes cantidades de energía en forma potencial. Como se sabe de la mecánica de materiales, la energía potencial es susceptible de ser liberada en forma de energía cinética y energía de deformación lo que, a menudo ocurre a través de unas series de complejos mecanismos.

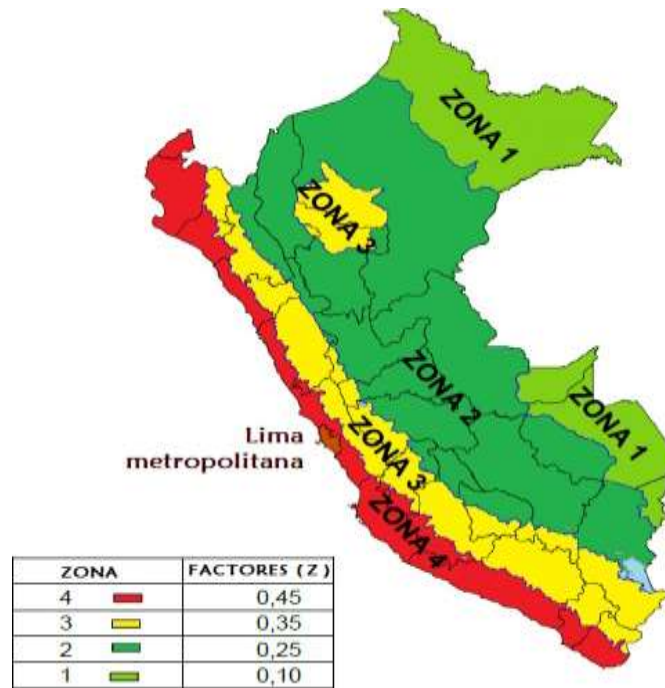


Figura 3: Mapa de microzonificación sísmica del Perú.

Tal liberación de energía provoca que el suelo vibre de manera violenta, sacudiendo no solo el interior de la corteza terrestre, sino también la superficie, con una serie de movimientos complejos de traslación, tanto verticales con horizontales. El resultado es conocido comúnmente como sismo y tiene el potencial de destruir numerosas obras civiles tales como puentes, edificios, caminos, reservorios entre otros.

El nivel de peligro sísmico del Perú ha sido cuantificado en la norma peruana de diseño sísmico (E030, 2018), tal como se observa en la Figura 3. De acuerdo con esta figura, se debe esperar un nivel de aceleraciones del orden de 0.45g en la zona costa del Perú, con una probabilidad de 10% de ser excedida en un periodo de exposición de 50 años.

El colapso de puentes peatonales puede provocar la pérdida de vidas humanas, no solo de quienes hayan estado haciendo uso de esta estructura al momento del colapso, sino de las personas que viajan en sus vehículos, lo que es muy frecuente en vías rápidas, como la panamericano sur, una de las vías más usadas de la ciudad de Lima. Además, el colapso de estructuras en este tipo de vías puede provocar la interrupción de tales vías provocando que se interrumpa el acceso de

alimentos, atención médica entre otras actividades esenciales. En el Perú, específicamente en la ciudad de Lima, los puentes peatonales son abundantes, en especial en las vías rápidas como la panamericana sur. Muchas de estas estructuras son de una antigüedad considerable y casi el total fueron construidos y diseñados previos a la publicación de la norma peruana de diseño sísmico, por lo que se desconoce si su comportamiento será el adecuado frente a un evento sísmico consecuente con los niveles de peligros sísmicos de la citada normativa. Especialmente, los puentes construidos con base en pórticos, como el mostrado en la Figura 4.



Figura 4: Vista panorámica del puente peatonal San Luis. Fuente. Elaboración propia.

De lo anterior, en este trabajo de investigación se propone el estudio del comportamiento sísmico de tales estructuras, específicamente del puente San Luis ubicado en el distrito de Villa el Salvador. Además, se propone el uso de disipadores de energía metálicos, como un medio útil y práctico para la mejora del comportamiento sísmico de tales estructuras.

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

### **Problema general:**

¿Qué mejoras de comportamiento estructural reporta e uso de disipadores de energía metálicos en el puente peatonal San Luis de Villa el salvador?

### **Problema específico:**

¿Qué efecto tiene el uso de disipadores de energía metálicos en los máximos niveles de distorsión lateral?

¿Qué efecto tiene el uso de disipadores de energía metálicos en los máximos niveles de distorsión lateral?

¿Cómo afecta la inclusión de disipadores metálicos en la rigidez lateral del puente peatonal San Luis de Villa el Salvador?

### **La Relevancia 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 Villa el Salvador en razón que la población de estudio sobre el aumento del comportamiento estructural se ubicará dentro de dicho distrito.

### **Implicaciones prácticas**

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 pacífico 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 la seguridad de los usuarios. Por ello en el presente proyecto se investiga el mejoramiento del comportamiento estructural de dichas estructuras.

### **Valor teórico**

La investigación se realiza con el propósito de mejorar el comportamiento estructural que en la actualidad presentan los puentes peatonales del distrito Villa el Salvador, tiene como finalidad que mediante el uso de sistemas de protección sísmica, específicamente disipadores de energía metálicos, 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 Villa el Salvador.

### **Unidad metodológica**

La investigación sobre el mejoramiento del comportamiento estructural de puentes peatonales ayudará 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 Villa el Salvador 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 .

La presente investigación disminuirá 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.

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

#### **Objetivo general:**

Mejora de la respuesta sísmica del puente peatonal San Luis mediante la aplicación de disipadores de energía metálicos en el distrito de Villa el Salvador

**Objetivos específicos:**

Determinar en cuanto disminuye el desplazamiento horizontal en el puente peatonal San Luis de Villa el Salvador.

Cuantificar las mejoras en los niveles de distorsión lateral del puente peatonal San Luis debido al uso de disipadores metálicos.

Evaluar el incremento de rigidez lateral del puente peatonal San Luis debido a la aplicación de los disipadores metálicos de energía.

**Hipótesis de la investigación.****Hipótesis general.**

La aplicación de los disipadores de energía metálicos mejora la respuesta sísmica de del puente peatonal San Luis, en el distrito de Villa el Salvador.

**Hipótesis específica:**

El uso de disipadores de energía metálicos reduce los desplazamientos horizontales del puente peatonal San Luis en el distrito de Villa el Salvador.

La aplicación de disipadores de energía metálicos mejora los máximos niveles de distorsión lateral en el puente San Luis de Villa el Salvador.

El uso de disipadores de energía metálicos incrementa la rigidez lateral del puente peatonal San Luis en el distrito de Villa el Salvador.



## II. MARCO TEÓRICO

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 verticales, 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.

Rivera (2015), 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.

**La curva de capacidad** en 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 (1) (2) (3).

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 (2).

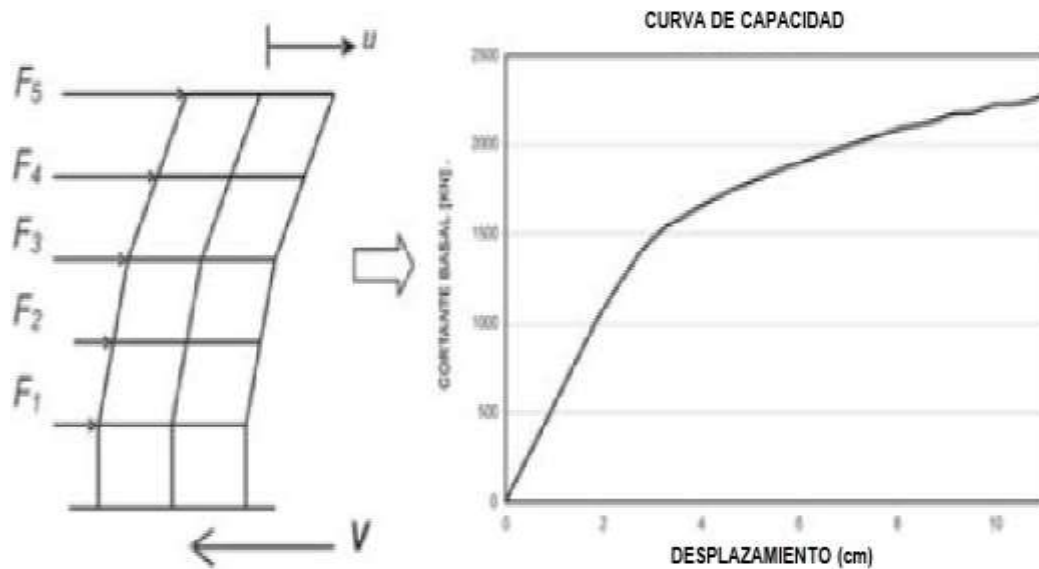


Figura 5: Patrón de cargas laterales y curva de capacidad asociada.

**El 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 (4).

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 (5) 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 (6)

**La 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 5. 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 (7):

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

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.

**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 (8):

$$K_e = \frac{F_y}{D_y}$$

Donde:

$K_e$  : Rigidez elástica de la estructura.

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

$D_y$  : 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" (9).

**El desplazamiento máximo** 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 (9) "En caso se realice un análisis de la resistencia última se podrá utilizar las especificaciones del ASCE/SEI 41 SEISMIC REHABILITATION OF EXISTING BUILDINGS (11).

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.

**La 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 (4).

**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 (12), como se puede observar en la siguiente figura.

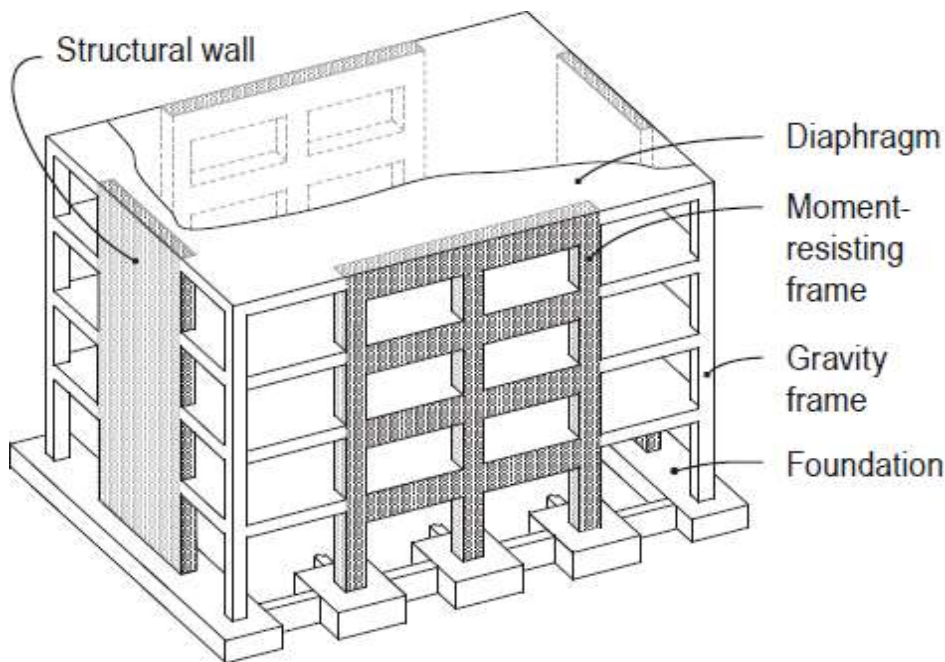


Figura 6: Pórticos de concreto armado y sistema dual en una edificación, *National Earthquake Hazards Reduction Program (NHERP, 2013)*.

**La vulnerabilidad sísmica** en 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 (2).

**El enfoque de diseño alternativo** busca que el daño no se centre en los elementos estructurales que además deben resistir el peso de los pisos, sino que el daño provocado por un sismo se centre en ciertos elementos colocados estratégicamente (2).

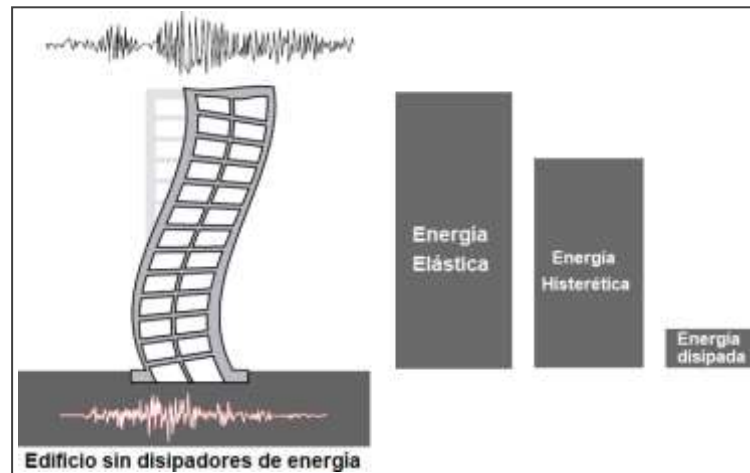


Figura 7: Distribución de la energía sísmica en un edificio sin disipadores.

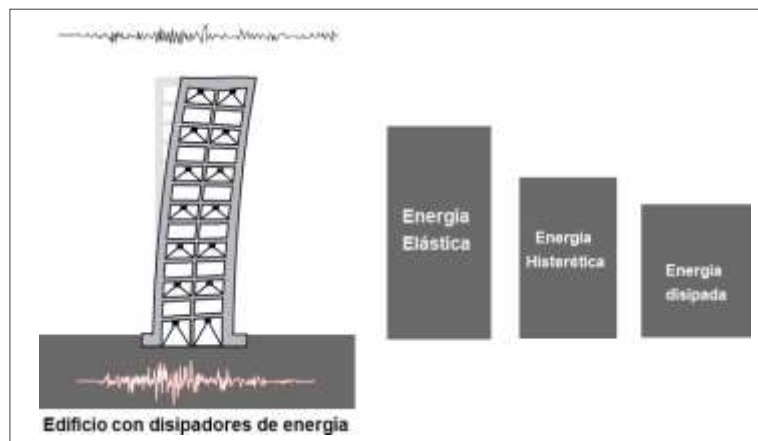


Figura 8: Distribución de la energía sísmica en un edificio con disipadores.

Si se observa tal hecho en términos de balance energético se podrá observar que cuando no existente tales dispositivos, toda la energía del sismo se concentra en los elementos estructurales, inevitablemente. Mientras que, si se tienen estos dispositivos, gran parte de la energía sísmica se centra en ellos, liberando de responsabilidad sísmica a las vigas y las columnas (2).

**Los disipadores pasivos histéricos de energía sísmica**, son aquellos elementos que disipan la energía mediante la deformación plástica del acero, cuyo funcionamiento depende del desplazamiento de la estructura (13).

**El comportamiento mecánico de los disipadores metálicos** en los elementos de disipación de energía son un conjunto de dispositivos pasivos colocados de tal forma que permiten absorber gran cantidad de energía durante el movimiento



sísmico. Su funcionamiento usualmente se basa en el desplazamiento relativo originada por la acción de fuerzas inerciales inducidas durante la acción del sismo. A estos disipadores metálicos también se les conoce como disipadores históricos. Estos dispositivos incluyen pernos, tornillos, placas de unión, extensiones de apoyo y otros componentes necesarios para ensamblar y dar consistencia al elemento. Estos elementos pueden ser clasificados como dependientes del desplazamiento o dependiente de la velocidad, o una combinación de los mismos (7).

El acero, principal componente del dispositivo metálico, debe ser ensayado y analizado a compresión y tracción, ello, cuando el modo de falla esté asociado a esfuerzos axiales. Asimismo, si el modo de falla es por cortante, flexión o torsión, se debe analizar para obtener el comportamiento histórico. Una vez fabricados estos dispositivos, es indispensable realizar ensayos para poder validar su comportamiento histerético (14).

**Los disipadores históricos de energía con base en la fluencia de metales**, más conocidos están los disipadores metálicos, los que usualmente son fabricados de acero. En este caso, se aprovecha la propiedad de la fluencia de este material, teniendo en cuenta que esta propiedad no es exclusiva del acero. Generalmente este tipo de disipadores aprovechan el movimiento del sismo inducido a la estructura, trabajando por medio de los desplazamientos relativos de entrepiso (15).

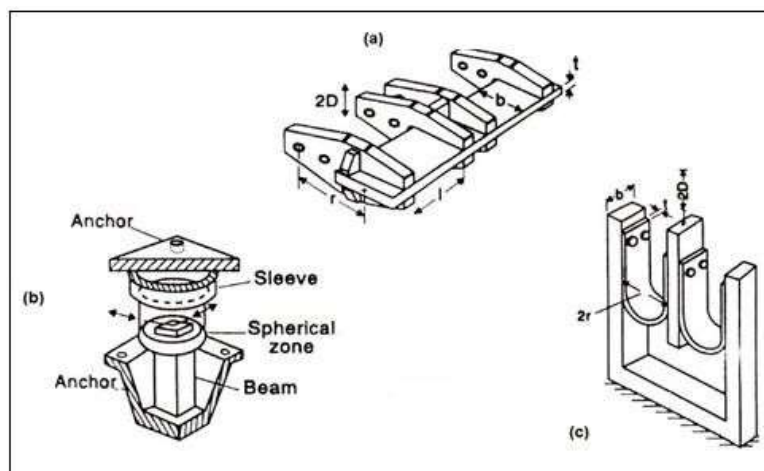


Figura 9: Geometría de los disipadores metálicos. a) Viga a torsión b) Viga a Flexión c) Placas en U.

**Configuración de disipadores pasivos de energía sísmica mediante diagonales Chebrón,** este es uno de los sistemas no lineales más conocidos y clásicos, cuya aplicación es en forma horizontal sobre dos diagonales metálicas que se entrecruzan en forma de uve invertida. Se coloca paralelo al entrepiso y logra contener muy buena capacidad del disipador para reducir los desplazamientos laterales de la estructura (16).

El refuerzo de tubo metálico tiene conexión directa con la estructura en la parte inferior y cuenta con un apoyo para el disipador en la intersección superior, ello, a la altura del punto medio de la viga del pórtico. Desde luego, la resistencia mecánica de los diagonales de acero es mucho mayor a la del disipador metálico (2).

Para configurar el refuerzo diagonal del tubo metálico se debe estimar la carga axial máxima. Generalmente el diseño del tubo de acero tiene forma cuadrada que soporta la carga axial de compresión (2).

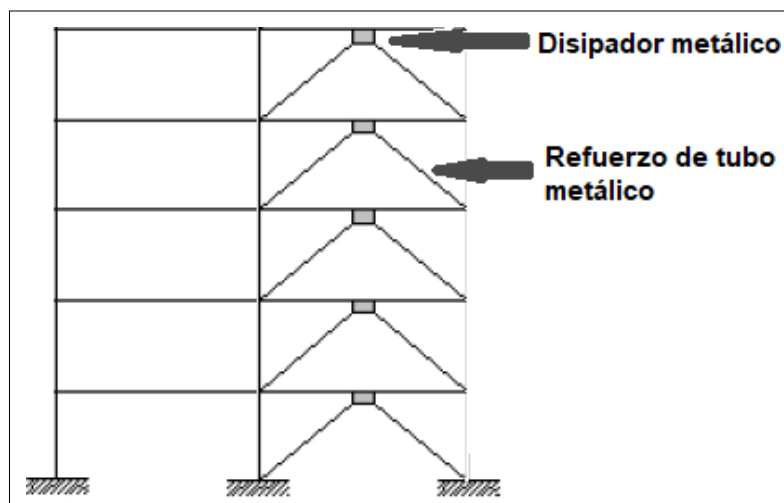


Figura 10: Aplicación clásica con diagonales metálicas. Adaptado de Luis Bozzo Estructuras y proyectos S.L., 2018.

**Configuración mediante muros desacoplados**, esta configuración es otra forma de aplicación de los sistemas no lineales de disipación de energía. Permite transferir los esfuerzos cortantes sísmicos sin la carga axial, pues se colocan en muros discontinuos o desacoplados al pórtico (17).

Este sistema tiene una combinación interesante de disipación sísmica entre el disipador metálico, el pórtico y el muro discontinuo. En este caso, el disipador brinda ductilidad mediante la fluencia del acero. Por su parte, el pórtico proporciona flexibilidad y el muro discontinuo brinda la rigidez necesaria para el buen funcionamiento ante demanda sísmica de la estructura. Es decir, forman un sistema triangular de ductilidad, flexibilidad y rigidez (18).

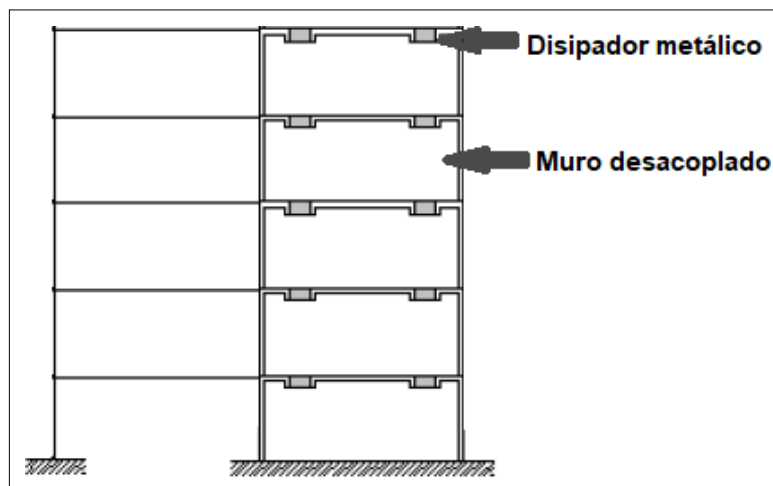


Figura 11: Aplicación mediante muros desacoplados. Adaptado de Luis Bozzo Estructuras.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de 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 desea estudiar variables medibles (Hernández Sampieri et al., 2014; Arbayza et al., 2014) **(10)**.

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.

**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.

**Los métodos de investigación** de acuerdo con Hernández Sampieri et al. (2014), 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, 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.

### **3.2. Variables y Operacionalización**

#### **Variable Independiente: Disipadores de energía metálicos**

Concepto: Dispositivo usado para absorber energía proveniente de un sismo.

#### **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.

### **3.3. Población y muestra**

#### **Población**

La población o universo de una investigación es el total de posibles unidades de análisis disponibles para desarrollar el estudio de interés (11). En general solo se puede hablar de población cuando se trata de unidades materiales de las que se trata de extraer información (11).

Por lo tanto, mi población está conformada por todos los puentes peatonales de la vía del panamericano sur del distrito de Villa el Salvador, que vienen a ser las siguientes:

- Puente peatonal San Luis
- Puente peatonal Campamento
- Puente peatonal Llana villa
- Puente peatonal Primer Puente Turing
- Puente peatonal Segundo Puente Turing
- Puente peatonal Suros
- Puente peatonal Capilla
- Puente peatonal Toyota
- Puente peatonal Brisas
- Puente peatonal Venecia



Figura 12: Vista panorámica del puente peatonal San Luis. Fuente: Elaboración propia.



Figura 13: Ubicación de la estructura bajo estudio. Fuente: Elaboración propia.

## **Muestra**

La muestra es un subconjunto de la población, elegida con ciertos criterios que dependen de la finalidad de la investigación. En general, existen dos tipos de criterios de selección de la muestra, las muestras probabilísticas y las no probabilísticas.

Las muestras probabilísticas son aquellas en las que todos los elementos de la población tienen igual probabilidad de ser elegidos y estas se eligen de manera aleatoria, es decir, no hay sesgo de ningún tipo. Además, el número o cantidad total de la muestra se elige con criterios de confiabilidad estadística, es decir, garantizando que los estadísticos estimados a partir de la muestra tengan una probabilidad elevada de coincidir con los estadísticos de la población.

En el otro lado tenemos a las muestras no probabilísticas, elegidas sin criterios estadísticos sino con criterios específicos del investigador y por tanto con un sesgo natural (11). Los resultados obtenidos, no pueden ser considerados como estadísticos de la población, sino más bien, como estadísticos de los subgrupos que representa la muestra obtenida (11).

Por lo tanto, mi muestra es el puente peatonal San Luis ubicado en km. 24.5 de la Panamericana Sur del Distrito de Villa el Salvador.

