

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UPLA
UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

TESIS

**PROPUESTA DE AISLADORES SÍSMICOS COMO
SISTEMA DE PROTECCION ANTE ACCIONES
SISMICAS EN LA ESTRUCTURA DE PUENTES
CONTINUOS - HUANCAYO 2021**

PRESENTADO POR:

Bach. CARLOS ROGER HUARACA TORALVA

Línea de investigación Institucional: Nuevas Tecnologías y Procesos

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

HUANCAYO - PERU

2022

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UPLA
UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

TESIS

**PROPUESTA DE AISLADORES SÍSMICOS COMO
SISTEMA DE PROTECCION ANTE ACCIONES
SISMICAS EN LA ESTRUCTURA DE PUENTES
CONTINUOS - HUANCAYO 2021**

PRESENTADO POR:

Bach. CARLOS ROGER HUARACA TORALVA

Línea de investigación Institucional: Nuevas Tecnologías y Procesos

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

HUANCAYO - PERU

2022

Ph. D. Mohamed Mehdi Hadi Mohamed
ASESOR

DEDICATORIA

A mi madre Gregoria por cuidar de mí desde que llegue a la tierra y entregar mi vida en las manos de Dios, a mi esposa Nilda por las incansables oraciones a Dios para permanecer de pie. y a toda mi familia su apoyo y clamor a Dios por mi vida.

Autor: Carlos Roger. Huaraca Toralva

AGRADECIMIENTO

A Dios por la oportunidad de darme amplia sabiduría,
Inmensamente agradezco por la vida, la salud, las
oportunidades y el futuro de mi vida,
Carlos R. Huaraca Toralva

HOJA DE CONFORMIDAD DE JURADOS

DR. Ruben Dario Tapia Silguera

PRESIDENTE

Mg. Ing. Jesús Iden Cárdenas Capcha

JURADO

Mg. Ing. Javier Reynoso Oscanoa

JURADO

Dr. Ing. Francisco Cyl Godiño Poma

JURADO

Ing. Leonel Untiveros Peñaloza

SECRETARIO DOCENTE

INDICE GENERAL

RESUMEN	xix
ABSTRACT	xx
INTRODUCCION	xxi

CAPITULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	23
1.2. FORMULACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA	35
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	35
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	35
1.3. JUSTIFICACIÓN	35
1.3.1. SOCIAL.....	35
1.3.2. TEÓRICA	35
1.3.3. METODOLÓGICA	36
1.4. DELIMITACIONES DEL PROBLEMA	36
1.4.1. ESPACIAL	36
1.4.2. TEMPORAL	36
1.4.3. ECONÓMICA	37
1.5. LIMITACIONES	37
1.5.1. LIMITACION ECONOMICA	37
1.6. OBJETIVOS	38
1.6.1. OBJETIVO GENERAL	38
1.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	38

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN	40
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	40
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONES	43

2.2.	MARCO CONCEPTUAL	46
2.2.1.	AMENAZA SISMICA	46
2.2.2.	DISEÑO SISMICO	51
2.2.3.	CARGAS EN PUENTES.	55
2.2.4.	NORMA TÉCNICA E. 031 (AISLAMIENTO SÍSMICO)	58
2.2.5.	MANUAL DE PUENTES	59
2.2.6.	ANALISIS SISMICO	59
2.2.7.	METODOS PARA EL PROCEDIMIENTO DE ANALISIS	60
2.2.8.	AISLADORES SÍSMICOS (Dispositivo de apoyos)	69
2.3.	DEFINICION DE TERMINOS	78
2.4.	HIPOTESIS	80
2.4.1.	HIPOTESIS GENERAL	80
2.4.2.	HIPOTESIS ESPECÍFICAS	80
2.5.	VARIABLES	80
2.5.1.	DEFINICION CONCEPTUAL DE LA VARIABLE	80
2.5.2.	DEFINICION OPERACIONAL DE LA VARIABLE	81
2.5.3.	OPERACIONALIZACION DE LA VARIABLE	82

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1.	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	83
3.2.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	83
3.3.	NIVEL DE INVESTIGACIÓN	84
3.3.1.	NIVEL DESCRIPTIVO	84
3.4.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	84
3.4.1.	NO EXPERIMENTAL	84
3.5.	POBLACIÓN Y MUESTRA	84
3.5.1.	POBLACION	84
3.5.2.	MUESTRA	85
3.6.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	85
3.7.	PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	85

3.8. TÉCNICAS Y ANÁLISIS DE DATOS	85
---	----

CAPITULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACION

4.1. PROCEDIMIENTOS PARA LA TESIS DE INVESTIGACION	86
4.2. UBICACIÓN DE LA TESIS DE INVESTIGACION	86
4.3. CLASIFICACION DEL TIPO DE SUELO PARA LA TESIS	87
4.4. CONSIDERACIONES PARA EL PUENTE CONTINUO	90
4.4.1. DESCRIPCION DE LOS MATERIALES	90
4.4.2. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS PARA EL PUENTE	92
4.5. MODELADO Y ANALISIS DEL PUENTE.....	95
4.5.1. MODELADO ESTRUCTURAL DEL PUENTE CONTINUO	95
4.5.2. COMPONENTES DEL PUENTE	97
4.6. DETERMINACION DE CARGAS Y RIGIDEZ	98
4.6.1. CARGA PERMANENTE INCLUIDO CARGA MUERTA	98
4.6.2. SOBRE CARGA VEHICULAR DE DISEÑO (HL-93)	101
4.6.3. VERIFICACION DE LA DEFORMACION	103
4.6.4. PESO DE LA SUPER ESTRUCTURA INCLUYENDO CARGA PERMANENTE	105
4.6.5. PESO TOTAL DE LOS PILARES O APOYOS BENT	105
4.6.6. PESO EFECTIVO (PARA EL CÁLCULO DEL PERIODO)	106
4.6.7. RIGIDEZ DE LA SUB ESTRUCTURA EN AMBAS DIRECCIONES	106
4.7. DESEMPEÑO REQUERIDO	107
4.8. IDENTIFICACION DE LA AMENAZA SISMICA	108
4.8.1. COEFICIENTES	108
4.8.2. CLASE DE SITIO	108
4.9. ANALISIS DEL DESPLAZAMIENTO DEL PUENTE SISMICAMENTE NO AISLADO	109
4.9.1. ANALISIS MULTIMODAL (MM)	109
4.9.2. ANALISIS TIME HISTORY (TH)	112

4.10. PRODECIMIENTO Y ANALISIS DEL DESPLAZAMIENTO MAXIMO CON AISLADOR SISMICO	116
4.10.1. METODO SIMPLIFICADO (UL)	116
4.10.2. METODO ESPECTRAL MULTIMODAL (MM)	127
4.10.3. METODO TIME HISTORY DINAMICO (T-H)	142

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACION

5.1. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	156
5.2. ANALIZAR LA COMPARACION DE PERIODOS Y AMORTIGUAMIENTO	157
5.3. EVALUACION DE COMPARACION DE LA RESPUESTA SÍSMICA DEL PUEENTE	159
5.3.1. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE DESPLAZAMIENTOS	159
5.3.2. RESUMEN DE RESULTADOS COMPARATIVO DE DESPLAZAMIENTOS	161

CONCLUSIONES	165
RECOMENDACIONES	166
REFERENCIAS	167
ANEXOS	169

INDICE DE TABLA

Tabla 1.1 Ranking de los terremotos más fuertes según la escala de Richter ocurridos en el mundo de 1900 a 2021.....	24
Tabla 1.2 Ranking de los últimos sismos en escala de Richter ocurridos en el mundo 2021 ...	24
Tabla 1.3 Ranking de los últimos sismos en escala de Richter ocurridos en el Perú 2021	25
Tabla 1.4 Ranking de los últimos sismos en escala de Richter ocurridos en Junín - Perú 2021	34
Tabla 1.5 Presupuesto y financiamiento de servicios y administrativos	37
Tabla 1.6 Presupuesto y financiamiento de Insumos	37
Tabla 2.1 Clasificación sísmica de suelos E.030, 2016.....	47
Tabla 2.2 Definición sísmica de clase de sitio.....	47
Tabla 2.3 Valores de factor de sitio F_{pga} , en periodo -cero en el espectro de aceleración	48
Tabla 2.4 Valores de factor de sitio F_a , para rango de periodo corto en el espectro de aceleración	49
Tabla 2.5 Valores de factor de sitio F_v , para rango de periodo largo en el espectro de aceleración	49
Tabla 2.6 Zonas sísmicas AASHTO.....	51
Tabla 2.7 Zonas sísmicas RNE.....	52
Tabla 2.8 Requerimientos mínimos de análisis por efecto sísmico.....	54
Tabla 2.9 Operacionalización de la variable	82
Tabla 4.1 Descripción de materiales de la perforación P-01 y P-02 Puente Chupuro	88
Tabla 4.2 Nivel freático en las perforaciones P-01 y P-02 Puente Chupuro	88
Tabla 4.3 Variación de velocidad de onda “S” en función a la profundidad P-01 Puente Chupuro	89

