



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE  
DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y  
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN  
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**TEMA**

**ANÁLISIS DEL USO DE AISLADORES SÍSMICOS EN EL  
PUENTE SOBRE EL RIO CARACOL EN EL CANTÓN  
BABAHOYO**

**TUTOR**

**ING. JULY ROXANA HERRERA VALENCIA**

**AUTORES**

**BLANCA DANIELA PAÉZ ZAMBRANO  
BOLÍVAR PATRICIO PÉREZ PISCO**

**GUAYAQUIL**

**2022**



**REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**FICHA DE REGISTRO DE TESIS**

**TÍTULO Y SUBTÍTULO:**

Análisis del uso de aisladores sísmicos en el puente sobre el río Caracol en el cantón Babahoyo.

**AUTOR/ES:**

Pérez Pisco Bolívar Patricio.  
Páez Zambrano Blanca  
Daniela.

**Revisores O Tutores:**

Herrera Valencia July Roxana.

**INSTITUCIÓN:**

**Universidad Laica Vicente  
Rocafuerte de Guayaquil**

**Grado obtenido:**

Tercer nivel de grado

**FACULTAD:**

FACULTAD DE  
INGENIERÍA, INDUSTRIA Y  
CONSTRUCCIÓN

**CARRERA:**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**FECHA DE  
PUBLICACIÓN:**

2022

**N. DE PAGS:**

72 páginas

**ÁREAS TEMÁTICAS:** Ingeniería y construcción

**PALABRAS CLAVE:** Puentes, aislación sísmica, sismos, CsiBridge.

**RESUMEN:**

En este documento se relaciona una breve descripción de los sistemas de control sísmico tal como se ha desarrollado e implementado alrededor del mundo. Se realiza un consolidado de la serie de pasos a desarrollar para la ejecución de un modelo matemático, simulando la acción de un sismo. Se elabora una comparación de modo cuantitativo de la respuesta sísmica obtenida entre el modelo con aislador y el modelo convencional.

Partiendo de este suceso, se logra identificar al sismo como uno de los riesgos más tenebroso que afectan las construcciones, pues éste es un fenómeno natural cuyo momento de ocurrencia, magnitud y ubicación geográfica es aún difícil de identificar, ya que afecta la estabilidad en las construcciones, aunque el objetivo sea resistir los efectos que trae a su paso, evitando el colapso generado por acumulación de energía que proviene del movimiento entre las placas tectónicas, ocasionando vibraciones, es necesario la implementación de nuevas tecnologías aplicadas al diseño estructural con el fin de disminuir el grado de vulnerabilidad, la pérdida de vida humana, resistiendo consigo el colapso de la misma mejorando su respuesta antes, durante y después en un evento sísmico. La finalidad de este proyecto es identificar por medio del software *CsiBridge* la ejecución de un modelo que simula la acción del sismo en puentes vehiculares, planteado el desarrollo de sistemas modernos ante la acción de un posible sismo, así proponer y demostrar por medio de resultados concretos.

<b>N. DE REGISTRO (en base de datos):</b>	<b>N. DE CLASIFICACIÓN:</b>	
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <b>NO</b>
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>  Pérez Pisco Bolívar Patricio. Páez Zambrano Blanca Daniela.	<b>Teléfono:</b>  0981231516  0996268082	<b>E-mail:</b>  bperezp@ulvr.edu.ec  bpaezz@ulvr.edu.ec
<b>CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:</b>	Mgtr. Ing. Milton Gabriel Andrade Laborde Decano de Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción. <b>Teléfono:</b> (04) 259 6500 <b>Ext.</b> 241 <b>E-mail:</b> mandradel@ulvr.edu.ec	

# CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD ACADÉMICA

0:47

Turnitin

Visualizador de documentos

## Turnitin Informe de Originalidad

Procesado el: 31-ene.-2022 18:04 -05  
Identificador: 1752306284  
Número de palabras: 6998  
Entregado: 1

Índice de similitud	Similitud según fuente
5%	Internet Sources: 4% Publicaciones: 1% Trabajos del estudiante: 0%

**ANÁLISIS DEL USO DE AISLADORES SÍSMICOS EN EL... Por Bolívar Patricio Y Blanca Daniela Perez Pisco Y Paez Zambrano**

[excluir citas](#) [excluir bibliografía](#) [excluir las coincidencias menores](#) modo:  
ver informe en vista quickview (vista clásica)  [imprimir](#) [actualizar](#) [descargar](#)

1% match (Internet desde 21-jul.-2021)  
<http://ri.uaemex.mx>

1% match (publicaciones)  
[R. Villacrés, P. Arquello, V. Naranjo, "Promotion to Innovation, Understanding and Transfer of Technology Through Hubs Projects Promoted by the National Secretariat of Higher Education", ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M., 2021](#)

1% match (Internet desde 02-ene.-2022)  
[https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/4158/Tesis\\_An%c3%a1lisis\\_Estructura\\_Aislador.pdf?isAllowed=y&sequence=1](https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/4158/Tesis_An%c3%a1lisis_Estructura_Aislador.pdf?isAllowed=y&sequence=1)

1% match (Internet desde 12-jun.-2021)  
[https://repositorio.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5292/Evaluaci%C3%B3n\\_respuesta\\_aisladores%20sismicos\\_modelo\\_puente.pdf?isAllowed=y&sequence=1](https://repositorio.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5292/Evaluaci%C3%B3n_respuesta_aisladores%20sismicos_modelo_puente.pdf?isAllowed=y&sequence=1)

<1% match (publicaciones)  
["Tendencias en la investigación universitaria. Una visión desde Latinoamérica. Volumen XII", Alianza de Investigadores Internacionales SAS, 2020](#)

<1% match (Internet desde 11-nov.-2020)  
<http://portal.corteconstitucional.gob.ec:8494>

UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL DA **PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL TEMA ANÁLISIS DEL USO DE AISLADORES SÍSMICOS EN EL PUENTE SOBRE EL RIO CARACOL EN EL CANTÓN BABAHOYO TUTOR ING. JULY RÓXANA HERRERA VALENCIA AUTORES BOLÍVAR PATRICIO PÉREZ PISCO BLANCA DANIELA PÁEZ ZAMBRANO GUAYAQUIL 2021** Resumen En este documento se relaciona una breve descripción de los sistemas de control sísmico tal como se ha desarrollado e implementado alrededor del mundo. Se realiza un consolidado de la serie de pasos a desarrollar para la ejecución de un modelo matemático, simulando la acción de un sismo. Se elabora una comparación de modo cuantitativo de la respuesta sísmica obtenida entre el modelo con aislador y el modelo convencional. Partiendo de este suceso, se logra identificar al sismo como uno de los riesgos más tenebrosos que afectan las construcciones, pues éste es un fenómeno natural cuyo momento de ocurrencia, magnitud y ubicación geográfica es aún difícil de identificar, ya que afecta la estabilidad en las construcciones, aunque el objetivo sea resistir los efectos que trae a su paso, evitando el colapso generado por acumulación de energía que proviene del movimiento entre las placas tectónicas, ocasionando vibraciones, es necesario la implementación de nuevas tecnologías aplicadas al diseño estructural con el fin de disminuir el grado de vulnerabilidad, la pérdida de vida humana, resistiendo consigo el colapso de la misma mejorando su respuesta antes, durante y después en un evento sísmico. La finalidad de este proyecto es identificar por medio del software Etabs la estructura de un modelo que simula la acción del

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES ha**

Los estudiantes egresados BOLÍVAR PATRICIO PÉREZ PISCO y BLANCA DANIELA PÁEZ ZAMBRANO, declaramos bajo juramento, que la autoría del presente proyecto de investigación, Análisis del uso de aisladores sísmicos en el puente sobre el río Caracol en el cantón Babahoyo, corresponde totalmente a los suscritos y nos responsabilizamos con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedemos los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autores



Firma:

**BOLÍVAR PATRICIO PÉREZ PISCO**

C.I. 0954664405



Firma:

**BLANCA DANIELA PÁEZ ZAMBRANO**

C.I. 0803182856

## **CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación Análisis del uso de aisladores sísmicos en el puente sobre el río Caracol en el cantón Babahoyo, designada por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

### **CERTIFICO:**

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Proyecto de Investigación titulado: Análisis del uso de aisladores sísmicos en el puente sobre el río Caracol en el cantón Babahoyo, presentado por los estudiantes BOLÍVAR PATRICIO PÉREZ PISCO y BLANCA DANIELA PÁEZ ZAMBRANO como requisito previo, para optar al Título de INGENIERO CIVIL, encontrándose apto para su sustentación.



Firma:

**JULY ROXANA HERRERA VALENCIA**

C.C. 0916201569

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi gratitud a Dios, por brindarnos la fuerza, paciencia, perseverancia y sabiduría que necesitábamos para alcanzar este valioso logro.

A mis amados padres, les agradezco infinitamente su apoyo incondicional, a mis abuelos quienes me brindaban consejo y oraban para que persistiera hasta alcanzar mi meta, así mismo a más familiares y amigos quienes me extendieron su mano amiga y con quienes pude contar a lo largo del camino.

De igual forma a todos los profesores que formaron parte de nuestra enseñanza y crecimiento profesional, y a mi tutora quien se encargó de brindarme su ayuda en este proyecto a través de su experiencia profesional.

**Blanca Páez Zambrano.**

Gracias a Dios, por permitirme tener y disfrutar a mi familia, gracias a mi familia por apoyarme en cada decisión que he tomado, gracias a mi familia por permitirme cumplir con excelencia en el desarrollo con esta tesis que no ha sido muy fácil fue un camino duro, pero con esfuerzo y sacrificios mediante los conocimientos e investigaciones lo hemos conseguido, hemos logrado un buen proyecto junto a mi compañera gracias.

**Bolívar Pérez Pisco.**

## **DEDICATORIA**

Esta dedicatoria es en memoria de mi abuelo, quien con su amor y sacrificio me apoyó en todo momento, y a mi pareja le agradezco por la motivación, por su ayuda y por acompañarme en cada momento que se tornaba complicado.

**Blanca Páez Zambrano.**

Dedico esta tesis con todo mi corazón a mis padres, que gracias a sus esfuerzos y sacrificio estoy en esta etapa de mi vida a punto de ser un profesional, muchos de mis logros se los debo a ustedes entre ellos esta este proyecto.

**Bolívar Pérez Pisco.**

# ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN .....	1,2
CAPÍTULO I .....	3
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
1.1. Tema.....	3
1.2. Planteamiento del problema .....	3
1.3. Formulación del problema .....	3
1.4. Objetivo general .....	4
1.5. Objetivos específicos.....	4
1.6. Idea a defender .....	4
1.7. Línea de investigación institucional.....	5
CAPÍTULO II .....	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Aisladores Sísmicos .....	6
2.1.1. Tipos De Aisladores Sísmicos .....	10
2.1.1.1. Aislador elastoméricos con núcleo de plomo .....	10
2.1.1.2. Aislador de caucho natural .....	11
2.1.1.3. Aislador de caucho de alto amortiguamiento .....	12
2.1.1.4. Aislador de péndulo de fricción.....	13
2.1.2. Ventajas y desventajas en el uso de aisladores sísmicos .....	14
2.1.3. Guía de especificaciones para el diseño de aislamiento sísmico según AASHTO .....	14
2.1.3.1. Flexibilidad:.....	15
2.1.3.2. Disipación de energía .....	16
2.1.3.3. Procedimiento de Análisis:.....	19
2.2. Marco legal.....	23

CAPÍTULO III.....	25
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	25
3.1. Metodología .....	25
3.2. Tipo de investigación .....	25
3.3. Enfoque .....	25
3.4. Técnica e instrumento .....	25
3.5. Población.....	26
3.6. Muestra.....	26
3.7. Análisis de resultado .....	26
3.7.1. Análisis del puente existente L=60.0m.....	26
3.7.2. Análisis de puente existente con aisladores L= 60.0m .....	45
CONCLUSIONES .....	53
RECOMENDACIONES.....	54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
ANEXOS .....	57

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	8
Figura 2	9
Figura 3	10
Figura 4	11
Figura 5	12
Figura 6	13
Figura 7	13
Figura 8	15
Figura 9	16
Figura 10	17
Figura 11	18
Figura 12	19
Figura 13	20
Figura 14	21
Figura 15	22
Figura 16	23
Figura 17	27
Figura 18	28
Figura 19	30
Figura 20	30
Figura 21	31
Figura 22	31
Figura 23	32
Figura 24	32
Figura 25	32
Figura 26	33

Figura 27	34
Figura 28	35
Figura 29	36
Figura 30	37
Figura 31	37
Figura 32	38
Figura 33	39
Figura 34	40
Figura 35	40
Figura 36	40
Figura 37	41
Figura 38	42
Figura 39	42
Figura 40	43
Figura 41	43
Figura 42	44
Figura 43	44
Figura 44	45
Figura 45	46
Figura 46	46
Figura 47	46
Figura 48	47
Figura 49	47
Figura 50	47
Figura 51	48
Figura 52	49
Figura 53	49

Figura 54	50
Figura 55	50
Figura 56	51
Figura 57	51
Figura 58	52
Figura 59	52

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	5
Tabla 2	7
Tabla 3	10
Tabla 4	11
Tabla 5	14
Tabla 6	29
Tabla 7	34
Tabla 8	35

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1	57
Anexo 2	58
Anexo 3	59

## INTRODUCCIÓN

En los últimos veinte años, en el área de la ingeniería civil se ha tomado como herramienta especial a los aisladores sísmicos, con el propósito de perfeccionar la absorción que produce la energía ocasionada por un sismo, y de esta manera afinar el comportamiento de las construcciones que son vulnerables a estos desastres naturales. Tal es el caso de los puentes construidos para la circulación vehicular o viaductos, que en las zonas rurales del Ecuador es muy común su edificación, pues facilitan el traslado de los productos agrícolas.

Las consecuencias que conlleva la presencia de un sismo en las estructuras se exteriorizan en la energía que es transmitida por estos eventos, este brío que es desplegado por el efecto natural mencionado, es disipada por la estructura en general, ocasionando posibles desplazamientos parciales que provocan daños a la construcción, e incluso el colapso total del puente afectado y a esto se le suma la posible pérdida de vidas humanas. Todas estas derivaciones han logrado llevar al ingeniero civil a desarrollar investigaciones eventuales, con el propósito de disminuir estos problemas, logrando promulgar la teoría en edificar la construcción bajo la hipótesis de separación suelo-estructura con el uso de dispositivos que aíslan la energía sísmica.

Estos dispositivos absorben la energía ocasionada por los sismos protegiendo la estructura, permitiendo mejorar la resistencia de las edificaciones ante la presencia de estos desastres de la naturaleza, proporcionando el amortiguamiento esencial en los puentes; disipando la energía sobrante del sismo a la estructura misma, brindando un mayor amortiguamiento en toda la construcción ofreciendo durabilidad.

Por lo antes mencionado, a los sismos se los considera como los efectos naturales con mayor consecuencia desastrosa para una estructura, debido que se presentan con más frecuencia que cualquier otra catástrofe natural; por tanto, un sismo puede exhibirse cuando uno menos lo espera a una magnitud media o alta. Y el Ecuador es un país que registra un gran número de sismos al año.

Además, en la actualidad se han visto nuevas innovaciones en cuanto al uso de metodologías que brindan mayor seguridad y durabilidad a este tipo de estructuras, como son los puentes vehiculares de losa y viga, y por esta razón es indispensable elaborar investigaciones que logren controlar la energía transmitida por los sismos, mediante dispositivos aisladores. Para esto, es necesario crear un modelo de esta edificación con ayuda del software *CsiBridge*, y mediante la descripción de los datos obtenidos por

simulaciones sísmicas determinar la validación de una propuesta del uso de aisladores sísmicos en la disipación de energía para el puente vehicular que se encuentra sobre el río Caracol en la parroquia Caracol, cantón Babahoyo.

# CAPÍTULO I

## DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1.Tema

Análisis del uso de aisladores sísmicos en el puente sobre el río Caracol en el cantón Babahoyo.

### 1.2.Planteamiento del problema

Ecuador es uno de los países de la región que se encuentra catalogado con una alta peligrosidad sísmica, esta denominación se la recibe debido que, el país se encuentra ubicado entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana, sin mencionar que éste posee sus propias fallas geológicas que han sido las causantes de grandes catástrofes sísmicas en lo largo de la historia ecuatoriana.

El Ecuador es un país altamente sísmico, las grandes estructuras como los puentes son los más afectados por la incidencia de esta actividad geológica, a raíz de esto, se ve la necesidad que puentes de antaño como lo es el caso del que se encuentra ubicado sobre el río Caracol, son estructuras que no han sido edificadas con la tecnología de dispositivos que aíslan la energía sísmica. Razón suficiente para desarrollar una propuesta evaluativa sobre el uso de aisladores sísmicos en el puente de la parroquia Caracol, y así evitar posibles fracturas en su estructura e incluso el colapso, producto ocasionado por la presencia de un impacto sísmico.

### 1.3.Formulación del problema

La parroquia Caracol es considerada como la parroquia más antigua del Ecuador, esta comunidad cuenta con una cantidad considerable de habitantes que dedican el mayor tiempo de sus actividades a la agricultura y comercialización de los productos; que deben ser trasladados a otros lugares de la provincia Los Ríos, mediante transporte propio o contratado.

El puente presente sobre el río de esta parroquia que lleva su mismo nombre “Caracol”, es la conexión directa a la ciudad de Babahoyo y demás cantones de la provincia, y no solo es utilizado por los habitantes de esta comunidad, sino también por los habitantes de la parroquia La Unión, lugar donde se encuentra la hacienda productora

de banano más extensa del planeta. Esta estructura no cuenta con una seguridad, el mismo que se encuentra sujeto a sufrir daños causados por temblores, terremotos o cualquier otro tipo de desastres naturales dejando parcialmente incomunicada a la zona.

Con lo mencionado anteriormente surge la siguiente pregunta: ¿De qué manera los aisladores sísmicos son capaces de reducir los esfuerzos sísmicos en el puente ubicado sobre el río Caracol del cantón Babahoyo?

#### **1.4.Objetivo general**

Determinar la factibilidad del uso de aisladores sísmicos en la construcción de hormigón armado del puente ubicado sobre el río Caracol en la parroquia Caracol mediante estudios de análisis sísmicos estructural para reducir el impacto causado por algún desastre natural.