### **3.4. Tecnicas e instrumentos de recoleccion de datos**

#### **Instrumentos**

De acuerdo con [1] los instrumentos **son las herramientas que serán usadas para poder medir las características estudiadas** y de esta manera poder llegar a demostrar las hipótesis de la investigación. De acuerdo con esta definición y los objetivos del trabajo, se pueden plantear los siguientes instrumentos:

- Cinta métrica y puntero laser, para medir distancias.
- Esclerómetro, para medir la resistencia de la concreta in situ.
- Fichas de recolección de datos.
- Fichas de procesamiento de datos.
- Herramienta de simulación, software SAP 2000.

## **Validez**

De acuerdo con [1] 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.

## **Confiabilidad**

De acuerdo con [1]–[3], la confiabilidad de un instrumento de medición se refiere al grado en que su aplicación repetida al mismo individuo u objeto produce resultados iguales [4].

En cuanto a la confiabilidad de los instrumentos de medición, 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 en un laboratorio, por lo que, los equipos e instrumentos usados en el desarrollo de este trabajo, tienen garantizada la confiabilidad de estos.

### **3.5. Procedimiento**

Con el objeto de poder llevar a buen puerto el presente trabajo de investigación, a continuación, se enumeran los pasos requeridos.

1. Levantar información de campo, geometría de la estructura, dimensiones, sistema estructural u obtener los planos con los permisos respectivos en la Municipalidad del lugar de estudio
2. Para evaluar la calidad del concreto, se usarán el método del esclerómetro, Este método se utiliza usualmente para la determinación de la resistencia a compresión en hormigones , pilares, muros entre muchos, una de sus mayores ventajas es que es una técnica no destructiva, por lo que es un método práctico y rápido para la estimación de la resistencia a la compresión del concreto.
3. La distribución del refuerzo longitudinal o transversal, se hará de acuerdo con la práctica de la ingeniería.
4. Con la información obtenida, se procederá a generar modelos en computadora, para esto se usarán los programas ETABS V17 o SAP 2000.



5. Se procederá a obtener las curvas de capacidad de las estructuras analizadas.
6. Como primer paso se procede a evaluar el desempeño de la estructura frente a sismos ocasionales.
7. Como segundo paso se procede a evaluar el desempeño de la estructura frente a sismos ocasionales (Sismos con periodo de retorno de 75 años).
8. Como tercer paso se procede a evaluar el desempeño de la estructura frente a sismos raros (Sismos con periodo de retorno de 475 años).
9. Finalmente se procede a evaluar el desempeño de la estructura frente a sismos muy raros (Sismos con periodos de retorno de 2500 años).
10. En cada uno de los casos mencionados, se procederá a determinar el punto de desempeño, que resulta de la intersección de la curva de capacidad y la demanda sísmica, traducida como espectro de capacidad.

### **3.6. Método de análisis de datos**

El estado de daño de las estructuras analizadas se determinará en función de la posición del punto de desempeño, ya que si este se encuentra en la zona elástica, es decir antes del punto que define el límite de ocupación inmediata, diremos que la estructura no ha sufrido ningún daño, si se encuentra después de la zona de ocupación inmediata y seguridad de vida, entonces la estructura tendrá daño moderado; en el caso en el que el punto de desempeño se encuentra después de seguridad y prevención de colapso, la estructura tendrá un daño severo y si esta después del punto de prevención de colapso, la estructura habrá colapsado ante tal acción sísmica.

### **3.7. 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 adecuado, 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.

## IV: RESULTADOS

### Ubicación del puente San Luis

En la primera parte de la investigación se centró en el estudio de la estructura y su estado actual para esto se levantó información de campo. Dicha información consistió el estudio de tres características de la estructura, estas fueron, las características geométricas, las características de los materiales existentes finalmente información característica del tipo de suelo de cimentación.

La ubicación de la estructura se muestra en la figura adjunta. Cómo se puede apreciar en la imagen el Puente San Luis se encuentra ubicado en la vía de la Panamericana Sur del distrito de Villa el Salvador muy cerca al sector Lomo de Corvina además se pueden observar puntos notables de la ciudad como la Refinería Petroperú y algo más alejada el Museo Nacional del Perú. Es importante hacer

notar que este puente es característico ya que une los distritos de Villa el Salvador con Lurín por lo que su importancia de uso resulta evidente. Finalmente se debe precisar que el levantamiento de campo se hizo durante un día laborable puesto que por restricciones el estado de emergencia por el que atraviesa el país No se pudo elegir un día con poco tránsito.



Figura 14: Ubicación de la estructura bajo estudio. Fuente: Elaboración propia.

## Características geométricas de la estructura

De la inspección de campo y de las fotografías presentadas en el trabajo apreciar que el sistema estructural del Puente peatonal San Luis cómo se viste de pórticos de concreto armado específicamente 3 columnas o Pilares unidas monolíticamente a una viga de tal forma que la Viga cumple además de una función estructural no función de soporte a la plataforma que sirve de paso a los peatones.

En cuanto al sistema estructural pintar que tenemos columnas de 60 cm de lado es decir se está ante columnas cuadradas. Es importante aclarar que el claro que cubre este puente es de 24 m. Esto hace notar que el Puente San Luis es un puente de grandes dimensiones Y en especial de grandes luces, por lo que la evaluación sísmica de este es una necesidad Si se desea mantener la operatividad de este durante la ocurrencia de un sismo.

En cuanto a las vigas se debe comentar que la sección transversal de ésta es un trapecio invertido con un peralte de 1.2 metros. Es evidente que la viga posee una rigidez muy elevada al ser comparada con los elementos verticales. Estrecho provocará, sin duda, que las columnas se comporten cómo empotradas en sus extremos logrando la máxima rigidez lateral que éstas puedan suministrar.



Figura 15: Vista panorámica del puente peatonal bajo estudio. Fuente: Elaboración propia.



Figura 16: Escalera izquierda y conexión típica a la viga. Fuente: Elaboración propia.



Figura 17: Escalera derecha y conexión de columna a viga. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a las fotografías presentadas el puente analizado posee dos escaleras Unidas de manera monolítica a la estructura estos elementos brindan muy poca rigidez lateral por lo que dentro del Análisis serán ignoradas. Las fotografías también muestran con claridad las grandes luces que cubre el puente. De hecho, como se puede observar en la fotografía anterior el pilar central se ha colocado en la barda separadora de la vía Panamericana Sur lo que resulta idóneo pues además de suministrar soporte estructural a un tura de 60 m de luz no resulta inconveniente para el tráfico de esta vía, que como sabemos, es una vía de alto tránsito todos los días del año. Además, el pilar mencionado logra abatir la luz de 60 metros una luz de 30 metros, considerablemente menor. Sin embargo, conviene notar que el pilar central provoca momentos negativos en este apoyo y dadas las luces es de esperarse una cantidad de refuerzo negativo considerable. De hecho, de acuerdo con Las observaciones realizadas en campo la sección transversal de La viga resulta mucho más reforzada en el apoyo negativo quién el apoyo central cómo se verá en el desarrollo posterior.

## Levantamiento de información:



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

## Sistematización de la información recopilada

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

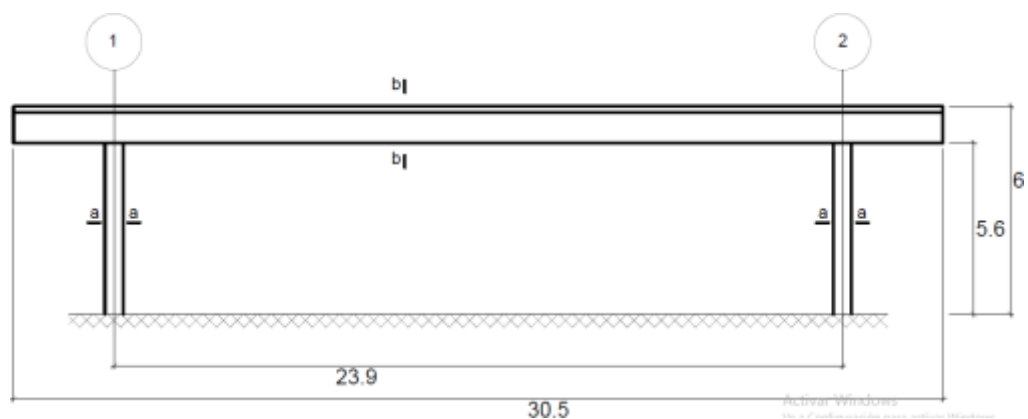


Figura 18: Características geométricas del puente estudiado. Fuente: Elaboración propia.

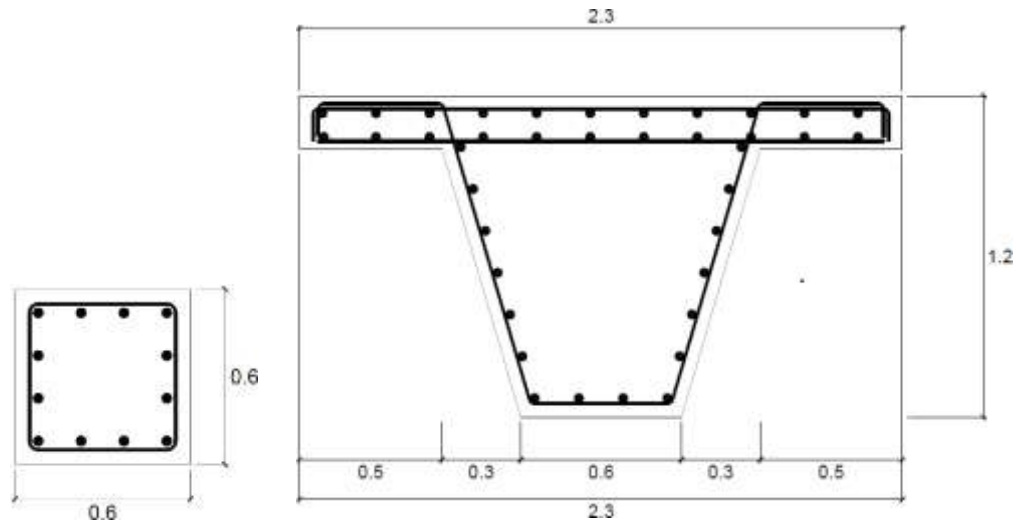


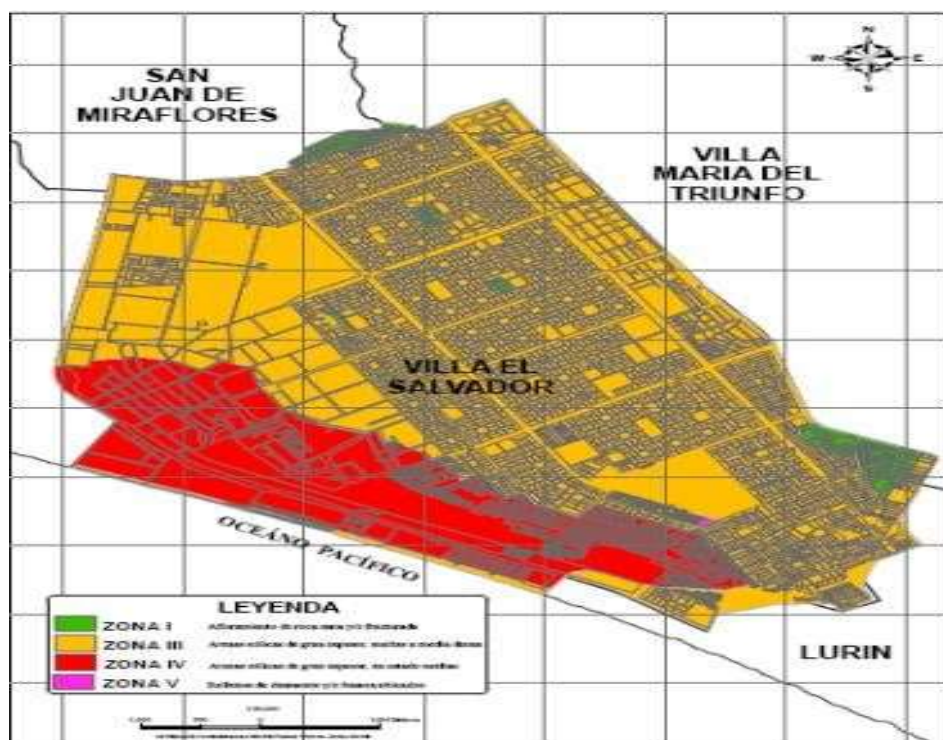
Figura 19: Características de las secciones transversales encontradas en el puente bajo estudio. Fuente: Elaboración propia.

### Microzonificación sísmica de la zona

El estudio de las características dinámicas del suelo se ha realizado usando mapas de microzonificación sísmica ejecutadas y desarrolladas por el centro peruano japonés de mitigación de desastres. Bien entonces comentar con amplitud qué es un mapa de microzonificación sísmica. Un mapa de microzonificación sísmica donde encontramos información No necesariamente geográfica, de hecho, es un mapa que Integra la geografía con parámetros de interés adicionales en este caso periodos fundamentales de vibración. Es así que, un mapa de microzonificación sísmica nos muestra geográfico acompañado de parámetros técnicos de interés. Es importante recordar que de acuerdo con la norma peruana de diseño sísmico la interacción suelo estructura tiene un efecto significativo la respuesta sísmica de cualquier estructura por lo que resulta importante conocer las características dinámicas del suelo. De hecho, de acuerdo con la misma normativa el período fundamental del suelo se debe estimar de acuerdo con la clasificación de este, y está a su vez, se debe hacer midiendo la velocidad de propagación de ondas de corte en el terreno. De hecho, es usual que los registros muestran una serie de valores de velocidad de propagación de ondas de corte a medida que los sondeos avanzan en profundidad, por lo que la citada Norma indica en esos casos qué la velocidad propagación usada para la clasificación de las características dinámicas

del suelo será los promedios considerando el espesor de los estratos y sus respectivas velocidades respectivamente.

En la figura adjunta se puede observar un mapa de microzonificación sísmica elaborado por el centro peruano japonés de investigaciones sísmicas y mitigación de desastres. Este mapa fue elaborado para la zona de interés. El mapa indica que el puente analizado se encuentra dentro de la zona 1 por lo que, de acuerdo con el mismo, el período fundamental dominante en esta zona es de punto dos segundos, aunque conviene aclarar que el gráfico brinda un Rango de variación estos valores que van desde 0.1 a 0.2.



20:

Figura

Microzonificación sísmica de Villa el Salvador y periodos característicos del suelo.

Fuente: Centro Peruano-Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID)

## 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	
TI	2.00	
U	1.00	Factor de uso
Ro	8.00	Factor de reducción básico.
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 2018, 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 .



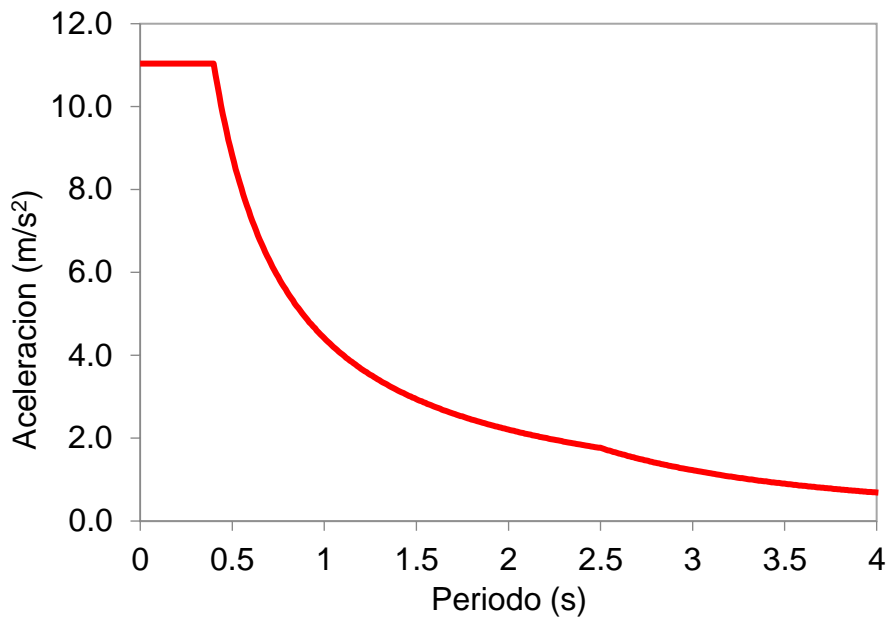


Figura 21: Definición del espectro de demanda, de acuerdo con los lineamientos de la norma E030. Fuente: Elaboración propia.

### 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 .



Figura 22: Modelo tridimensional de puente peatonal San Luis, 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 .

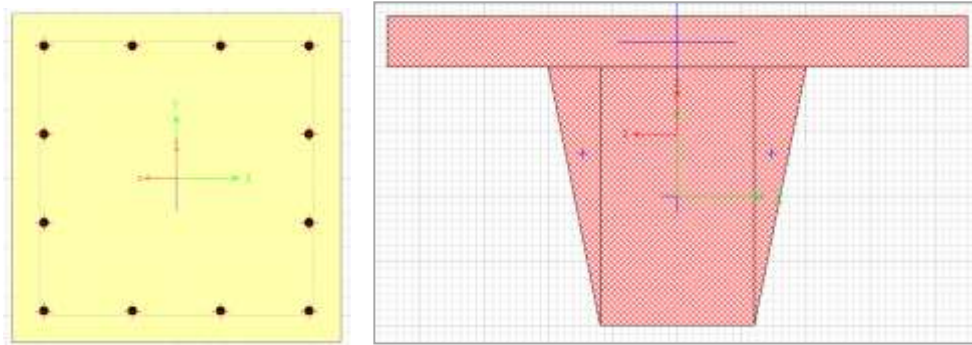


Figura 23: Secciones de los elementos estructurales presentes en el puente estudiado. Fuente: Elaboración propia.

### 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.

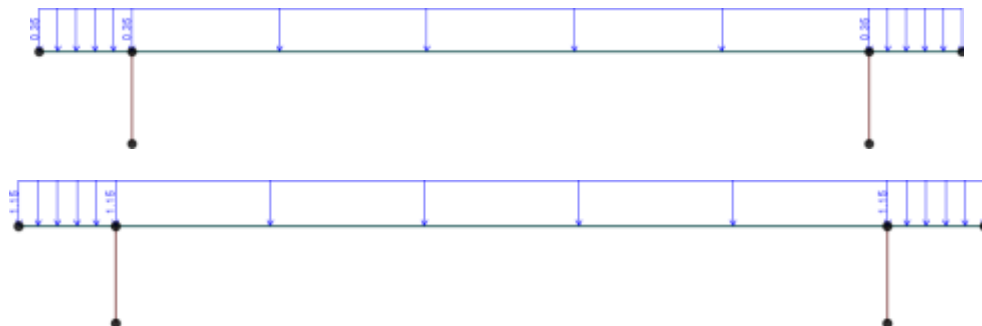


Figura 24: Cargas muertas y vivas aplicadas en la estructura. Fuente: Elaboración propia.

La aplicación de las cargas mencionadas al modelo se muestra en la Figura . 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.

## 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 .

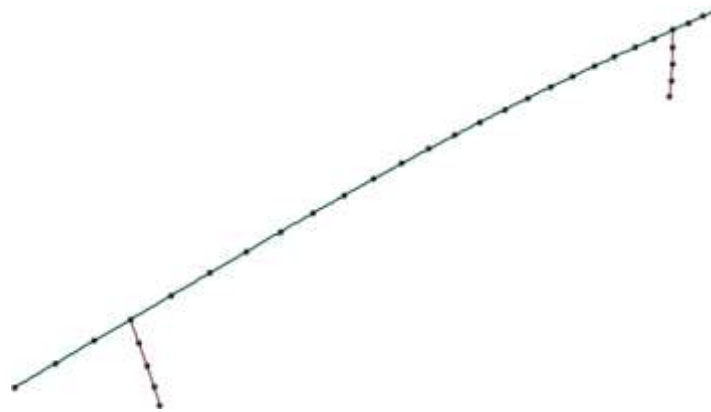


Figura 25: Primera forma de modo de la estructura analizada  $T=0.38$  s. Fuente: Elaboración propia.

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 25. 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.

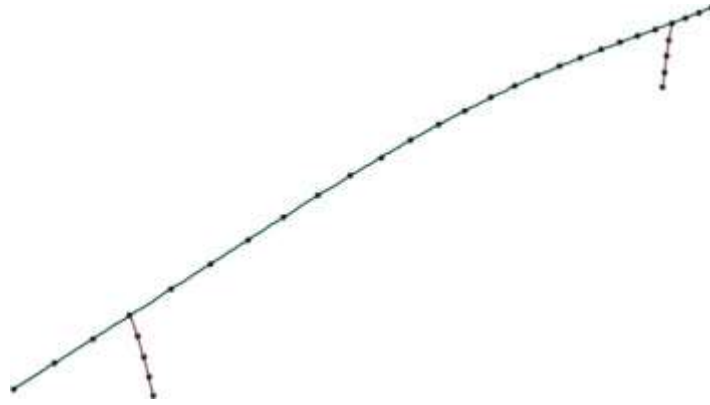


Figura 26: Segunda forma de modo de la estructura analizada  $T=0.29$  s. Fuente:  
Elaboración propia.

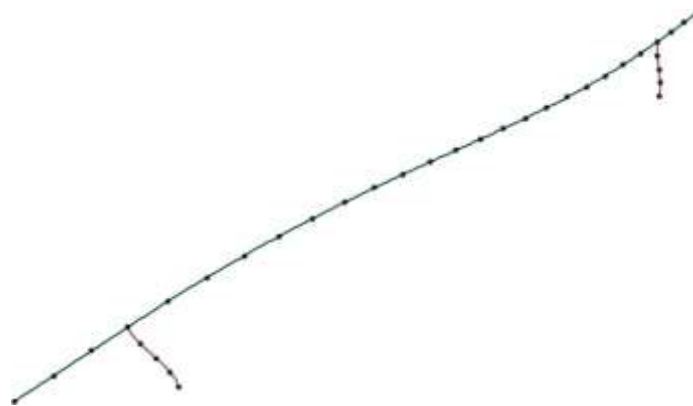


Figura 27: Segunda forma de modo de la estructura analizada  $T=0.17$  s. Fuente:  
Elaboración propia.

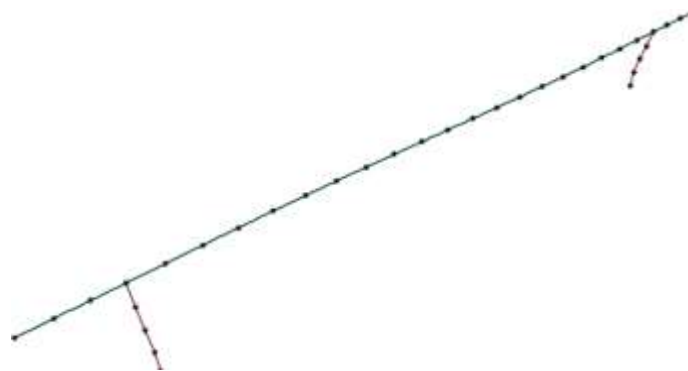


Figura 28: Cuarta forma de modo de la estructura analizada  $T=0.16$  s. Fuente:  
Elaboración propia.

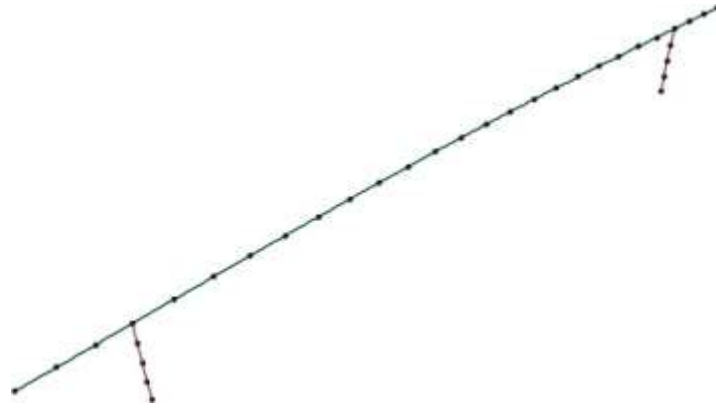


Figura 29: Quinta forma de modo de la estructura analizada  $T=0.15$  s. Fuente:  
Elaboración propia.