Tabla 4.4 Variación de velocidad de onda “S” en función a la profundidad P-02 Puente Chupuro	89
Tabla 4.5 elementos del Concreto armado	90
Tabla 4.6 elementos del Acero de refuerzo ASTN A615 – grado 60.....	91
Tabla 4.7 Densidad (λ) de los materiales.....	91
Tabla 4.8 Peso específico de los materiales	92
Tabla 4.9 elementos descriptivos principales del puente continuo	94
Tabla 4.10 Cargas permanentes incluido carga muerta estructural y no estructural	99
Tabla 4.11 Limites para la verificación de la deformación de losa en puentes	103
Tabla 4.12 Parámetros AASHTO LRFD 2014 roca densa (tipo C)	108
Tabla 4.13 Tabla de datos obtenidos con el 5% de CSiBridge v22.1.0.....	110
Tabla 4.14 Desplazamiento del puente sin aislador MM	111
Tabla 4.15 Desplazamiento del puente sin aislador T-H.....	116
Tabla 4.16 Primera iteración	125
Tabla 4.17 Segunda iteración	126
Tabla 4.18 Apoyos con aisladores sísmicos	130
Tabla 4.19 Tabla de datos para Espectro de comparación de respuesta sísmica.....	137
Tabla 4.20 Resultado de desplazamiento sísmico con aisladores método Tiempo Historia. ..	155
Tabla 5.1 Comparación de periodos “Teff”, amortiguamiento “ ξ ” y factor de amortiguamiento “BL”, puente sin aislador en los 3 métodos.....	157
Tabla 5.2 Comparación de periodos “Teff”, amortiguamiento “ ξ ” y factor de amortiguamiento “BL”, puente con aislador en los 3 métodos	157
Tabla 5.3 Comparación de periodos “Teff”, amortiguamiento “ ξ ” y factor de amortiguamiento “BL”, puente con y sin aislador.....	158
Tabla 5.4 Comparación del periodo efectivo “Teff”, con aislador sísmico en los 3 métodos	158

Tabla 5.5 Comparación de resultados de desplazamiento con y sin aislador método Simplificado.....	159
Tabla 5.6 Comparación de resultados de desplazamiento con y sin aislador método Multimodal.	160
Tabla 5.7 Comparación de resultados de desplazamiento con y sin aislador método Time History dinámico.	161
Tabla 5.8 Comparación de resultados de desplazamiento long. y transv. sin aislador. método simplificado, método multimodal y método Time History dinámico.	162
Tabla 5.9 Comparación de resultados de desplazamiento long. y transv. con aislador. método simplificado, método multimodal y método Time History dinámico.	163

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Mapa de eventos sísmico del Perú hasta el 2019	27
Figura 1.2 Mapa del ultimo sismo ocurrido en Amazonas Perú el 28/11/2021	28
Figura 1.3 Ultimo evento sísmico de mayor magnitud (7.5) ocurrido en Amazonas Perú el 28/11/2021	29
Figura 1.4 Mapa de velocidad máxima del sismo ocurrido en Amazonas Perú el 28/11/2021.	30
Figura 1.5 Mapa de Aceleración máxima del sismo ocurrido en Amazonas Perú el 28/11/2021	31
Figura 1.6 Mapa de Intensidades Macro sísmicas ocurrido en Amazonas Perú el 28/11/2021	32
Figura 1.7 Mapa de ocurrencia sísmica en Amazonas Perú el 28/11/2021, que afecto a países vecinos	33
Figura 2.1 Espectro de Respuesta.....	50
Figura 2.2 Mapa de zonas sísmicas del Perú	52
Figura 2.3 Respuesta al espectro Huancayo. Tipo de suelo C.....	53
Figura 3.4 Camión estándar HL - 93.....	56
Figura 4.5 Camión tandem HL - 93.....	57
Figura 5.6 Camión tandem HL - 93.....	57
Figura 6.7 Camión H10 y H5.	58
Figura 7.8 Deformación del aislador y la sub estructura debido a la carga lateral.....	62
Figura 2.9 Diagrama de histéresis	67
Figura 8.10 Solicitaciones en dispositivos de apoyo.....	70
Figura 2.11 Aislador de Goma de alta amortiguación HDR y la histéresis.....	71
Figura 2.12 Aislador de caucho con núcleo de plomo LRB y la histéresis.....	72
Figura 2.13 Aislador de caucho con núcleo de plomo LRB y la histéresis.....	73
Figura 2.14 Aislador de caucho natural NRB y la histéresis.....	74

Figura 2.15 Aislador de caucho natural NRB y la histéresis.....	75
Figura 2.16 Cojinete de deslizamiento elástico	76
Figura 2.17 Cojinete de deslizamiento elástico	77
Figura 9.1 Ubicación de la tesis de investigacion y mapa sísmica.....	87
Figura 4.2 Plano en planta - Puente propuesto	92
Figura 4.3 Plano frontal - puente propuesto	93
Figura 4.4 Plano Elevación lateral - puente propuesto.....	93
Figura 4.5 Esquema propuesto de la viga presforzada - puente propuesto	94
Figura 4.6 Planteamiento general 1 del modelamiento estructural CSiBridge v22.1.0.....	96
Figura 4.7 Planteamiento general 2 del modelamiento estructural CSiBridge v22.1.0.....	96
Figura 4.8 Componentes del modelamiento estructural del puente CSiBridge v22.1.0.....	98
Figura 4.9 Carga superficial no estructural distribuida de la carpeta asfaltica en toda la plataforma del puente CSiBridge v22.1.0	100
Figura 4.10 Carga lineal no estructural de la baranda metalica en ambas margenes del puente CSiBridge v22.1.0	100
Figura 4.11 Carga distribuida no estructural de la vereda en ambas margenes del puente CSiBridge v22.1.0	101
Figura 4.12 Tipo de vehículo HL – 93M tándem. CSiBridge v22.1.0.....	102
Figura 4.13 Tipo de vehículo HL – 93K camión. CSiBridge v22.1.0.....	102
Figura 4.14 Tipo de vehículo HL – 93S carril. CSiBridge v22.1.0.....	102
Figura 4.15 Deflexión en tramo 1 CSiBridge v22.1.0.....	104
Figura 4.16 Deflexión en tramo 2 CSiBridge v22.1.0.....	104
Figura 4.17 Deflexión en tramo 3 CSiBridge v22.1.0.....	105
Figura 4.18 Rigidez longitudinal del puente CSiBridge v22.1.0.....	106
Figura 4.19 Rigidez transversal del puente CSiBridge v22.1.0.....	107

Figura 4.20 Respuesta al espectro Huancayo. Tipo de suelo C.....	109
Figura 4.21 Mapa de isoaceleraciones espectrales suelo tipo “C”	111
Figura 4.22 Espectro de respuesta de las aceleraciones de sismos ocurridos en el Perú de los 3 años.....	112
Figura 4.23 Espectro de diseño a través de la curva de diseño sísmico para 1 seg. En las aceleraciones de sismos ocurridos en el Perú.....	113
Figura 4.24 Espectro de sismos ocurridos versus espectros de diseño sísmicos con registros sísmicos ocurridos en el Perú	114
Figura 4.25 Frecuencias de sismos inicial y frecuencias de sismos de diseño.	115
Figura 4.26 Deformaciones del aislador y de la subestructura debido a la carga lateral del puente – AASHTO 2017	119
Figura 4.27 Rigidez efectiva combinada del aislador bilineal y la subestructura de soporte lineal – AASHTO 2017	120
Figura 4.28 Para cada aislador se ingresa la Rigidez inicial, rigidez efectiva y fuerza de cedencia, para el estribo norte y el estribo sur. Mismos datos	128
Figura 4.29 Para cada aislador se ingresa la Rigidez inicial, rigidez efectiva y fuerza de cedencia, para el pier 1 y pier 2. Mismos datos.....	128
Figura 4.30 Periodo objetivo alcanzados longitudinal y transversal en el 1er modo con aislador y en los 12 modales	129
Figura 4.31 Periodo objetivo alcanzados T1 longitudinal y T2 transversal en el 1er modo con aislador.....	129
Figura 4.32 Aislador de caucho de alto amortiguamiento con núcleo de plomo	131
Figura 4.33 características del Aislador de caucho de alto amortiguamiento con núcleo de plomo	132
Figura 4.34 Propiedades de los materiales del Aislador de caucho de alto amortiguamiento con núcleo de plomo.....	132
Figura 4.35 Propiedades por corte horizontales del Aislador de caucho de alto amortiguamiento con núcleo de plomo.....	133