#### **1.5.Objetivos específicos**

- Analizar la importancia y los beneficios del uso de aisladores sísmicos en puentes con estructura de hormigón armado para extender sus años de vida útil.
- Identificar los diferentes tipos de aisladores sísmicos y sus composiciones.
- Establecer el tipo de aislador base que será usado para el tema de nuestro proyecto de investigación.

#### **1.6.Idea a defender**

El análisis del uso de aisladores sísmicos en el puente de hormigón armado sobre el río Caracol contribuye significativamente en la reducción de las fuerzas inducidas por el sismo en la estructura y ayuda con la disipación de la energía.

## 1.7.Línea de investigación institucional

**Tabla 1**

*Línea de investigación institucional*

<b>Campo:</b>	Educación Superior. Tercer Nivel
<b>Área:</b>	Ingeniería Civil
<b>Aspecto:</b>	Investigación Experimental
<b>Tema:</b>	Análisis del uso de aisladores sísmicos en el puente sobre el río Caracol en el cantón Babahoyo.
<b>Delimitación Espacial:</b>	Parroquia rural Caracol, cantón Babahoyo, provincia de Los Ríos – Ecuador.
<b>Delimitación temporal:</b>	6 Meses

Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).

**Línea de investigación:** Aislación sísmica

**Sublínea de investigación:** Análisis sobre desplazamiento

*Nota.* Cuadro de información sobre el proyecto. Autoría de Pérez Bolívar & Páez Blanca, carrera de ingeniería civil. Universidad Laica Vicente Rocafuerte. (2022).

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Aisladores Sísmicos**

Alrededor de dos décadas, es el tiempo en que el uso de los aisladores sísmicos se ha convertido en una novedad en el mundo de la ingeniería civil. Aunque en ciertos países, como Colombia y Ecuador se vienen cuestionando la aplicación de estos dispositivos en la construcción, debido a su alto costo; pero se debe calcular el costo de la construcción y el costo de pérdidas de una estructura civil para llegar a esta conclusión. Para esto Gómez, Marulanda, y Thomson (2008) afirman “al comparar costos de un edificio con y sin aislamiento de la base, se consideren estructuras con niveles equivalentes de protección” (p.82). refiriéndose a las posibles pérdidas de vidas humanas.

En Estados Unidos se han desarrollado varias investigaciones en cuanto a las pérdidas económicas ocasionadas en una construcción que no ha mantenido algún dispositivo de aislación sísmica, y esta ha sufrido un alto porcentaje de destrucción en su estructura a causa de movimientos telúricos. En el Primer Encuentro del Acero desarrollado en Colombia, Thomson, P. (2001) en su estudio Sistemas de Control Estructural atribuye que los costos de una construcción nueva que se encuentra protegida con aislador sísmico son 6% menos de una que no se encuentra protegida por estos dispositivos.

Estos disipadores de energía sísmica además de atribuir protección a las construcciones fijan en ellas una referencia de vida útil. Aumentando hasta un 50% de vida útil a las estructuras de ingeniería civil (Muñoz y Torres, 2021), lo que se considera un ahorro para las instituciones de construcción pública o privada. Pero, durante este aumento de tiempo que se encontrará en uso estará sometidas a constantes movimientos geológicos de densidades bajas como densidades medias y altas, considerados sismos frecuentes, intermedios o severos.

En lo que corresponde a la filosofía del diseño Genatios y Lafuente, (2016) de acuerdo con las normas de diseño sismorresistentes atribuyen los siguientes objetivos de desempeño en cuanto al movimiento telúrico según su frecuencia:

- Para sismos frecuentes, de baja densidad, las estructuras no deben sufrir daños, ni en los elementos estructurales ni los no estructurales y deben continuar operativos.
- Para sismos severos, poco frecuentes, la estructura puede sufrir daños que deben ser reparables.
- Para sismos severos, se permite que la estructura sufra daños generalizados y hasta puede llegar a quedar inservible, pero sin que ocurra el colapso estructural, a fin de preservar las vidas humanas. (Genatios & Lafuente, 2016)

El principal objetivo de los aisladores sísmicos es el mejorar el desempeño que se presenta en las estructuras que mantienen una base fija (Piscal & López, 2018), tal como se puede apreciar en la Tabla 2, el desempeño de una construcción aislada (*a*) se observa que para el sismo moderado y fuerte es más exigente para este tipo de edificación de base fija (*f*), y para el sismo moderado no presenta daños.

**Tabla 2.**

*Desempeño sísmico esperado para edificación con base fija y edificaciones con aislamiento de base.*

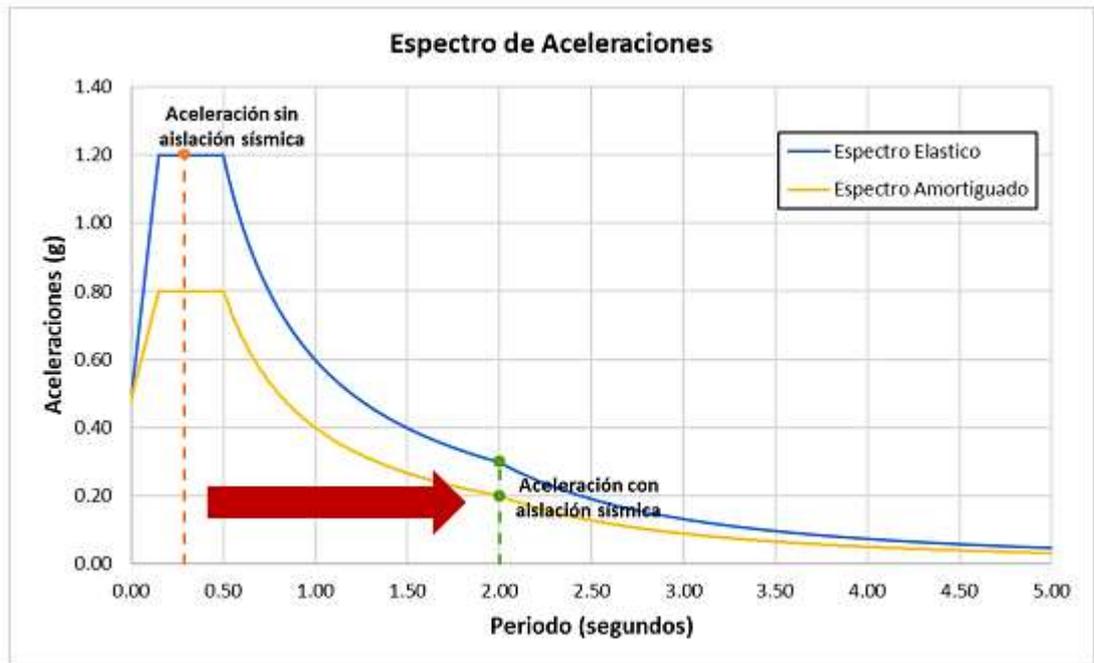
Medida de desempeño	Sismo		
	Menor	Moderado	Fuerte
Seguridad a la vida: No se espera pérdida de vidas o serias lesiones	<i>f a</i>	<i>f a</i>	<i>f a</i>
Daño estructural: No se espera daño estructural significativo	<i>f a</i>	<i>f a</i>	<i>a</i>
Daño no estructural: No se espera daño significativo a los elementos no estructurales ni al contenido	<i>f a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>

Fuente: Adaptado de ASCE (2016)

Estos dispositivos de aislación de la energía sísmica de acuerdo Dunn (2021) “la finalidad es la de separar la estructura de la cimentación (...) aumentando el periodo fundamental de vibración de la estructura proporcionando una mayor amortiguación” (p.18). En puentes su función es similar, estas protegen la subestructura disipando la energía sísmica, Kaoutar y Tahar (2015) aluden que “de acuerdo a resultados obtenidos

por investigaciones se han desarrollado mejores procedimientos de diseño de aisladores sísmicos según los avances en diseño de puentes y guías para la modificación de los puentes ya existentes”.

En la Figura 1, se observa un gráfico de acuerdo a lo que atribuye Dunn (2021) los objetivos fundamentales del mecanismo de los dispositivos de amortiguación “aumentar el periodo fundamental de vibración de la estructura, y proporcionar un mayor amortiguamiento”.

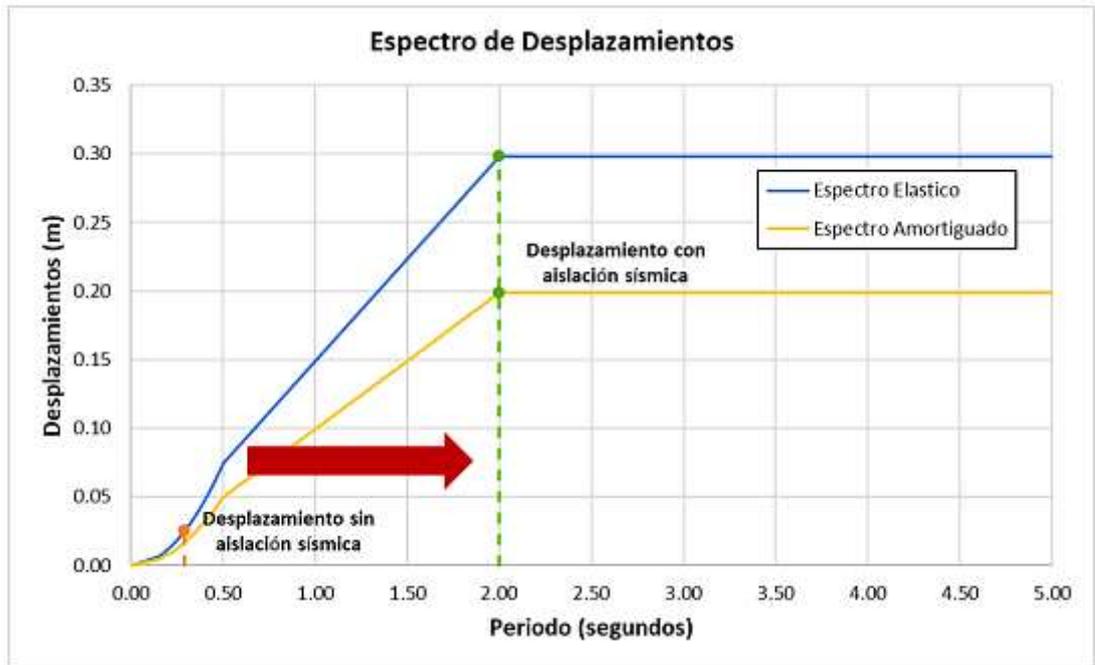


**Figura 1**

*Efecto del uso de aisladores sísmicos en estructuras en las aceleraciones espectrales.*

Fuente: (Dunn, 2021)

Con la alta flexibilidad de los dispositivos aisladores, se originan mayor desplazamiento en la estructura. Además, que uno de los beneficios de estos dispositivos de aislación es la de poder proporcionar mayor amortiguamiento, teniendo como resultado una disminución en el efecto del cambio de periodo. En la Figura 2 se expresa con un gráfico el efecto en los desplazamientos del dispositivo debido al cambio del periodo de la estructura de ingeniería, como también se aprecia una reducción del desplazamiento ocasionado al aumento de amortiguamiento de este sistema.

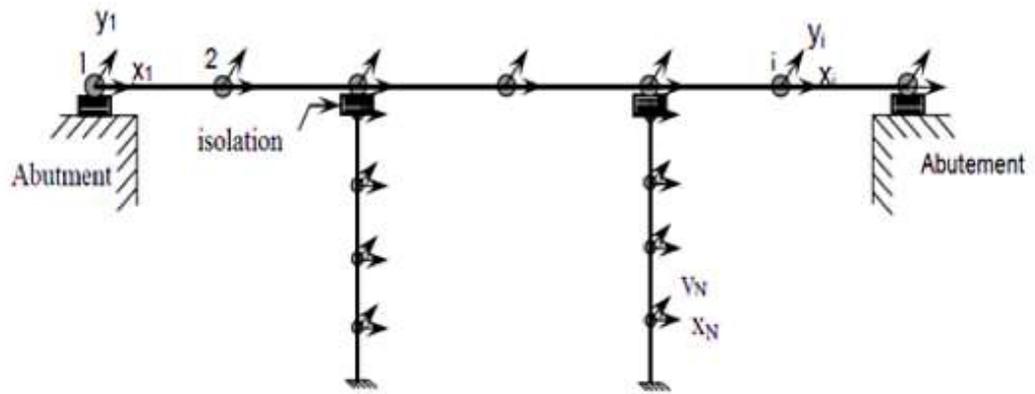


**Figura 2**

*Efecto del uso de aisladores sísmicos en estructuras en los desplazamientos espectrales.*

Fuente: (Dunn, 2021)

Un claro ejemplo del funcionamiento de un aislador sísmico en un puente lo entrega Wang et al (1998) que en su estudio utilizó un sistema de aisladores deslizantes tal como se muestra en la Figura 3 tomando el diseño del puente como un modelo discreto. De acuerdo a los resultados el periodo de tiempo fundamental de las pilas del pues es de 0,1 segundos aproximadamente, mientras que el periodo de tiempo correspondiente del puente que no tiene aislación en su estructura resultó de 0,5 segundos, considerando un 5% de la amortiguación en el tablero y pilas en todos los modos de vibración. Por tanto, desde un punto de vista desde el diseño del sistema de aislación y de las juntas de separación a nivel del estribo los desplazamientos relativos de los apoyos son cruciales en estos puntos del puente. Los datos del tablero del puente y de las pilas tomados de la investigación se encuentran en la Tabla 3.



**Figura 3**

*Modelación matemática de los puentes con aislación sísmica*

Fuente: (Kaoutar y Tahar, 2015)

**Tabla 3.**

*Propiedades del tablero y pilas del puente, investigación tomada como referencia.*

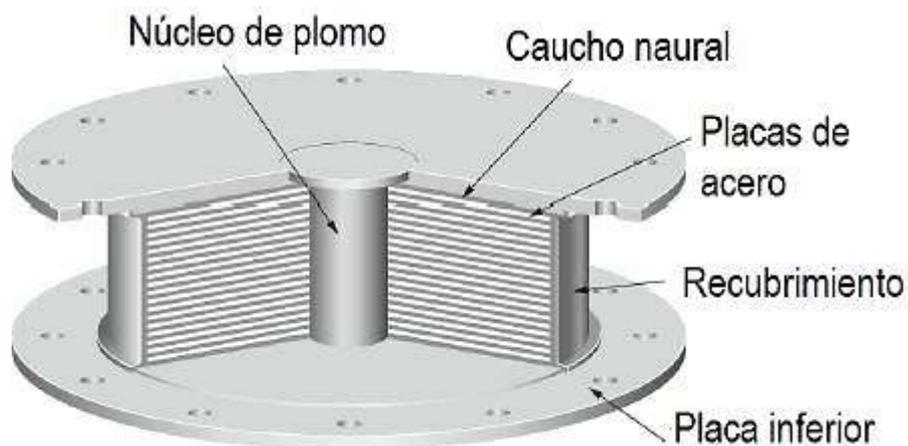
<b>Propiedades</b>	<b>Tablero</b>	<b>Pilas</b>
Área transversal m <sup>2</sup>	3,57	4,09
Momento de inercia como m <sup>4</sup>	2,08	0,64
Módulo de elasticidad de Young (m <sup>2</sup> )	20,67 x 109	20,67 x 109
Densidad de la masa (kg/m <sup>3</sup> )	2,4 x 103	2,4 x 103
Largo/altura (m)	3 x 30 = 90	8

Fuente: (Wang et al, 1998)

### **2.1.1. Tipos De Aisladores Sísmicos**

#### **2.1.1.1. Aislador elastoméricos con núcleo de plomo**

Este tipo de aislador mantiene en su estructura un núcleo de plomo el cual permite aumentar el nivel de amortiguamiento en niveles promedio de 25-30%, normalmente el núcleo de plomo se encuentra ubicado en el centro del dispositivo (Mullo, 2014). El aislador con núcleo de plomo (Figura 4) limita la energía que es transferida del terreno a la estructura en el caso que existiera un movimiento telúrico, gracias a las capas alternas que tiene en su estructura que son fabricadas de un material elastomérico y las capas de acero vulcanizado, todo esto ayuda a obtener los niveles de amortiguamiento mencionados, debido a su capacidad de absorción. La Tabla 4 muestra un resumen de las dimensiones de este dispositivo de aislación sísmica.