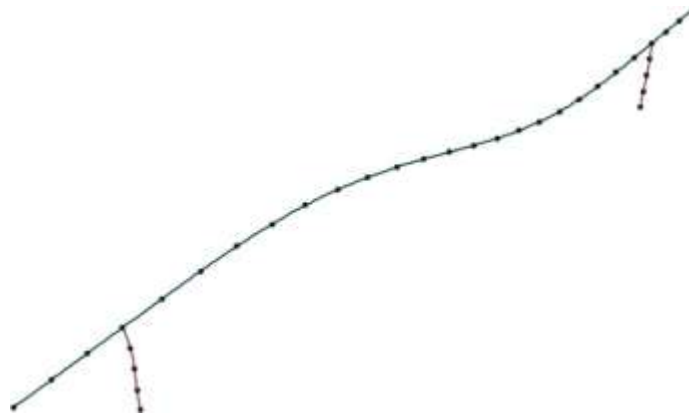


Figura 30: Sexta forma de modo de la estructura analizada  $T=0.09$  s. Fuente:  
Elaboración propia.

### 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.

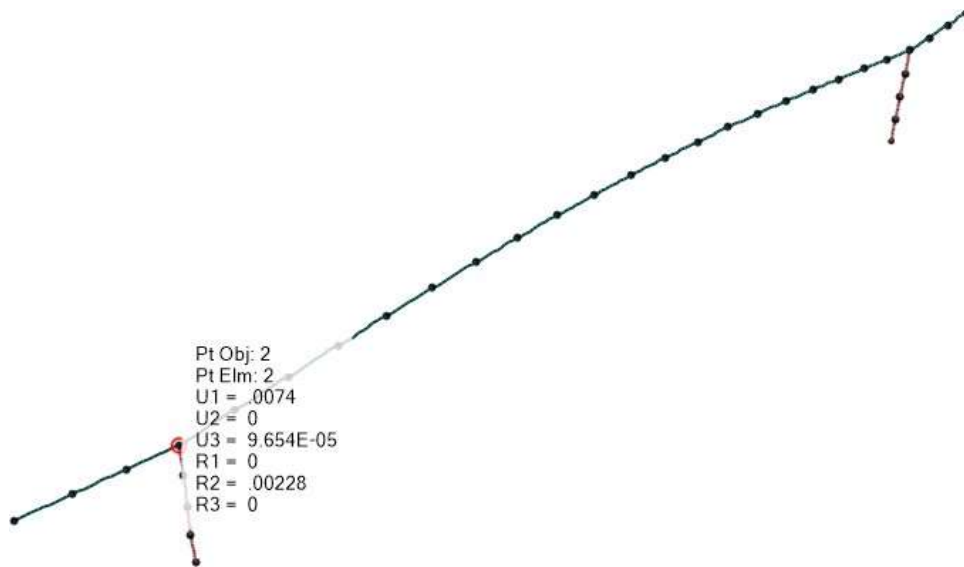


Figura 31: Desplazamientos máximos en dirección x, 7mm, debidas al sismo en x.

Fuente: Elaboración propia.

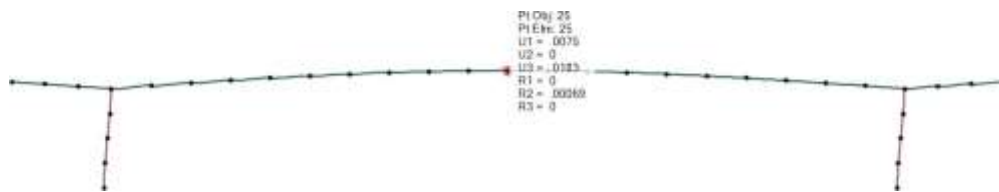


Figura 02: Desplazamientos máximos en dirección z ,1.83 cm, debidas al sismo

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 0 se muestran los resultados encontrados, donde se aprecia que el máximo desplazamiento vertical fue de 1.83 cm.

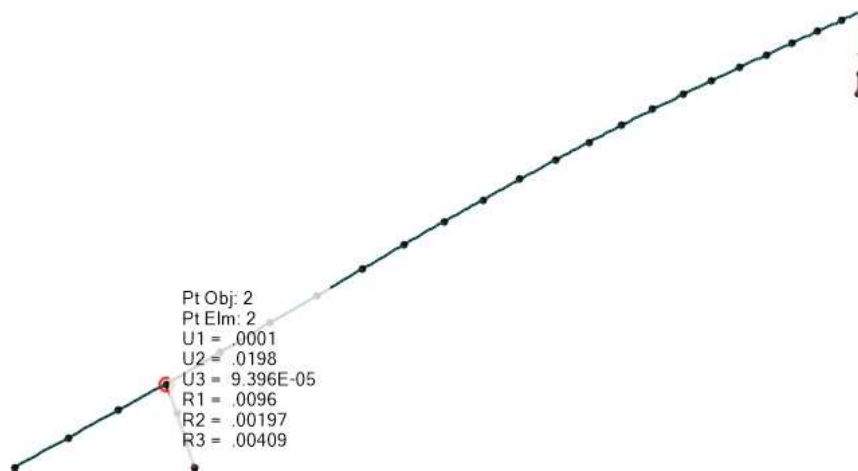


Figura 03: Desplazamientos máximos en dirección y, 1.98 cm debidas al sismo en y. Fuente: Elaboración propia.

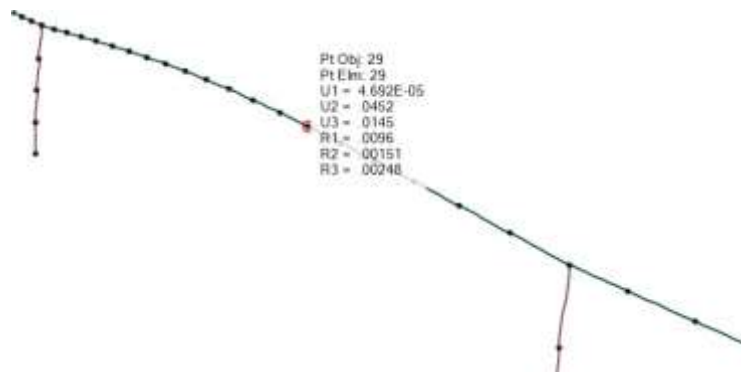


Figura 04: Desplazamientos máximos en dirección z (1.45 cm) ; y(4.52cm), debidas al sismo en y. Fuente: Elaboración propia.

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.

## 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 .

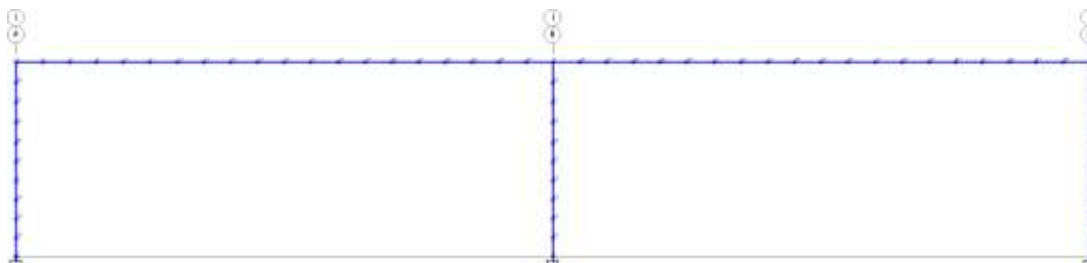


Figura 35: Modelo de elementos finitos preparado para el análisis sísmico modal espectral. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar de esta gráfica, el puente ha sido idealizado como un ensamble de elementos Fírame, 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 , 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 máximos presentado en la norma de diseño sismorresistente (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.



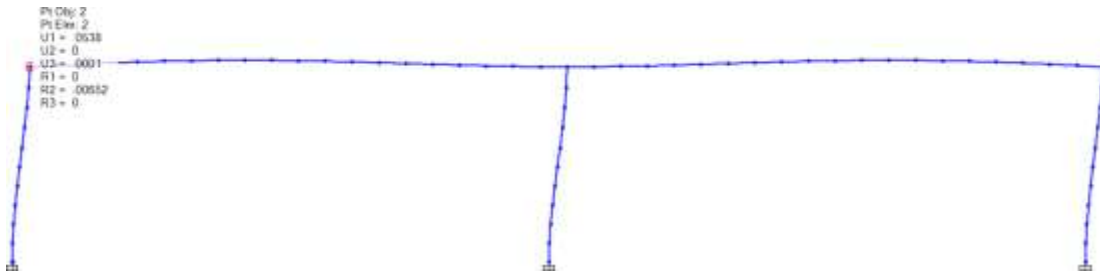


Figura 36: Desplazamiento lateral máximo medido en la estructura estudiada, de 5.38 cm. Fuente: Elaboración propia.

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, 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  $1/480$ .

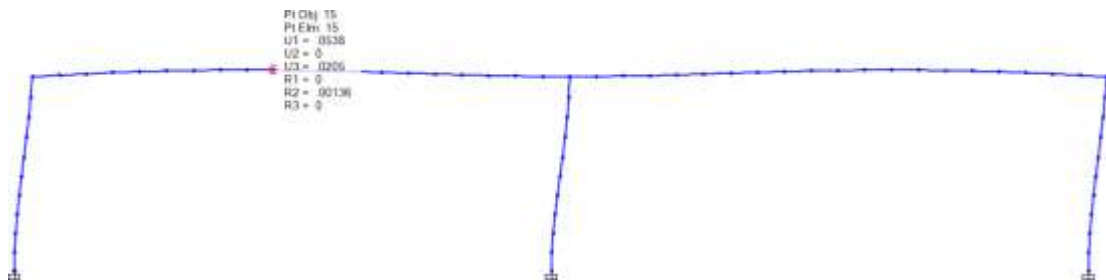


Figura 37: Desplazamiento vertical máximo de la viga, de 2.1 cm. Fuente: Elaboración propia.

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

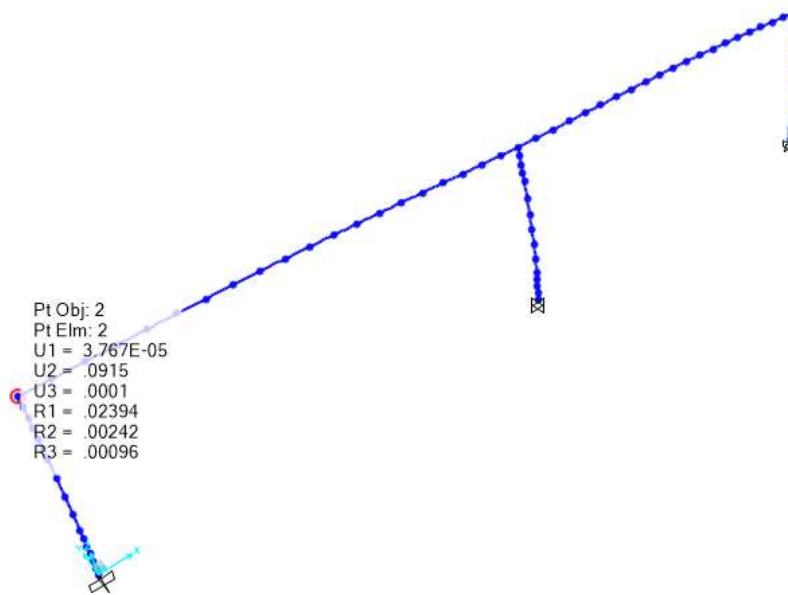


Figura 38: Desplazamiento en el eje vertical 0.1 mm Fuente: Elaboración propia.

### **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 , 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 le presente caso fueron de 32.0 t.m y  $95/100 \times 10^{-3}$ , respectivamente.

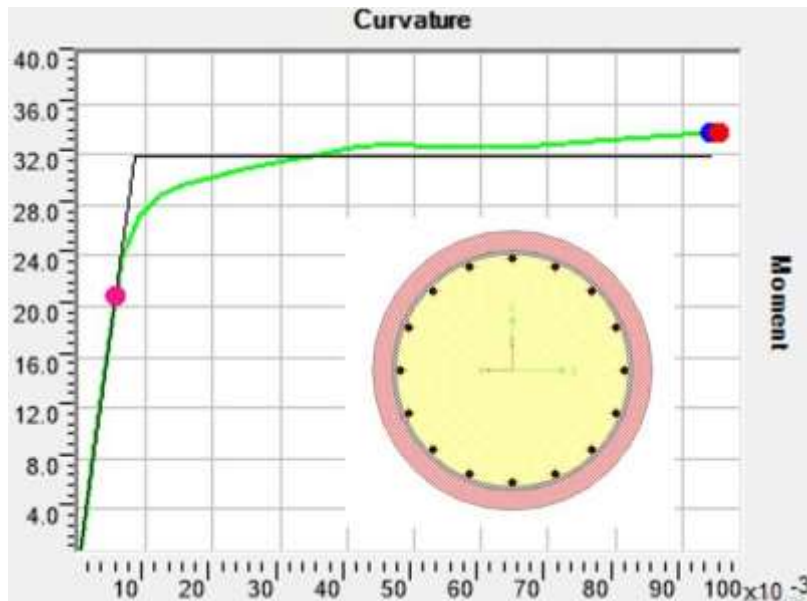


Figura 39: Columna circular típica de concreto armado de 60 cm de diámetro y su diagrama momento curvatura. Fuente: Elaboración propia.

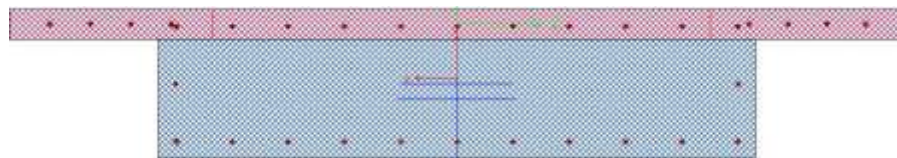


Figura 40: Sección transversal la viga longitudinal del puente estudiado. Fuente: Elaboración propia.

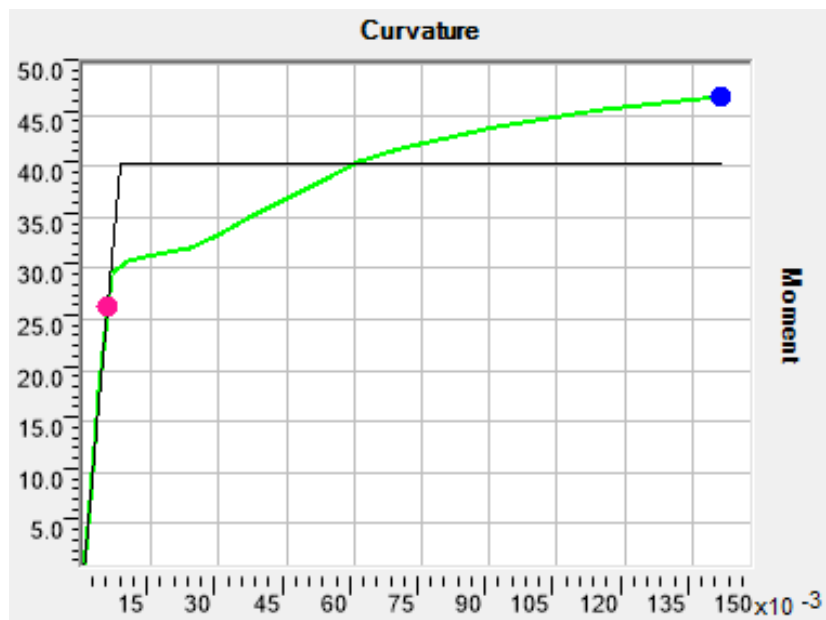


Figura 41: Diagrama momento curvatura de la viga longitudinal del puente estudiado. Fuente: Elaboración propia.



Figura 42: Modelo tridimensional del puente de dos vanos. Fuente: Elaboración propia.

### Reforzamiento propuesto

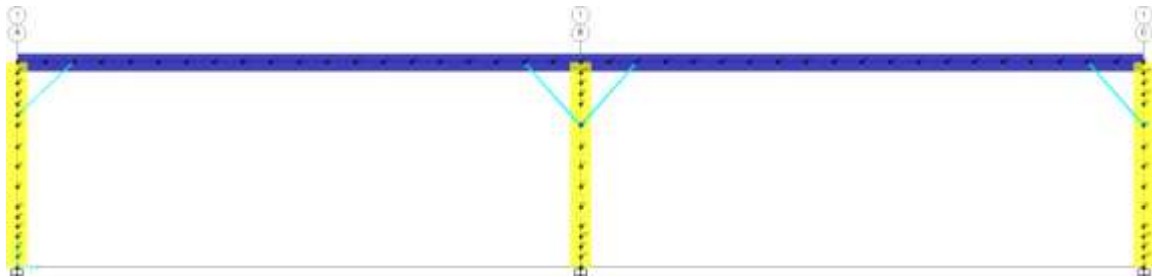


Figura 43: Reforzamiento propuesto basado en disipadores de energía metálicos.

Fuente: Elaboración propia.

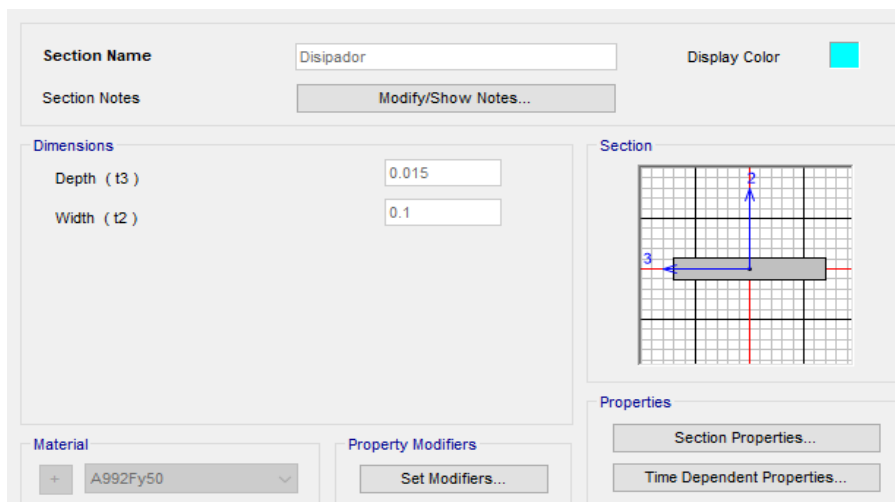


Figura 44: Sección transversal de los disipadores de energía considerados.

Fuente: Elaboración propia.

## Resultados del análisis sísmico

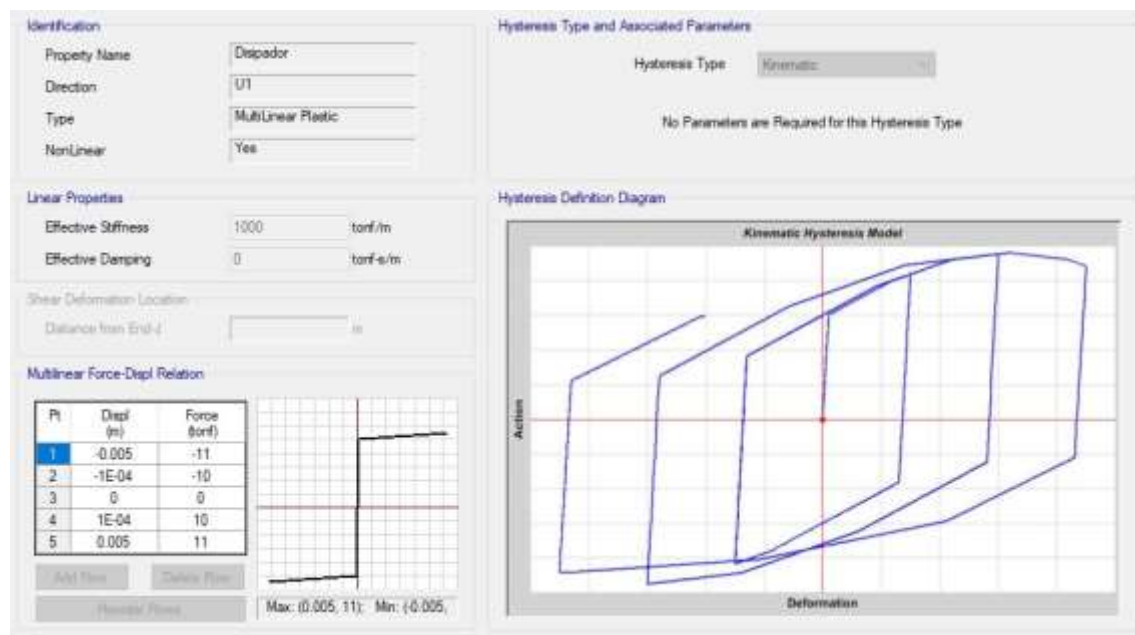


Figura 05: Modelo de comportamiento monotónico y cíclico. Fuente: Elaboración propia.

## Análisis tiempo historia no lineal

Es necesario contar con registros sísmicos que sean representativos de las zonas de estudio. Sobre esto es importante tener en cuenta que tales registros deberán tener ciertas características mínimas, la más importante de todas es el PGA (*Peak Ground Acceleration*). En este caso se requiere que el valor máximo del PGA sea como mínimo de 0.10g, de tal forma que este sea significativo y que se puedan aplicar los procesos de escalamiento de registros; valores menores a esta cantidad en general no son confiables, ya que es difícil distinguir componentes del movimiento sísmico del ruido.

Aunque en la actualidad, instituciones como del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas (CISMID) de la Universidad Nacional de Ingeniería, cuentan con una serie de dispositivos acelerométricos cerca de la zona de trabajo, lamentablemente, la mayor parte de los registros sísmicos tienen un PGA del orden de 0.01g, es decir, son señales que en general se deben a movimientos sísmicos muy débiles o al paso de vehículos pesados, todo lo que en general califica como ruido. Por tanto, en el presente trabajo se usarán los registros sísmicos históricos

disponibles en el país, ya que, aunque ocurrieron en zonas geográficas diferentes, en general, tienen las mismas fuentes sismo-génicas y, por tanto, las mismas leyes de atenuación.

En este caso, se decidió usar los registros sísmicos naturales con los que el país cuenta, considerando que estos deben tener un PGA (*Peak Ground Acceleration*) mínimo de 0.10g, para que los resultados sean considerables y para que el escalamiento a ciertos niveles de peligro sea el adecuado.

A continuación, se muestran los registros sísmicos que serán usados en el desarrollo de este trabajo de investigación, cabe destacar que estos registros sísmicos fueron obtenidos de la base de datos del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Reducción de Desastres (CISMID), de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).

### **REGISTRO SISMICO DE 1966**

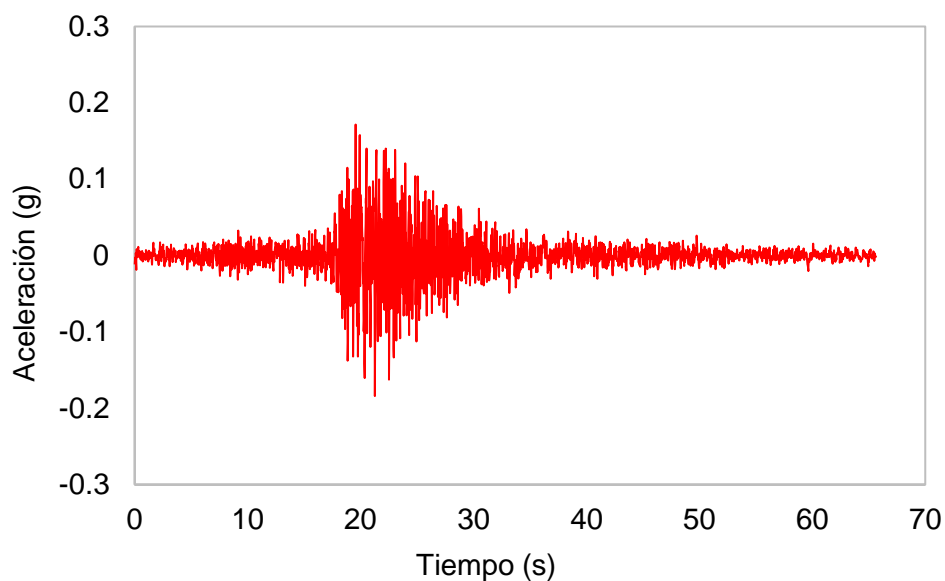


Figura 0-1: Registro de aceleración del sismo de 1966, componente EW.