Figura 4.36 Catalogo de selección del tipo de aislador de caucho de alto amortiguamiento con núcleo de plomo.....	134
Figura 4.37 Dimensiones del Aislador de caucho de alto amortiguamiento con núcleo de plomo	135
Figura 4.38 Partes definidas del Elemento de apoyo de elastómeros.....	136
Figura 4.39 Espectro de diseño modificado con 20% de amortiguación	138
Figura 4.40 Espectro de comparación de respuesta sísmica.....	139
Figura 4.41 Espectro de Respuesta sísmica para el sistema de aislación.	139
Figura 4.42 Espectro aislado en la dirección sísmica x-x.....	140
Figura 4.43 Diferencia de desplazamiento máximo en CSiBridge v22.1.0 en la dirección sísmica x-x.	140
Figura 4.44 Diferencia de desplazamiento máximo en CSiBridge v22.1.0 en la dirección sísmica y-y.....	141
Figura 4.45 Fuerza de sismo en el sistema aislado en ambas direcciones y la cortante en los pilares. Bridge v22.1.0.....	142
Figura 4.46 Aceleraciones de sismos ocurridos en el Perú, 5 sismos mas fuertes dentro de los 2500 años.....	143
Figura 4.47 Registros directos de sismos ocurridos en el Perú.	144
Figura 4.48 Espectro modificado al 20%	145
Figura 4.49 Partes de un Registro escalado o normalizado.....	145
Figura 4.50 T-H 7035. Registro escalado o normalizado a nivel de diseño.....	146
Figura 4.51 T-H 7036. Registro escalado o normalizado a nivel de diseño.....	147
Figura 4.52 T-H 7038. Registro escalado o normalizado a nivel de diseño.....	148
Figura 4.53 T-H 7039. Registro escalado o normalizado a nivel de diseño.....	149
Figura 4.54 T-H 7050. Registro escalado o normalizado a nivel de diseño.....	150
Figura 4.55 T-H 7051. Registro escalado o normalizado a nivel de diseño.....	151

Figura 4.56 Verificamos los nodos en la estructura a traves de CSiBridge v22.1.0.	152
Figura 4.57 Verificamos el peso total no lineal de la estructura con CSiBridge v22.1.0.	152
Figura 4.58 Evaluación tiempo–historia direcc long. (x-x) con CSiBridge v22.1.0.	153
Figura 4.59 Evaluación tiempo–historia direcc transv. (y-y) con CSiBridge v22.1.0.	154
Figura 5.1 Comparacion de resultados de desplazamiento con y sin aislador metodo multimodal graficamente con diferencia de 30%.	160
Figura 5.2 Comparacion de resultados de desplazamiento con y sin aislador metodo Time History graficamente con diferencia de 25%.	161
Figura 5.3 Comparacion de resultados de desplazamiento longitudinal sin aislador método simplificado, método multimodal y método Time History dinámico graficamente.....	162
Figura 5.4 Comparacion de resultados de desplazamiento transversal sin aislador método simplificado, método multimodal y método Time History dinámico graficamente.....	163
Figura 5.5 Comparacion de resultados de desplazamiento longitudinal con aislador método simplificado, método multimodal y método Time History dinámico graficamente.....	164
Figura 5.6 Comparacion de resultados de desplazamiento transversal con aislador método simplificado, método multimodal y método Time History dinámico graficamente.....	164

RESUMEN

La tesis “**Propuesta de aisladores sísmicos como sistema de protección ante acciones sísmicas en la estructura de puentes continuos - Huancayo 2021**” se planteó para dar solución a los problemas; En países como Japón, Chile, China que ha sido golpeado por terremotos con magnitud mayor a 7,3 Richter, el Perú es un país sísmico al encontrarse en el “**Cinturón de fuego del Pacífico**”, donde sucede el 85% de la actividad sísmica mundial. El último sismo ocurrido en Perú fue el 28 de noviembre de 2021; de magnitud 7.5 Loreto; a 131km de profundidad. Se ha definido 3 criterios metodológicos (método simplificado, método multimodal y método tiempo – historia), con estos métodos se analizó la comparación del análisis sísmico y el comportamiento de la estructura del puente incorporado con los aisladores sísmicos. La tesis de investigación es cuantitativo, explicativo y no experimental, para el diseño de la propuesta del aislador sísmico se usó técnicas de recolección de datos de internet, libros, investigaciones y programas computacional. Se realizó el análisis comparativo de resultados de desplazamientos: sin aislador (método modal $D_x-x=17.785m$ y $D_y-y=15.892m$) y (Time-History $D_x-x=19.107m$ y $D_y-y=18.779m$), y con aislador (método simple $D_x-x=14.1336m$ y $D_y-y=13.8565m$), (método modal $D_x-x=13.53m$ y $D_y-y=12.12m$) y (Time-History $D_x-x=14.38m$ y $D_y-y=14.12m$), se concluye que sin aislador el desplazamiento es mayor y los puentes durante un sismo tendría a destruirse con mayor facilidad, la capacidad plástica a corte de los pilares= $536.55Tn$, la rigidez post cedencia $K_d=686kN/m > 636.915kN/m$, la rigidez efectiva $K_{eff}=1.24 \times 10^3KN/m > 1.227 \times 10^3KN/m$ y rigidez vertical $K_v=254.9Tn$. Aislador seleccionado LRB (incluye caucho con capacidad de resorte y el núcleo de plomo proporciona capacidad de amortiguación). se empleó la norma técnica E031, manuales de transporte, AASHTO 2017.

Palabra clave: aislamiento sísmico, puente, análisis sísmico

ABSTRACT

The thesis project "Proposal of seismic isolators as a protection system against seismic actions in the structure of continuous bridges - Huancayo 2021" was proposed to solve the problems; In countries like Japón, Chile, China have been hit by earthquakes with a magnitude greater than 7.3 Richter, Perú is a seismic country as it is located in the "Pacific Ring of Fire", where 85% of the world's seismic activity occurs. The last earthquake that occurred in Perú was on November 28, 2021; magnitude 7.5 Loreto; at 131km depth. Three methodological criteria have been defined (simplified method, multimodal method and time-history method), these methods were analyzed for the dimensioning of the elements of the seismic isolator and the behavior of the bridge structure. The research project is quantitative, explanatory and non-experimental, for the design of the seismic isolator proposal, data collection techniques from the internet, books, research and computer programs. The comparative analysis of displacement results was carried out: without insulator (modal method $D_x-x=17.785m$ y $D_y-y=15.892m$) and (Time-History $D_x-x=19.107m$ y $D_y-y=18.779m$) and with insulator (simple method $D_x-x=14.1336m$ and $D_y-y=13.8565m$), (modal method $D_x-x=13.53m$ and $D_y-y= 12.12m$) and (Time-History $D_x-x=14.38m$ and $D_y-y=14.12m$), the shear plastic capacity of the pillars= $536.55Tn$, the post yielding stiffness $K_d=686kN/m > 636.915kN/m$, the effective stiffness $K_{eff}=1.24 \times 10^3KN/m > 1.227 \times 10^3KN/m$ and vertical stiffness $K_v=254.9Tn$. Selected LRB isolator (includes spring capable rubber and lead core provides damping capability). the technical standard E031, transport manuals, AASHTO 2017 was used.

Key word: seismic isolation, bridge, seismic analysis

INTRODUCCION

En nuestro país en su mayoría contamos con puentes convencionales sin embargo son muy poquísimas que se tiene estudios experimentales y/o experiencias de puentes con aisladores sísmicos para la disipación de energía sísmica que proviene del sub suelo por muchos factores geológicos, según registrado por el Instituto Geofísico del Perú (IGP); en los últimos 12 años el ultimo sismo devastador ocurrido en el Perú fue el 26 de mayo del 2019, con una magnitud de 8; estos eventos sísmicos naturales han ocasionado grandes escalas de pérdidas de infraestructura, vidas y pérdidas económicas.

Los Puentes en Japona n sido incorporados aisladores sísmicos con goma, láminas de acero y reforzado con barras de plomo en su interior han sido eficientes su comportamiento como dispositivos en puentes durante sismos ocurridos en Japón después de los 80s actualmente Japón en sus normas de edificaciones a normado el construir en todo sus puentes y edificaciones con aisladores sísmicos. (Freddy Duran, Ph. D)

El 28 de noviembre 2021 de magnitud 7.5, en el distrito de Barranca, provincia de Datem del Marañón, departamento de Loreto, Amazonas con epicentro a 98 km al Este de Santa María de Nieva, profundidad con 131 km de profundidad. Las ondas sísmicas también llego hasta la ciudad de Huancayo a menor escala que ha sacudido levemente y no hubo daños ninguna ni pérdida económica.

El proyecto de tesis tiene como objetivo Al proponer aisladores sísmicos como sistema de protección ante acciones sísmicas en la estructura de puentes continuos - Huancayo 2021, que todo los componentes y/o elementos del puente deben estar dentro del rango nominal elástico funcionales e intactas cuando se diera un sismo leve y moderado, el puente debe estar diseñado para recibir daños leves y disminuir la vulnerabilidad de los elementos estructurales; esto indica que el puente debe estar en condiciones de transitabilidad cuando se diera un sismo extraordinario,

El proyecto de tesis se enfoca en la investigación científica cuantitativa y queda como una futura línea de investigación científica en el comportamiento estructural de puentes continuos con aisladores sísmicos.