**Figura 4**

*Estructura del aislador elastomérico con núcleo de plomo.*

Fuente: (Medina y Choque, 2017)

**Tabla 4.**

*Resumen de las principales dimensiones de algunos dispositivos producidos de esta categoría.*

<b>LASTO LRB-d = 400 mm</b>										
D (mm)	$\epsilon$ (mm)	H <sub>B</sub> (mm)	I <sub>sd</sub> (kN)	N <sub>Ed</sub> (kN)	F <sub>1</sub> (kN)	F <sub>2</sub> (kN)	$\bar{c}_r$ (N/mm)	K <sub>eff</sub> (kN/mm)	$\bar{c}_v$ (N/mm)	$\epsilon$ (%)
500	160	326	3600	250	315	755	1.1	1.89	814	29
600	176	360	5950	150	420	990	1.45	2.49	1346	28
700	192	374	8750	450	515	1230	1.8	3.09	1991	28
800	208	398	10950	100	620	1500	2.17	3.73	2725	26
900	216	410	16250	750	690	1750	2.65	4.38	3658	26
1000	224	422	18750	1100	760	2030	3.16	5.07	4693	25

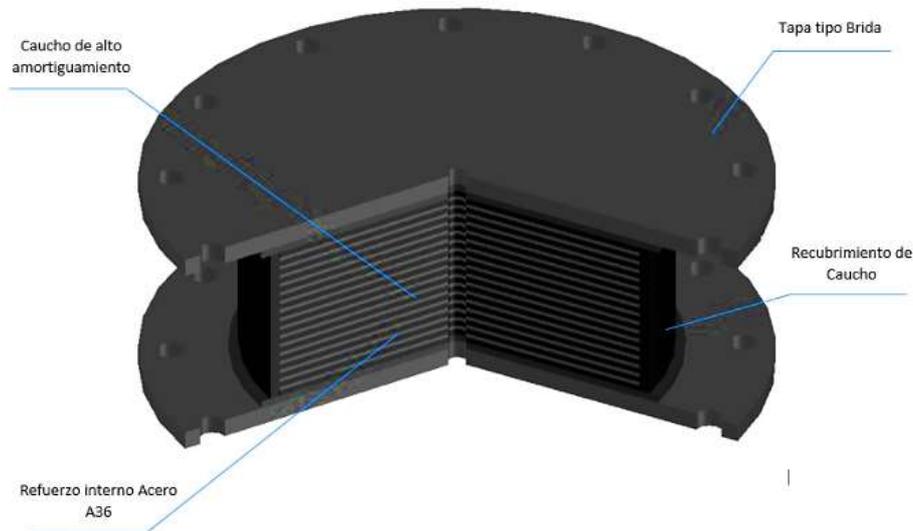
Fuente: (MAGEBA, 2021)

### 2.1.1.2. Aislador de caucho natural

Los aisladores de caucho natural, como su nombre lo indica este tipo de dispositivo utiliza caucho en su estructura. Aunque su estructura se escuche que se encuentra comprendida de este material la fuerza de restauración que tiene es muy estable (Figura 5), además de poseer un diseño flexible. Álvarez y Cordero (2018) entregan ciertas características de este tipo de aislador:

- Son elaborados a medidas de acuerdo a las especificaciones de la estructura.
- Se encuentran formados por capas de elastómero y planchas de acero

- Caucho de Neopreno y Natural Especial vulcanizado de alta calidad según las Normas ASSHTO.
- Las placas interiores son de acero Norma ASTM A36



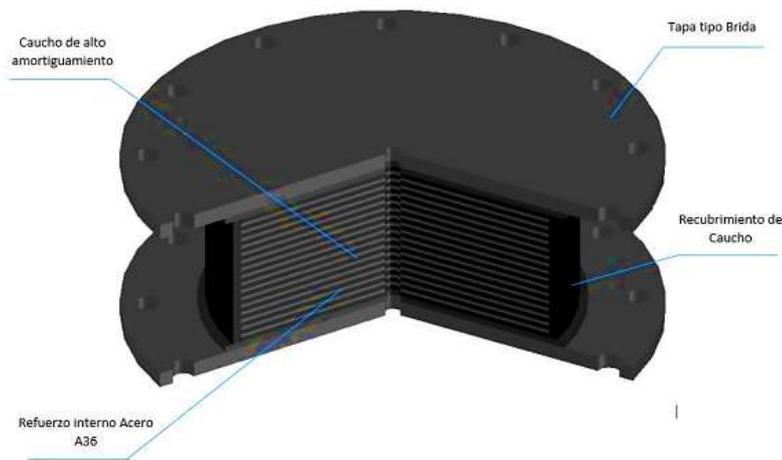
**Figura 5**

*Estructura del aislador de caucho natural.*

Fuente: (Grupo Vikingo, 2020)

### **2.1.1.3. Aislador de caucho de alto amortiguamiento**

De acuerdo con Dunn (2021) la estructura interna de estos dispositivos de aislación sísmica se encuentra compuesta por unas planchas metálicas que se ubican de forma intercalada con capas de elastómero (Figura 6). El caucho que está en la parte interna de este dispositivo posee la capacidad de proporcionar la flexibilidad y rigidez requerida; además, de tener una vida útil mayor a los 60 años, y los valores de amortiguación de este aislador rondan entre el 10 al 20%. (pp.21-22)



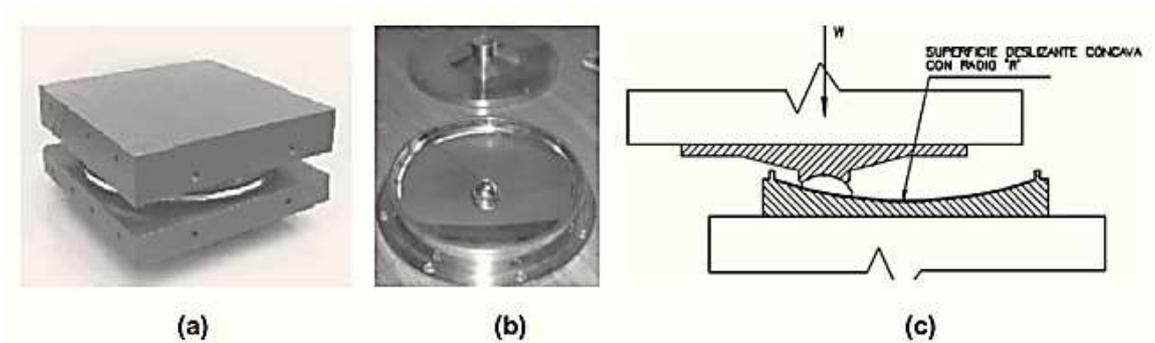
**Figura 6**

*Estructura del aislador de caucho de alto amortiguamiento.*

Fuente: (Rico y Chio, 2012)

#### 2.1.1.4. Aislador de péndulo de fricción

De acuerdo con la investigación de Zayas, Low, y Mahin (1990) este tipo de aisladores tiene un dispositivo deslizante articulado en una superficie esférica cóncava. Rico y Chio (2012) confirman lo mencionado por Zayas y otros (1990) aludiendo “el sistema de péndulo de fricción está compuesto por un deslizador articulado sobre una superficie de acero inoxidable, (...) se encuentra rodeada por una película de un material compuesto de baja fricción teflón” (p.109). Por otra parte, los rangos de amortiguamiento de este dispositivo se encuentran entre los 10 a 40%.



**Figura 7**

*Sistema de péndulo de fricción (FPS) (a) Vista exterior. (b) Componentes internos, (c) Esquema de una sección transversal*

Fuente: (Rico y Chio, 2012)

### 2.1.2. Ventajas y desventajas en el uso de aisladores sísmicos

Al igual que toda herramienta los aisladores sísmicos tienen sus ventajas al igual que desventajas en el uso, Genatios y Lafuente (2016) entregan estos puntos tal y como podemos ver en la Tabla 5.

**Tabla 5.**

*Ventajas y desventajas en el uso de los aisladores sísmicos.*

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>● El incremento del período fundamental de la estructura genera reducciones en las aceleraciones espectrales, lo que reduce la fuerza a las que se encuentran sometidas el conjunto estructura-aislador</li><li>● La presencia de los aisladores en la base y el mencionado comportamiento de cuerpo rígido genera pequeños desplazamientos entre pisos.</li><li>● La presencia del sistema de aisladores y su correcto diseño y distribución contribuye a reducir los efectos de la torsión en la respuesta sísmica.</li><li>● El aislamiento sísmico permite reducir los efectos de tensiones residuales que pueden ser provocados por la retracción de elementos estructurales.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● La presencia de estos grandes desplazamientos introduce consideraciones especiales como la de incorporar un piso adicional</li><li>● La presencia de aisladores impone un plan de mantenimiento para la estructura, que no es necesario para estructuras no aisladas.</li><li>● Los grandes desplazamientos pueden afectar estructuras vecinas. Estos daños en estructuras vecinas pueden producir la caída de residuos que podrían introducirse en los espacios necesarios para que la estructura aislada pueda moverse.</li></ul>

Fuente: (Genatios y Lafuente, 2016)

### 2.1.3. Guía de especificaciones para el diseño de aislamiento sísmico según AASHTO

Las estructuras aisladas sísmicamente se han comportado como esperado en terremotos recientes y registros de estas estructuras muestran una buena correlación entre el análisis predicción y el rendimiento registrado. La intención básica del aislamiento sísmico es aumentar el período fundamental de vibración tal que la estructura es sometida a fuerzas sísmicas menores. sin embargo, la reducción de la fuerza va acompañada de un aumento de demanda de desplazamiento que debe ser acomodada dentro de un montaje flexible.

Fuente: Guide Specifications for Seismic Isolation Design (2014)

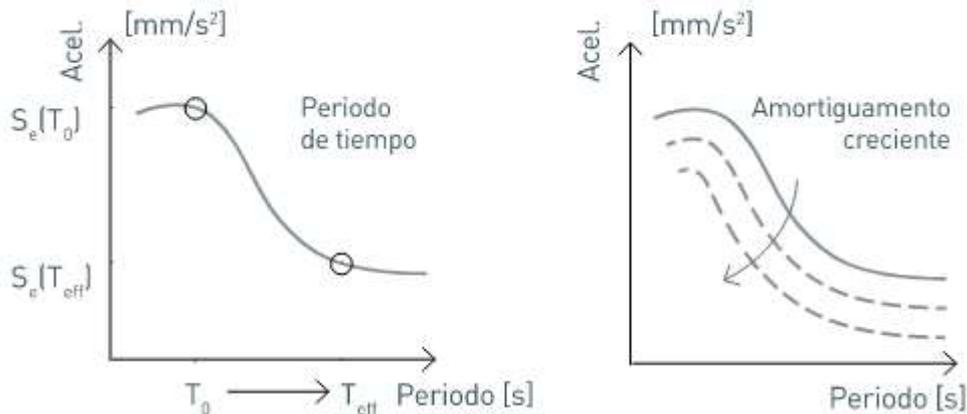
Los tres elementos básicos en los sistemas de aislamiento sísmico que se han utilizado hasta la fecha son:

- Un dispositivo de transporte de carga vertical que proporciona flexibilidad lateral para que el período de vibración del sistema total se alargue lo suficiente como para reducir la respuesta de la fuerza;
- Un amortiguador o disipador de energía para que las deflexiones relativas a través del montaje flexible puedan limitarse a un nivel de diseño práctico; y
- Un medio para proporcionar rigidez bajo niveles de carga (servicio) bajos, como el viento, sismo y las fuerzas de frenado.

### 2.1.3.1. Flexibilidad:

Los apoyos elastoméricos y deslizantes son dos formas de introducir flexibilidad en una estructura. La respuesta de fuerza típica con período creciente (flexibilidad) se muestra esquemáticamente en la curva de respuesta de aceleración típica. Las reducciones en el cortante base ocurren a medida que se alarga el período de vibración de la estructura. A medida en que se reducen estas fuerzas depende principalmente de la naturaleza del movimiento sísmico del suelo y del período de la estructura de base fija.

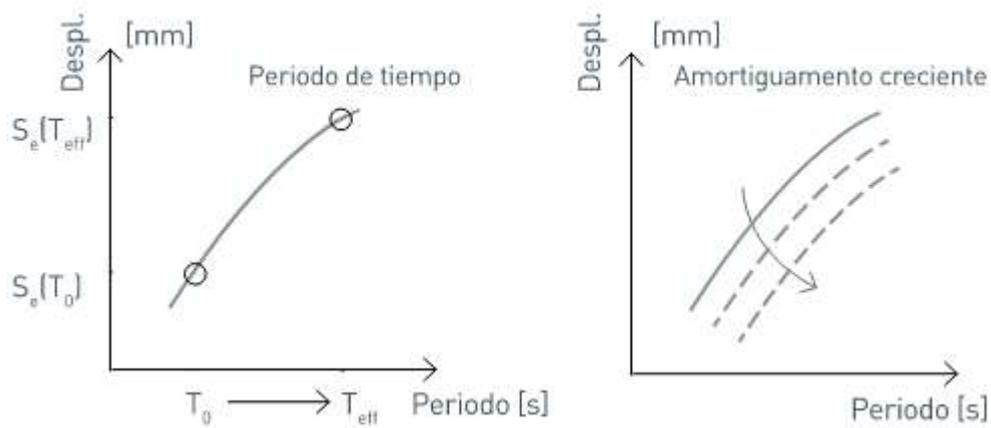
Como se señaló anteriormente, la flexibilidad adicional necesaria para alargar el período de la estructura aumentará los desplazamientos relativos a través de apoyos flexibles. Se muestra una curva de respuesta de desplazamiento típica en la que se ve que los desplazamientos aumentan con el período creciente (flexibilidad).



**Figura 8**

*Curva típica de espectro respuesta*

Fuente: Tensa grupo de eccher



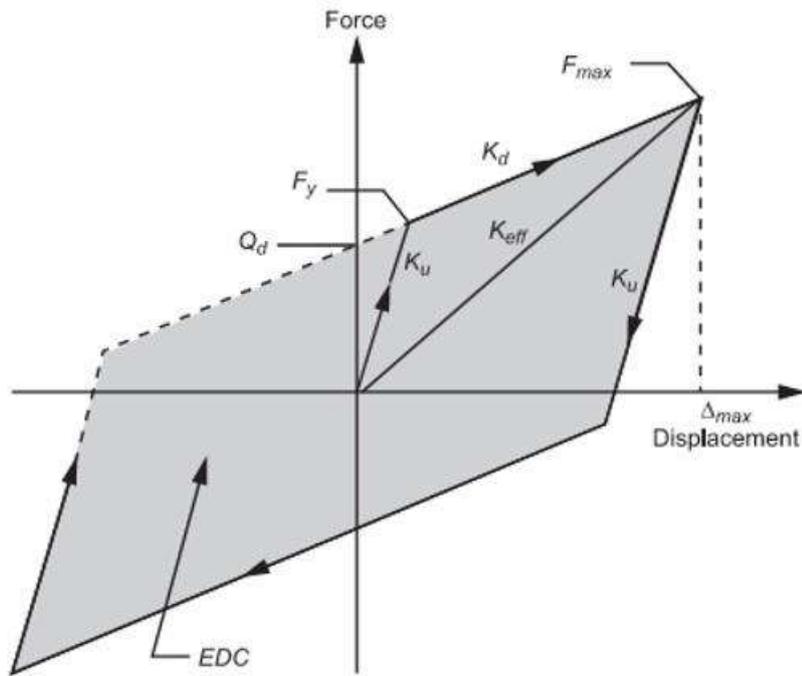
**Figura 9**

*Curva típica de Desplazamiento*

Fuente: Tensa grupo de eccher

### 2.1.3.2. Disipación de energía

Los desplazamientos relativos se pueden controlar si se introduce amortiguamiento adicional en la estructura en el nivel de aislamiento. Dos medios efectivos para proporcionar amortiguamiento son la disipación de energía histerética y la disipación de energía viscosa. El término viscoso se refiere a la disipación de energía que depende de la magnitud de la velocidad. El término histerético se refiere al desplazamiento entre las curvas de carga y descarga bajo carga cíclica, muestra un bucle de histéresis de desplazamiento de fuerza idealizado donde el área encerrada es una medida de la energía disipada durante un ciclo (EDC) de movimiento.



- $Q_d$  = Characteristic strength
- $F_y$  = Yield force
- $F_{max}$  = Maximum force
- $K_d$  = Post-elastic stiffness
- $K_u$  = Elastic (unloading) stiffness
- $K_{eff}$  = Effective stiffness
- $\Delta_{max}$  = Maxim bearing displacement
- $EDC$  = Energy dissipated per cycle = Area of hysteresis loop (shaded)

**Figura 10**

*Característica bilineal de los aisladores base (modelo histerético)*

Fuente: (Guide Specifications for Seismic Isolation Design, 2014)

Características de modelo bilineal:

$Q_d$  = Resistencia característica (Fuerza en desplazamiento el origen)

$F_y$  = Fuerza de Fluencia

$F_{max}$  = Fuerza máxima en desplazamiento máximo

$K_d$  = Rigidez post-fluencia

$K_u$  = Rigidez elástica (descarga)

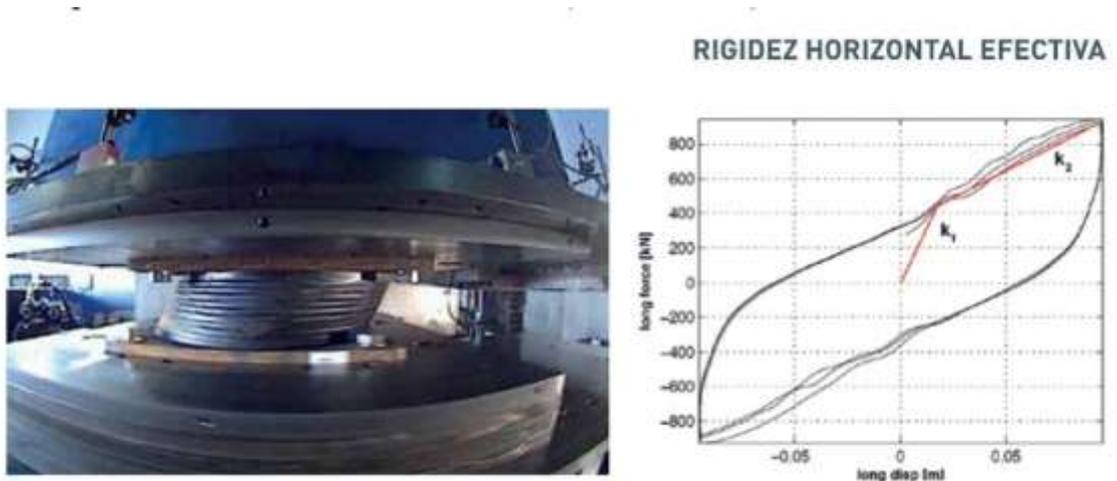
$K_{eff}$  = Rigidez efectiva

$\Delta_{max}$  = Desplazamiento máximo del apoyo

$EDC$ = Energía disipada por ciclo

Se presenta a continuación un ensayo de real de un aislador (LRB). Véase Figura

11.



**Figura 11**

*Comportamiento normal del aislador (LRB – TLRI) <<modelo bilineal>>*

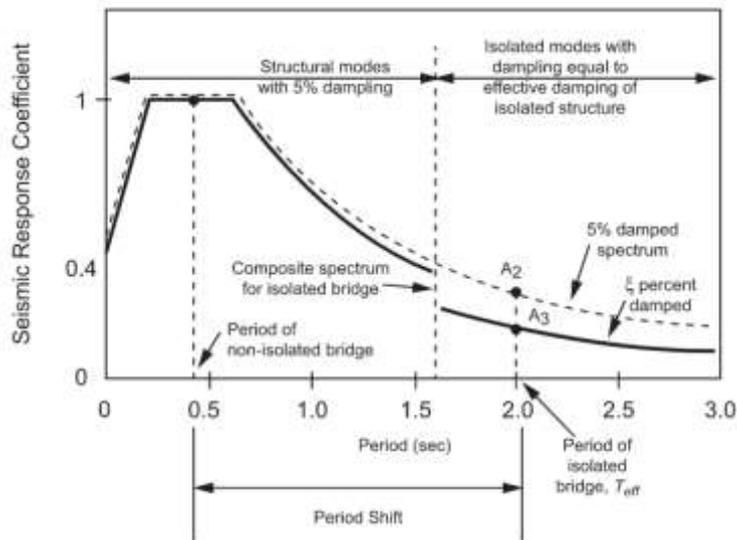
Fuente: Tensa grupo de eccher

Donde:

$K_1$ = Rigidez elástica (descarga);  $K_2$ = Rigidez post-fluencia

Se muestra un ejemplo de espectro respuesta para base aislada para un puente.