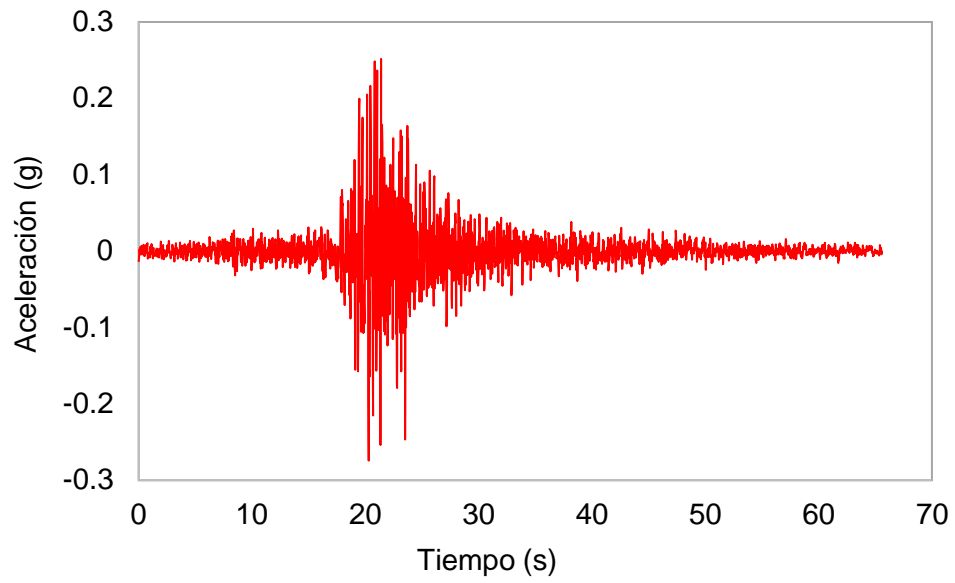


Figura 0-2: Registro de aceleración del sismo de 1966, componente NS.

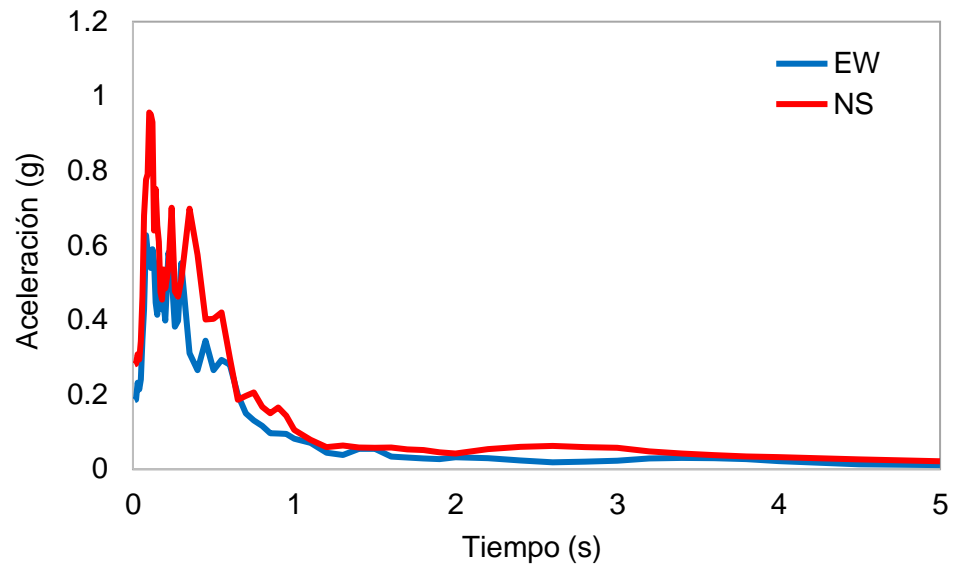


Figura 0-3: Espectros de aceleración de las componentes NS, EW, del sismo de 1966.

## REGISTRO SISMICO DE 1970

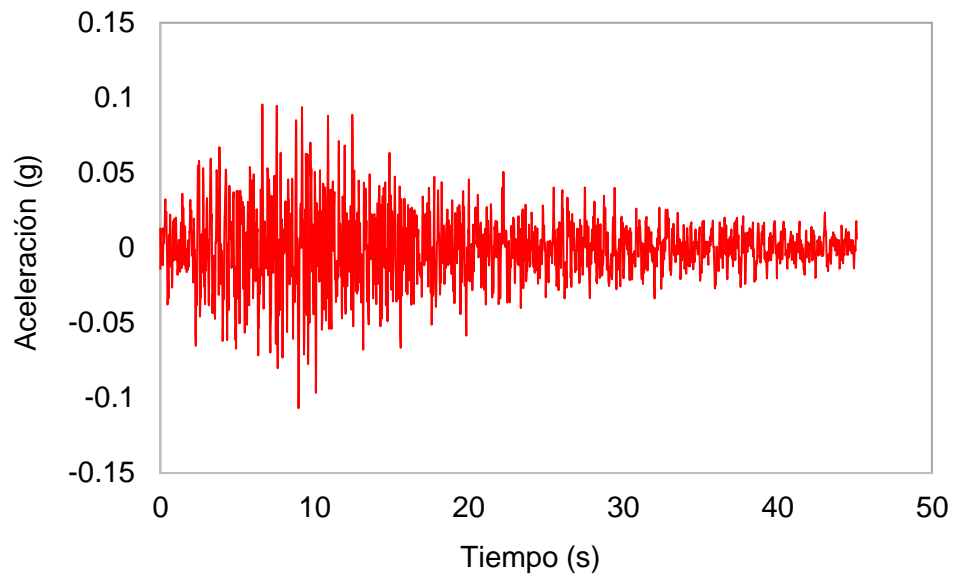


Figura 0-4: Registro de aceleración del sismo de 1970, componente EW.

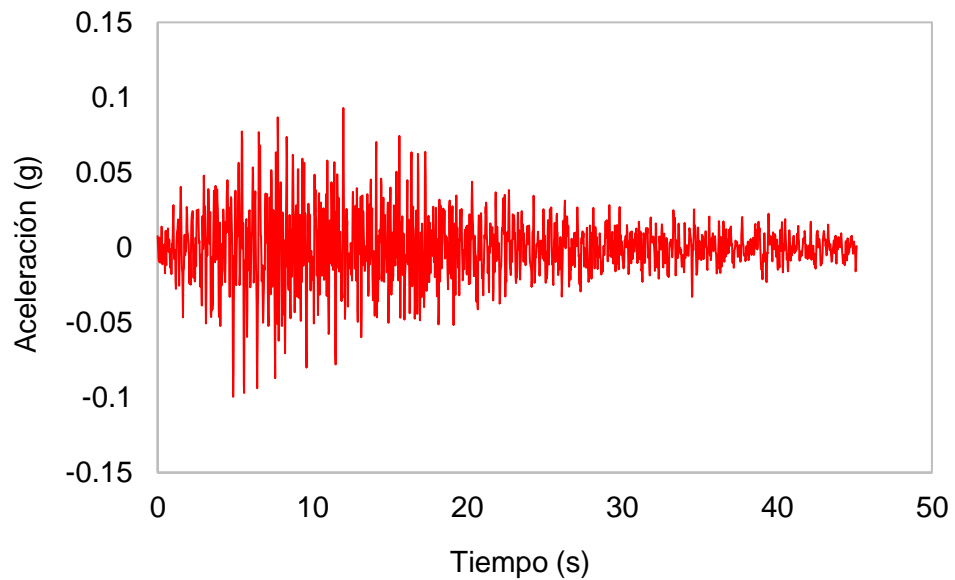


Figura 0-5: Registro de aceleración del sismo de 1970, componente NS.



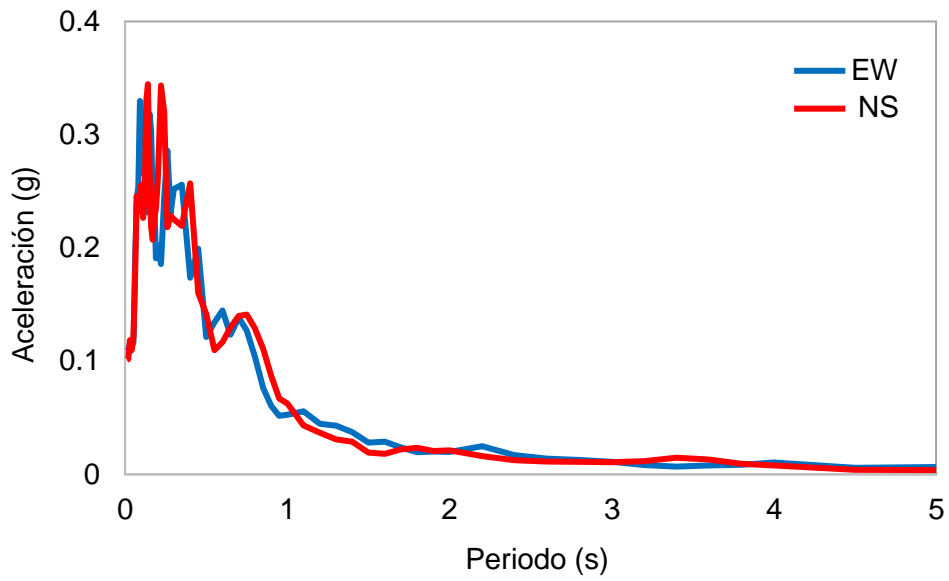


Figura 0-6: Espectros de aceleración de las componentes NS, EW, del sismo de 1970.

**REGISTRO SISMICO DE OCTUBRE DE 1974**

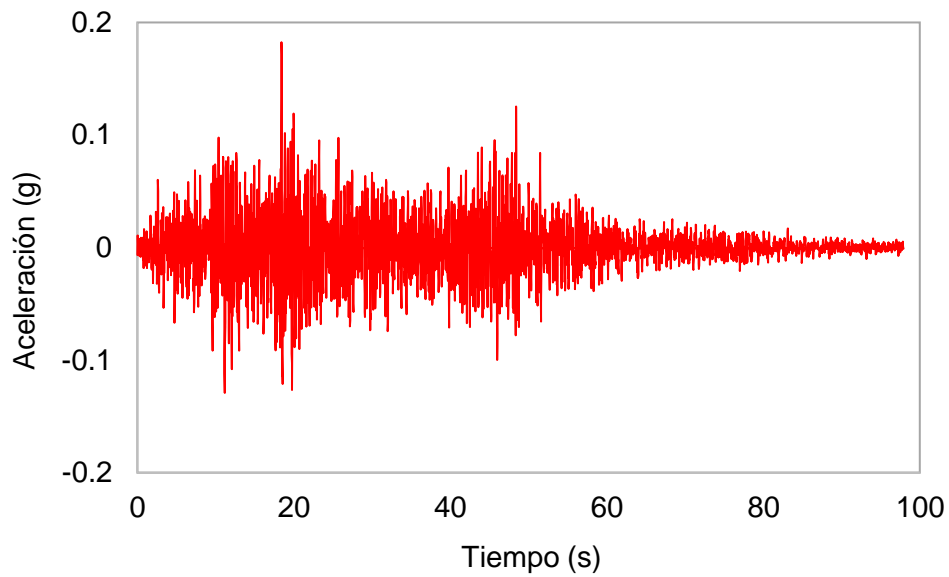


Figura 0-7: Registro de aceleración del sismo de 1974, componente EW.

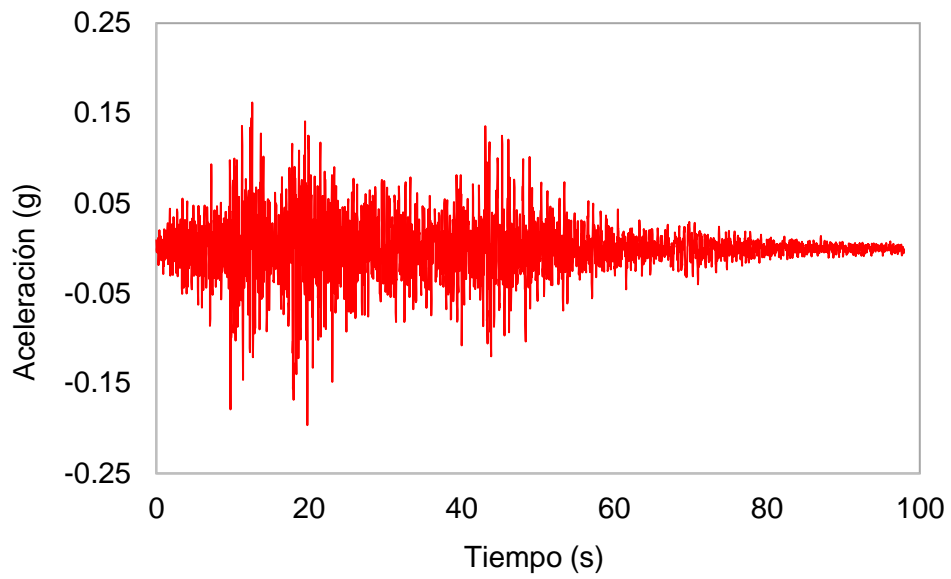


Figura 0-8: Registro de aceleración del sismo de 1974, componente NS.

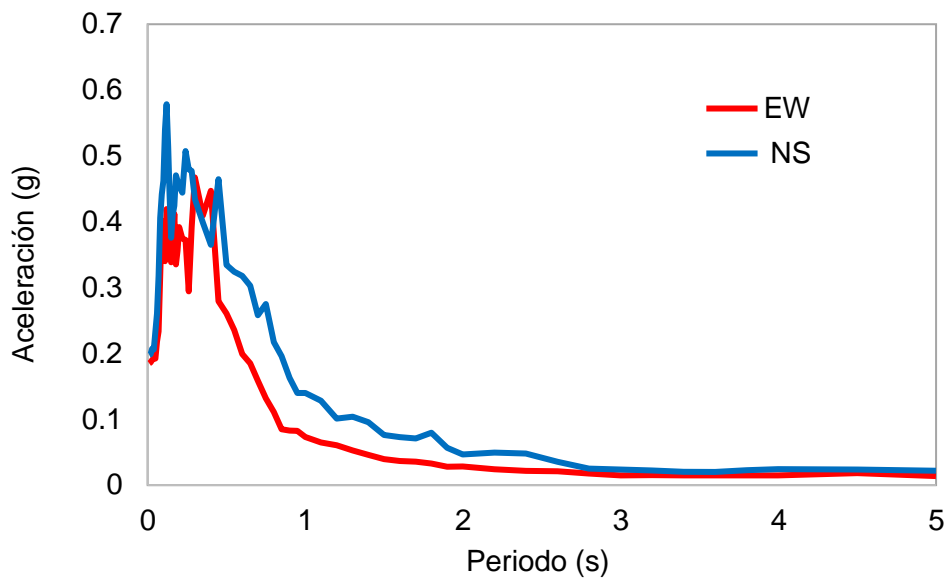


Figura 0-9: Espectro de aceleraciones del sismo de 1974, componentes EW y NS.

## REGISTRO SISMICO DE ATICO-AREQUIPA 2001

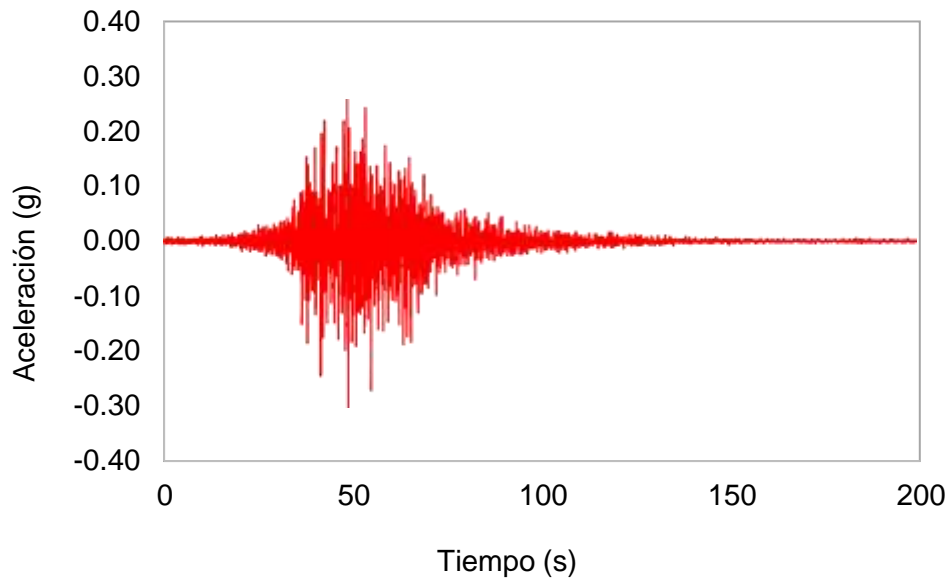


Figura 0-10: Registro de aceleración del sismo de Arequipa, componente EW.

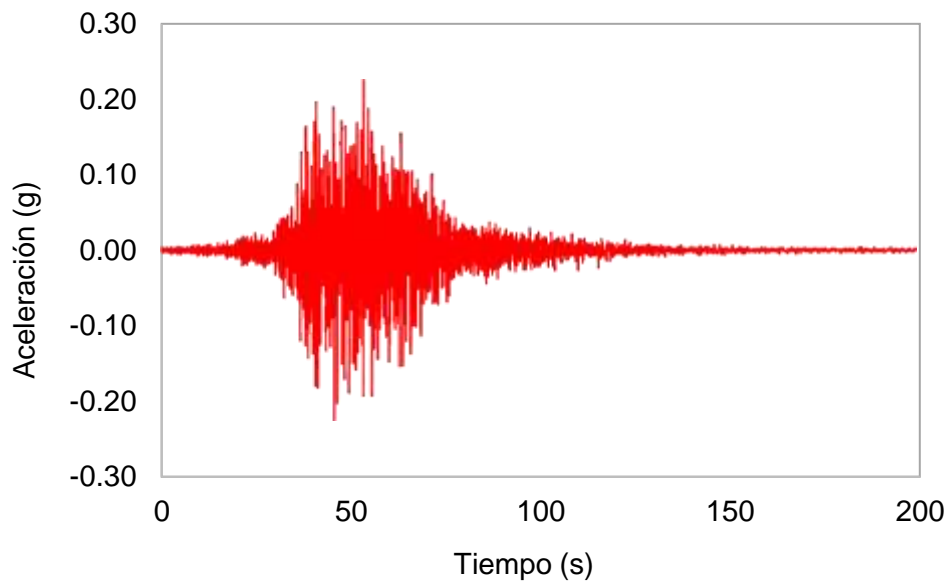


Figura 0-11: Registro de aceleración del sismo de Arequipa, componente NS.

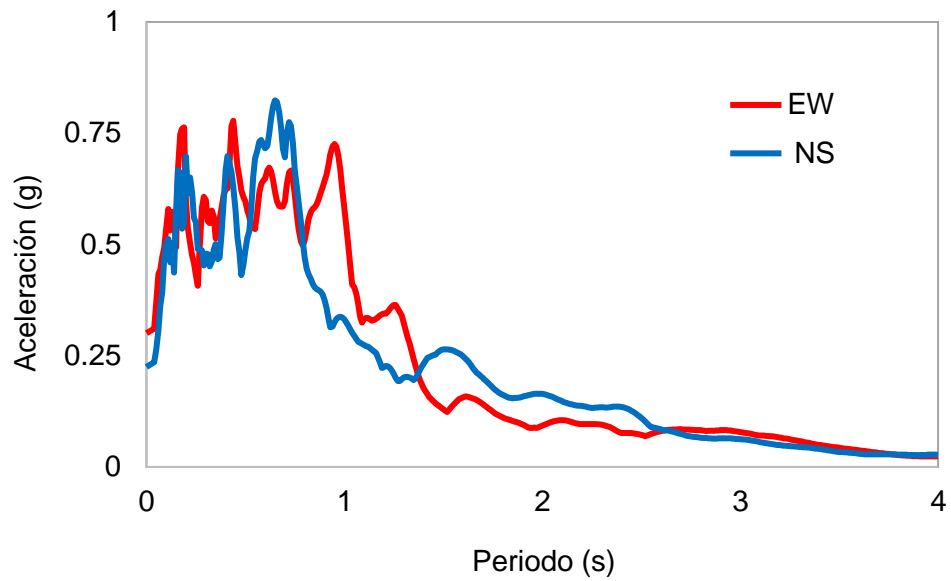


Figura 0-12: Espectro de aceleraciones del sismo de Arequipa, componentes EW y NS.

**REGISTRO SISMICO DE ICA DEL 2007**

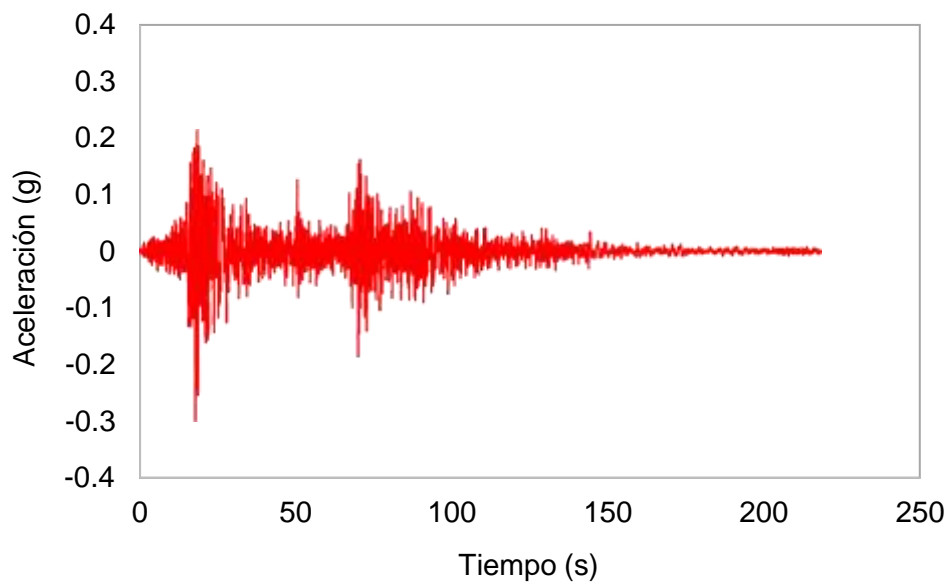


Figura 0-13: Registro de aceleración del sismo de ICA del 2007, componente EW.

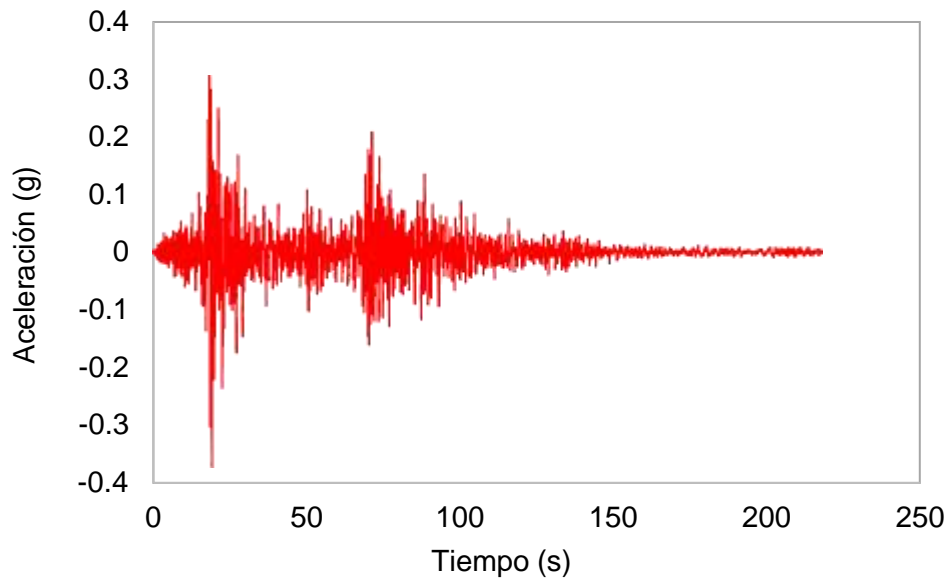


Figura 0-14: Registro de aceleración del sismo de ICA del 2007, componente NS.