Para la propuesta de los aisladores sísmicos como sistema de protección en la estructura de puentes continuos se calcula el desplazamiento de diseño, amortiguamiento efectivo y el sistema de aislamiento a través del apoyo del MANUAL DE PUENTES MTC aprobada según

Resolución Directoral el 20 de diciembre 2018, por ser uno de los documentos técnicos de carácter normativo que rige a nivel nacional y en la norma AASHTO LRFD de puentes.

Para calcular el peligro sísmico, las amenazas sísmicas, se extrajeron datos de sismos ocurridos hace 100 años atrás, se tomará en cuenta las características tecnológicas de los dispositivos de alta elasticidad de goma, con núcleo de plomo y del caucho natural (HDR, LRB y NRB) para disipar la energía sísmica y dar un amortiguamiento adecuado a la estructura del puente continuo.

CAPITULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

a. Realidad problemática que ocurre en el Mundo

Japón El terremoto de magnitud 7,3 Richter que golpeó el noreste de Japón el sábado (13.02.2021) ha dejado un centenar de heridos, aunque ninguno de ellos en situación grave, informó la agencia Kyodo. El terremoto también ha afectado a distintos tramos de puentes y de las líneas de tren de alta velocidad Tohoku, Yamagata y Akita en los que el servicio permanece suspendido. Japón se asienta sobre el llamado anillo de fuego, una de las zonas sísmicas más activas del mundo, (agencia Kyodo 2021)

Chile. El terremoto más fuerte jamás registrado golpeó la costa del sur de Chile en mayo de 1960. Fue un 9,5 Richter y duró largos 10 minutos, destruyendo ciudades completas y modificando la geografía de esa región del país. Casi 6 mil personas perdieron la vida. (Serrano, editor del diario BBC NEWS Mundo 2020)

China. Un carro de tren abandonado en Tangshan, China, después de que un terremoto de magnitud 7,4 devastara esa ciudad industrial el 28 de julio de 1976. según las cifras oficiales, 242 mil personas perdieron la vida. (Instituto Meteorológico de Taiwán)

Haití según reporte. El país más pobre de América no le va bien con los desastres naturales, el sismo del 12 de enero de 2010 no fue tan fuerte (7 en la escala de Richter), sí fue devastador: destruyó numerosos edificios, vías, puentes y otros causó pérdidas millonarias y mató a 200 mil personas. Un golpe del que Haití aún no se repone. (reporte por Aasim Saleem 2010)

Tabla 1.1 Ranking de los terremotos más fuertes según la escala de Richter ocurridos en el mundo de 1900 a 2021

FECHA - HORA (UTC)	LAT	LON	MAG	PROF	LOCALIDAD
dia-mes-año-hora:min:seg	grados	grados	Esc. Richter	km	mapa
22-may 1960 - 15:11:43	39.50	74.5	9.5	35	Valdivia Chile
27-mar 1964 - 05:36:12	90	120	9.2	25	Prince William Sound Alaska
26-dic 2004 - 21:58:05	3.2	95.5	9.1	28	Sumatra - Andaman
11-mar 2011 - 02:46:23	42.5	87	9.0	29	Tohoku - Japón
04-nov 1952 - 16:58:17	52.2	161	9.0	30	Kamchatka, Rusia
14-feb 2011 - 03:34:22	35.6	74.2	8.8	30.1	Maule, Costa de Chile
31-ene 1906 - 10:36:41	2.4	82.2	8.8	25	Costa de Colombia y Ecuador
03-feb 1965 - 05:01:08	51	33	8.7	30.3	Islas Rata Alaska
28-mar 2005 - 16:09:36	56	120	8.6	32	Sumatra septentrional
15-ago 1950 - 06:12:10	28	96	8.6	31	Assam Tibet China
11-abr 2012 - 15:36:09	2	93	8.6	33	Costa Oeste Sumatra
09-mar 1957 - 14:22:02	51	175	8.6	31	Islas Andreanof, Alaska
01-abr 1946 - 12:29:01	53	162	8.6	15	Isla Unimak Alaska
01-feb 1938 - 19:04:22	5	131	8.5	25	Mar de Banda Indonesia
10-nov 1922 - 22:30:08	28	70	8.5	70	Atacama Chile
13-oct 1963 - 05:17:59	44	149	8.5	35	Islas Kuril, Rusia
03-feb 1923 - 16:01:50	54	160	8.4	15	Kamchatka, Rusia
12-set 2007 - 11:10:26	4	101	8.4	34	Sumatra Meridional
23-jun 2001 - 15:33:33	16	73	8.4	33	Arequipa Perú
02-mar 1933 - 17:31:00	39	144	8.4	15	Sanriku, Japón

Fuente: Información recopilada de Estadista, fecha de publicación enero 2021, (<https://es.statista.com/estadisticas/635641/terremotos-historicos-mas-fuertes-del-mundo-segun-la-escala-de-richter/>)

Tabla 1.2 Ranking de los últimos sismos en escala de Richter ocurridos en el mundo 2021

FECHA - HORA (UTC)	LAT	LON	MAG	PROF	LOCALIDAD
dia-mes-año-hora:min:seg	grados	grados	Esc. Richter	km	mapa
02-oct 2021 - 07:14:49	-21.10	174.89	7.3	536	Isla de Vanuatu en el Pacifico
29-set 2021 - 08:37:05	45.8	153.5	6.5	401	Isla Kuriles Rusia
13-set 2021 - 05:18:13	-23.89	-67.02	6.2	193	Chile - Argentina border región
21-set 2021 - 13:14:32	-36.78	-73.93	6.4	19	Costa Central de Chile
22-set 2021 - 09:57:08	12.16	-87.85	6.5	31	Cerca Costa de Nicaragua
29-set 2021 - 08:37:05	38.87	135.46	6.1	368	Mar de Japón

08-set 2021 - 05:20:06	38.15	73.26	5.3	62	Tajikistan - Xinjiang
27-set 2021 - 06:17:22	35.25	25.26	6.0	9	Creta Grecia
02-oct 2021 - 20:43:39	-9.17	67.24	5.9	10	Cresta de la India Media
02-oct 2021 - 12:52:34	-9.6	-71.18	5.9	589	Perú - Brasil región fronteriza
02-oct 2021 - 04:24:28	-14.89	-173.11	5.7	10	Región de las islas Samoa
02-oct 2021 - 02:17:13	-7.1	154.69	5.5	10	Islas Salomón
02-oct 2021 - 21:59:27	12.88	120.91	5.4	9	Mindoro Filipinas
01-oct 2021 - 15:44:06	-60.57	-26.43	5.3	10	Islas Sur de Sandwich región
29-set 2021 - 07:53:59	-33.17	-68.13	5.3	30	Prov. de Mendoza Argentina
28-set 2021 - 06:25:13	0.5	126.45	5.3	33	Norte del Mar de las Molucas
28-set 2021 - 04:48:08	35.08	25.21	5.3	10	Creta Grecia
01-oct 2021 - 01:15:21	29.8	50.5	5.2	10	El Sur de Irán
03-oct 2021 - 08:38:34	-36.89	-74.14	4.3	10	Costa central de Chile
03-oct 2021 - 01:17:50	-16.28	-69.7	4.3	219	Perú - Bolivia frontera

Fuente: Instituto de Investigación incorporadas para la sismología publicada el 04/10/2021, patrocinado por la National science foundation. (www.iris.edu),

b. Realidad problemática en el Perú

Según el Instituto Geofísico de Perú (2016) “El movimiento telúrico nos obliga, además, a tomar en cuenta que el Perú es un país sísmico al encontrarse en lo que se denomina el “Cinturón de fuego del Pacífico”, donde sucede el 85 % de la actividad sísmica mundial. En los siguientes gráficos se muestra los sismos ocurrido en el Perú”

Tabla 1.3 Ranking de los últimos sismos en escala de Richter ocurridos en el Perú 2021

FECHA - HORA (local)	LAT	LON	MAG	PROF	REFERENCIA
dia-mes-año-hora:min:seg	grados	grados	Esc. Richter	km	mapa
15/11/2021 - 09:58:21 a.m.	-11.68	-76.3741	3.7	20	11km NO San Mateo, Huaroch - Lima
14/11/2021 - 10:27:22 p.m.	-12.4901	-77.1209	3.8	35	42km O Chilca, Cañete - Lima
14/11/2021 - 10:24:10 p.m.	-14.3727	-72.8538	4.1	99	3km SE Antabamba - Apurímac
14/11/2021 - 11:17:35 a.m.	-9.7311	-78.6113	4.1	50	7km NO San Vicente Cañete - Lima
13/11/2021 - 10:50:37 p.m.	-9.7311	-78.6113	4.1	50	45km SO Casma, Casma - Ancash
13/11/2021 - 08:30:48 a.m.	-14.3665	-72.3038	4.0	103	21km SO Haquira, Cot. - Apurímac
12/11/2021 - 03:41:34 p.m.	-16.3088	-74.8015	4.8	37	78km SO Chala, Caraveli - Arequipa
10/11/2021 - 11:33:17 p.m.	-14.2283	-72.9672	4.2	93	1km NO Antabamba - Apurímac
10/11/2021 - 04:28:06 a.m.	-4.9436	-80.8156	3.9	38	15km O Sullana, Sullana - Piura
09/11/2021 - 07:54:25 a.m.	-15.652	-71.8778	3.4	12	6km SO Pinchollo, Cayll - Arequipa
09/11/2021 - 00:20:11 a.m.	-16.1879	-73.38	4.1	52	26km E Ático, Caraveli - Arequipa