Figura 12. La línea continua representa el espectro de respuesta para un puente aislado. El cambio de período proporcionado por la flexibilidad del sistema de aislamiento reduce la aceleración espectral de  $A_1$  a  $A_2$ . El mayor amortiguamiento proporcionado por el sistema de aislamiento reduce aún más la aceleración espectral de  $A_2$  a  $A_3$ . Tenga en cuenta que las aceleraciones espectrales  $A_1$  y  $A_3$  se utilizan para determinar las fuerzas para el diseño de puentes convencionales y aislados, respectivamente.



**Figura 12**

*Espectro de respuesta de diseño de ejemplo para puente aislado*

Fuente: (Guide Specifications for Seismic Isolation Design, 2014)

### 2.1.3.3. Procedimiento de Análisis:

#### Método Simplificado

El método simplificado de análisis se puede usar para puentes aislados que responden predominantemente como un sistema de un solo grado de libertad sin acoplamiento de desplazamiento entre dos o tres direcciones coordinadas. Este análisis se realizará de forma independiente a lo largo de dos ejes perpendiculares y se combinará como se especifica.

Los datos técnicos elegidos se basan en operaciones de la normativa técnica de aisladores y ensayos que proporcionan los datos para elaborar los parámetros de simulación de los dispositivos de aislación dentro del programa CSIBridge.

Se ha tomado de la empresa “TENSA” las hojas técnicas de los datos para aisladores y estos a su vez revisados para ingresar al programa CSIBridge

Aislador LRB – TLRI

Se encuentran identificados por el acrónimo TLRI, el primer dato que nos proporciona es el diámetro del aislador, el segundo dato señala la altura total del caucho y el tercer dato el diámetro del plomo.



**Figura 13**

*Datos de aislador TLRI (LRB)*

Fuente: Tensa grupo de eccher

# TLRI PUENTES CON AISLADOR TLRI

## APOYO ELASTOMERICO CON NUCLEO DE PLOMO

EN 15129:2007 (E) - cap. B.2

$d_{ca}$ 150mm	AISLADOR	CAUCHO	ALTURA TOTAL	TAMANO DE	ESPESOR TOTAL	FACTOR DE FORMA	RODIZ VERTICAL	RODIZ	AMORTIGUACION	DESPLAZAMIENTO	CARGA DE DEFORMACION	DESPLAZAMIENTO DE	CARGA DE BISEÑO	CARGA ESTÁTICA	CARGA SÍGNICA
		DIÁMETRO	(INCLUYENDO CHAPAS EXTERIAS)	DE CHAPA CENTRAL	DEL CAUCHO			HORIZONTAL EFECTIVA AL $d_{ca}$	EFECTIVA EN $d_{ca}$	DE DISEÑO	CON HORIZONTAL	EN 1998)	HORIZONTAL	VERTICAL MÁXIMA ELU	VERTICAL MÁXIMA
		D (mm)	$H_{tot}$ (mm)	L x L (mm/mm)	$T_v$ (mm)	S (-)	$K_v$ (kN/mm)	$K_{eff}$ (kN/mm)	$X_{eff}$ (%)	$d_v$ (mm)	$F_v$ (kN)	$d_{des}$ (mm)	$H_{des}$ (mm)	$N_{ELU}$ (kN)	$N_{100%$ (kN)
<b>CAUCHO SOFT</b> $G_{ca} = 0.4 \text{ MPa}^*$ $\zeta_{ca} = 10\%-15\%^*$	TLRI-350-SM-75/55	350	162	400X400	75	16.6	431	0.8	25	6	30	80	64	1100	700
	TLRI-400-SM-75/60	400	162	450X450	75	19.0	703	1.0	24	6	36	80	81	2500	1400
	TLRI-450-SM-78/70	450	159	500X500	78	17.9	782	1.3	25	7	48	80	102	3250	1950
	TLRI-500-SM-77/75	500	167	550X550	77	17.1	919	1.5	24	6	56	80	124	4100	2550
	TLRI-550-SM-75/85	550	177	600X600	75	26.3	2073	1.9	24	6	72	80	156	5050	4000
	TLRI-600-SM-75/95	600	177	650X650	75	28.7	2730	2.4	25	7	89	80	188	6050	4950
	TLRI-650-SM-78/100	650	174	700X700	78	26.0	2761	2.6	25	6	99	80	211	7200	6000
	TLRI-700-SM-78/105	700	189	750X750	78	28.1	3510	3.0	24	6	110	80	241	8450	7100
TLRI-750-SM-77/115	750	182	800X800	77	25.8	3701	3.5	24	6	131	80	283	9750	8350	
<b>CAUCHO NORMAL</b> $G_{ca} = 0.9 \text{ MPa}^*$ $\zeta_{ca} = 10\%-15\%^*$	TLRI-350-NM-75/60	350	162	400X400	75	16.5	756	1.5	25	6	55	80	118	1500	950
	TLRI-400-NM-75/70	400	162	450X450	75	18.9	1166	1.9	25	7	73	80	155	2500	1750
	TLRI-450-NM-78/75	450	159	500X500	78	17.8	1339	2.3	24	6	86	80	187	3250	2400
	TLRI-500-NM-77/85	500	167	550X550	77	17.0	1588	2.9	25	6	110	80	235	4100	3150
	TLRI-550-NM-75/95	550	177	600X600	75	26.2	3050	3.7	25	6	137	80	292	5000	4000
	TLRI-600-NM-75/100	600	177	650X650	75	28.7	3741	3.9	25	7	149	80	313	6050	4950
	TLRI-650-NM-78/110	650	174	700X700	78	25.9	4090	4.9	25	6	183	80	393	7150	5950
	TLRI-700-NM-78/120	700	189	750X750	78	27.9	5028	5.7	25	7	216	80	458	8400	7050
TLRI-750-NM-77/130	750	182	800X800	77	25.8	5486	6.7	25	7	252	80	533	9700	8300	
TLRI-800-NM-77/135	800	182	850X850	77	27.4	6597	7.5	24	6	279	80	600	11100	9600	
<b>CAUCHO DURO</b> $G_{ca} = 1.4 \text{ MPa}^*$ $\zeta_{ca} = 15\%^*$	TLRI-350-HM-75/75	350	162	400X400	75	16.2	936	2.3	25	6	85	80	181	1900	1200
	TLRI-400-HM-75/85	400	162	450X450	75	18.6	1411	2.9	25	6	110	80	236	2450	1750
	TLRI-450-HM-78/95	450	159	500X500	78	17.5	1633	3.6	25	7	136	80	289	3200	2350
	TLRI-500-HM-77/105	500	167	550X550	77	16.7	1962	4.5	25	6	168	80	360	4000	3100
	TLRI-550-HM-75/120	550	177	600X600	75	25.7	3442	5.6	25	7	214	80	451	4900	3900
	TLRI-600-HM-75/130	600	177	650X650	75	28.1	4327	6.7	25	7	253	80	535	5950	4800
	TLRI-650-HM-78/135	650	174	700X700	78	25.5	4652	7.5	25	6	278	80	599	7050	5850
	TLRI-700-HM-78/150	700	189	750X750	78	27.4	5673	8.8	25	7	334	80	706	8250	6950
TLRI-750-HM-77/160	750	182	800X800	77	25.2	6242	10.2	25	7	384	80	814	9550	8150	
TLRI-800-HM-77/170	800	182	850X850	77	26.9	7400	11.6	25	7	435	80	925	10900	9400	

Figura 14

Datos de aislador TLRI (LRB)

Fuente: Tensa grupo de eccher

# TLRI PUENTES CON AISLADOR TLRI

## APOYO ELASTOMERICO CON NUCLEO DE PLOMO

EN 15129:2009 (E) - cap. 8.2

$d_{te}$ 350mm	AISLADOR	DIÁMETRO DEL CAUCHO (mm)	ALTURA TOTAL (INCLUYENDO CHAPAS EXTERNAS) (mm)	TAMANO DE CHAPA GENERAL (mmxmm)	ESPESOR TOTAL DEL CAUCHO (mm)	FACTOR DE FORMA (-)	RIGIDEZ VERTICAL (kN/mm)	RIGIDEZ HORIZONTAL EFECTIVA AL $d_{hd}$ (kN/mm)	AMORTIGUACIÓN EFECTIVA EN $d_{hd}$ (%)	DESPLAZAMIENTO DE DEFORMACIÓN (mm)	CARGA DE DEFORMACIÓN HORIZONTAL ( $F_y$ ) (kN)	DESPLAZAMIENTO DE DISEÑO HORIZONTAL (EN 1998) ( $d_{hd}$ ) (mm)	CARGA DE DISEÑO HORIZONTAL ( $H_{ese}$ ) (mm)	CARGA ESTÁTICA VERTICAL MÁXIMA ELU (25 MPa sobre caucho) ( $N_{SLU}$ ) (kN)	CARGA SISMICA VERTICAL MÁXIMA ( $N_{SSM}$ ) (kN)
<b>CAUCHO SOFT</b> $G_{dn} = 0.4 \text{ MPa}^*$ $\epsilon_{vnt} = 10\%-15\%^*$	TLRI-550-SM-175/90	550	337	600X600	175	26.3	882	0.8	24	17	81	213	176	4000	1950
	TLRI-600-SM-175/100	600	337	650X650	175	28.7	1163	1.0	25	17	99	213	213	6050	2700
	TLRI-650-SM-180/105	650	327	700X700	180	25.9	1190	1.1	24	17	110	213	240	5750	3500
	TLRI-700-SM-180/115	700	342	750X750	180	28.0	1506	1.3	25	17	131	213	281	8400	4450
	TLRI-750-SM-175/125	750	322	800X800	175	25.7	1613	1.6	25	17	155	213	332	9700	5500
	TLRI-800-SM-175/135	800	322	850X850	175	27.4	1981	1.8	25	17	180	213	381	11100	6600
	TLRI-850-SM-176/140	850	314	900X900	176	25.5	2053	2.0	24	17	194	213	422	12650	7850
	TLRI-900-SM-176/150	900	329	950X950	176	27.0	2464	2.2	25	17	223	213	477	14250	9150
	TLRI-950-SM-176/160	950	329	1000X1000	176	28.5	2920	2.5	25	18	253	213	535	15950	10550
	TLRI-1000-SM-180/165	1000	327	1050X1050	180	26.7	2946	2.7	25	17	269	213	576	17750	12050
	TLRI-1100-SM-180/180	1100	336	1150X1150	180	26.5	3538	3.2	24	17	321	213	693	21650	15400
	TLRI-1200-SM-180/200	1200	336	1250X1250	180	28.9	4647	3.9	25	18	395	213	835	25850	19050
<b>CAUCHO NORMAL</b> $G_{dn} = 0.9 \text{ MPa}^*$ $\epsilon_{vnt} = 10\%-15\%^*$	TLRI-550-NM-175/100	550	337	600X600	175	26.1	1299	1.5	24	17	153	213	331	5000	1900
	TLRI-600-NM-175/110	600	337	650X650	175	28.5	1656	1.9	25	17	184	213	395	6000	2650
	TLRI-650-NM-180/120	650	327	700X700	180	25.7	1754	2.1	25	18	215	213	455	7150	3500
	TLRI-700-NM-180/130	700	342	750X750	180	27.7	2159	2.5	25	18	251	213	529	8350	4400
	TLRI-750-NM-175/140	750	322	800X800	175	25.5	2392	2.9	25	18	294	213	622	9650	5450
	TLRI-800-NM-175/150	800	322	850X850	175	27.2	2867	3.3	25	18	336	213	709	11050	6550
	TLRI-850-NM-176/160	850	314	900X900	176	25.3	3044	3.7	25	18	380	213	798	12550	7750
	TLRI-900-NM-176/165	900	329	950X950	176	26.9	3590	4.1	25	17	413	213	885	14150	9100
	TLRI-950-NM-176/175	950	329	1000X1000	176	28.4	4167	4.6	25	17	463	213	988	15850	10500
	TLRI-1000-NM-180/185	1000	327	1050X1050	180	26.5	4302	5.1	25	18	510	213	1078	17600	12000
	TLRI-1100-NM-180/200	1100	336	1150X1150	180	26.3	5190	6.1	25	17	606	213	1294	21500	15300
	TLRI-1200-NM-180/220	1200	336	1250X1250	180	28.7	6595	7.2	25	17	728	213	1546	25700	18950

**Figura 15**

Datos de aislador TLRI (LRB)

Fuente: Tensa grupo de eccher

d <sub>ef</sub> 250mm	AISLADOR	DIAMETRO DEL CAUCHO	ALTURA TOTAL (INCLUYENDO CHAPAS EXTERNAS)	TAMANO DE CHAPA GENERAL	ESPESOR TOTAL DEL CAUCHO	FACTOR DE FORMA	RIGIDEZ VERTICAL	RIGIDEZ HORIZONTAL EFECTIVA AL d <sub>ef</sub>	AMORTIGUACION EFECTIVA EN d <sub>ef</sub>	DESPLAZAMIENTO DE DEFORMACION	CARGA DE DEFORMACION HORIZONTAL	DESPLAZAMIENTO DE DISEÑO HORIZONTAL (EN 1998)	CARGA DE DISEÑO HORIZONTAL	CARGA ESTÁTICA VERTICAL MÁXIMA ELU	CARGA SÍSMICA VERTICAL MÁXIMA
		D [mm]	H <sub>tot</sub> [mm]	L x L [mmxmm]	T <sub>a</sub> [mm]	S [-]	K <sub>v</sub> [kN/mm]	K <sub>eff</sub> [kN/mm]	X <sub>eff</sub> [%]	d <sub>y</sub> [mm]	F <sub>y</sub> [kN]	d <sub>des</sub> [mm]	H <sub>des</sub> [mm]	N <sub>slu</sub> [kN]	N <sub>seis</sub> [kN]
CAUCHO SOFT	TLRI-400-SM-125/65	400	242	450X450	125	19.0	418	0.6	24	12	42	147	91	1500	600
	TLRI-450-SM-126/70	450	231	500X500	126	17.9	484	0.8	24	11	49	147	111	1950	950
G <sub>rub</sub> = 0.4 MPa* ε <sub>rub</sub> = 10%-15%*	TLRI-500-SM-126/80	500	237	550X550	126	17.0	557	1.0	24	11	64	147	139	2450	1300
	TLRI-550-SM-125/90	550	257	600X600	125	26.3	1235	1.2	25	12	80	147	172	5050	2950
	TLRI-600-SM-125/100	600	257	650X650	125	28.7	1628	1.4	25	12	99	147	208	6050	3800

**Figura 16**

*Datos de aislador TLRI (LRB)*

Fuente: Tensa grupo de eccher

## 2.2.Marco legal

Para desarrollar el presente trabajo de investigación es pertinente considerar las siguientes leyes normativas y reglamentos que se encuentran vigentes en el Ecuador:

En la Constitución de la República del Ecuador 2008, Decreto Legislativo 0 Registro Oficial 449 de 20-oct-2008

En el artículo 3 literal 5 atribuye: Son deberes primordiales del Estado Planificar el desarrollo nacional, erradicar la pobreza, promover el desarrollo sustentable y la redistribución equitativa de los recursos y la riqueza, para acceder al buen vivir.

Art. 259. Con finalidad y precautar la diversidad del ecosistema, el Estado Central y los gobiernos autónomos descentralizados adoptarán políticas de desarrollo sustentable que, adicionalmente, compensen las inequidades de su desarrollo y consoliden la soberanía.

Art. 385. El sistema nacional de ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales, en el marco del respeto al ambiente, la naturaleza, la vida, las culturas y la soberanía, tendrá como finalidad:

- Generar, adaptar y difundir conocimientos científicos y tecnológicos.
- Recuperar, fortalecer y potenciar los saberes ancestrales.
- Desarrollar tecnologías e innovaciones que impulsen la producción nacional. Eleven la eficacia y productividad, mejoren la calidad de vida y contribuyen a la realización del buen vivir.

En el plan Nacional de Desarrollo 2017-2021

Eje 1: Derechos para todos durante toda la vida:

- Objetivo 1: Garantizar una vida digna con iguales oportunidades para todas las personas.

- Objetivo 2: Garantizar los derechos de la naturaleza para actuales y futuras generaciones.

Normas ecuatorianas de construcción

- NEC-SE-DS: Cargas y Diseño Sismos Resistentes
- NEC-SE-AC: Estructuras de acero

Normas INEN

- CPE INEN-NEC-SE-DS 26-2 Capítulo 2: Peligro sísmico. Diseño sísmico resistente.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Metodología

Se aplicará método de la investigación cuantitativa con alcance de investigación correlacional, en la que se propone encontrar relación entre dos variables, es decir que, el puente ubicado sobre el río Caracol al implementarse un sistema de control sísmico obtendrá respuestas en comparación a este mismo sin el uso de un sistema de control sísmico.

#### 3.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación aplicada en este proyecto de tesis es la Descriptiva, ya que mediante ésta se podrá descubrir como los disipadores sísmicos son la manera más eficiente de proteger estructuras de puentes contra terremotos controlando la energía sísmica.

#### 3.3. Enfoque

El enfoque de la investigación se realizará de forma experimental, ya que se utilizará un software para la modelación de un sistema de control sísmico (*CsiBridge*).

#### 3.4. Técnica e instrumento

La manera más eficiente de proteger estructuras contra terremotos es controlar la energía sísmica con medios otros que la ductilidad. Primero, porque los resultados después del sismo son evidentemente superiores y segundo porque el modelamiento de la estructura es más acertado en la predicción que cuando se utilizan adaptaciones lineares genéricas que hoy encontramos en la norma sísmica. Con el tiempo, el sector ha implementado con mayor frecuencia tecnologías y sistemas de protección. Una de ellas son los aisladores sísmicos, que tienen como objetivo principal proteger, reducir el impacto en las estructuras y entregar tranquilidad a los usuarios durante un sismo.