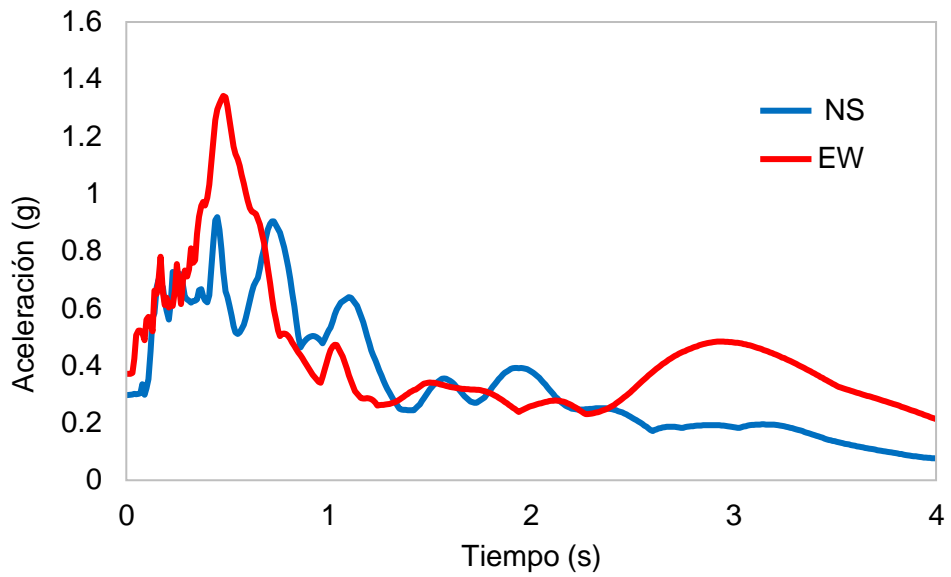


Figura 0-15: Espectros de aceleración de las componentes NS, EW, del sismo de Ica del 2007.

## ESCALAMIENTO DE LOS REGISTROS SÍSMICOS

El escalamiento de los registros sísmicos es un proceso matemático que tiene como finalidad poder incrementar la magnitud de aceleración de estos, bajo la aplicación de ciertos criterios. Usualmente, este proceso se hace con la finalidad de poder llevar el registro analizado a un nuevo nivel de peligro sísmico, ya que, por lo general, los registros sísmicos naturales son inferiores a los deseados para alcanzar algún nivel de peligro específico.

Tales niveles de peligro son usualmente dados en términos de periodos de retorno, tales como  $Tr=475$  años,  $Tr=1000$  años y  $Tr=2475$  años, como se puede observar en siguiente figura 4-48

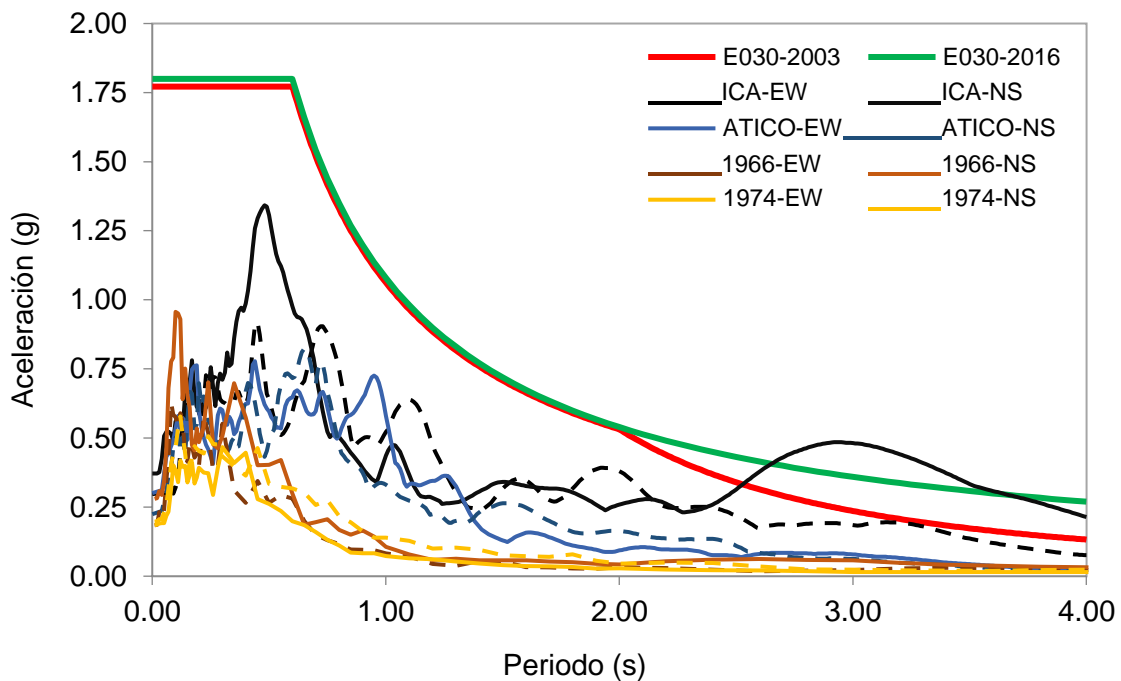


Figura 0-16: Relación de magnitud de aceleración entre el espectro de la norma E030 del 2003, E030 del 2016 y registros sísmicos naturales. *Fuente: Elaboración propia.*

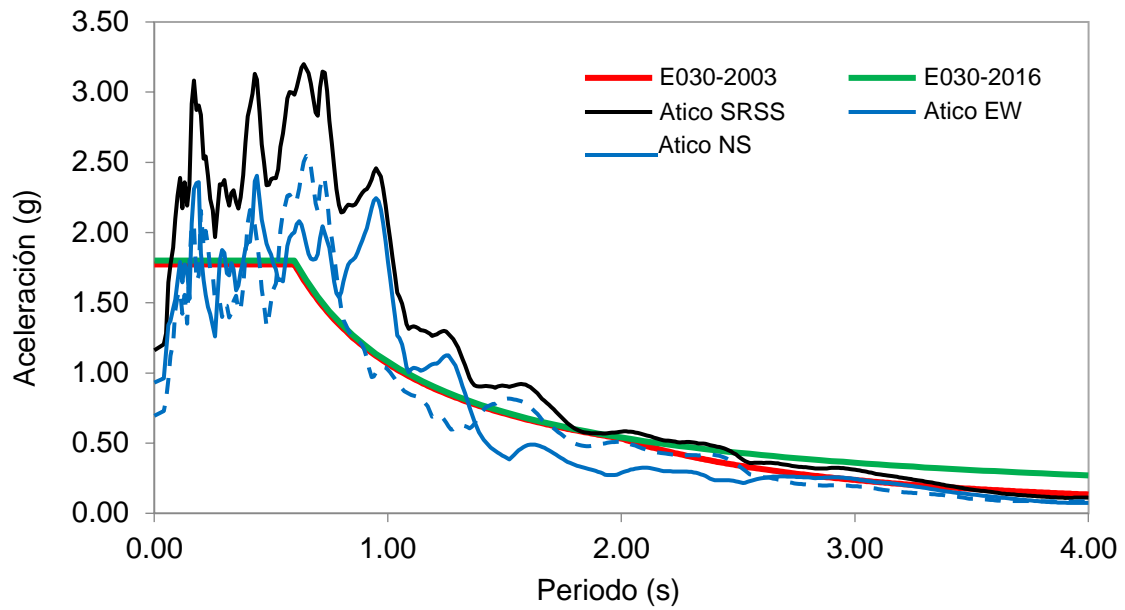


Figura 0-17: Escalamiento del registro sísmico de Arequipa 2001, mediante el método SRSS. Fuente: *Elaboración propia*.

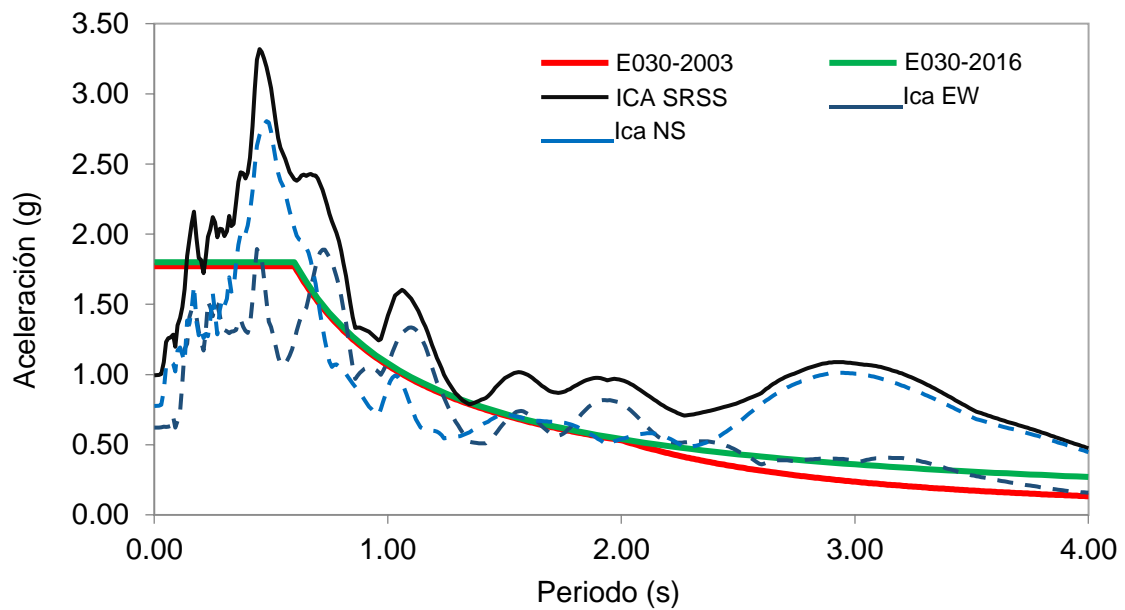


Figura 0-18: Escalamiento del registro sísmico de Pisco 2007, mediante el método SRSS. Fuente: *Elaboración propia*.

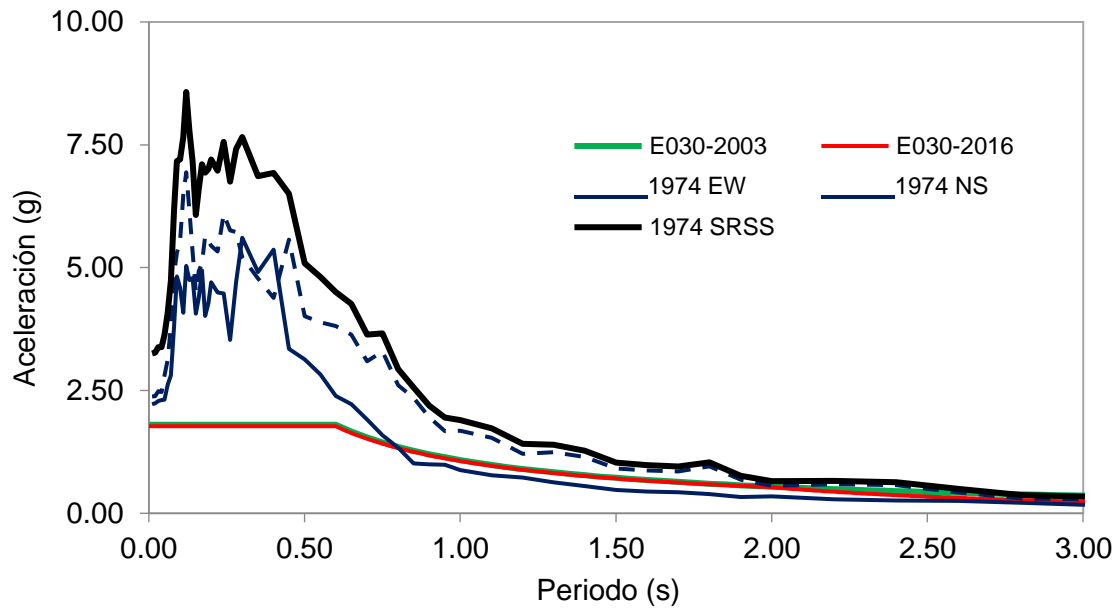


Figura 0-19: Escalamiento del registro sísmico de 1974, mediante el método SRSS. Fuente: *Elaboración propia*.

En el caso de la norma peruana, el espectro de diseño dado en él se ha construido considerando un periodo de retorno de 475 años, por lo que, si se desea evaluar el comportamiento sísmico de una edificación diseñada mediante la aplicación de la norma E030 (E030, 2016), los registros sísmicos deben ser ajustados, de tal manera que el nivel de peligro sísmico de los registros usados, sean comparables con el espectro de diseño de la norma peruana E030.

Con la finalidad de poder observar de manera gráfica la relación de los espectros de respuesta de los registros mencionados, con respecto al espectro de diseño dados por la norma E030, estos se han graficado simultáneamente en la Figura 0-16. De este gráfico se puede apreciar claramente que los espectros de respuesta de los registros naturales, son en general de menor magnitud que los correspondientes en el caso de los espectros de diseño, esto es debido a que en general, los espectros de diseño se han construido tomando como base, valores estadísticos.

Es importante tener en cuenta que los espectros de diseño mostrados en la Figura 0-16, se ha construido para un periodo de retorno de  $T_r=2475$  años, el cual se pueden obtener a partir del espectro de diseño construido con  $U=1$ , y luego ser multiplicado por un factor de amplificación  $F_a=1.5$ , para finalmente obtener lo mostrado en la Figura 0-16.



Además de acuerdo con la norma E030, los registros sísmicos pueden ser escalados usando el método de la raíz cuadrada de los cuadrados de las componentes de los espectros de respuesta (SRSS). Según este método, el espectro debe ser escalado mediante un escalar, de tal manera que dentro del intervalo de periodos que va desde  $0.2T$  hasta  $1.5 T$ , en donde  $T$  es el periodo de la estructura, todas las abscisas del espectro escalado, superen el espectro de diseño objetivo.

De acuerdo con lo mencionado en las líneas anteriores, se ha procedido a escalar los registros sísmicos presentados, de tal manera que los espectros correspondientes superen las abscisas del espectro de diseño obtenido mediante la norma de diseño, dentro del rango de periodos que van desde los 0.40 s hasta 3.15 s. Los resultados obtenidos para el caso del sismo de Pisco del 2007, se muestran en la Figura 0-17, mientras que los resultados encontrados en el caso del sismos de Arequipa y del año 1974, se muestran en las Figura 0-18 y Figura 0-19.

### Formas modales

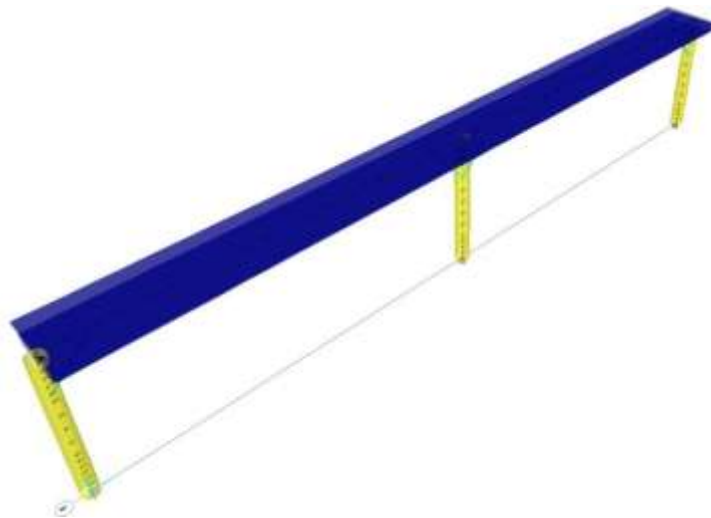


Figura 0-20: Modelo estructural para estudiar la respuesta sísmica de la estructura reforzada. Fuente: Elaboración propia.

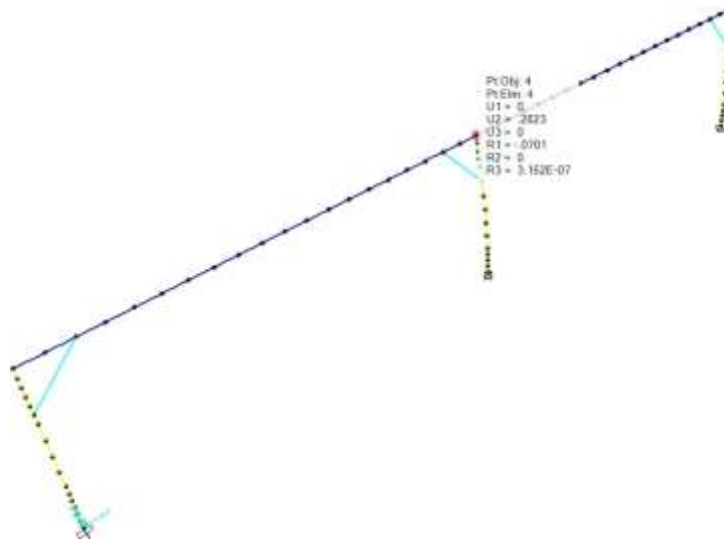


Figura 0-21: Primera forma de modo considerada. Fuente: Elaboración propia.

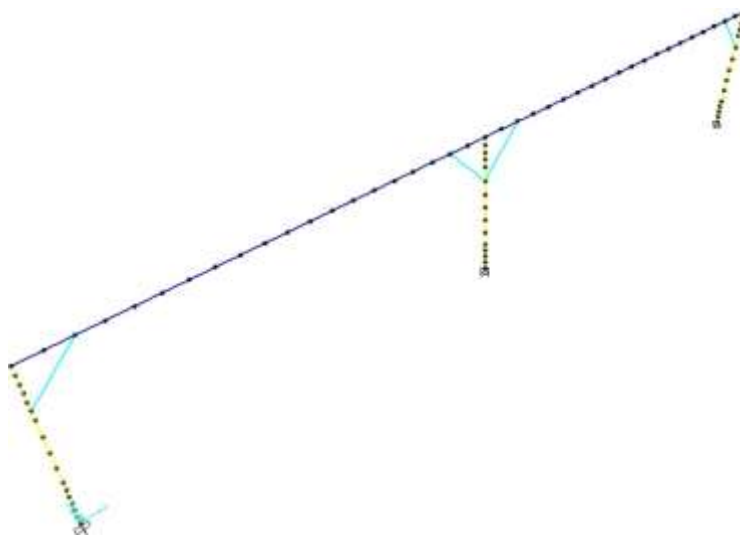


Figura 0-22: Segunda forma de modo considerada. Fuente: Elaboración propia.

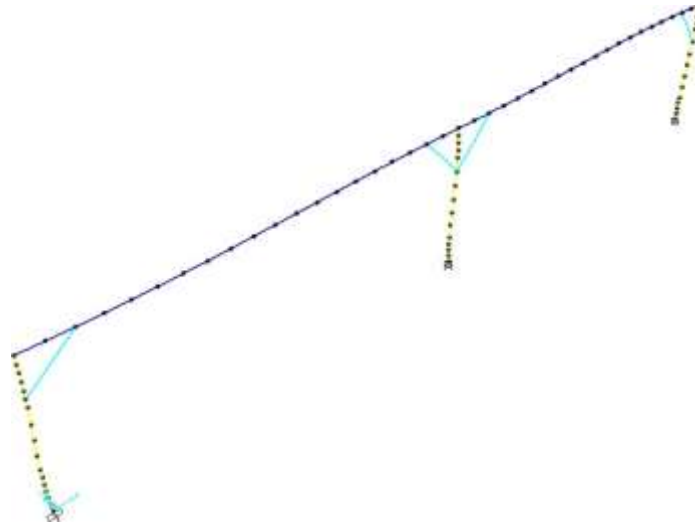


Figura 0-23: Tercera forma de modo considerada. Fuente: Elaboración propia.

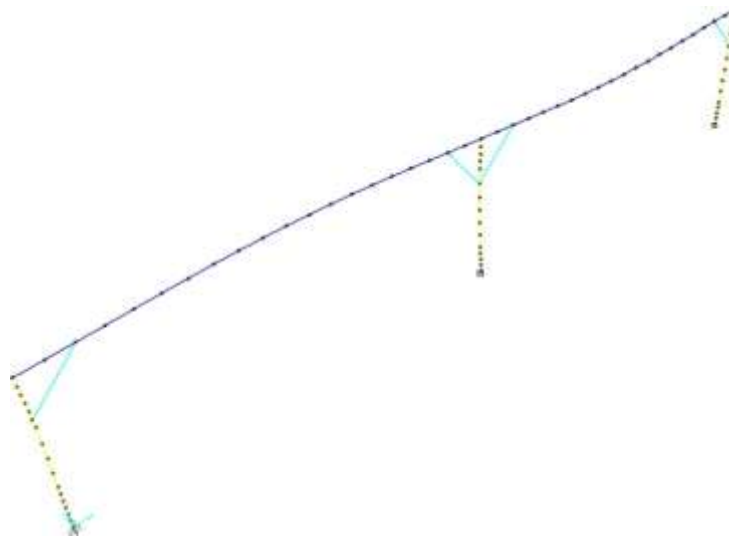


Figura 0-24: Cuarta forma de modo considerada. Fuente: Elaboración propia.

### Máximos desplazamientos

La acción del sismo se verá reflejada en los desplazamientos laterales del sistema estructural estudiado. Esto es así debido a que cuando el sismo actúa sobre una

estructura, aparecen fuerzas de inercia sobre esta que provocan deformaciones laterales.

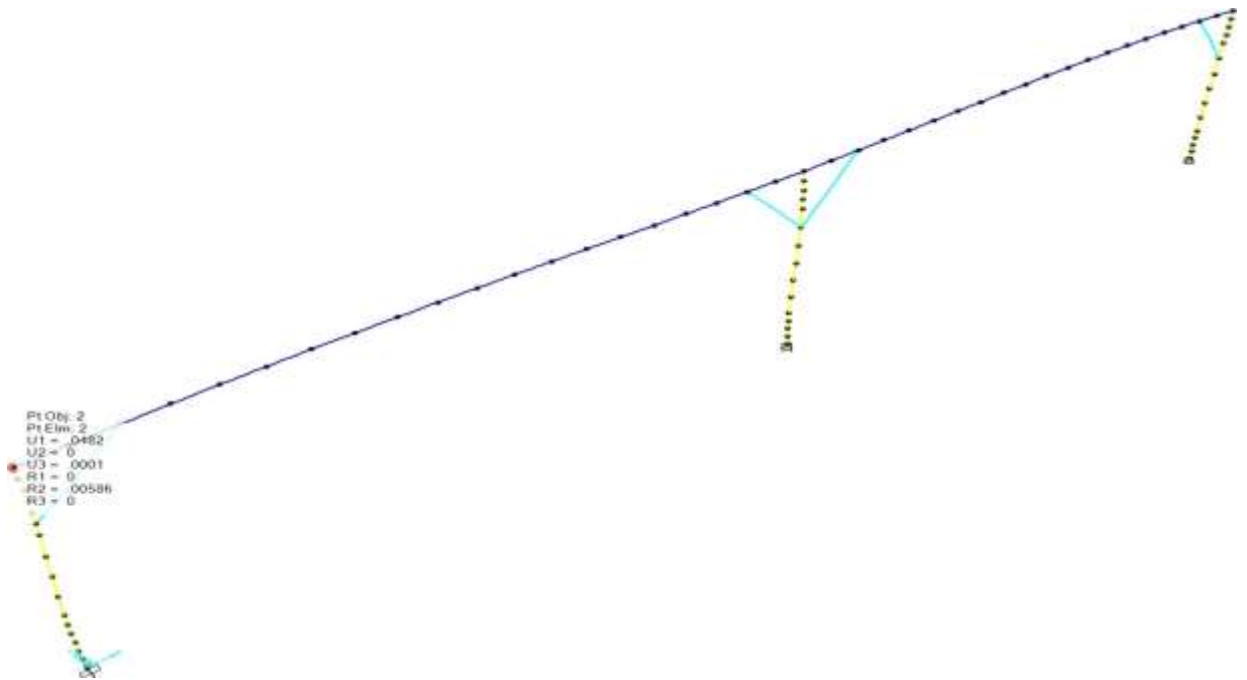


Figura 0-1: Máximos desplazamientos debido al sismo D= 4.82cm. Fuente:

Elaboración propia.