08/11/2021 - 06:17:55 p.m.	-9.1797	-79.3218	3.7	44	82km O Chimbote, Santa - Ancash
08/11/2021 - 05:28:16 a.m.	-12.5965	-76.9111	3.7	40	21km SO Chilca, Cañete - Lima
07/11/2021 - 11:00:35 a.m.	-15.4088	-75.5918	4.0	27	46km O Marcona, Nazca - Ica
06/11/2021 - 03:31:27 p.m.	-18.3409	-69.5508	4.1	116	81km SE Calana, Tacna - Tacna
05/11/2021 - 06:19:47 p.m.	-5.9821	-81.7157	4.9	35	110km SO Sechura - Piura
05/11/2021 - 01:48:21 p.m.	-19.2852	-69.9224	4.0	87	146km SE de Tacna - Tacna
04/11/2021 - 09:55:02 a.m.	-15.6646	-71.8744	3.5	9	7km SO Pinchollo, Cayll - Arequipa
04/11/2021 - 08:19:17 a.m.	-15.8643	-73.2034	4.1	94	20km SE Caraveli - Arequipa

Fuente: Centro Sismológico Nacional Censis (Instituto Geofísico del Perú) publicada el 15/11/2021.

(www.gob.pe/igp)

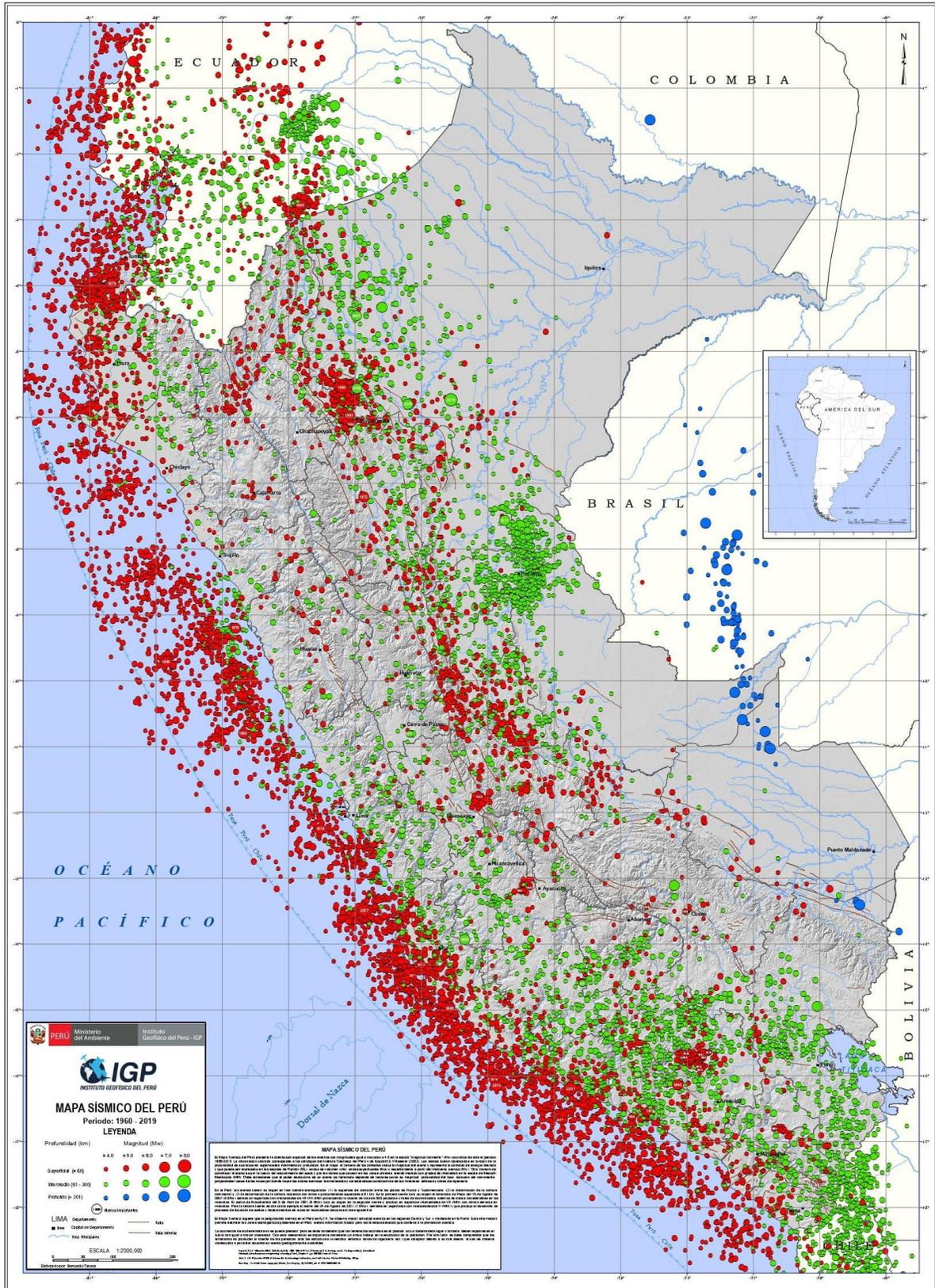


Figura 1.1 Mapa de eventos sísmico del Perú hasta el 2019

Fuente: IGP. Instituto Geofísico del Perú 2019

Según IGP. Instituto Geofísico del Perú (2021) “El último sismo de magnitud 7.5, en el distrito de Barranca, provincia de Datem del Marañón, departamento de Loreto, Amazonas con epicentro a 98 km al Este de Santa María de Nieva, profundidad con 131 km de profundidad. El impacto también llegó en otras regiones del norte peruano. Es considerado el evento telúrico de mayor magnitud en lo que va del año 2021 en nuestro país. Según las autoridades de defensa civil, se reporta el impacto en 2.850 personas (12 heridos), 535 viviendas y 66 edificios, y el bloqueo de 07 carreteras. Según información de fuentes del gobierno se espera que el impacto en la vida y salud de las personas sea relativamente bajo y que el país no vaya a requerir asistencia internacional”



Figura 1.2 Mapa del último sismo ocurrido en Amazonas Perú el 28/11/2021

Fuente: Fuente. IGP. Instituto Geofísico del Perú 2021

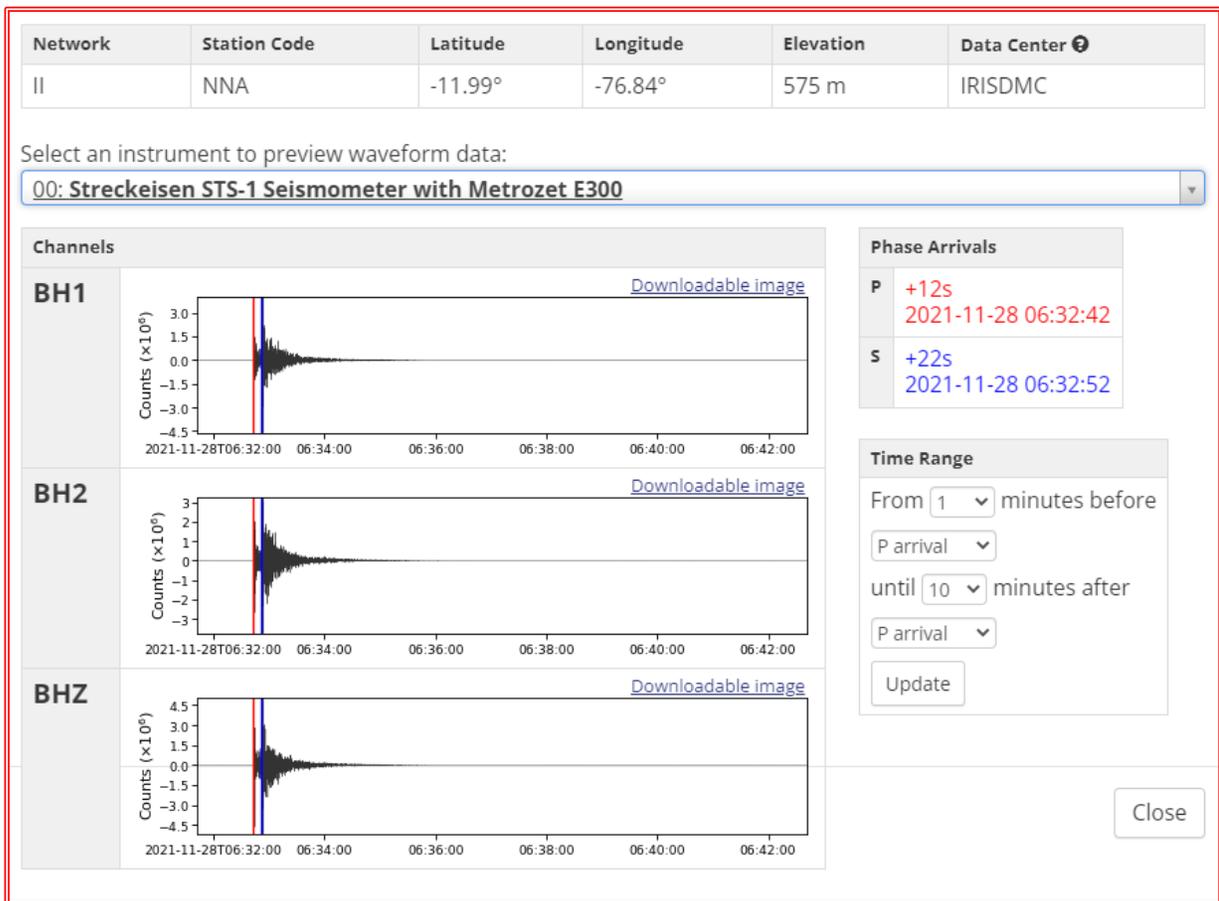


Figura 1.3 Ultimo evento sísmico de mayor magnitud (7.5) ocurrido en Amazonas Perú el 28/11/2021