La rigidez vertical del sistema es comparable con la rigidez vertical de una columna de hormigón armado. El comportamiento de los aisladores elastoméricos de la amplitud de la formación a la que son sometidos y, en menor grado, de la temperatura, el envejecimiento y la frecuencia del movimiento. Existe una serie de tipos de apoyos elastoméricos, entre ellos se encuentran los apoyos de goma natural (NRB, Natural Rubber Bearing), los apoyos de goma de bajo amortiguamiento (LDRB, Low-Damping

Rubber Bearing) y alto amortiguamiento (HDRB, High-Damping Rubber Bearing), y los apoyos de goma con núcleo de plomo (LRB, Lead-plug Rubber Bearing). Por otro lado, están los LDRB (Aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento que serían los más simples dentro de los elastoméricos) presentan bajo amortiguamiento (2-5 % como máximo), por lo que generalmente se utilizan en conjunto con disipadores de energía que proveen amortiguamiento adicional al sistema. Estos dispositivos presentan la ventaja de ser fáciles de fabricar.

Los aisladores de base estarán situados entre la interface de la viga cabezal y las vigas que dan soporte a la losa la posición donde se colocarían los aisladores. Para el presente trabajo, se realizarán los estudios pertinentes para tres tipos de aisladores, el HDRB, el LRB y el FPS.

### **3.5.Población**

Según el INEC la parroquia Caracol de la provincia de Los Ríos habitan alrededor de 5639 personas en la cual serán beneficiados a este gran proyecto de obra civil.

### **3.6.Muestra**

Es un subconjunto o parte del universo o población en que se llevará a cabo la investigación. Hay procedimientos para obtener la cantidad de los componentes de la muestra como fórmulas, lógica y otros que se verá más adelante. La muestra es una parte representativa de la población.

Es el método utilizado para seleccionar a los componentes de la muestra total de la población “Consiste en un conjunto de reglas, procedimientos y criterios mediante los cuales se selecciona un conjunto de elementos de una población que se representan lo que sucede en toda esa población”.

### **3.7.Análisis de resultado**

#### **3.7.1. Análisis del puente existente L=60.0m**

El puente a analizar será en una carretera interurbana que une dos puntos de mayor concurrencia. El proyecto del puente consiste en dos análisis que van a ser presentadas de acuerdo a como se encuentra en la actualidad la estructura existente y la nueva propuesta de usar aisladores sísmicos para aumentar un buen comportamiento ante eventos sísmicos y la vida útil de la estructura. El puente consta de una capa de rodadura de 7.6 metros de ancho de la cual tendrá 2 carriles, cada carril tendrá 3.8 metros, un ancho de 1.40 metros destinados para acera (aceras laterales de 0.70 metros cada una). La sección en total tendrá 9.0 metros de ancho.

En perfil, el puente tendrá 3 vanos de 15.0m, 30.0m y 15.m metros de longitud respectivamente para un total de 60.0 metros, teniendo 2 apoyos intermedios que constan de una pila de 4.00m de alto



**Figura 17**

*Modelo 3D de la estructura de puente existente L=60.00m*

Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).

**Diseño existente:**

Sección de viga de hormigón “T” invertidas formadas en sitio de forma variable en altura.

**Materiales**

**Hormigón**

Se estimo una resistencia de hormigón de todos los elementos estructurales:

-  $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$

El módulo de elasticidad del Hormigón será calculado por la siguiente relación especificada en la AASHTO-LRFD 2014

$$Ec = 0.043\gamma_c^{1.5}\sqrt{f'c}$$

Donde:

$\gamma_c$  = Densidad del hormigón ( $\text{kg/m}^3$ )

$f'c$  = Resistencia a compresión del concreto (Mpa)

$$Ec = 0.043 * 2320^{1.5}\sqrt{24} * 10 = 235399.78 \text{ kg/cm}^2$$

**B** Material Property Data

**General Data**

Material Name and Display Color:  ■

Material Type:  v

Material Grade:

Material Notes:

---

**Weight and Mass**

Weight per Unit Volume:

Mass per Unit Volume:

**Units**

v

---

**Isotropic Property Data**

Modulus Of Elasticity, E:

Poisson, U:

Coefficient Of Thermal Expansion, A:

Shear Modulus, G:

---

**Other Properties For Concrete Materials**

Specified Concrete Compressive Strength, fc:

Expected Concrete Compressive Strength:

Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor:

**Figura 18**

*Resistencia a Compresión del Hormigón*

Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).

### **Cargas**

Para las cargas sobre el puente, se cuantificaron y dividieron todas las cargas según su naturaleza:

Cargas Muertas; Permanentes y Sobrecargas

Conformadas por todos los elementos estructurales de la estructura. Se calcula multiplicando el peso específico del material por su espesor o longitud, dependiendo del tipo de carga. Las densidades de los elementos fueron tomadas de la AASHTO-LRFD, véase tabla 6.

**Tabla 6.**

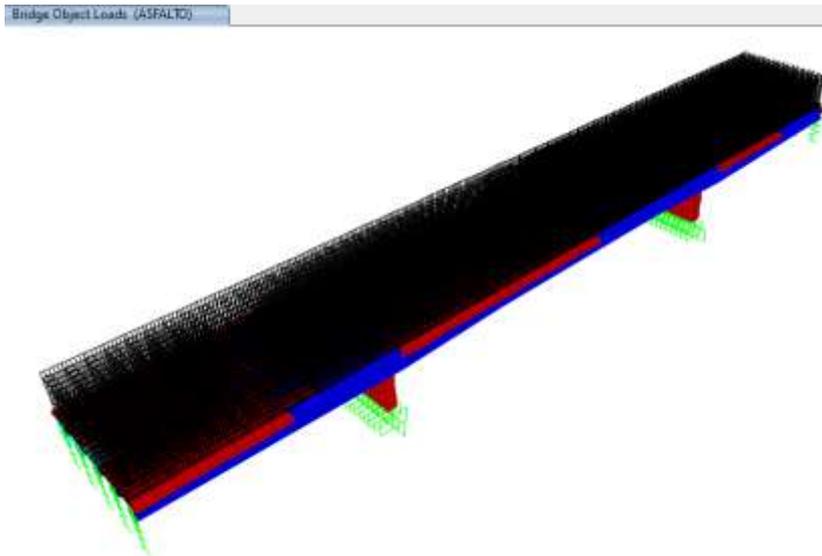
Tabla sobre materiales y sus densidades.

<b>Material</b>		<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Aleaciones de aluminio		2800
Superficies de rodamiento bituminosas		2250
Hierro fundido		7200
Escoria		960
Arena, limo o arcilla compactados		1925
Hormigón	Agregados de baja densidad	1775
	Agregados de baja densidad y arena	1925
	Densidad normal con $f_c \leq 35$ MPa	2320
	Densidad normal con $35 < f_c \leq 105$ MPa	$2240 + 2.29 f_c$
Arena. Limo o grava sueltos		1600
Arcilla blanda		1600
Grava, macadán o balasto compactado a rodillo		2250
Acero		7850
Sillería		2725
Madera	Dura	960
	Blanda	800
Agua	Dulce	1000
	Salada	1025
<b>Elemento</b>		Masa por unidad de longitud (kg/mm)
Rieles para tránsito, durmientes y fijadores por vía		0.30

Fuente: AASHTO-LRFD

**Asfalto:** Con espesor de 7cm y peso específico de 2,250 kg/m<sup>3</sup>

$$q_{asfalto} = 2250 * 0.07 = 157.50 \text{ kg/m}^2$$



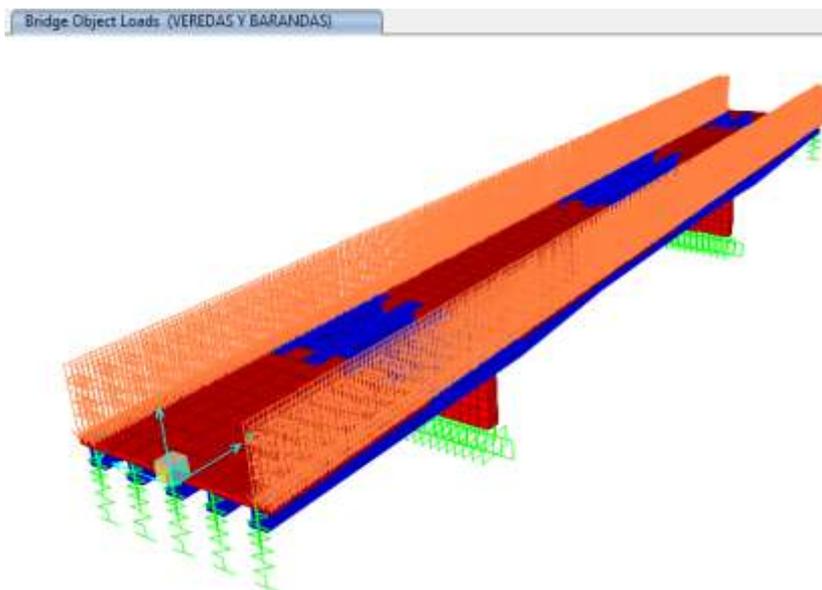
**Figura 19**

*Carga asfalto en modelo matemático*

Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).

**Veredas o aceras:** Con un espesor de 20cm.

$$q_{acera} = 2320 * 0.20 = 464.00 \text{ kg/m}^2$$



**Figura 20**

*Carga de veredas de espesor de 20cm*

Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).

### Cargas Vivas:

Esta carga viva se obtiene de la normativa para puentes AASHTO LRFD Bridge Design Specifications

Número de líneas de diseño se tomará de la siguiente relación:

$w/3600$ ,  $w$  ancho libre de calzada en (mm)

$$\frac{w}{3600} = \frac{7600}{3600} = 2.11$$

Con este resultado se utiliza 2 líneas de diseño de 3.80 m de ancho para la calzada.



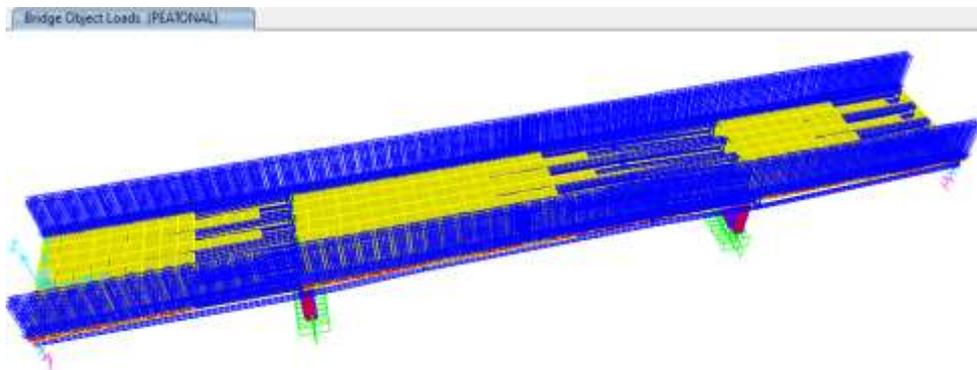
**Figura 21**

*Ancho de carriles sobre el puente existente*

Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).

### Peatonal

$$q_{peatonal} = 360.00 \text{ kg/m}^2$$



**Figura 22**

*Carga peatonal sobre el puente*

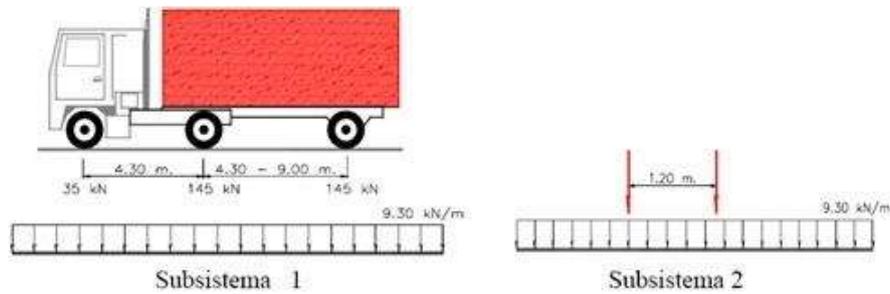
Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).

### Vehículo de diseño:

Los tipos de carga móvil para los cuales se ha diseñado el puente son:

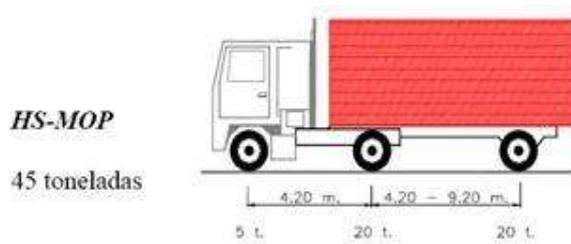
**1ra carga:** camión HL-93 afectado por impacto.

**2da carga:** carga de faja y tándem de diseño HL-93 afectado por impacto.



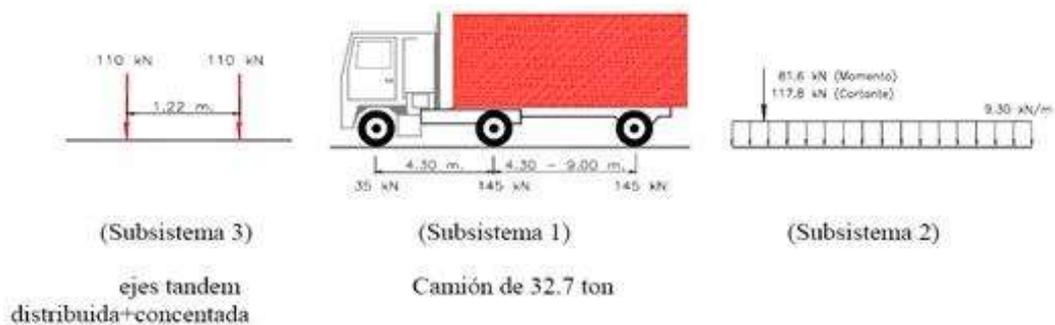
**Figura 23**

*Tipos de carga móvil 1ra carga y 2da carga Cargas HL-93*



**Figura 24**

*Tipo de carga móvil 3ra carga: camión de diseño HS-MOP afectado por impacto.*

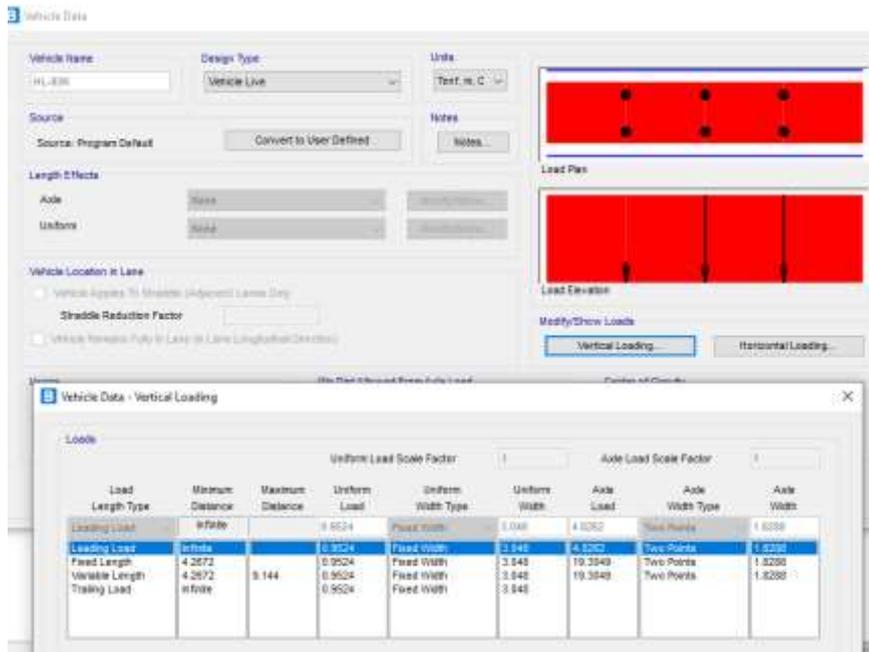


**Figura 25**

*Tipo de carga móvil 4ta carga: camión HS20-44 afectado por impacto.*

Los vehículos de diseño se definieron de acuerdo a especificaciones AASHTO LRFD.

El efecto de un camión de diseño con espaciamiento variable entre ejes, combinado con el efecto de la línea de diseño es identificada HL-93K

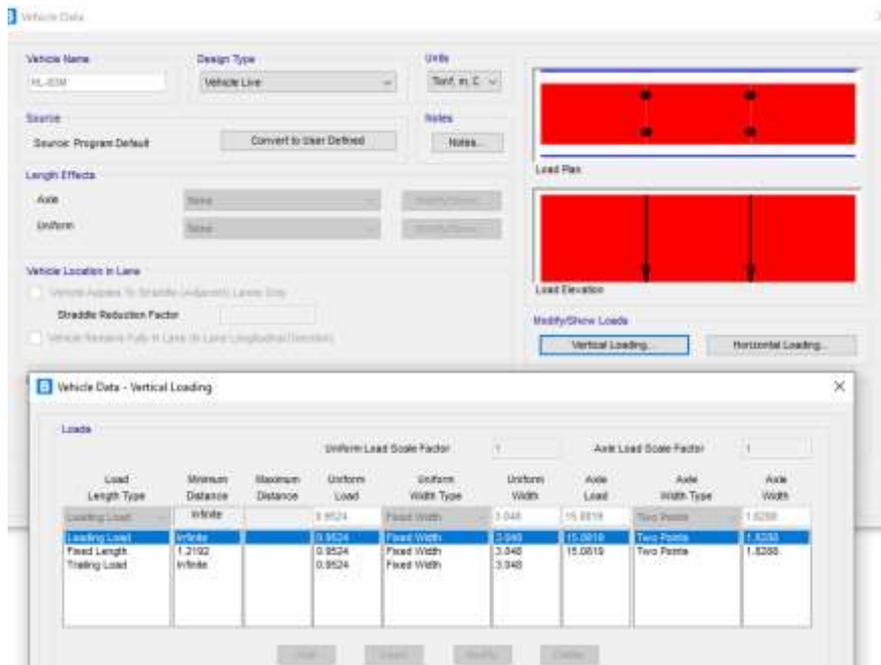


**Figura 26**

*Carga de tándem*

Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).