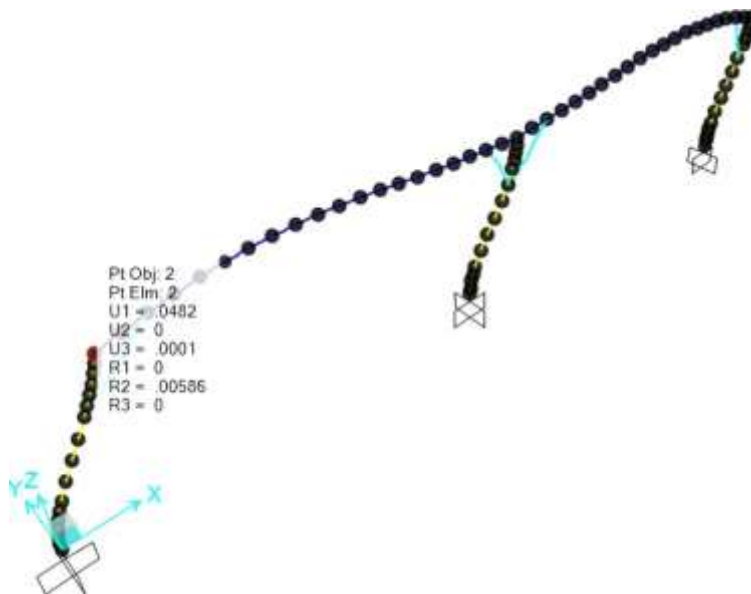


Figura 0-2: Desplazamientos laterales máximos de  $D_x=4.82\text{cm}$  en dirección X.

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la estructura reforzada con los disipadores de energía metálicos, e máximo desplazamiento lateral encontrado fue de 4.82 cm, mientras que el desplazamiento vertical máximo de las vigas analizadas fue de 1.77cm, es decir, casi 2 cm de desplazamiento vertical.

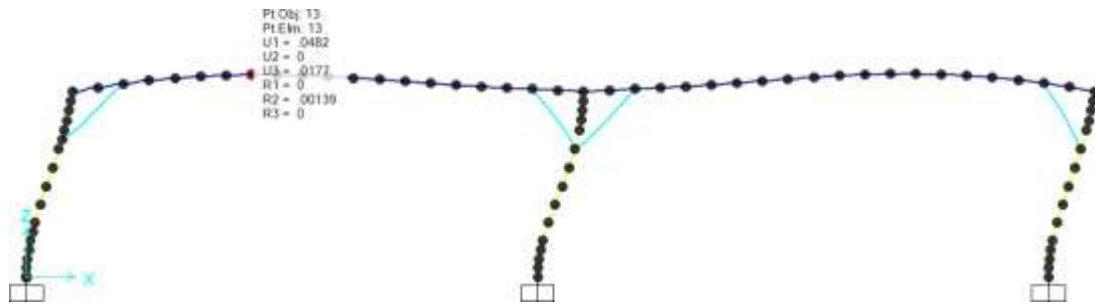


Figura 0-3: Desplazamientos verticales máximos de  $D_z=1.77$  cm en dirección Z.

Fuente: Elaboración propia.

## CAPITULO V: DISCUSIÓN

Del análisis modal realizado a la estructura bajo estudio, se ha encontrado que el principal efecto fue el movimiento traslacional, tanto en dirección transversal como en dirección longitudinal. Esto era de esperarse, pues la edificación es mucho más flexible en la dirección transversal, que en la dirección longitudinal. Estos resultados se comparan directamente con los resultados obtenidos por Ortiz (2013), quien realizó una serie de mediciones de la vibración libre de una serie de puentes peatonales ubicados en la ciudad de Lima.

El periodo fundamental reportado por Ortiz (2013), fue de 0.2s. Este valor muestra que la rigidez de los puentes peatonales en lima tiene una rigidez considerable, pues esta es comparable con la rigidez lateral de una edificación de dos niveles. En cuanto a los resultados obtenidos en el análisis sísmico realizado, el periodo fundamental obtenido fue de 0.30s, y como se puede observar, este valor fue muy cercano al valor obtenido por Ortiz (2013).

El máximo desplazamiento lateral encontrado fue de 5.38cm, en dirección longitudinal. Este valor, con respecto de la altura del puente, nos da una distorsión lateral 1.19%. Estos resultados muestran que el comportamiento de las columnas no es el adecuado ya que excede, y de lejos, las máximas distorsiones establecidas en la norma peruana de diseño sísmico, misma que tiene un valor de 0.007. Estos resultados están de acuerdo con los comentarios realizados por Ampuero (2015), quien señala que tal rigidez lateral de puentes debe ser tal que garantice un desempeño sísmico adecuado. De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis estático no lineal, el puente analizado tuvo un pobre desempeño sísmico, alcanzando un nivel de desempeño de prevención de colapso para el caso de un sismo con periodo de retorno de 2500 años. Es importante entender que, de acuerdo con la norma peruana de diseño sísmico (E030), un sismo con un periodo de retorno de 2500 años es aquel que tiene una probabilidad del 2% de ser excedido en un periodo de exposición de 50 años, a diferencia de un sismo con periodo de retorno de 475 años, que es, un sismo con una probabilidad del 10% de probabilidad de ser excedido en un periodo de exposición de 50 años.

De acuerdo con Tena y Pérez (2015), la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de puentes urbanos debe evaluarse considerando demandas sísmicas extremas, lo que

en terminología sísmica, se llama periodo de retorno. Es así que, este autor plantea el uso de espectros de aceleraciones con periodos de retorno de 2500 años, pues garantiza un nivel de confianza mucho mayor en la evaluación de los efectos sísmicos. Un antecedente similar es el encontrado en Aburto (2015), quien realizó una serie de estudios orientados a la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de puentes peatonales en Chile. Este autor considera que las estructuras importantes como puentes peatonales, los que no deben colapsar en el caso de un sismo severo, deben ser analizados considerando el más alto nivel de demanda sísmica disponible para la evaluación sísmica, es decir, un sismo con periodo de retorno de 2500 años.

Otro autor que considera demandas sísmicas elevadas para el estudio de la vulnerabilidad sísmica de puentes urbanos es Rivera (2015). Aunque este trabajo fue desarrollado en el instituto de ingeniería de la UNAM de México, muchos de sus resultados son extrapolables a nuestra realidad. Algunos de estos son los niveles de peligro a considerar en el análisis sísmico, y que este autor señala que se debe considerar un sismo con periodo de retorno de 2500 años.

Rivera (2015) encontró que muchos puentes peatonales estudiados resultaron ser altamente vulnerables ante la acción de un sismo con un periodo de retorno de 2500 años. Estos resultados tienen un gran parecido con el caso de análisis estudiado, pues el puente analizado tuvo un comportamiento sísmico inadecuado frente a la acción de un sismo muy raro. Esto puede explicarse tomando en cuenta que muchas veces los diseñadores toman como referencia tipologías estructurales existentes en otros países para realizar sus propios diseños y por quedar, de alguna manera, bien con los procesos constructivos existentes y ampliamente aceptados en la práctica de la ingeniería civil.

Desde un punto de vista personal del autor, se considera que la ingeniería es una disciplina que debe basarse, como no, en la experiencia adquirida durante generaciones pasadas de constructores, pero también, y ampliamente, en la base científica que se ha ido desarrollando para esta a lo largo de decenios, y más recientemente en los últimos avances planteados a la dinámica estructural experimental, tal como lo plantea el Dr. Boroschek de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

El reforzamiento propuesto, basado en disipadores de energía metálicos, tuvo como principal característica evitar una excesiva intervención de los elementos estructurales,

tales como ocurriría en el caso del encamisado de columnas o encamisado de vigas. El criterio de disipadores de energía metálicos se ha usado en otras estructuras tales como edificaciones, de acuerdo con los estudios presentados por el Dr. Luis Bozzo Rotondo.

Los disipadores de energía usados en este trabajo de investigación fueron implementados cerca de las uniones viga columna de los puentes tipo pórtico, tal como se ha visto en los desarrollos presentados en presente trabajo. Estos han logrado incrementar de manera notable la rigidez lateral de la estructura, logrando así, un desempeño sísmico mejorado respecto de su estado actual.



## **CAPITULO VI: CONCLUSIONES**

### **Conclusiones generales**

El uso de disipadores metálicos en puentes peatonales logra incrementar la resistencia lateral de los mismos, asimismo, logra disminuir los máximos desplazamientos laterales encontrados logrando, al mismo tiempo, la reducción de las máximas distorsiones laterales.

### **Conclusiones específicas**

- ✓ La aplicación de disipadores metálicos, colocados en forma de rigidizante de nodos, lograron una reducción de los máximos desplazamientos laterales de hasta el 60%, logrando incrementar de manera sustancial la rigidez de puentes laterales.
- ✓ La aplicación de los disipadores de energía metálicos logró una disminución de las máximas distorsiones laterales de hasta el 50%.
- ✓ La aplicación de los disipadores de energía en el puente peatonal logro incrementar de manera sustancial la rigidez lateral del puente peatonal analizado.

## **CAPITULO VII: RECOMENDACIONES**

En el caso de puentes peatonales con deficiencias de comportamiento frente a acciones sísmicas, se recomienda la implementación de disipadores de energía metálicos, pues estos no requieren de gran intervención de elementos como vigas o columnas, lo que, sin lugar a dudas, incrementa grandemente los costos asociados al reforzamiento.

Se recomienda la implementación cerca de las uniones viga columna, pues estos incrementan la rigidez lateral y como se ha observado logran una disminución notable de los máximos desplazamientos laterales de la estructura, lo que representa una mejora significativa del desempeño sísmico.

Se recomienda que la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de un puente se realice usando niveles de peligro sísmico elevados, tal como se ha desarrollado en el presente trabajo, se recomiendan periodos de retorno de 2500 años.

Se recomienda realizar investigaciones adicionales en el uso de disipadores de energía metálicos para el reforzamiento de estructuras de puentes peatonales, pues de acuerdo con los resultados obtenidos podrían resultar de una opción útil y viable para el reforzamiento estructural.

## REFERENCIAS:

1. **ESCOLANO, Margarit, y otros.** *Failure Mechanism of Reinforced Concrete Structural Walls with and without Confinement.* Lisboa, Lisboa, Portugal : s.n., 2012.
2. **CHOPRA, Anil K.** *Dinamica de Estructuras.* Mexico : Pearson, 2014.
3. *Shear Deformations of Slender Reinforced Concrete Walls under Seismic Loading.* **BEYER, Katrin, Dazio, Alessandro y Priestley, Niegel.** 2011, ACI Structural Journal, págs. 167-177.
4. **CONSTANTIN, R. y Beyer, K.** *Modelling of Reinforced Concrete Core Walls Under Bi-directional Loading.* Lisboa, Lisboa, Portugal : s.n., 2012.
5. *Cyclic behavior of thin RC Peruvian shear walls: Full-scale experimental.* **QUIROZ, Luis, Yoshihisa, Maruyama y Zavala , Carlos.** 2013, Engineering Structures, págs. 153-167.
6. **GIBERSON, Melbourne Fernald.** *The response of nonlinear multi-story Structures subject to earthquake excitation.* Pasadena California : California Institut of Technology, 1967. Thesis.
7. *Analysis of shear-dominated RC columns using the nonlinear truss analogy.* **MOHARRAMI, Mohammadreza, y otros.** 2014, Earthquake Engineering Structural Dynamics.
8. **BASURTO Cartulin, Rosario del Pilar.** *Vulnerabilidad sismica y mitigacion de desastres en el distrito de San Luis.* Lima : Universidad Ricardo Palma, 2015.
9. **MANDER, Jhon Barrie.** *Seismic Design of Bridge of Piers.* Christchurch : University of Canterbury, 1983. Phd Thesis.
10. *Diagnostics and evaluation of footbridges.* **BUJŇÁK, J, y otros.** Žilina : Steel Structures and Bridges, 2012.
11. **HERNANDEZ Sampieri, Roberto, Fernandes Collado, Carlos y Baptista Lucio, Pilar.** *Metodología de la investigación.* Mexico : Mc Graw Hill, 2014.
12. **ABURTO Calderón, Pilar Andrea.** *Analisis de la vulanrabilidad sismica del pueten Pedro de Vladiviia-Chile.* Valdivia : Universidad Austral de Chile, 2013.
13. **RIVERA Vargas, Darío.** *Evaluacion simplificada de la vulnerabilidad sismica de puentes urbanos.* Mexico : Centro Nacional de Prevencion de desastres-CENAPRED, 2015.

14. *SEISMIC VULNERABILITY ASSESSMENT OF REINFORCED CONCRETE BULDINGS USING MICROTREMOR MEASUREMENTS.* **HAMAMOTO, Takuji y Ozeki, Yusuke.** New Zealand : s.n., 2000, World Conference Earthquake Engineering.
15. **PINILLA Ramos, Camilo Ignacio.** *Correlacion entre el perfil de velocidad de propagacion de ondas de corte y el espectro de respuesta en suelos.* Santiago de Chile : Universida de Chile, 2012.
16. **SILVA Bustos, Natalia Andrea.** *Vulnerabilidad sismcia estructural en viviendas sociales y evaluacion preliminar de riesgo sisimoc en la region metropolitana.* Santiago de Chile : Universidad de Chile, 2012.
17. **FLORES de los Santos, Roberto Angel.** *Diagnostico preliminar de la vulnerabilidad sismica de las autoconstruccion en Lima.* Lima : Pontificia Universidad Catolica del Perú, 2012.
18. **VIZCONDE Campos, Adalberto.** *Evaluacion de la vulnerabilidad sismcia de un edificio existente.* Lima : Universidad de Piura, 2014.
19. *Behaviour of U-shaped RC walls under quasi-static cyclic diagonal loading.* **CONSTANTIN, Raluca y Beyer, Katrin.** 2016, Engeneering Structures, págs. 36-52.
20. **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.
21. **ILGADI, Otman B.** *Advanced three-dimensional analysis of concrete structures using nonlinear truss models.* Colorado : Colorado University, 2013. Phd Thesis.
22. *Seismic Design and Construction Practices for RC Structural Wall Buildings.* **MASSONE, Leonardo, y otros.** 2012, Earthquake Spectra, págs. 245-256.
23. **ORTIZ, Arcangel.** *Diseño Sismico de Muros de Concreto Armado. Bases para el diseño por desplazamientos.* Instituto de Ingenieria UNAM : Mexico, 2014. Tesis de Maestria.
24. *Nonlinear Cyclic Truss Model for Reinforced Concrete Walls.* **PANAGIOTOU, Mario, y otros.** 2012, ACI Structural Jounal, págs. 205-2014.
25. **PAULAY, Tom y Priestley, Nigel.** *Seismic Design of Reinforced Concrete and Mansaory Building.* New York : John Wiley & Sons, Inc., 1992.
26. **ROCA Loayza, Dandy.** *Resistencia Probable a flexocompresión de muros estructurales de concreto armado.* Lima : Universidad Nacional de Ingenieria, 2015. Tesis de Maestria.

27. *The Modified Compression-Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subject to Shear.* **VECCHIO, Frank y Collins, Michael.** 1986, ACI Journal, págs. 219-231.
28. *Damage and Implications for Seismic Design of RC Structural Wall Buildings.* **WALLACE, Jhon, y otros.** 2012, Earthquake Spectra, págs. 281-299.
29. *Macro-Modeling Reinforced Concrete Structural Walls: State of the Art.* **WU, Yun-Tian, Lan, Tian-Qing y Xiao, Yan.** 2016, Journal of Earthquake Engineering.
30. *Model for Cyclic Compressive Behavior of Concrete.* **YANKELEVSKY, David y Reinhardt, Hans.** 1987, Journal of Structural Engineering ASCE, págs. 228-240.
31. *Uniaxial Behavior of Concrete in Cyclic Tension.* **YANKELEVSKY, David y Reinhardt, Hans.** 1989, Journal of Structure Engineering ASCE, págs. 166-182.
32. *Three-Dimensional Cyclic Beam-Truss Model for Nonplanar Reinforced Concrete Walls.* **YUAN, Lu y Panagiotou, Mario.** 2013, Journal of Structural Engineering, ASCE.
33. **ORAKCAL, Kutay y Wallace, John W.** *Modeling of slender reinforced concrete walls.* Vancouver, Vancouver, Canada : s.n., 1-6 de August de 2004.
34. **SCHOETTLER, Matthew John.** *Seismic Demands in Precast Concrete Diaphragms.* San Diego : University of california, 2010. Phd Thesis.
35. *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**

## ANEXO 1

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	METODOLOGIA
General	General	General					DISEÑO: Experimental TIPO: Aplicada NIVEL: Explicativo ESCALA DE MEDICION: Razón POBLACION: Los puentes Peatonales de la vía de la panamericana sur del distrito de Villa el Salvador MUESTRA: Puente Peatonal San Luis
¿Qué mejoras de comportamiento estructural reporta e uso de disipadores de energía metálicos en el puente peatonal San Luis de Villa el Salvador?	Mejora de la respuesta sísmica del puente peatonal San Luis mediante la aplicación de disipadores de energía metálicos en el distrito de Villa el Salvador	La aplicación de los disipadores de energía metálicos mejora la respuesta sísmica de del puente peatonal San Luis, en el distrito de Villa el Salvador.					
Específicos	Específicos	Específicos					
¿Qué efecto tiene el uso de disipadores de energía metálicos en los máximos niveles de desplazamiento lateral?	Determinar en cuanto disminuye el desplazamiento horizontal en el puente peatonal San Luis de Villa el Salvador.	El uso de disipadores de energía metálicos reduce los desplazamientos horizontales del puente peatonal San Luis en el distrito de Villa el salvador.	Disipadores de energía metálicos	Fluencia Rigidez elástica Rigidez pos fluencia	Fuerza de fluencia (t) Rigidez del dispositivo (t/m)	Ficha de recolección de datos  Software SAP 2000	
¿Qué efecto tiene el uso de disipadores de energía metálicos en los máximos niveles de distorsión lateral?	Cuantificar las mejoras en los niveles de distorsión lateral del puente peatonal San Luis debido al uso de disipadores metálicos.	La aplicación de disipadores de energía metálicos mejora los máximos niveles de distorsión lateral en el puente Santa Luis de Villa el Salvador.	Respuesta sísmica	Máximos desplazamientos laterales (E030, 2018). Máximas distorsiones laterales(E030,2018)	Desplazamientos y distorsiones laterales obtenidas de un análisis sísmico.		
¿Cómo afecta la inclusión de disipadores metálicos en la rigidez lateral del puente peatonal San Luis de Villa el Salvador?	Evaluar el incremento de rigidez lateral del puente peatonal San Luis debido a la aplicación de los disipadores metálicos de energía.	El uso de disipadores de energía metálicos incrementa la rigidez lateral del puente peatonal San Luis en el distrito de Villa el Salvador.		Máximas fuerzas cortantes de entrepiso (E030,2018) 2018)	Máximas fuerzas cortantes obtenidas de un análisis sísmico.		

MATRIZ DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

VARIABLES INDEPENDIENTE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION
DISPADORES DE ENERGIA METALICOS	Dispositivo metálico que consume energía a través del trabajo interno	Elemento estructural con rigidez elástica inicial, rigidez pos fluencia y fuerza de fluencia.	Rigidez elástica Rigidez pos fluencia Fluencia	Rigidez elástica Rigidez pos fluencia Fluencia	t/m t/m t
VARIABLE DEPENDIENTE	Forma en la que una estructura responde a la acción de fuerzas externas	Máximos desplazamientos y distorsiones que u conjunto de fuerzas externas genera sobre una estructura.	Máximos desplazamientos	Máximos desplazamientos	m
RESPUESTA SISMICA			Máximas distorsiones Máximas fuerzas cortantes	Máximas distorsiones Máximas fuerzas cortantes	m/m t



## ANEXO 2



GEOMETRIA DEL PUENTE	
Autor:	
Fecha	

### Información básica relacionada con la estructura

Nobre del puente	
Ubicación de la estructura	
Referencia uno	
Referencia dos	
Numero de columnas	
Numero de placas	
Dibujar el mapa de ubicación de la estructura estudiada	

Croquis de la estructura

### Observaciones acerca del estado de conservación del puente

En esta sección comente acerca del estado de conservación de los elementos del puente analizado

Columnas	
Mgas	
Losas	
Escaleras	
Rampas	
Uniones	
Otros	

Esta ficha de recolección de datos tiene como objetivo el levantamiento de la información relevante para el modelamiento de un puente peatonal, para lo cual contó con la venia de un ingeniero con experiencia en la ingeniería estructural

Validado por el Ing.	
N° CIP	
DNI	

Ing. Edén A. Capcha  
CIP: 221349

Firma y sello del profesional



### GEOMETRIA DEL PUENTE

Autor	
Fecha	

#### Información básica relacionada con la estructura

Nombre del puente	
Ubicación de la estructura	
Referencia uno	
Referencia dos	
Numero de columnas	
Numero de placas	

Dibujar el mapa de ubicación de la estructura estudiada.

#### Croquis de la estructura

#### Observaciones acerca del estado de conservación del puente

En esta sección comente acerca del estado de conservación de los elementos del puente analizado

Columnas	
Vigas	
Losas	
Escaleras	
Rampas	
Uniones	
Otros	

Esta ficha de recolección de datos tiene como objetivo el levantamiento de la información relevante para el modelamiento de un puente peatonal, para lo cual contó con la venia de un ingeniero con experiencia en la ingeniería estructural

Validado por el Ing.	CRISTIAN VICENTE TALLA SOTELCO
N° CIP	234234
DNI	74809205

CRISTIAN VICENTE  
TALLA SOTELCO  
Firma y sello del profesional  
CIP N° 234



Buscar correo



Redactar



5 de 1.024

Recibidos 670

**JHOEL LIMA** vie., 26 jun. 16:45 (hace 1 día) ☆  
Buenas tardes Ing. Benites, Soy Jhoel Lima Nahuero, Estudiante del IX ciclo del curso de proyecto de investigación de Universidad César Vallejo que usted L...

Destacados

Pospuestos

Enviados

Borradores 26

Unread 77

Meet

Iniciar una reunión

Unirse a una reunión

Chat

JHOEL +

No hay chats recientes  
Iniciar uno nuevo

**JOSE LUIS** para mí - vie., 26 jun. 17:09 (hace 23 horas) ☆ ↶ ⋮

Estimado (a), Jhoel Lima Nahuero

Habiendo revisado tus instrumentos para a recolección de datos, de tu PI titulado "...", doy por **VALIDADO** para que pueda aplicar en su desarrollo de tesis.

Atte. Mg. Jose Luis Benites Zuñiga  
Ingeniero Civil  
CIP 126769

Atte.  
Ing. Jose Luis Benites Zuñiga

OK. GRACIAS! MUCHAS GRACIAS.

**ANEXO 3**

**DECLARATORIA DE AUNTENTICIDAD DEL AUTOR**


**Yo, JHOEL LIMA ÑAHUERO**

Alumno de la Facultad de ingeniería y Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Cesar Vallejo (Lima Norte), declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan al trabajo de Investigación titulado **“Mejora de la respuesta sísmica de puentes peatonales usando disipadores de energía metálicos, Lima 2020”** son:

1. De mi autoría
2. El presente trabajo de investigación no ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
3. El trabajo de investigación o ha sido publicado ni presentado anteriormente
4. Los resultados presentados en el presente trabajo de Investigación son reales, no han sido falseados ni duplicados, ni copiados.