Fuente: IRIS. Incorporated Research Institutions for Seismology. 28/11/ 2021

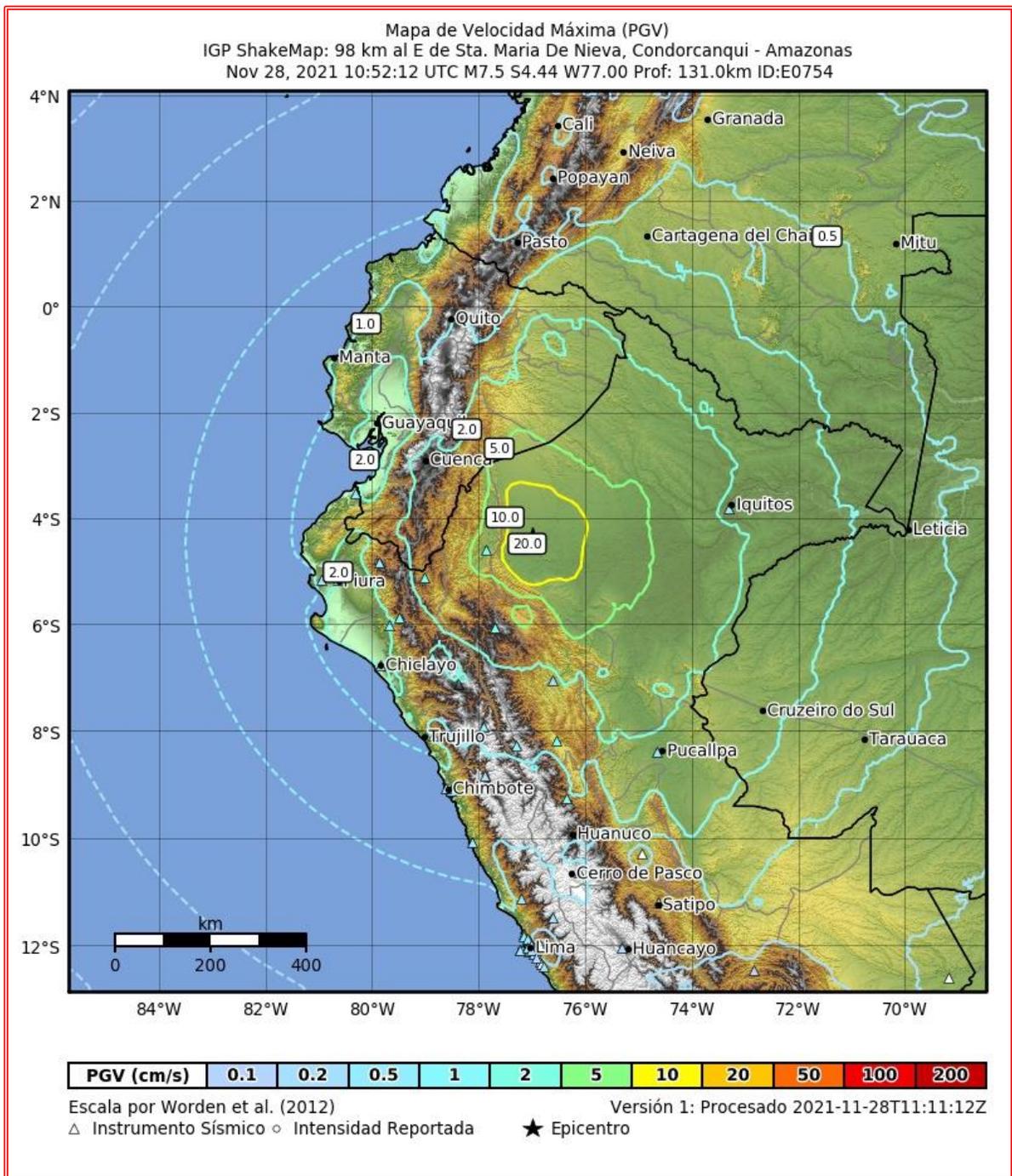


Figura 1.4 Mapa de velocidad máxima del sismo ocurrido en Amazonas Perú el 28/11/2021

Fuente: Fuente. IGP. Instituto Geofísico del Perú 2021

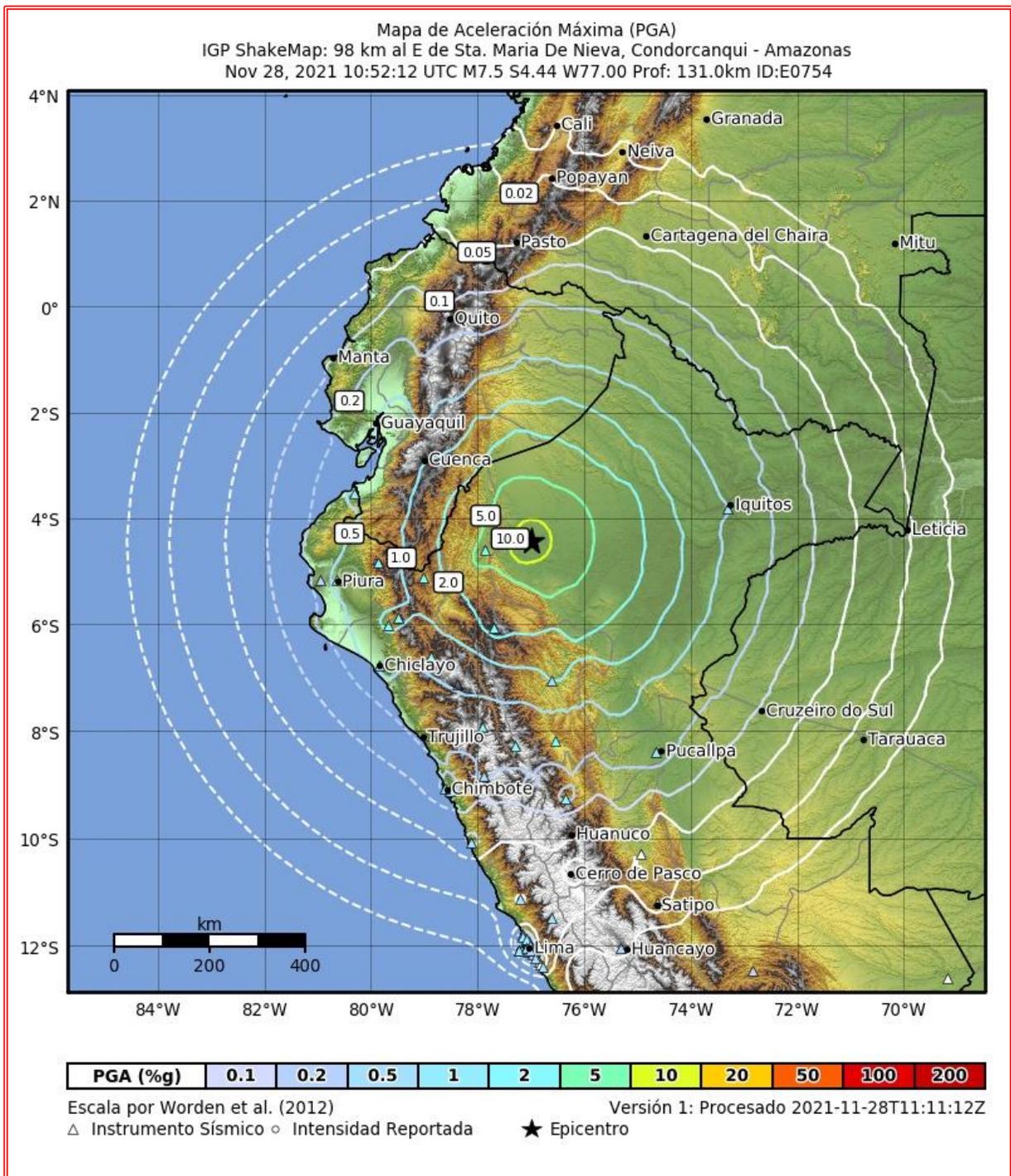


Figura 1.5 Mapa de Aceleración máxima del sismo ocurrido en Amazonas Perú el 28/11/2021