Carga de tándem combinado con el efecto de la línea de carga consiste en dos ejes de 11.00 ton, espaciados 1.20m (tándem) y una carga uniforme de 970 kg/m distribuida sobre los tramos del puente (línea de diseño) este vehículo identificado HL-93M.



**Figura 27**

*Carga de tándem*

Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).

Cuando los vehículos pasan a velocidad sobre la losa produce vibraciones y dicha se amplifica la carga estática de los vehículos. Se considera factores de amplificación de carga dinámica es de 33%, según lo indicado en AASHTO-LRFD.

**Tabla 7.**

*Incremento por Carga Dinámica, IM*

Componente	IM
Juntas del tablero – Todos los estados límites	75%
Todos los demás componentes	
• Estado límite de fatiga y fractura	15%
• Todos los demás estados límites	33%

Fuente: AASHTO-LRFD

**Fuerza de Frenado:**

La consideramos toda la longitud del puente  $L=60.0m$ , se escoge el valor mayor de las siguientes condiciones:

a.- 25% del camión de diseño

$$BR_{SL} = 0.25 * (3500 + 14500 + 14500) = 8125 Kg$$

b.- 25% del tándem de diseño

$$BR_{SL} = 0.25 * (1100 + 11000) = 5500 Kg$$

c.- 5% del camión de diseño del carril de carga

$$BR_{SL} = 0.05 * [(3500 + 14500 + 14500) + (60 * 970)] = 4535 \text{ Kg}$$

d.- 5% del tándem de diseño del carril de carga

$$BR_{SL} = 0.05 * [(11000 + 11000) + (60 * 970)] = 4010 \text{ Kg}$$

La fuerza del caso “a” es la mayor a utilizar.

$$BR_{net} = (BR_{SL}) * (\#carriles) * (fpm)$$

$$BR_{net} = (8125) * (2) * (1.00) = 16240 \text{ Kg}$$

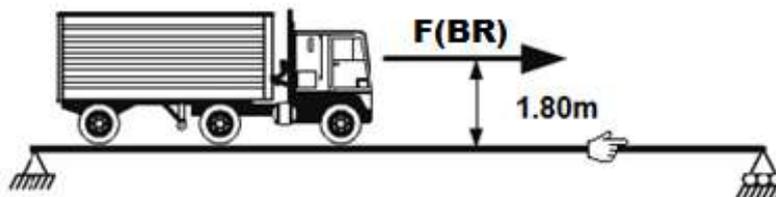
**Tabla 8.**

*Factor de presencia múltiple (m).*

Número de carriles cargados	Factor de presencia múltiple, m
1	1,20
2	1,00
3	0,85
> 3	0,65

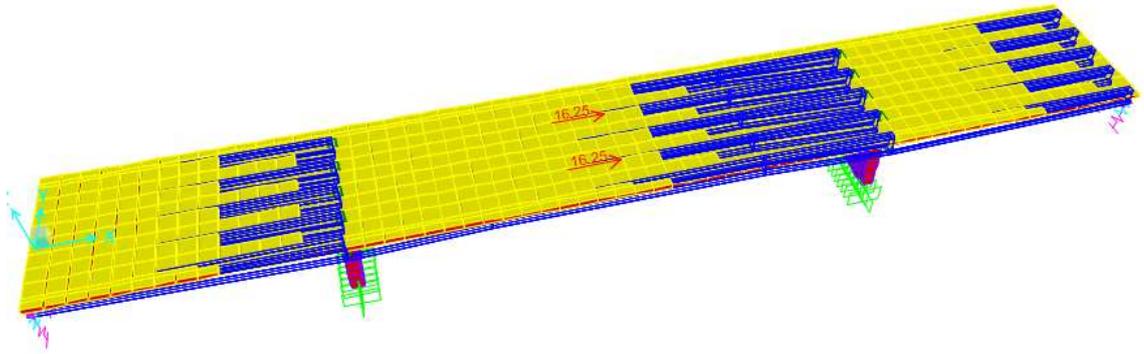
Fuente: AASHTO-LRFD

La fuerza de frenado actúa a una altura de 1.80m por encima de superficie de rodadura en la dirección longitudinal para causar efectos de fuerza extrema.



**Figura 28**

Fuerza de frenado de camión



**Figura 29**

*Carga de frenado sobre el puente*

Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).

### **Categorías Según la Importancia del Puente**

(3.10.5 AASHTO) el Propietario o aquellos a quienes corresponda la jurisdicción deberá clasificar el puente en una de las tres categorías siguientes según su importancia:

- Puentes críticos,
- Puentes esenciales, u
- Otros puentes.

La clasificación deberá considerar requisitos sociales y de supervivencia, además de requisitos de seguridad y defensa. Para clasificar un puente se deberían considerar los cambios potenciales futuros que podrían sufrir las condiciones y requisitos.

Los puentes esenciales en general son aquellos que deberían, como mínimo, estar abiertos para el tránsito de vehículos de emergencia o para fines de seguridad y/o defensa inmediatamente después del sismo de diseño, es decir, del evento con período de recurrencia de 1000 años. Sin embargo, algunos puentes deben permanecer abiertos para el tránsito de todos los vehículos luego del sismo de diseño y deben poder ser usados por los vehículos de emergencia o para fines de seguridad y/o defensa inmediatamente después de un sismo importante, por ejemplo, un evento con período de recurrencia de 2500 años. Estos puentes se deberían considerar estructuras críticas.

### **Carga de Sismo: Normativa NEC 15**

La norma ecuatoriana establece parámetros para evaluar el espectro de diseño e inelástico.

Para diseñar la estructura encima del sistema de aisladores se considera el SISMO DE DISEÑO (DBE) o sismo de 10% de probabilidad de ser excedido en 50 años. Para dimensionar los aisladores se considera el SISMO MAXIMO (MCE) o sismo que tiene el 2% de probabilidad de ser excedido en 50 años.

**Calculo del Espectro de Diseño NEC 15**

**Datos:**

Tipo de Suelo	E	
Z=	0.4	(Factor de Zonificación)
Fa=	1	(Factor de Sitio)
Fd=	1.6	(Factor de Sitio)
Fs=	1.9	(Factor de comportamiento inelástico del suelo)
$\eta$ =	1.8	(Relación de amplificación espectral)
T0=	0.30	
Tc=	1.67	
r=	1.5	
l=	1	
R=	2	

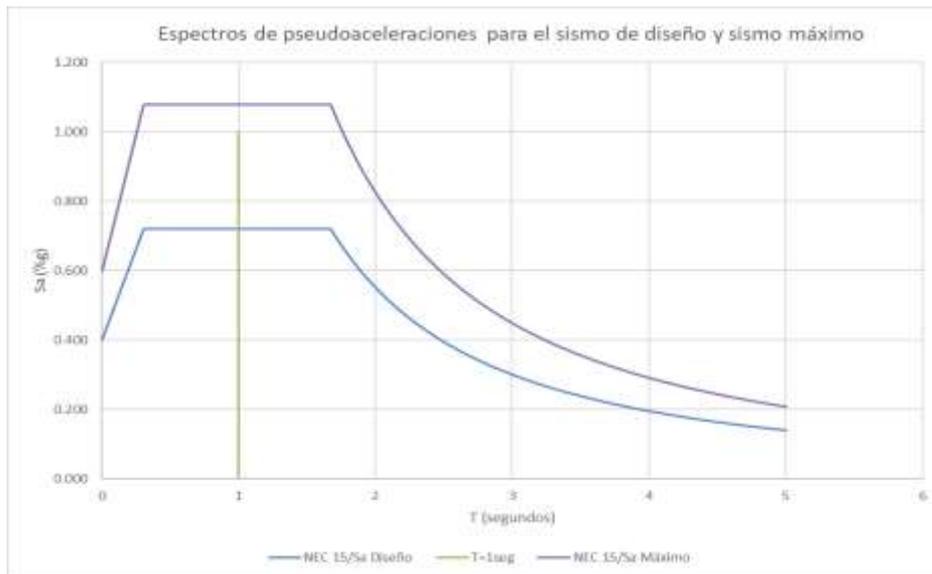
  

	1	
	1	
CS=	0.36	Coficiente sísmico
F.E.=	4.905	Factor de escala

**Figura 30**

*Cálculo del Espectro de Diseño NEC 15.*

Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).



**Figura 31**

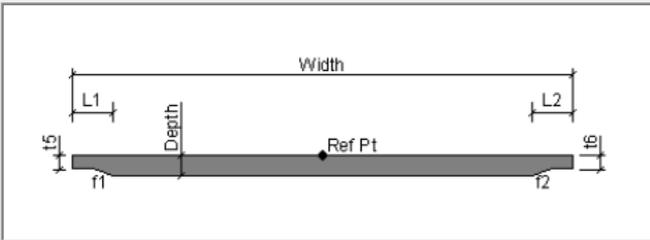
*Espectro respuesta para sismo de diseño y máximo*

Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).

## Sección de Puente y Viga utilizada para revisar análisis

El análisis rige con los siguientes datos de sección

**B** Define Bridge Section Data - Concrete Flat Slab ✕



The diagram shows a cross-section of a bridge slab. The total width is labeled 'Width'. The total depth is labeled 'Depth'. On the left side, there is a dimension 'L1' for the overhang length and 't5' for the overhang outer thickness. On the right side, there is a dimension 'L2' for the overhang length and 't6' for the overhang outer thickness. A 'Ref Pt' (Reference Point) is marked at the center of the slab. Fillet horizontal dimensions 'f1' and 'f2' are also indicated at the bottom corners.

**Section Data**

Item	Value
<b>General Data</b>	
Bridge Section Name	BSEC2
Material Property	f <sub>c</sub> =240kg/cm <sup>2</sup>
Number of Interior Girders	3
Total Width	9.
Total Depth	0.25
<b>Fillet Horizontal Dimension Data</b>	
f1 Horizontal Dimension	0.25
f2 Horizontal Dimension	0.25
<b>Left Overhang Data</b>	
Left Overhang Length (L1)	0.7
Left Overhang Outer Thickness (t5)	0.25
<b>Right Overhang Data</b>	
Right Overhang Length (L2)	0.7
Right Overhang Outer Thickness (t6)	0.25
<b>Insertion Point Location</b>	
Offset X From Reference Point To Insertion Point	0.
Offset Y From Reference Point To Insertion Point	0.

**Section is Legal**  **Do Snap**  **Show Section Details...**

**Girder Output**

**Modify/Show Properties**

**Units**  
 Tonf, m, C

**Modify/Show Load Patterns**

**Figura 32**

*Datos de losa y ancho de total de puente 9.0m*

Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).

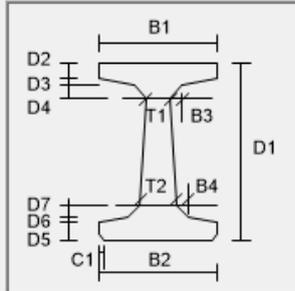
**Section Name**

**Section Notes**

Source: User Defined

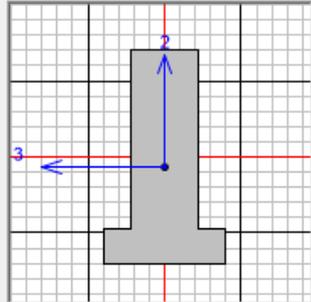
Display Color ■

**Section Dimensions**



B1	<input type="text" value="0.4"/>
B2	<input type="text" value="0.7"/>
B3	<input type="text" value="0."/>
B4	<input type="text" value="0."/>
D1	<input type="text" value="1.25"/>
D2	<input type="text" value="0.2"/>
D3	<input type="text" value="0."/>
D4	<input type="text" value="0."/>
D5	<input type="text" value="0.2"/>
D6	<input type="text" value="0."/>
D7	<input type="text" value="0."/>
T1	<input type="text" value="0.4"/>
T2	<input type="text" value="0.4"/>
C1	<input type="text" value="0."/>

**Section**



**Properties**

$f_c=240\text{kg/cm}^2$

**Section Name**

**Properties**

Cross-section (axial) area	<input type="text" value="0.56"/>	Section modulus about 3 axis	<input type="text" value="0.1175"/>
Moment of Inertia about 3 axis	<input type="text" value="0.0801"/>	Section modulus about 2 axis	<input type="text" value="0.0323"/>
Moment of Inertia about 2 axis	<input type="text" value="0.0113"/>	Plastic modulus about 3 axis	<input type="text" value="0.1855"/>
Product of Inertia about 2-3	<input type="text" value="0."/>	Plastic modulus about 2 axis	<input type="text" value="0.0665"/>
Shear area in 2 direction	<input type="text" value="0.4346"/>	Radius of Gyration about 3 axis	<input type="text" value="0.3781"/>
Shear area in 3 direction	<input type="text" value="0.5022"/>	Radius of Gyration about 2 axis	<input type="text" value="0.1422"/>
Torsional constant	<input type="text" value="0.023"/>	Shear Center Eccentricity (x3)	<input type="text" value="0."/>

**Figura 33**

*Sección de viga en inicio 90 cm y en los apoyos 125 cm*

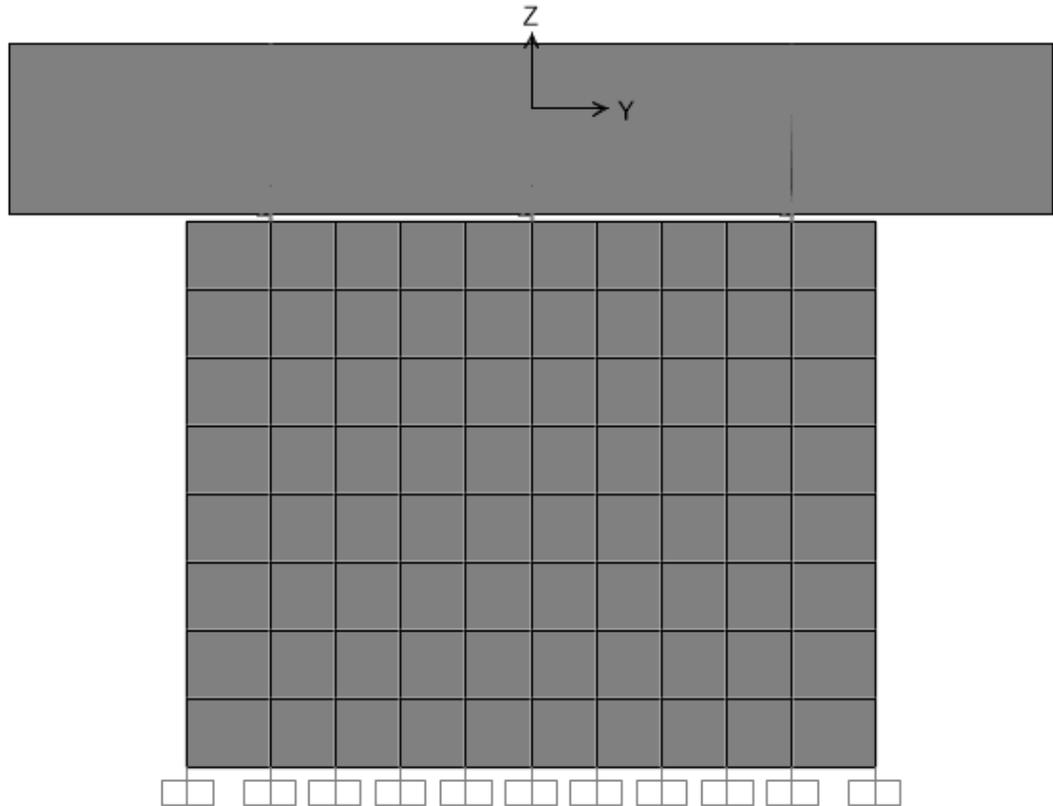
Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).



**Figura 34**

*Sección de viga en inicio 90 cm y en los apoyos 125 cm*

Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).



**Figura 35**

*Sección de viga en inicio 90 cm y en los apoyos 125 cm*

Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).



**Figura 36**

*Sección de viga en inicio 90 cm y en los apoyos 125 cm*

Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).

## Sección de viga en inicio 90 cm y en los apoyos 125 cm

**B** Code-Generated Load Combinations for Bridge Design - User Defined: AASHTO LRFD 2014

Limit States for which User Defined Load Combinations are to be Generated

Select Limit States

Strength I       Strength II       Strength III       Strength IV       Strength V

Extreme Event I       Extreme Event II       Service I       Service II       Service III

Service IV       Fatigue I       Fatigue II

Load Factors for Permanent and Transient Loads

Set Load Factors for Permanent and Transient Loads

Choose Load Cases to Use for Limit State

Limit State: Strength I

List of Load Cases

Load Case Name	Load Case Type	Design Load Type
MODAL	LinModal	Other

Show Only Load Cases with Valid Design Load Types

Load Cases for User Defined Load Combinations

Load Case Name	Load Case Type	Design Load Type
ASFALTO	LinStatic	Wearing Surfac
DEAD	LinStatic	Dead
FRENADO	LinStatic	Braking
MOVL	LinMoving	Vehicle Live
PEATONAL	LinStatic	Pedestrian LL

Copy to: Extreme Event I

**Figura 37**

*Combinaciones de carga seleccionadas para el análisis del puente como indica AASHTO.*

Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).

**B** Load Combination Data

The screenshot shows the 'Load Combination Data' dialog box for a user-generated combination named 'PESO SISMICO'. The 'Load Combination Type' is set to 'Linear Add'. Under the 'Options' section, there are buttons for 'Convert to User Load Combo' and 'Create Nonlinear Load Case from Load Combo'. The 'Define Combination of Load Case Results' section contains a table with the following data:

Load Case Name	Load Case Type	Mode	Scale Factor
DEAD	Linear Static		1.
DEAD	Linear Static		1.
ASFALTO	Linear Static		1.
VEREDAS Y BARANDAS	Linear Static		1.

Buttons for 'Add', 'Modify', and 'Delete' are located to the right of the table.

**Figura 38**

*Combinaciones para revisar cargas para el aislador*

Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).