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

Lima, 26 de noviembre del 2020

LIMA ÑAHUERO JHOEL	
DNI: 76948164	
ORCID: 0000-0001-6416-3157	

# ANEXO 4 PANTALLASO DE TURNITIN

Feedback Studio - Google Chrome  
ev.turnitin.com/app/carta/es/?lang=es&ss=&o=1455423475&student\_user=1&BDS=1&u=1109202525

feedback studio | Jhoel Lima | TESIS

**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Mejora de la respuesta sísmica de puentes peatonales usando disipadores de energía metálicos, Lima 2020

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

**AUTOR:**  
Lima Nahucro Jhoel (Código ORCID 0000-0001-8416-3157)

**ASESOR:**  
Ing. Mg Benites Zuñiga Jose Luis (Código ORCID 000-0003-4459-494X)

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

**LIMA - PERÚ**  
2020

**Resumen de coincidencias**

**22 %**

Se están viendo fuentes estándar

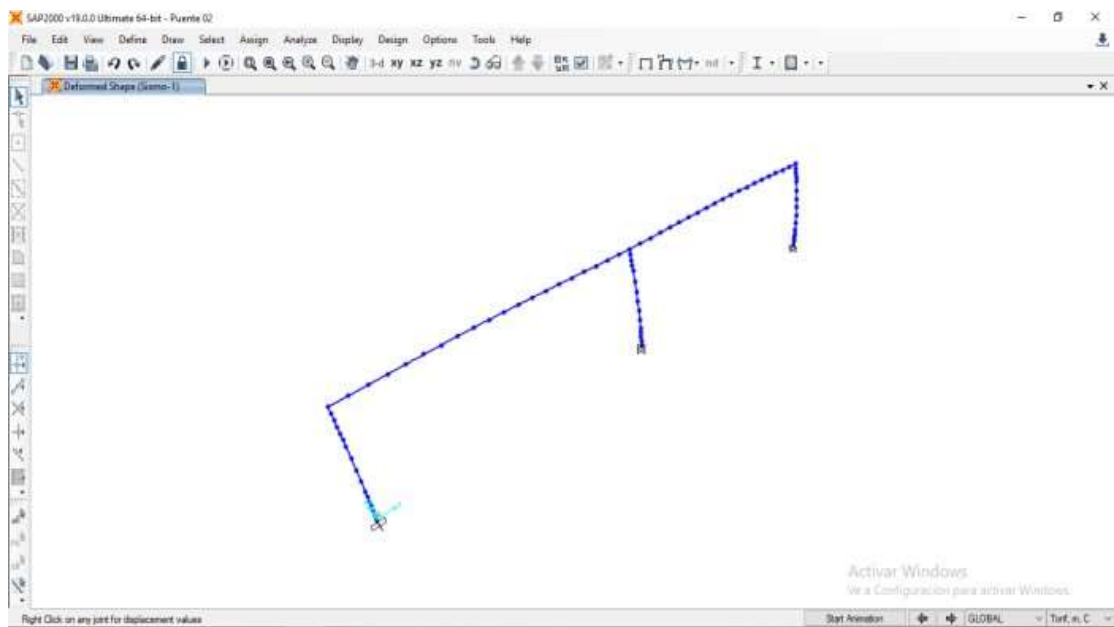
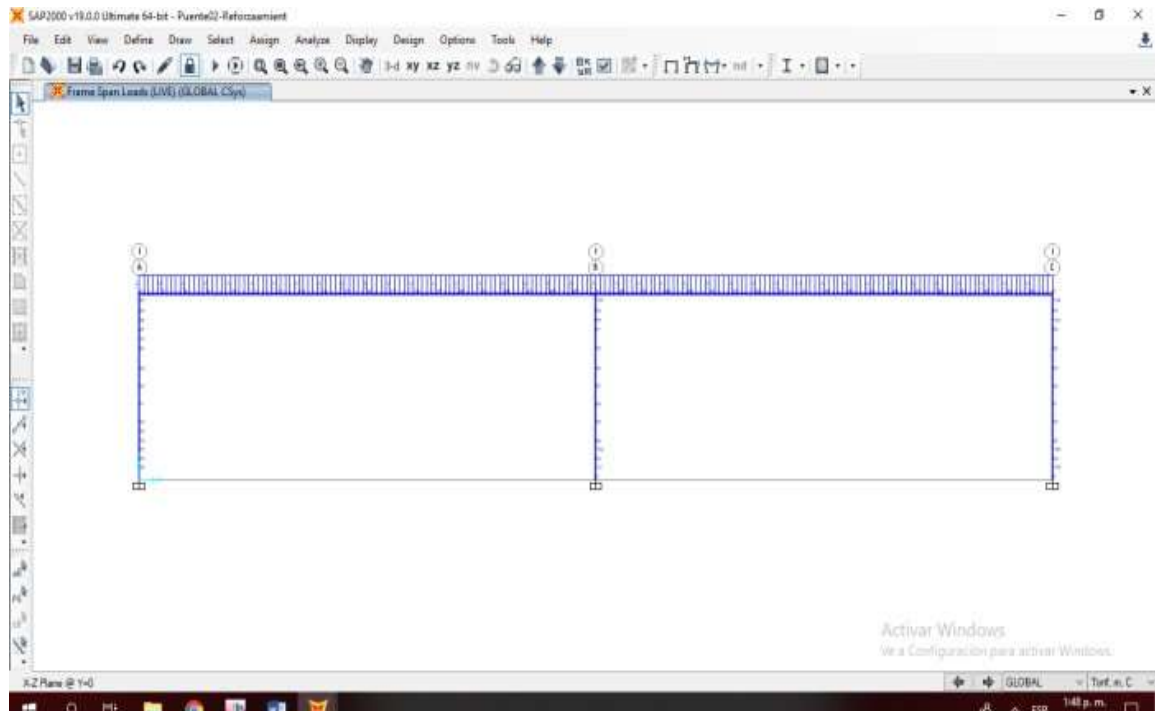
Ver fuentes en inglés (Beta)

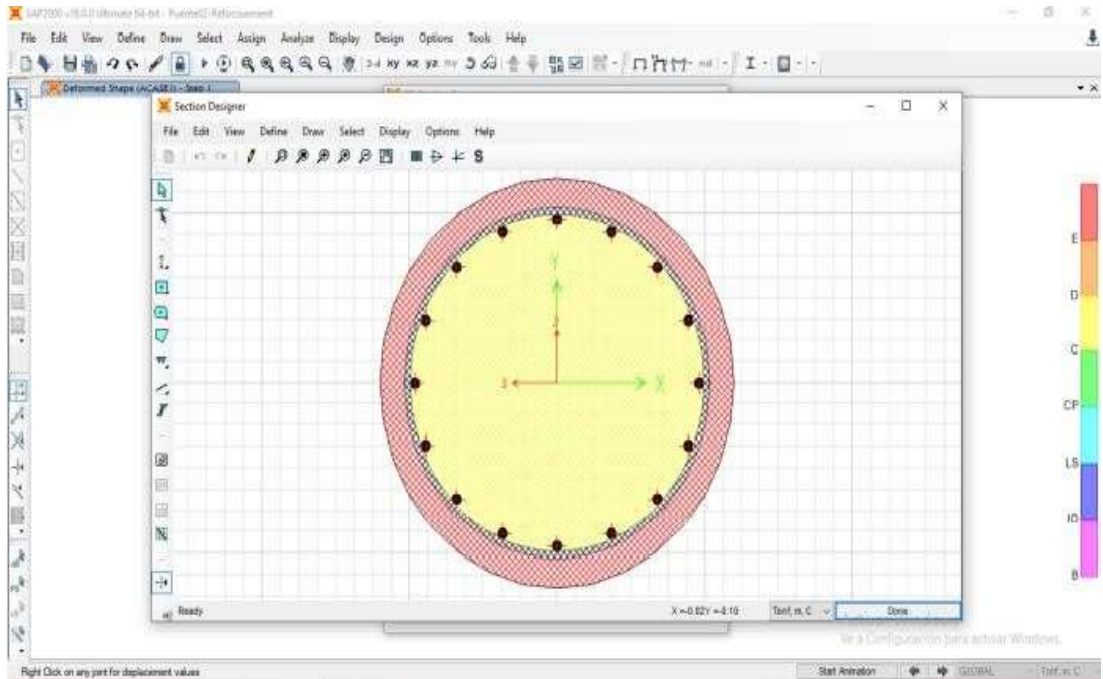
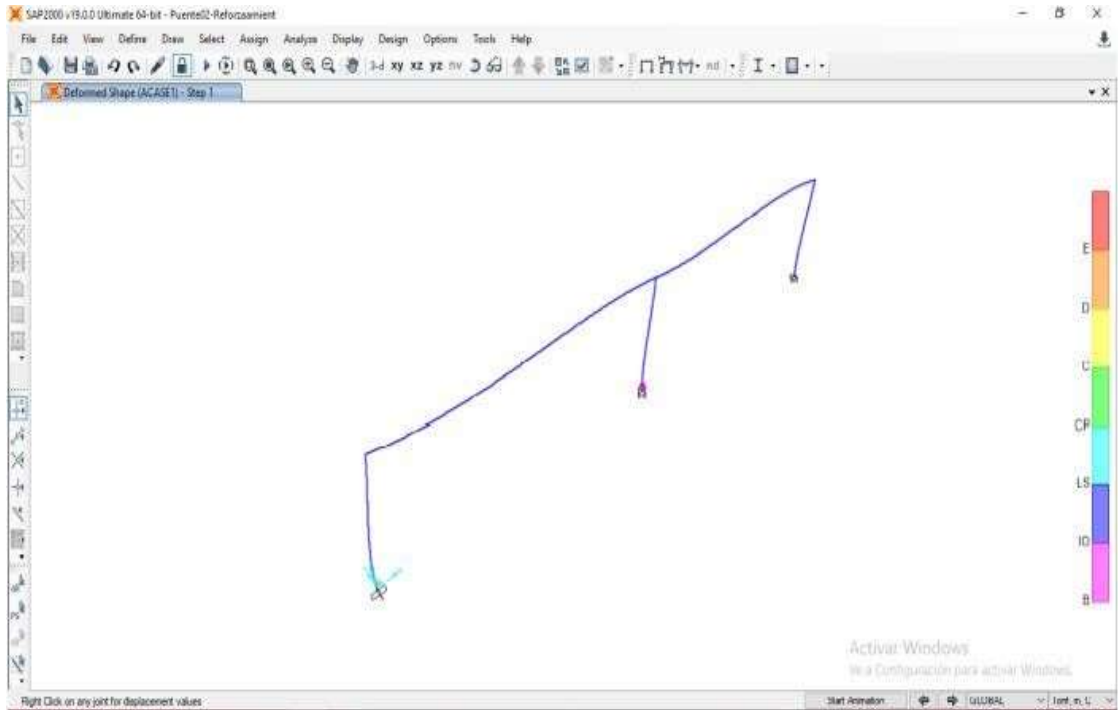
**Coincidencias**

1	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	15 %	>
2	Entregado a Universida... Trabajo del estudiante	1 %	>
3	Entregado a Universida... Trabajo del estudiante	<1 %	>
4	repositorio.uca.edu.ni Fuente de Internet	<1 %	>
5	Entregado a Universida... Trabajo del estudiante	<1 %	>
6	Entregado a Pontificia ...	<1 %	>

Página: 1 de 67 | Número de palabras: 10688 | Text-only Report | High Resolution | Activado

# ANEXO 5 GRAFICOS SAP 2000





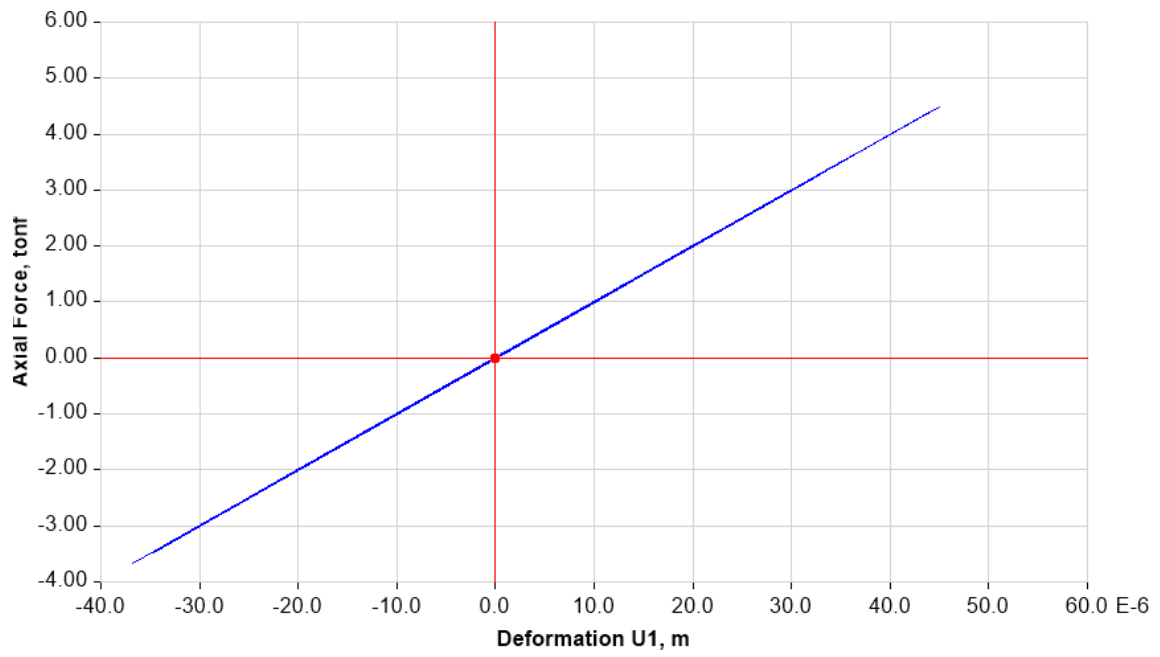


Figura 0-1: Respuesta sísmica del dissipador K1. Fuente: Elaboración propia.

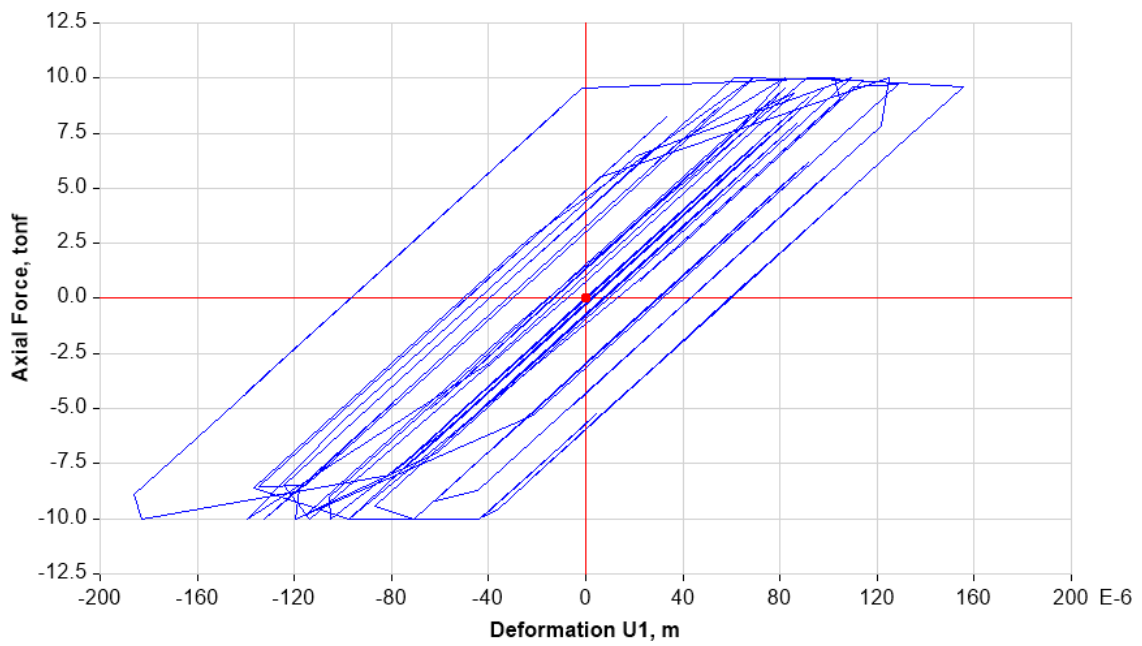


Figura 0-2: Respuesta sísmica del dissipador K6. Fuente: Elaboración propia.



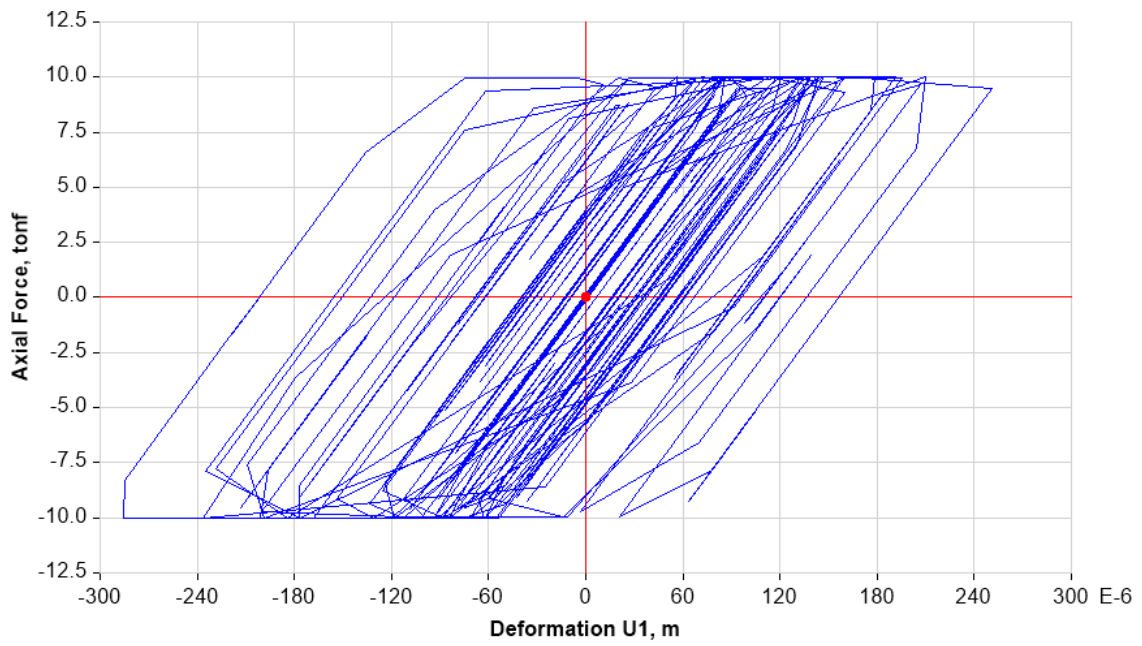


Figura 0-3: Respuesta sísmica del disipador 27. Fuente: Elaboración propia.

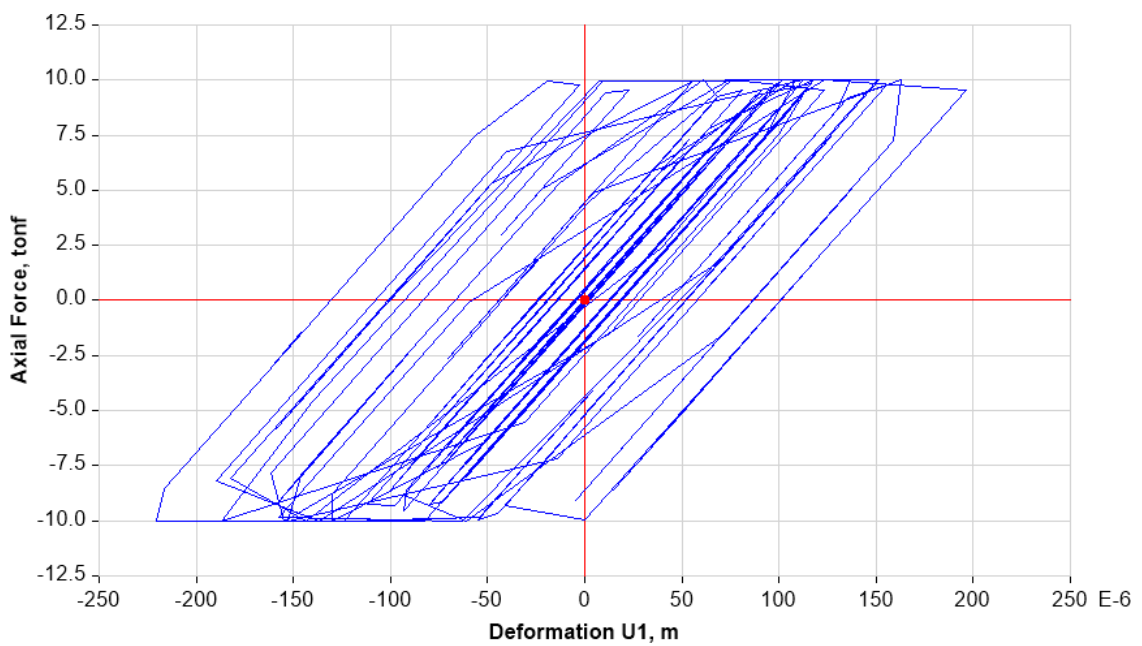


Figura 0-4: Respuesta sísmica del disipador 28. Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO 6 PANEL FOTOGRAFICO



Imagen 1. Recipientes para el análisis granulométrico



Imagen 2. Pesaje de las muestras

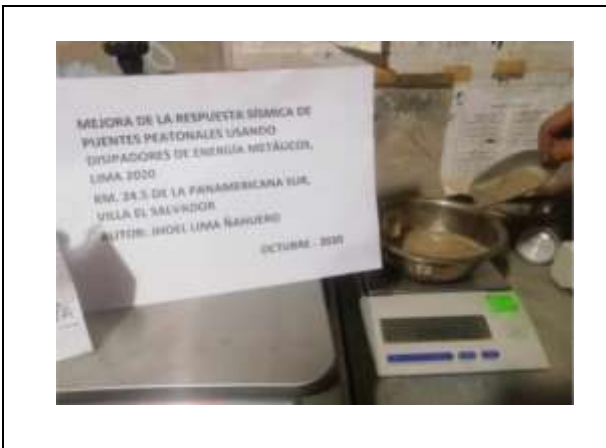


Imagen 3. Determinando el peso óptimo de muestra



Imagen 4 Muestras seleccionadas para el análisis granulométrico



*Imagen 5. Clasificación de la muestra*



*Imagen 6. Tamices para el análisis granulométrico*



*Imagen 7. Celda de contenido para la muestra*



*Imagen 8. Colocando muestras en las celdas*



Imagen 9. Muestras seleccionadas para el ensayo de corte directo



Imagen 10. Equipo de corte directo



Imagen 30. Calicata en zona de estudio



Imagen 21. Medición la profundidad de la calicata

ANEXO 7 CERTIFICADO DE LABORATORIO



**GEOGLOBAL PERÚ S.A.C.**  
**Laboratorio De Suelos, Concreto,**  
**Asfalto y Mecánica De Rocas**

**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO**

ASTM D - 6913-17 N.T.P. - 339.128 MTC E - 204

PROYECTO : MEJORA DE LA RESPUESTA SÍSMICA DE PUENTES PEATONALES USANDO DISIPADORES DE ENERGÍA METÁL  
 LIMA 2020  
 SOLICITADO : JHOEL LIMA ÑAHUERO  
 UBICACIÓN : KM 24.5 DE LA PANAMERICANA SUR, VILLA EL SALVADOR  
 FECHA : Octubre - 2020

Método de Ensayo "B" (Tamizado Simple)

CALICATA : C - 2 Hum. Natural (%) : 0.9  
 MUESTRA : M - 1 Masa Inicial Seca (g) : 300.0  
 PROF. (m) : 3.00 Masa Lavada Seca (g) : 291.4

TAMICES ASTM	DESCRIPCION ABERTURA (m.m.)	MASA RETENIDA (g)		PORCENTAJE PARCIAL RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO	
		F. Gruesa	F. Fina		RETENIDO (%)	PASA (%)
3 in	76.200					100
2 in	50.800					100
1 1/2 in	38.100					100
1 in	25.400					100
3/4 in	19.050					100
3/8 in	9.525					100
No. 4	4.750					100
No. 10	2.000		1.2	0.4	0.4	99.6
No. 20	0.850		1.2	0.4	0.8	99.2
No. 40	0.425		28.3	9.4	10.2	89.8
No. 60	0.250		137.8	45.9	56.2	43.8
No. 100	0.150		93.9	31.3	87.5	12.5
No. 140	0.106		22.1	7.4	94.9	5.1
No. 200	0.075		6.9	2.3	97.1	2.9
< No. 200	-		8.6	2.9	100.0	

Cu : 2.31 Gravas : 0.0 CLASIF. AASHTO : **A-3 (0)** ASTM D-3282  
 Cc : 1.01 Arenas : 97.1 CLASIF. SUCS : **SP** ASTM D-2487  
 Finos : 2.9 Arena pobremente graduada



Observaciones



**GEOGLOBAL PERU S.A.C.**

Psje. Los Mirtores N.º 11, Ermitaño - Independencia  
 E-mail: jhoel@geoglobalperu.com Teléfono: (511) (01) 582 5630 Cel.: 996 146 804  
**GERENTE GENERAL**

EDGAR FLORES AZANERO  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 84552



**GEOGLOBAL PERÚ S.A.C.**  
**Laboratorio De Suelos, Concreto,  
Asfalto y Mecánica De Rocas**

**ENSAYO DE DENSIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA**

ASTM D 4254 / 4253 NTP 339.138 / 137

PROYECTO : MEJORA DE LA RESPUESTA SÍSMICA DE PUENTES PEATONALES USANDO DISIPADORES DE ENERGÍA METÁLICOS, LIMA 2020  
SOLICITADO : JOEL LIMA ÑAHUERO  
UBICACIÓN : KM 24.5 DE LA PANAMERICANA SUR, VILLA EL SALVADOR  
FECHA : Octubre - 2020

Calicata : C - 1  
Muestra : M - 1  
Profundidad : 3.00 m. **Material :** Suelo fino  
menor al tamiz No. 4 (4.750 mm)  
Clasificación  
AASHTO : A-3 (0) Humedad presente (%) : 0.69%  
SUCS : SP  
SUCS // Matriz : SP Arena pobremente graduada

**DENSIDAD SECA MÍNIMA Y DENSIDAD SECA MÁXIMA ( JSF - T26 )**

DATOS :		DENSIDAD MÍNIMA ASTM D4254-16		DENSIDAD MÁXIMA ASTM D4253-16	
Determinación		1	2	1	2
1	Masa del molde + muestra g	1990	1992	2026	2027
2	Masa del molde g	1783			
3	Volumen del molde cm <sup>3</sup>	141			

RESULTADOS :

Densidad mínima seca	1.45	g/cm <sup>3</sup>
Densidad máxima seca	1.71	g/cm <sup>3</sup>
Densidad Promedio	1.584	g/cm <sup>3</sup>

- La densidad para el ensayo de Corte Directo es tomada del promedio de la mínima y máxima de acuerdo a su grado de consistencia y/o compacidad in situ.