Fuente: Fuente. IGP. Instituto Geofísico del Perú 2021

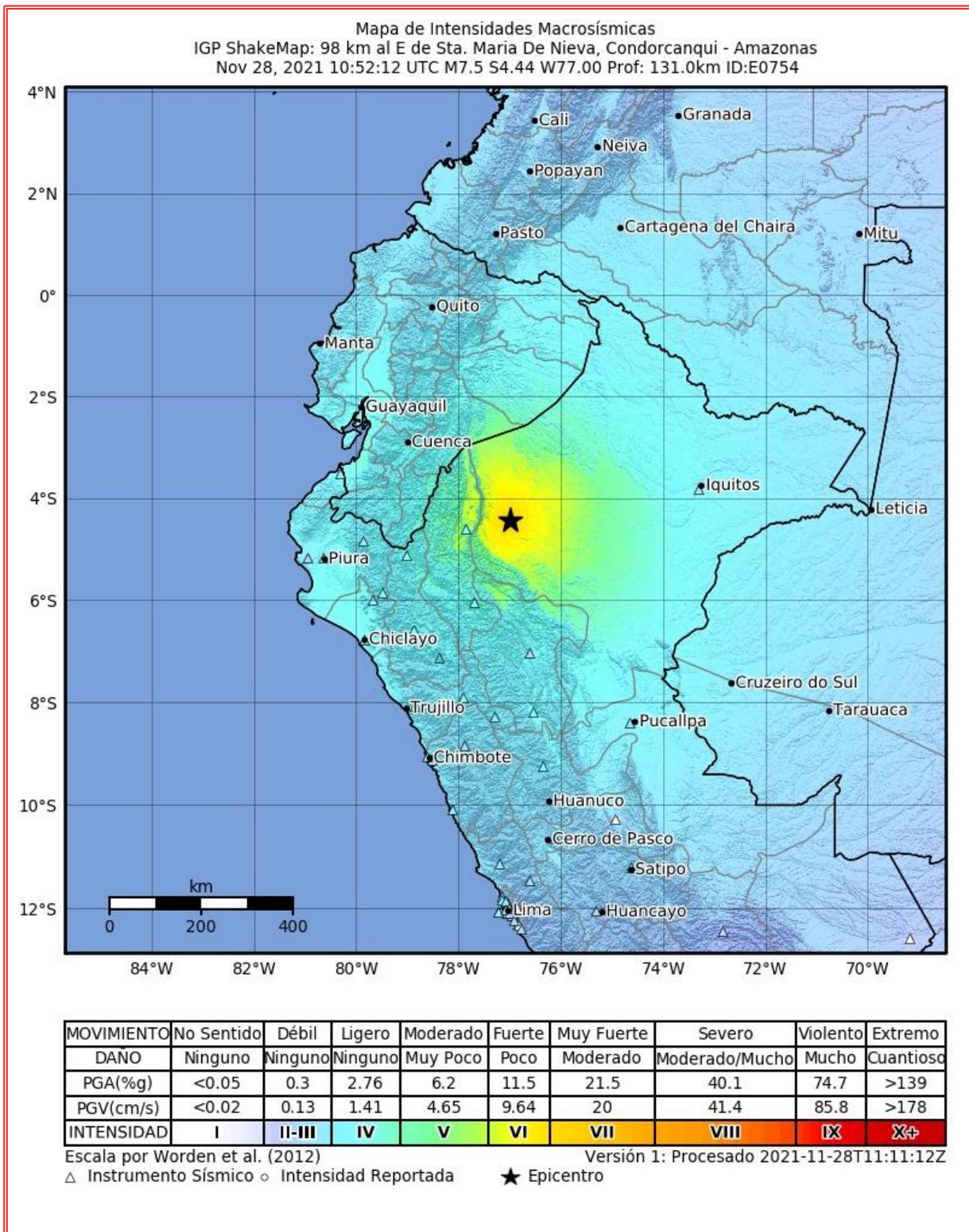


Figura 1.6 Mapa de Intensidades Macro sísmicas ocurrido en Amazonas Perú el 28/11/2021

Fuente: IGP. Instituto Geofísico del Perú 2021

Impacto después del sismo.

- Fecha de ocurrencia: 28 de noviembre a las 05:52 horas.
- Población: 346.772 personas en el área de mayor cercanía al epicentro.
- La población ha sido más golpeada en los departamentos de Amazonas (66 por ciento de la población impactada) y Cajamarca (21 por ciento)
- El 46% de la población damnificada por el sismo (931 personas) reside en el departamento de Amazonas, el 27 por ciento en el departamento de Cajamarca (127 personas) y el 22 por ciento en San Martín (143 personas).
- Se reporta daños en la infraestructura vial y pública, como oficinas estatales y templos religiosos.
- El servicio de energía eléctrica en las provincias más impactadas en Amazonas (Chachapoyas, Luyas, Yurimaguas y Moyobamba) fue restablecido a las 15:00 horas luego de un corte temporal para evitar mayores siniestros



Figura 1.7 Mapa de ocurrencia sísmica en Amazonas Perú el 28/11/2021, que afectó a países vecinos

Fuente: IGP. Instituto Geofísico del Perú 2021

c. Realidad problemática en la provincia de Huancayo - Junín

Según IGP/CENSIS/RS (2021) “El último sismo registrado fue el 02 marzo del 2021 9.44:36 por IGP/CENSIS/RS 2021-0105 fue a 9 km al Este-NE del Distrito de Huasicancha, Huancayo Junín con una magnitud de 3.7 afectando a algunas estructuras antiguas así como al puente Av. Huancavelica ubicado en el río del Distrito de Chilca publicada por la agencia peruana de noticias “ANDINA” sin embargo ninguna autoridad ni poblador se dieron cuenta hasta que el puente lentamente colapso al pasar los días.

Diario el comercio informo del mismo modo el puente artesanal de pucara a 20 minutos de la ciudad de Huancayo colapso toda la plataforma por el inmenso movimiento del cauce del rio ocasionando congestión vehicular, escolares sin poder asistir a sus clases, dejando incomunicados a más de 600 familias del Anexo de Asca”

Según IGP/CENSIS/RS (2021) “Cabe precisar que el Departamento de Huancavelica que colinda con la provincia de Huancayo a su alrededor durante el 2021 tubo más de 6 movimientos sísmicos no menor a una escala de 4. Que en su mayoría de veces Huancayo es afectado por los sismos dadas en la región Huancavelica”

IGP. Instituto Geofísico del Perú (2021) “El sismo del 28 de noviembre 2021 de magnitud 7.5, en el distrito de Barranca, provincia de Datem del Marañón, departamento de Loreto, Amazonas con epicentro a 98 km al Este de Santa María de Nieva, con 131 km de profundidad. Las ondas sísmicas también llego hasta la ciudad de Huancayo a menor escala que sacudido levemente y no hubo daños ninguna ni pérdida económica”

Según el IGP. Instituto Geofísico del Perú (2007) “El 15 agosto del 2007 El sismo más fuerte del siglo XXI, con magnitud 8, ocurrió en la provincia de Pisco e impactó severamente en las provincias de Pisco, Ica, Chincha, Cañete y Castrovirreyna, aunque se sintió intensamente en Lima y provincias. Casi 600 fallecidos, 2,300 heridos, 431,000 damnificados y 76,000. A la ciudad de Huancayo el sismo llegó en menor magnitud sin daños ni pérdidas económicas ni damnificados. Son antecedentes ocurridos de estos sismos en Huancayo y en el País; que me lleva a proponer dicho tesis Propuesta de aisladores sísmicos como sistema de protección ante acciones sísmicas en la estructura de puentes continuos - Huancayo 2021”

Tabla 1.4 Ranking de los últimos sismos en escala de Richter ocurridos en Junín - Perú 2021

FECHA - HORA (local) dia-mes-año-hora:min:seg	LAT grados	LON grados	MAG Esc. Richter	PROF km	REFERENCIA mapa
06/11/2021 - 02:00:33 p.m.	-11.8577	-73.4708	4.5	31	121km SE Pangoa, Satipo - Junín
22/10/2021 - 01:06:26 pm	-11.0215	-74.6127	4.1	119	25km al N de Satipo, Satipo - Junín
26/07/2021 - 02:34:55 am	-11.1156	-74.6331	4.4	9	15km al N de Satipo, Satipo - Junín
09/07/2021 - 04:26:01 am	-11.7928	-75.5932	3.8	1.4	11km al O de Jauja, Jauja - Junín
02/03/2021 - 09:44:36 am	-12.2945	-75.2126	3.7	13	9km NE Huasicancha, Hyo - Junín
19/01/2021 - 07:26:48 pm	-11.4012	-75.9082	3.7	21	13km al N de Oroya, Yauli - Junín

Fuente: Centro Sismológico Nacional Censis (Instituto Geofísico del Perú) el 10/11/2021. (www.gob.pe/igp).