**B** Load Combination Data

The screenshot shows the 'Load Combination Data' dialog box for a user-generated combination named 'ELUS'. The 'Load Combination Type' is set to 'Envelope'. Under the 'Options' section, there are buttons for 'Convert to User Load Combo' and 'Create Nonlinear Load Case from Load Combo'. The 'Define Combination of Load Case Results' section contains a table with the following data:

Load Case Name	Load Case Type	Mode	Scale Factor
EEIGroup16	Combination		1.
EEIGroup16	Combination		1.
Str1Group1	Combination		1.

Buttons for 'Add', 'Modify', and 'Delete' are located to the right of the table.

**Figura 39**

*Combinaciones para revisar cargas para el aislador*

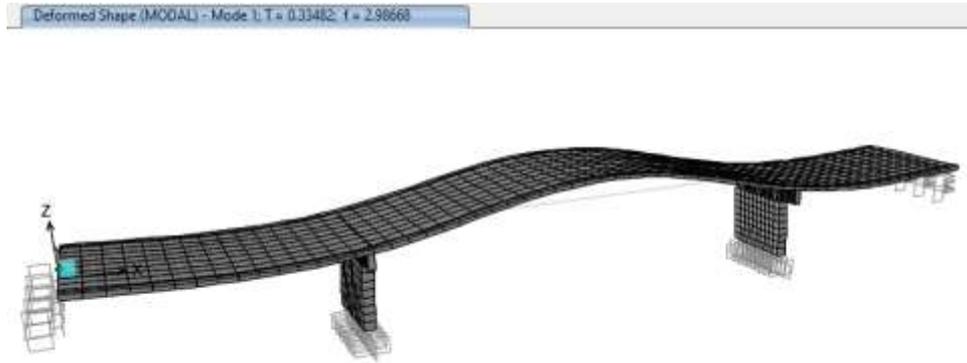
Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).

## Revisión del Análisis

Preparamos los resultados a verificar el uso del aislador con los datos del análisis, periodo de la estructura obtenido simulando como existe actualmente con apoyos fijos y desplazamiento dentro de los parámetros escogidos para el dicho aislador base.

La carga de servicio incluida la carga vehicular nos dará la carga sísmica para evaluar el aislador a colocar en el puente.

Efectos modal y participación de masa de puente existente



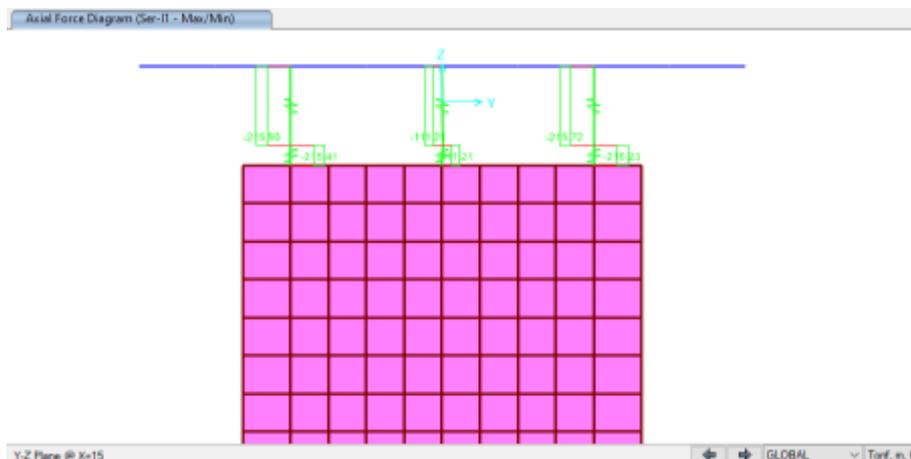
**Figura 40**

*Efecto modal, periodo de la estructura: ( $T=0.3348\text{seg}$ )*

Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).

## Carga de servicio para la revisar aislador

De las 5 vigas existentes 3 vigas se asientan sobre la pila con lo que obtenemos la carga de servicio para evaluar el aislador.



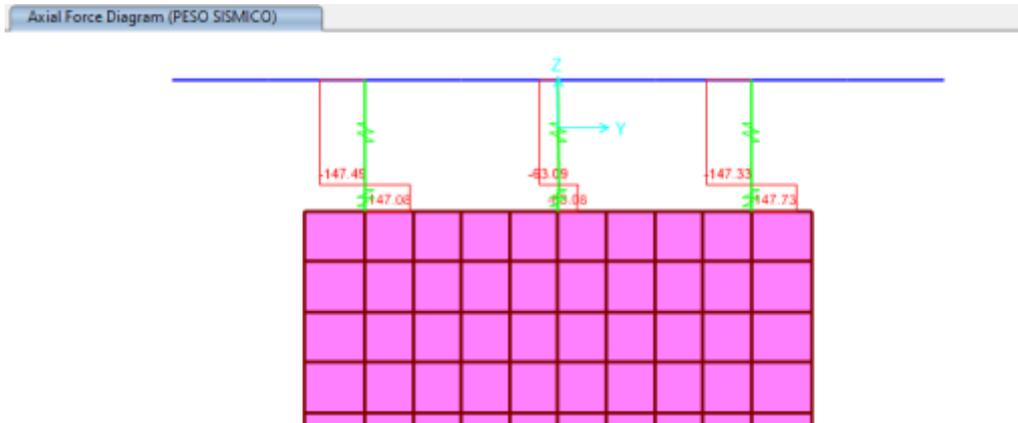
**Figura 41**

*Carga de Servicio  $W_{serv} = 215 \text{ ton}$  (carga muerta + carga viva)*

Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).

## Carga Sísmica obtenida revisar aislador

De las 5 vigas existentes 3 vigas se asientan sobre la pila con lo que obtenemos el peso sísmico para evaluar el aislador.



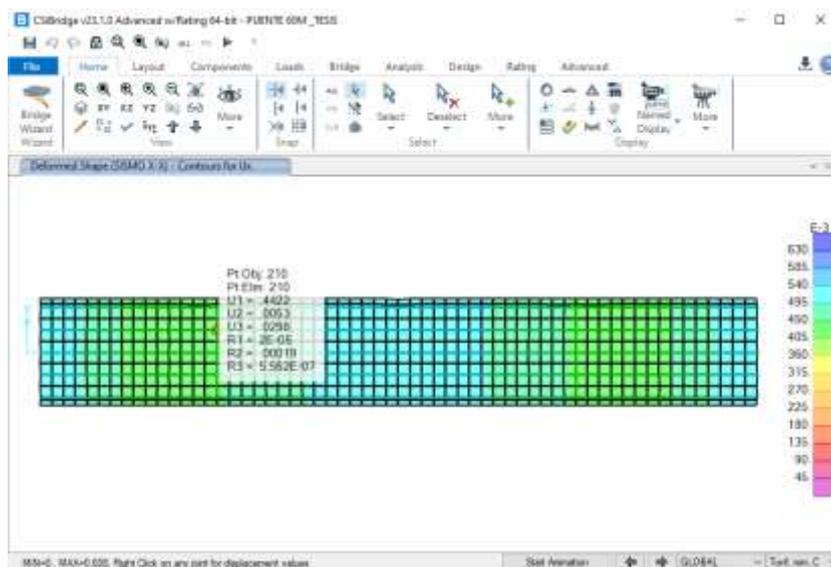
**Figura 42**

Carga Sísmica  $W_{sism} = 148 \text{ ton}$  (carga muerta)

Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).

## Desplazamiento de puente sin aislador

Este es obtenido por fuerza sísmica en la dirección longitudinal



**Figura 43**

Desplazamiento del puente sin aislador  $\Delta = 0.44 \text{ mm}$ ; SISMO X

Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).

### 3.7.2. Análisis de puente existente con aisladores L= 60.0m

Se verifica los datos de la elección del aislador con el programa en un segundo modelo donde se contempla la idealización del aislador en las partes a utilizar.

De la tabla se selecciona los aisladores TLRI que son los LRB, apoyos elastoméricos con núcleo de plomo cabe mencionar que están basados en desplazamientos experimentales con datos técnicos conforme a EN 15129:2009 (E) – cap. 8.2

Originado varias iteraciones con las propiedades mecánicas se elaboró una hoja de Excel para obtener datos para el aislador dentro del programa.

TLRI PUENTES CON AISLADOR TLRI		APOYO ELASTOMERICO CON NUCLEO DE PLOMO														
EN 15129:2009 [E] - cap. 8.2		25 MPa sobre caucho														
d <sub>td</sub> 350mm	AISLADOR	DIÁMETRO DEL CAUCHO	ALTURA TOTAL (INCLUYENDO CHAPAS EXTERNAS)	TAMANO DE CHAPA GENERAL	ESPESOR TOTAL DEL CAUCHO	FACTOR DE FORMA	RIGIDEZ VERTICAL	RIGIDEZ HORIZONTAL EFECTIVA AL d <sub>td</sub>	AMORTIGUACIÓN EFECTIVA EN d <sub>td</sub>	DESPLAZAMIENTO DE DEFORMACIÓN	CARGA DE DEFORMACIÓN HORIZONTAL	DESPLAZAMIENTO DE DISEÑO HORIZONTAL (EN 1998)	CARGA DE DISEÑO HORIZONTAL	CARGA ESTÁTICA VERTICAL MÁXIMA ELU	CARGA SÍSMICA VERTICAL MÁXIMA	
		D (mm)	H <sub>td</sub> (mm)	L x L (mmxmm)	T <sub>s</sub> (mm)	S (-)	K <sub>v</sub> (kN/mm)	K <sub>eff</sub> (kN/mm)	X <sub>eff</sub> (%)	d <sub>y</sub> (mm)	F <sub>y</sub> (kN)	d <sub>td</sub> (mm)	H <sub>td</sub> (mm)	N <sub>SLU</sub> (kN)	N <sub>SEISM</sub> (kN)	
CAUCHO SOFT	TLRI-550-SM-175/90	550	337	600X600	175	26.3	882	0.8	24	17	81	213	176	4000	1950	
	TLRI-600-SM-175/100	600	337	650X650	175	28.7	1163	1.0	25	17	99	213	213	6050	2700	
G <sub>án</sub> = 0.4 MPa* ξ <sub>h</sub> = 10%-15%*	TLRI-650-SM-180/105	650	327	700X700	180	25.9	1190	1.1	24	17	110	213	240	5750	3500	
	TLRI-700-SM-180/115	700	342	750X750	180	28.0	1506	1.3	25	17	131	213	281	8400	4450	
	TLRI-750-SM-175/125	750	322	800X800	175	25.7	1613	1.6	25	17	155	213	332	9700	5500	
	TLRI-800-SM-175/135	800	322	850X850	175	27.4	1981	1.8	25	17	180	213	381	11100	6600	
	TLRI-850-SM-176/140	850	314	900X900	176	25.5	2053	2.0	24	17	194	213	422	12650	7850	
	TLRI-900-SM-176/150	900	329	950X950	176	27.0	2464	2.2	25	17	223	213	477	14250	9150	
	TLRI-950-SM-176/160	950	329	1000X1000	176	28.5	2920	2.5	25	18	253	213	535	15950	10550	
	TLRI-1000-SM-180/165	1000	327	1050X1050	180	26.7	2946	2.7	25	17	269	213	576	17750	12050	
	TLRI-1100-SM-180/180	1100	336	1150X1150	180	26.5	3538	3.2	24	17	321	213	693	21650	15400	
	TLRI-1200-SM-180/200	1200	336	1250X1250	180	28.9	4647	3.9	25	18	395	213	835	25850	19050	

Figura 44

Para un desplazamiento d=350mm se ha hecho la elección del aislador

Fuente: Tensa grupo de eccher

## PROPIEDADES MECANICAS DEL AISLADOR PARA PUENTES

### A) PROPIEDADES A COMPRESION:

Carga estática vertical máx	$P_{ELU} = 5750 \text{ kN}$	$P_{ELU} = 586.34 \text{ ton}$
Carga sísmica vertical máx	$P_{SISM} = 3500 \text{ kN}$	$P_{SISM} = 356.90 \text{ ton}$
Rigidez Vertical	$K_V = 1190 \text{ kN/mm}$	$K_V = 121346.68 \text{ ton/m}$
Peso sobre el aislador	carga muerta+carga viva	$W = 215 \text{ ton}$

**Figura 45**

*Simulación de aislador en puente*

Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).

### B) PROPIEDADES A CORTE:

Desplazamiento de deformación	$d_y = 17 \text{ mm}$	
Carga de deformación horizontal	$F_y = 110 \text{ kN}$	
Rigidez Inicial Elástica	—	$K_e = 6.587 \text{ ton/cm}$

**Figura 46**

*Simulación de aislador en puente, propiedades a corte.*

Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).

## RIGIDEZ POST FLUENCIA

$D_e = 650 \text{ mm}$	Diametro extremo	$D_{pb} = 105 \text{ mm}$	Diametro del núcleo de plomo
$H_r = 180 \text{ mm}$	Altura total solo Caucho		
$f_i = 1.5$	Coeficiente para mayoración de la rigidez post fluencia debido al Plomo		
$G = 0.4 \text{ Mpa}$	Modulo de corte del Caucho		

**Figura 47**

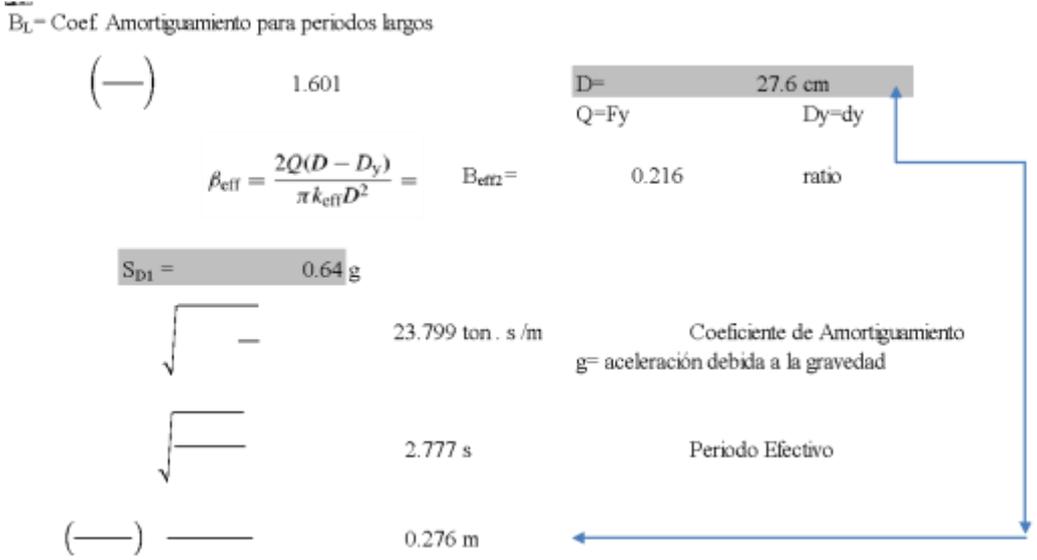
*Simulación de aislador en puente, rigidez post fluencia.*

Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).

— ( — )	3231.717 cm <sup>2</sup>	Área total de Aislador	
—	109.848 ton/m	Rigidez Post Fluencia	
Rigidez horizontal efectiva	<b>K<sub>eff</sub>= 1.1 kN/mm</b>		K <sub>eff</sub> = 111.971 ton/m
Amortiguamiento efectivo	<b>B<sub>eff</sub>= 0.24</b>	ratio	

**Figura 48**  
*Simulación de aislador en puente, rigidez post fluencia.*

Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).



**Figura 49**  
*Simulación de aislador en puente, rigidez post fluencia.*

Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).

DATOS PARA CSI BRIDGE	
Propiedades en la Dirección U1	
1) Propiedades Lineales	
K <sub>v</sub> =	121346.68 ton/m
2) Propiedades No Lineales	
K <sub>v</sub> =	121346.68 ton/m

**Figura 50**  
*Datos para CsiBridge.*

Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).

## Propiedades en la Dirección U2; U3

### 1) Propiedades Lineales

Rigidez Efectiva	Effective Stiffness
$K_{eff} =$	112.1692 ton/m
Amortiguamiento Efectivo	Effective Damping
$C =$	23.799 ton . s /m

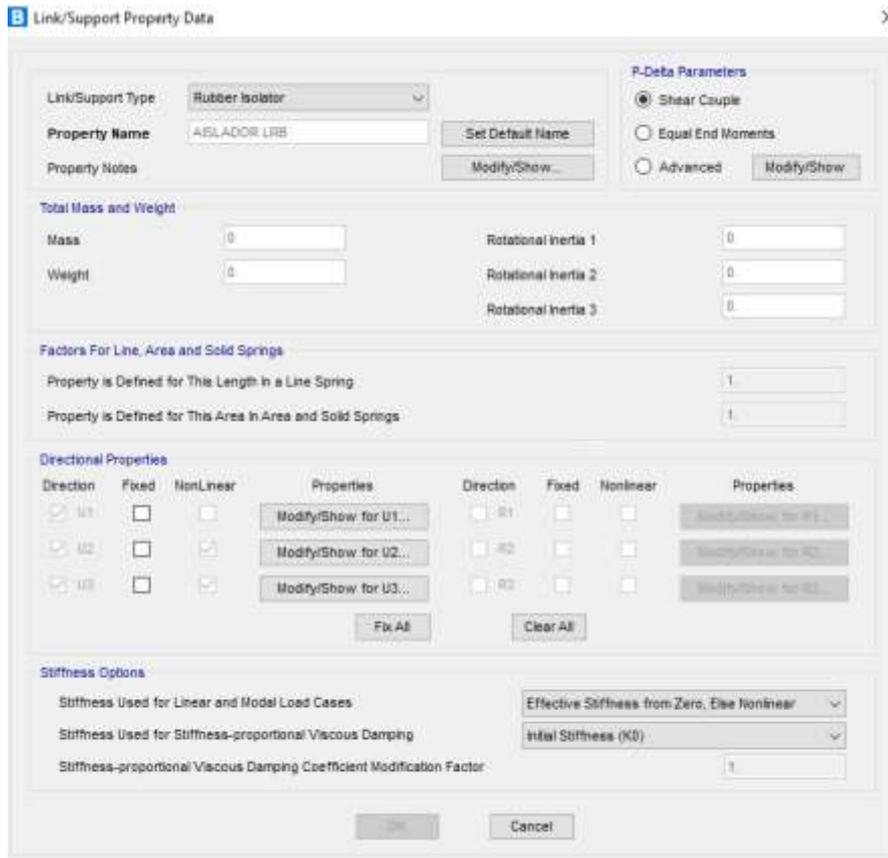
### 2) Propiedades No Lineales

Rigidez Elástica - Stiffness	
$K_e =$	658.654 ton/m
Fuerza de Fluencia - Yield Streight	
$F_y =$	11.217 ton
Relación $K_p/K_e$ --- Post Yield Stiffness ratio	
$K_p/K_e =$	0.167

**Figura 51**

*Datos para CsiBridge.*

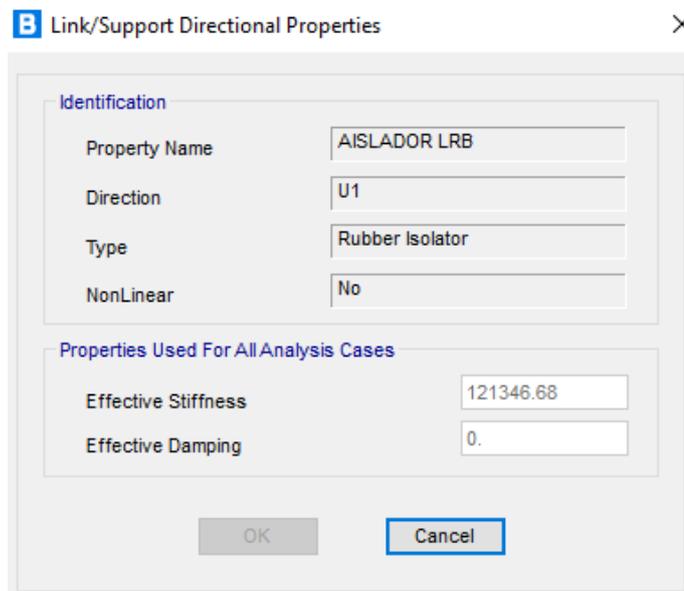
Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).