Observaciones :

- El ensayo se realizó con el material representativo de la muestra menor al Tamiz No. 4,  
- La densidad máxima se realizó por el método de apisonado con humedad que se registra.

Javier Wilder Díaz Morán  
GERENTE GENERAL

EDGAR FLORES AZANERO  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 84882



**GEOGLOBAL PERÚ S.A.C.**  
**Laboratorio De Suelos, Concreto,  
 Asfalto y Mecánica De Rocas**

**CONTENIDO DE HUMEDAD**  
 ASTM D - 2216-19 N.T.P. - 339.127 MTC E - 108

**PROYECTO** : MEJORA DE LA RESPUESTA SÍSMICA DE PUENTES PEATONALES USANDO DISIPADORES DE ENERGÍA MET/  
 LIMA 2020  
**SOLICITADO** : JHOEL LIMA ÑAHUERO  
**UBICACIÓN** : KM 24.5 DE LA PANAMERICANA SUR, VILLA EL SALVADOR  
**FECHA** : Octubre - 2020

*Método de Ensayo entre "A" y "B" (Secado al Horno a 110 ±5°C)*

CALICATA		C - 2			
MUESTRA		M - 1			
PROFUNDIDAD (m)		3.00			
Identificación del Resipiente		303			
1. Masa del recipiente con muestra húmeda	g	490.2			
2. Masa del recipiente con muestra Seca 1	g	486.9			
3. Masa del recipiente con muestra Seca 2	g	486.9			
4. Masa del recipiente	g	111.2			
5. Masa de agua	(1) - (3) g	3.4			
6. Masa de muestra seca	(3) - (4) g	375.6			
<b>7. Contenido de humedad</b>	<b>(5)/(6)*100 %</b>	<b>0.9</b>			
T. Máximo de Partícula aproximado (Visual)		No. 4			

CALICATA					
MUESTRA					
PROFUNDIDAD (m)					
Identificación del Resipiente					
1. Masa del recipiente con muestra húmeda	g				
2. Masa del recipiente con muestra Seca 1	g				
3. Masa del recipiente con muestra Seca 2	g				
4. Masa del recipiente	g				
5. Masa de agua	(1) - (3) g				
6. Masa de muestra seca	(3) - (4) g				
<b>7. Contenido de humedad</b>	<b>(5)/(6)*100 %</b>				
T. Máximo de Partícula aproximado (Visual)					

  
**GEOGLOBAL PERÚ S.A.C.**  
  
**Javier Wilder Díaz Morán**  
**GERENTE GENERAL**

  
**EDGAR FLORES AZAÑERO**  
**INGENIERO CIVIL**  
**Reg. CIP N° 84352**



# GEOGLOBAL PERÚ S.A.C.

## Laboratorio De Suelos, Concreto, Asfalto y Mecánica De Rocas

### ENSAYO DE CORTE DIRECTO NORMA ASTM D - 3080 NTP 339.171

Hoja : 1 de 2

**PROYECTO:** MEJORA DE LA RESPUESTA SISMICA DE PUENTES PEATONALES USANDO DISIPADORES DE ENERGIA METALICOS, LIMA 2020  
**SOLICITADO:** JHOEL LIMA RAHUERO  
**UBICACION:** KM 24.5 DE LA PANAMERICANA SUR, VILLA EL SALVADOR  
**FECHA:** Octubre - 2020

**Sondaje:** C - 1  
**Muestra:** M - 1  
**Profund.(m):** 3.00

**Datos del Especimen**

<b>Diámetro :</b>	6 cm.
<b>Altura :</b>	2 cm.

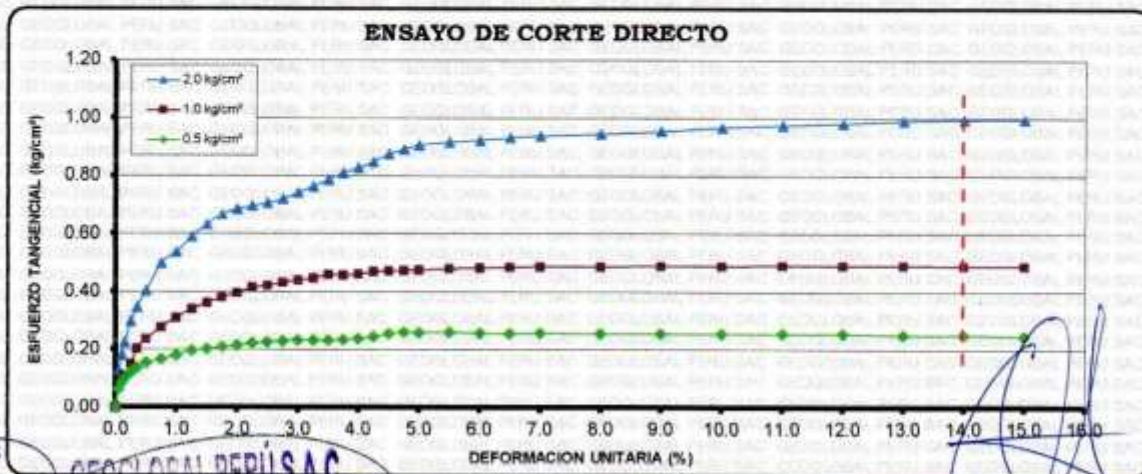
**SUCS : SP**  
**Matriz fina : SP**      Arena pobremente graduada

**Material menor del tamiz N° 4**

<b>γ<sub>t</sub> =</b>	1.584	g/cm <sup>3</sup>
<b>Peso =</b>	89.58	g

**Estado Muestra : Alterado - Remoído**  
**Ensayo : Consolidado-Drenado**

Esf. Normal	0.5 Kg/cm <sup>2</sup>			1.0 Kg/cm <sup>2</sup>			2.0 Kg/cm <sup>2</sup>		
	Dial de Carga	Fuerza Cortante kg	Esfuerzo de Corte kg/cm <sup>2</sup>	Dial de Carga	Fuerza Cortante kg	Esfuerzo de Corte kg/cm <sup>2</sup>	Dial de Carga	Fuerza Cortante kg	Esfuerzo de Corte kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
0.05	30.0	1.80	0.06	39.0	2.34	0.08	60.0	3.60	0.13
0.10	41.0	2.46	0.09	43.0	2.58	0.09	85.0	5.10	0.18
0.15	48.0	2.88	0.10	52.0	3.12	0.11	106.0	6.36	0.22
0.25	57.0	3.42	0.12	70.0	4.20	0.15	140.0	8.40	0.30
0.35	64.0	3.84	0.14	95.0	5.70	0.20	163.0	9.78	0.35
0.50	72.0	4.32	0.15	111.0	6.66	0.24	190.0	11.40	0.40
0.75	78.0	4.68	0.17	130.0	7.80	0.28	235.0	14.10	0.50
1.00	85.0	5.10	0.18	148.0	8.78	0.31	253.0	15.18	0.54
1.25	92.0	5.52	0.20	160.0	9.60	0.34	278.0	16.68	0.59
1.50	95.0	5.70	0.20	170.0	10.20	0.36	298.0	17.88	0.63
1.75	98.0	5.88	0.21	179.0	10.74	0.38	314.0	18.84	0.67
2.00	101.0	6.06	0.21	186.0	11.16	0.39	323.0	19.38	0.69
2.25	104.0	6.24	0.22	195.0	11.70	0.41	328.0	19.68	0.70
2.50	106.0	6.36	0.22	198.0	11.88	0.42	333.0	19.98	0.71
2.75	108.0	6.48	0.23	203.0	12.18	0.43	339.0	20.34	0.72
3.00	109.0	6.54	0.23	207.0	12.42	0.44	350.0	21.00	0.74
3.25	109.0	6.54	0.23	210.0	12.60	0.45	360.0	21.60	0.76
3.50	109.0	6.54	0.23	216.0	12.96	0.46	371.0	22.26	0.79
3.75	110.0	6.60	0.23	219.0	12.90	0.48	382.0	22.92	0.81
4.00	112.0	6.72	0.24	217.0	13.02	0.48	390.0	23.40	0.83
4.25	115.0	6.90	0.24	221.0	13.26	0.47	400.0	24.00	0.85
4.50	120.0	7.20	0.25	222.0	13.32	0.47	413.0	24.78	0.88
4.75	123.0	7.38	0.26	223.0	13.38	0.47	420.0	25.20	0.89
5.00	122.0	7.32	0.26	224.0	13.44	0.48	427.0	25.62	0.91
5.50	123.0	7.38	0.26	226.0	13.56	0.48	432.0	25.92	0.92
6.00	121.0	7.26	0.26	227.0	13.62	0.48	435.0	26.10	0.92
6.50	120.0	7.20	0.25	228.0	13.68	0.48	439.0	26.34	0.93
7.00	121.0	7.26	0.25	229.0	13.74	0.49	442.0	26.52	0.94
8.00	120.0	7.20	0.25	229.0	13.74	0.49	445.0	26.70	0.94
9.00	120.0	7.20	0.25	230.0	13.80	0.49	450.0	27.00	0.95
10.00	120.0	7.20	0.25	230.0	13.80	0.49	458.0	27.36	0.97
11.00	120.0	7.20	0.25	231.0	13.86	0.49	450.0	27.60	0.98
12.00	120.0	7.20	0.25	231.0	13.86	0.49	463.0	27.78	0.98
13.00	118.0	7.08	0.25	231.0	13.86	0.49	467.0	28.02	0.99
14.00	118.0	7.08	0.25	230.0	13.80	0.49	469.0	28.14	1.00
15.00	118.0	6.96	0.25	230.0	13.80	0.49	470.0	28.20	1.00



**GEOGLOBAL PERÚ S.A.C.**  
**Psje. Los Mirtos N° 112 Ermitaño - Independencia**  
**Teléfono: (511) (01) 582 5630 Cel.: 990 11 41 99**  
**E-mail: jldiaz@50869@hotmail.com**

**Javier Wilder Diaz Morán**  
**GERENTE GENERAL**

**EDGAR FLORES AZAÑERO**  
**INGENIERO CIVIL**  
**Reg. CIP N° 84852**





# GEOGLOBAL PERÚ S.A.C.

## Laboratorio De Suelos, Concreto, Asfalto y Mecánica De Rocas

Hoja 2 de 2

**PROYECTO:** MEJORA DE LA RESPUESTA SÍSMICA DE PUENTES PEATONALES USANDO DISIPADORES DE ENERGÍA METÁLICOS, LIMA 2020  
**SOLICITADO:** JHOEL LIMA ÑAHUERO  
**UBICACIÓN:** KM 24.5 DE LA PANAMERICANA SUR, VILLA EL SALVADOR  
**FECHA:** Octubre - 2020

Sondaje: C - 1    Muestra: M - 1    Profund.(m): 3.00

SP Arena pobremente graduada

Def. Unitaria (%)	0.50	1.00	2.00	ALFA 12	ALFA23	ALFA13	PROM123	PROM12
0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.0	0.0
0.05	0.06	0.08	0.13	2.19	5.09	3.6	3.6	3.6
0.10	0.09	0.09	0.16	0.49	10.11	5.3	5.3	5.3
0.15	0.10	0.11	0.22	0.97	12.91	7.0	7.0	6.9
0.25	0.12	0.15	0.30	3.16	16.55	10.0	9.9	9.9
0.35	0.14	0.20	0.35	7.50	16.10	11.9	11.8	11.8
0.50	0.15	0.24	0.40	9.40	18.54	14.1	14.0	14.0
0.75	0.17	0.28	0.50	12.45	24.02	18.4	18.3	18.2
1.00	0.18	0.31	0.54	14.51	24.42	19.6	19.5	19.5
1.25	0.20	0.34	0.59	16.10	26.60	21.5	21.4	21.4
1.50	0.20	0.36	0.63	17.66	28.51	23.3	23.2	23.1
1.75	0.21	0.38	0.67	18.97	29.81	24.6	24.5	24.4
2.00	0.21	0.39	0.69	19.84	30.18	25.2	25.1	25.0
2.25	0.22	0.41	0.70	21.12	29.44	25.4	25.3	25.3
2.50	0.22	0.42	0.71	21.33	29.81	25.7	25.6	25.6
2.75	0.23	0.43	0.72	21.96	29.99	26.1	26.0	26.0
3.00	0.23	0.44	0.74	22.58	31.25	27.1	27.0	26.9
3.25	0.23	0.45	0.76	23.20	32.48	28.0	27.9	27.8
3.50	0.23	0.46	0.79	24.42	33.34	29.1	28.9	28.9
3.75	0.23	0.46	0.81	24.02	35.33	30.0	29.8	29.7
4.00	0.24	0.46	0.83	24.02	36.29	30.5	30.3	30.2
4.25	0.24	0.47	0.85	24.22	37.22	31.2	30.9	30.7
4.50	0.25	0.47	0.86	23.41	39.03	31.9	31.4	31.2
4.75	0.26	0.47	0.89	23.00	39.90	32.2	31.7	31.4
5.00	0.26	0.48	0.91	23.41	40.75	32.9	32.4	32.1
5.50	0.26	0.48	0.92	23.61	41.16	33.3	32.7	32.4
6.00	0.26	0.48	0.92	24.22	41.44	33.7	33.1	32.8
6.50	0.25	0.48	0.93	24.63	41.84	34.1	33.5	33.2
7.00	0.26	0.49	0.94	24.63	42.11	34.3	33.7	33.4
8.00	0.25	0.49	0.94	24.83	42.51	34.6	34.0	33.7
9.00	0.25	0.49	0.95	25.03	43.04	35.0	34.4	34.0
10.00	0.25	0.49	0.97	25.03	43.81	35.5	34.8	34.4
11.00	0.25	0.49	0.98	25.23	44.18	35.8	35.1	34.7
12.00	0.25	0.49	0.98	25.23	44.56	36.0	35.3	34.9
13.00	0.25	0.49	0.99	25.62	45.05	36.5	35.7	35.3
14.00	0.25	0.49	1.00	25.42	45.41	36.7	35.8	35.4
15.00	0.25	0.49	1.00	25.82	45.53	36.9	36.1	35.7



GEOGLOBAL PERÚ S.A.C.

Psic. Y.º  
 JAVIER WILDER DÍAZ MORAN  
 GERENTE GENERAL

EDGAR FLORES AZAÑEZ  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 84882

Mirtos N° 112 Ermitaño - Independencia  
 Teléfono: (511) (01) 582 5630 Cel.: 996 146 804

## ANEXO 8 CERTIFICADO DE CALIBRACION DE EQUIPOS

 **Grupo Mediciones Perú S.A.C.**  
Soluciones Integrales en Equipos e Instrumentos de Medición

**SERVICIO METROLOGICO**

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 0405 -CFP-2020**  
Página 1 de 3

Fecha de Emisión	2020/06/23	La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$ . La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.
Expediente	178	
<b>1. SOLICITANTE</b>	<b>GEOGLOBAL DEL PERU S.A.C.</b> Laboratorio de Suelos, Concreto Asfalto y Mecanica de Rocas	Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes. GRUPO MEDICIONES PERU S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.
<b>DIRECCION</b>	<b>CALLE DIANDERAS MZ. A3 LOTE 09</b> URB. SANTA LUZMILA, COMAS - LIMA - LIMA.	
<b>2. EQUIPO DE MEDICION</b>	<b>MÁQUINA DE CORTE</b> <b>DIRECTO/RESIDUAL DE PESO MUERTO</b>	
Marca	RICELI EQUIPOS	
Modelo	SDC01	
Serie	14001	
Alcance	500 Kgf.	
FECHA DE CALIBRACIÓN	22/06/2020	
<b>INDICADOR DIGITAL</b>		
MARCA	NO INDICA	
MODELO	NO INDICA	
SERIE	NO INDICA	
ESCALA	0,1 kgf	
<b>3. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACION</b>	La calibración se realizó haciendo una Comparación Directa con una celda de carga e indicador patrón.	
<b>4. LUGAR DE CALIBRACION</b>	La calibración se realizó en las instalaciones de GRUPO MEDICIONES PERU S.A.C a solicitud del cliente.	



Este documento puede ser reproducido totalmente con autorización de GRUPO MEDICIONES PERU S.A.C.

Mantenimiento, Calibración, Certificación, Fabricación y Venta de Equipos e Instrumentos de Medición  
Mz. XX2 N° 16 Parcela 19-F - Los Olivos - Lima-Perú - Central: (51-01) 637 5944 / 637 5952 / RPN: 996517913 / RPN: 996517913 / Max. 980295786 / Max. 996517913  
E-mail: ventas@grupomedicionesperu.com / medicionesperu@yahoo.es / Web: www.grupomedicionesperu.net

**5. CONDICIONES AMBIENTALES**

	Inicial	Final
Temperatura °C	20,8	20,4
Humedad Relativa %RH	69,1	69,2

**6. TRAZABILIDAD**

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrón de Referencia	SISTEMA DE CELDA DE CARGA	009-CLM-2020

**7. OBSERVACIONES**

Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación "CALIBRADO".  
La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento de medición.

**8. RESULTADOS**

**RESULTADOS DE CALIBRACIÓN**

Masa Aplicada (kgf)	%	Lectura del Instrumento a Calibrar			PROMEDIO (kgf)	ERROR MEDIDO (kgf)	Incertidumbre U(%)
		Temp. (°C)					
		F1 (kgf)	F2 (kgf)	F3 (kgf)			
		Inicial	Final				
		20,8	20,5				
50,0	10	50,3	50,2	50,3	50,27	0,27	0,20
100,0	20	100,5	100,6	100,5	100,53	0,53	0,20
150,0	30	150,5	150,6	150,6	150,57	0,57	0,20
200,0	40	200,3	200,6	200,4	200,43	0,43	0,20
250,0	50	250,2	250,4	250,3	250,30	0,30	0,20
300,0	60	300,1	300,2	300,2	300,17	0,17	0,20
350,0	70	349,8	350,4	350,0	350,07	0,07	0,20
400,0	80	400,0	400,2	399,9	400,03	0,03	0,20
450,0	90	449,8	449,8	449,8	449,83	-0,17	0,20
500,0	100	499,9	499,9	499,9	499,90	-0,10	0,20
Retorno a cero		0,0	0,0	0,0			

Los Errores entre el 20% y el 100 % del rango nominal considerado, no superen los valores máximos permitidos en la norma ISO 7500-1.



Este documento puede ser reproducido totalmente con autorización de GRUPO MEDICIONES PERU S.A.C.



INDICACION DEL EQUIPO (kgf)	ERRORES ENCONTRADOS EN EL SISTEMA DE MEDICION				INCERTIDUMBRE U(x=2) (%)
	EXACTITUD q (%)	REPETIBILIDAD b (%)	REVERSIBILIDAD v (%)	RESOL. RELATIVA a (%)	
50,0	-0,56	0,16	---	0,20	0,15
100,0	-0,52	0,08	---	0,10	0,15
150,0	-0,37	0,12	---	0,07	0,15
200,0	-0,22	0,11	---	0,05	0,15
250,0	-0,12	0,07	---	0,04	0,15
300,0	-0,05	0,05	---	0,03	0,15
350,0	-0,02	0,15	---	0,03	0,15
400,0	0,00	0,06	---	0,03	0,15
450,0	0,03	0,03	---	0,02	0,15
500,0	0,02	0,01	---	0,02	0,15

MÁXIMO ERROR RELATIVO DE CERD (%) 0,00%

Fir del Documento



# ANEXO 9 BOLETA DE PAGO DE LABORATORIO

<b>CHOCQA SANCHEZ BRANDY</b>	<b>R.U.C. 10450892772</b>
<b>ARQUITECTO</b>	<b>RECIBO POR HONORARIOS ELECTRONICO</b>
<b>AV. GERARDO UNGER NRO: 247 URS. INGENIERIA LIMA LIMA SAN MARTIN DE</b>	<b>Nro: E001- 447.</b>
<b>PORRES</b>	
<b>TELÉFONO 9817000</b>	
<b>Recibí de: JOEL LIMA RAMIRO</b>	
<b>Identificado con (DNI) número 76048154</b>	
<b>La suma SEISCIENTOS CUARENTA Y OCHO SOLES</b>	
<b>Por concepto de ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS</b>	
<b>Observación 3 GRUALLOMETRIAS 80 SOLES UNDA TOTAL 240 SOLES</b>	
<b>1 CORTE DIRECTO 400 SOLES</b>	
<b>Incluye A DEL ARTICULO 33 DE LA LEY DEL IMPUESTO A LA RENTA</b>	
<b>Fecha de emisión 05 de Noviembre del 2020</b>	
<b>Total por honorarios: 640.00</b>	
<b>Retención (8 %) IR: (0.00)</b>	
<b>Total Neto Recibido: 640.00 SOLES</b>	

# ANEXO 10 PLANO DE LOCALIZACION Y UBICACIÓN