**Figura 52**

*Propiedades obtenidas para evaluar el aislador*

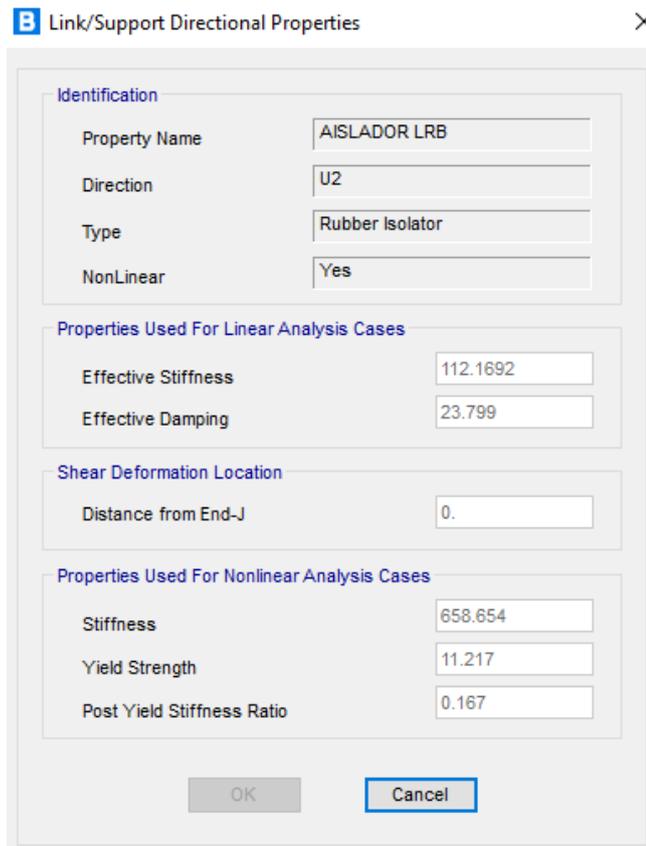
Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).



**Figura 53**

*Propiedades obtenidas para evaluar el aislador*

Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).

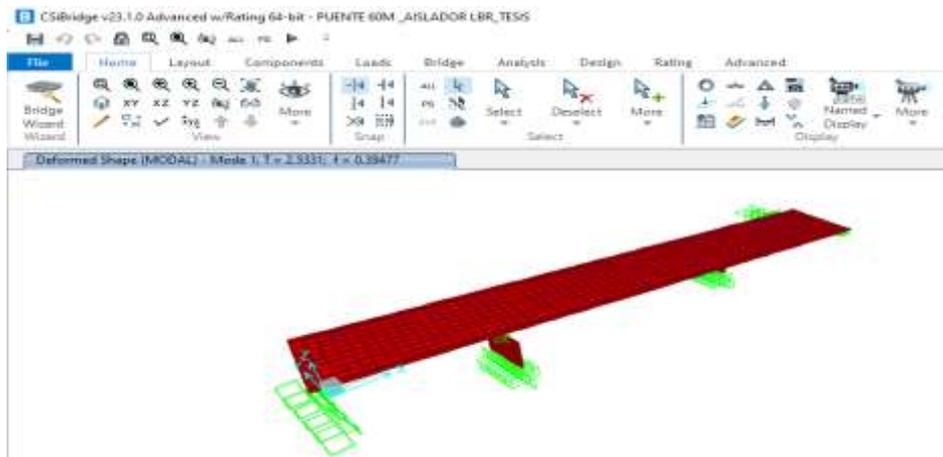


**Figura 54**

*Propiedades obtenidas para evaluar el aislador*

Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).

Efecto modal con aislador se espera que el periodo sea mayor de 2.0 seg o mayor

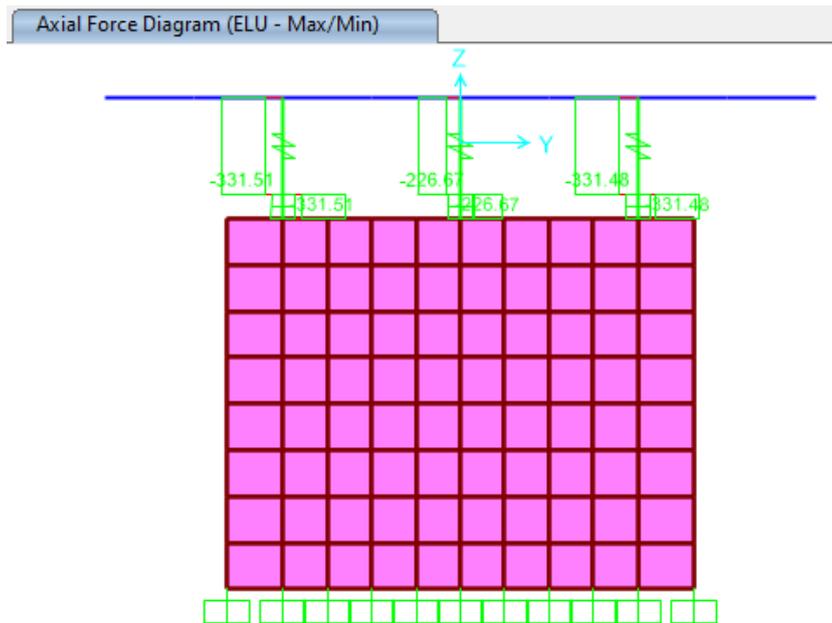


**Figura 55**

*Efecto modal, periodo de la estructura con aislador: ( $T=2.533\text{seg} > T=0.3348\text{seg}$ ) OK*

Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).

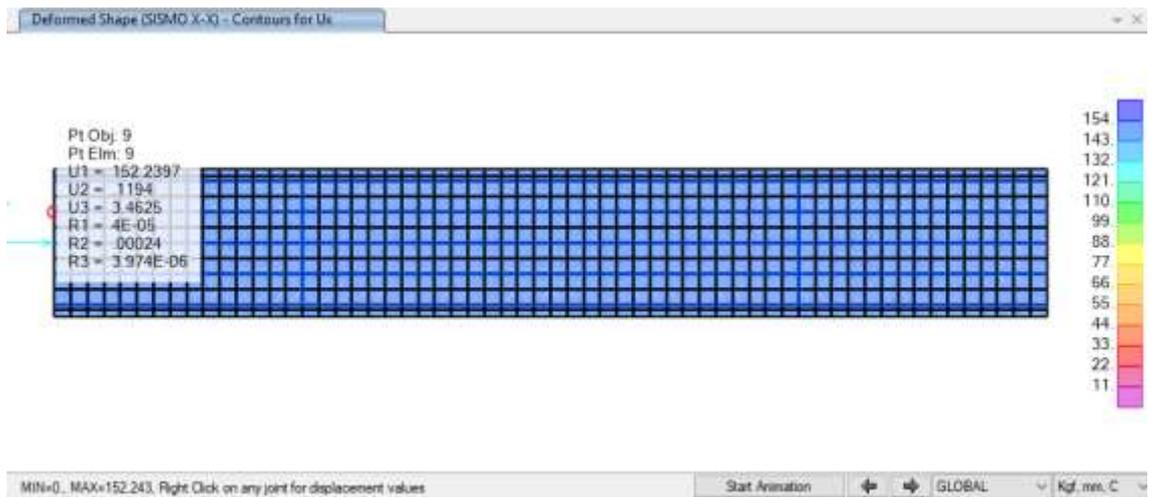
$P_{ELU} = 332 \text{ ton} < 586.34 \text{ ton}$  por lo tanto el aislador satisface para cargas ultimas



**Figura 56**

*Carga Axial para aislador en estado ultimo*

Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).



**Figura 57**

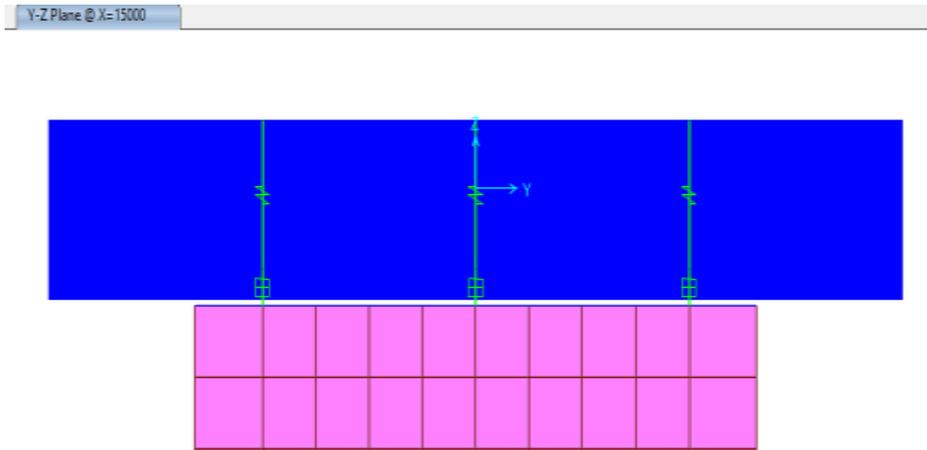
*Desplazamiento de puente con aislador*

Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).

Este es obtenido por fuerza sísmica en la dirección longitudinal

Desplazamiento máximo esperado del aislador de 350mm

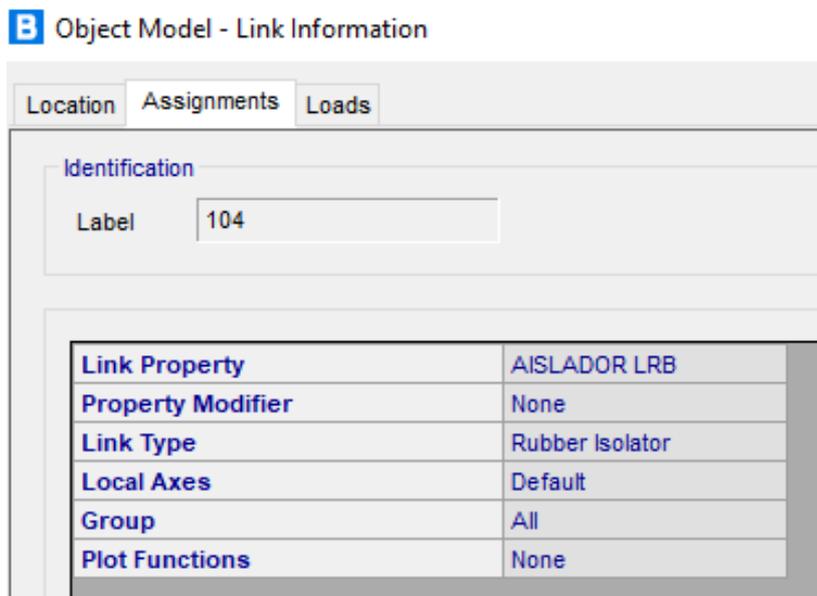
Desplazamiento del puente con aislador  $\Delta = 152 \text{ mm}$ ; SISMO X, Adecuado



**Figura 58**

*Aisladores asignados en la pila de puente existente*

Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).



**Figura 59**

*Aisladores asignados en la pila de puente existente*

Elaborado por: (Páez & Pérez, 2022).

## CONCLUSIONES

1) En este proyecto identificamos 4 tipos de aisladores sísmicos en el cual cada uno de estos tiene su efectividad, durabilidad y comportamiento específico en base al cálculo estructural.

2) El aislador utilizado en nuestro proyecto es el tipo LRB o TLRI, aislador con núcleo de plomo en centro capaz de absorber la energía del sismo y al disipar los cauchos controlan el desplazamiento del aislador recomendado con un desplazamiento de uso para puentes. Se determinó que el aislador tiene la rigidez y rendimiento adecuado

3) Debido a la rigidez horizontal limitada estos dispositivos son capaces de adaptarse a grandes desplazamientos producidos por acción sísmica, reduciendo de este modo la fuerza horizontal que se transmite a la estructura

## **RECOMENDACIONES**

Estudiar más en el campo del uso de los aisladores, ya que su uso resulta beneficioso para que dichas estructuras puedan extender sus años de servicio.

Realizar una segunda etapa que se evalué el costo de los aisladores en el puente y su montaje en cada apoyo indicando la metodología para realizar dicho trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, J., & Cordero, P. (2018). *Análisis dinámico no lineal en 3D de Hospital Regional Vicente Corral Moscos de la ciudad de Cuenca, Provincia del Azuay y propuesta de mitigación*. Trabajo de titulación para optar el título de Ingeniero Civil con énfasis en Gerencia de Construcciones, Universidad del Azuay, Facultad de Ciencia y Tecnología, Escuela de Ingeniería Civil y Gerencia de Construcciones, Ecuador. Obtenido de <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/8486/1/14204.pdf>
- ASCE. (2016). *American Society of Civil Engineers Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures*.
- Dunn, K. (2021). *Comportamiento de estructuras con dispositivos antisísmicos*. Tesis para optar el título de Master en Ingeniería Estructural y de la Construcción, Escola de Camins UPC BarcelolaTech, Escola Tecnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports, España. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/346189/Trabajo%20de%20Fin%20de%20Master%20-%20Kevin%20Dunn%20Arias.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Genatios, C., & Lafuente, M. (2016). *Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras*. (P. Maragno, Ed.) Caracas, Venezuela: CAF-Banco de Desarrollo de América Latina.
- Gómez, D., Marulanda, J., & Thomson, P. (2008). Sistemas de control para la protección de estructuras civiles sometidas a cargas dinámicas. *Rev. Dyna*, 75(155), 77-89. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/496/49611953009.pdf>
- Grupo Vikingo. (2020). *Aisladores Sísmicos*. Obtenido de Aislador de caucho natural : <https://cauchosvikingo.com/aisladores-sismicos/>
- Kaoutar, Z., & Tahar, K. (2015). Influence of seismic isolation system on bridge responses. *Revista Ingeniero de Construcción RIC*, 210-214. Obtenido de [https://www.scielo.cl/pdf/ric/v30n3/en\\_art06.pdf](https://www.scielo.cl/pdf/ric/v30n3/en_art06.pdf)
- MAGEBA. (2021). *Protección antisísmica megeba - preservación fiable de estructuras; Aislador con Núcleo de Plomo LASTO*. Boletín Técnico, Mageba Group, México. Obtenido de <https://www.mageba->

group.com/global/data/docs/es/2574/BROCHURE-LASTO-LRB-latam-es.pdf?v=1.2

- Medina, G., & Choque, J. (2017). *Análisis comportamiento y diseño en concreto armado de un edificio de 6 niveles con un sótano con aisladores elastoméricos con núcleo de plomo*. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de San Agustín, Facultad de Ingeniería Civil, Perú. Obtenido de <https://docplayer.es/87804784-Analisis-comportamiento-y-diseno-en-concreto-armado-de-un-edificio-de-6-niveles-con-un-sotano-con-aisladores-elastomericos-con-nucleo-de-plomo.html>
- Mullo, C. (2014). *Análisis y diseño de un edificio con aisladores sísmicos, modelamiento en ETBAS*. Trabajo de graduación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemática, Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2997/1/T-UCE-0011-117.pdf>
- Muñoz, K., & Torres, J. (2021). *Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas entre el hormigón asfáltico con inclusión de colillas de cigarrillo recicladas y el hormigón asfáltico tradicional*. Proyecto de investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Industria y Construcción, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/2612/1/T-ULVR-2410.pdf>
- Piscal, C., & López, F. (2018). Proposal for the future design code for seismic isolation of buildings in Colombia. *Rev. Dyna*, 85(207), 306-315. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/496/49658894039/49658894039.pdf>
- Rico, L., & Chio, G. (2012). Uso de aisladores de base en puentes de concreto simplemente apoyados. *Rev. Tecnura*, 16(34), 103-124. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/tecn/v16n34/v16n34a09.pdf>
- Thomson, P. (2001). *Sistemas de Control Estructural*. Memorias del Primer Ecuencuentro del Acero en Colombia, Cartagena.
- Wang, Y., Rind, C., Trepte, G., Kent, G., Yue, K., & Skeens, K. (1998). An empirical model study of the tropospheric meridional circulation based on SAGE II observation. *J. Geophys. Res.*(103), 13801-13818. doi:10.1029-98JD00204
- Zayas, V., Low, S., & Mahin, S. (1990). A simple pendulum technique for achieving seismic isolation. *Rev. Earthquake Spectra*, 6, 317-334.

## ANEXOS

### Anexo 1

Vista lateral del puente



## Anexo 2

Vista de las bases del puente



### Anexo 3

Vista lateral del puente