1.2. FORMULACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es la propuesta de aisladores sísmicos como sistema de protección ante acciones sísmicas en la estructura de puentes continuos - Huancayo 2021?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

1. ¿Cuáles son los resultados de amortiguación efectiva en la estructura de puentes continuos?
2. ¿Qué resultados se obtienen respecto a la rigidez efectiva en la estructura de puentes continuos?
3. ¿Cuál es el resultado que se obtiene en el desplazamiento de diseño en la estructura de puentes continuos?

1.3. JUSTIFICACIÓN

1.3.1. SOCIAL

La tesis “Propuesta de aisladores sísmicos como sistema de protección ante acciones sísmicas en la estructura de puentes continuos - Huancayo 2021” es una propuesta para dar solución ante los miedos generados por los sismos que hasta la actualidad ha traído desastres, muertes y estas se han convertido en necesidades para la sociedad es por ello que se propone aisladores sísmicos en las nuevas infraestructuras de puente a construir y de esta manera minimizar las pérdidas ocasionadas por los desastres naturales durante o después del sismo presentado y disminuir el riesgo generado por la acción del hombre al modificar el área donde habita, además será una fuente de investigación para una mejor calidad de vida futura acorde al crecimiento de la demanda de la sociedad

1.3.2. TEÓRICA

Los resultados de la ciencia y la tecnología están avanzando día a día y en nuestro medio no debemos ser ajenos a ello; por lo tanto, desde el punto de vista teórico la investigación busca descubrir más conocimiento sustentadas sobre el uso de los aisladores sísmicas que sirve como apoyos de estructuras de

los puentes para disminuir energías sísmicas que proviene del sub suelo y no pueda dañar la estructura del puente.

1.3.3. METODOLÓGICA

La metodología que se empleará para la propuesta de aisladores sísmicos como sistema de protección ante acciones sísmicas en la estructura de puentes continuos; son primordiales la recolección de datos de campo, informaciones científicas desarrolladas dentro y fuera del país, recopilación de hallazgos durante y después del sismo el comportamiento de la estructura del puente con el apoyo de aisladores sísmicos y luego toda la información se plasmara en software de ingeniería para identificar los respectivos resultados en gabinete.

1.4. DELIMITACIONES DEL PROBLEMA

1.4.1. ESPACIAL

Esta tesis de investigación cuantitativa aplicada “PROPUESTA DE AISLADORES SÍSMICOS COMO SISTEMA DE PROTECCION ANTE ACCIONES SISMICAS EN LA ESTRUCTURA DE PUENTES CONTINUOS - HUANCAYO 2021” se desarrollará en la Provincia de Huancayo departamento de Junín.

1.4.2. TEMPORAL

La tesis de investigación tanto el plan de la tesis y la tesis durará los meses de octubre, noviembre y diciembre del 2021 para realizar la investigación cuantitativa titulado: “PROPUESTA DE AISLADORES SÍSMICOS COMO SISTEMA DE PROTECCION ANTE ACCIONES SISMICAS EN LA ESTRUCTURA DE PUENTES CONTINUOS - HUANCAYO 2021” este periodo de tiempo temporal servirá para plantear los problemas, justificación y objetivos, en su mayor tiempo se realizará en programas de ingeniería en gabinete.

1.4.3. ECONÓMICA

El costo de los aisladores sísmicos es por m2 del terreno a diseñar con aisladores sísmicos. El costo es variable entre 30 a 50 dólares por m2

1.5. LIMITACIONES

1.5.1. LIMITACION ECONOMICA

La tesis de investigación cuantitativa (el plan de tesis y la tesis) titulado: “PROPUESTA DE AISLADORES SÍSMICOS COMO SISTEMA DE PROTECCION ANTE ACCIONES SISMICAS EN LA ESTRUCTURA DE PUENTES CONTINUOS - HUANCAYO 2021” será asumido todo el gasto en su totalidad por el autor de la tesis de la investigación hasta la aprobación y sustentación de la tesis final. En cuanto a ensayos no se podrá asumir costos porque son demasiados costosos y no hay laboratorios y en otro país son limitados y solo se hace ensayos para infraestructuras de grandes inversiones.

Tabla 1.5 Presupuesto y financiamiento de servicios y administrativos

GASTO DE SERVICIO O GASTO ADMINISTRATIVO	CANT	PRECIO S/.	PRECIO PARCIAL S/.	FINANCIA MIENTO
Asesor profesional en puentes	1	2 000.00	2 000.00	Rec. Propio
Curso taller 1. Puentes (GRUPO VyG INGENIEROS SAC.)	1	489.00	489.00	Rec. Propio
Curso taller 2. Puentes (Disepro)	1	500.00	500.00	Rec. Propio
Inscripción del plan de tesis	1	63.00	63.00	Rec. Propio
Aprobación del plan de tesis	1	163.00	163.00	Rec. Propio
Pago por sustentación de tesis	1	800.00	800.00	Rec. Propio
Servicios informáticos múltiples	10	60.00	600.00	Rec. Propio
Transporte y Viáticos (mov. alim)	8	150.00	1 200.00	Rec. Propio
Sub. total			5 815.00	Rec. Propio

Tabla 1.6 Presupuesto y financiamiento de Insumos

DESCRIPCION (finalidad)	CANTIDAD	PRECIO POR UNIDAD S/.	PRECIO PARCIAL S/.	FINANCIAMIENTO
Papel bond	2.5 Mill.	12.00	30.00	Rec. Propio
Lapiceros	4 Und.	4.00	16.00	Rec. Propio
USB	2 Und.	20.00	40.00	Rec. Propio
Cd	6 Und.	1.00	6.00	Rec. Propio
Escaneos	7 veces.	1.00	7.00	Rec. Propio
Impresiones	2000 hojas.	0.20	400.00	Rec. Propio
Ploteo	20 Und.	4.00	80.00	Rec. Propio
Anillado	7 veces.	3.00	21.00	Rec. Propio
Empastado	4 veces.	30.00	120.00	Rec. Propio
Otros imprevistos	Glb.	800.00	1 000.00	Rec. Propio
Sub total b			1 720.00	Rec. Propio

1.5.2. LIMITACION TECNOLOGIA

En el Perú para aisladores sísmicos para puentes no hay laboratorios debidamente equipados como para hacer ensayos que demandan AASHTO o ASCE 7-16 o la E031.

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la propuesta de aisladores sísmicos como sistema de protección ante acciones sísmicas en la estructura de puentes continuos - Huancayo 2021.

1.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Analizar los resultados de amortiguación efectiva en la estructura de puentes continuos.
2. Evaluar los resultados que se obtienen respecto a la rigidez efectiva en la estructura de puentes continuos.

3. Determinar el resultado que se obtiene en el desplazamiento de diseño en la estructura de puentes continuos.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Genatios & Lafuente (2016) “en su trabajo de investigación denominado “Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras”. Los aisladores sísmicos y los disipadores de energía constituyen, por la sencillez de sus mecanismos de funcionamiento y por la efectividad de su desempeño, una alternativa confiable a considerar en el diseño sismorresistente y en las estructuras de readecuación sísmica, vista la necesidad de reducir daños en edificaciones, garantizar la seguridad de las vidas humanas, disminuir la ocurrencia de pérdidas económicas y contribuir con la resiliencia de las ciudades”

“Coordinado con la vicepresidencia de infraestructura de CAF – Banco de desarrollo de América Latina. Para diseño de vida útil se establecen sismos de diseño que pueden considerarse como: de baja intensidad y de ocurrencia frecuente, de mediana intensidad y de ocurrencia probable, y de gran intensidad y de ocurrencia poco probable. Estos últimos, en general, con probabilidad de ocurrencia de 10% durante la vida útil de la estructura, que corresponde a terremotos con periodo de retorno de 475 años. Actualmente, se está proponiendo que para puentes se consideren sismos con periodos de retorno de 1000 años y para aquellos puentes que deban conectarse con centros de atención de emergencia, bomberos o similares, alcancen los 2500 años. El diseño estructural es concebido

con base en una filosofía de diseño que el comportamiento esperado de la estructura sea el siguiente”:

- Para sismos frecuentes, las estructuras no deben sufrir daños, ni en los elementos estructurales ni los no estructurales o arquitectónicos, y deben mantenerse operativas y en funcionamiento.
- Para sismos intermedios, poco frecuentes, la estructura puede sufrir daños que deben ser reparables.
- Para sismos severos, se permite que la estructura sufra daños generalizados y hasta pueda llegar a quedar inservible, pero sin que ocurra el colapso global de la edificación, a fin de preservar las vidas humanas.

León (2016) “Bogotá - Colombia, en su trabajo de investigación “disipadores y aisladores sísmicos, modelo de puente vehicular con disipador y sin disipar de energía, comparación de la respuesta sísmica” Es evaluar y comparar fuerzas internas y deformaciones con y sin aisladores sísmicos para ello es describir los tipos de aisladores sísmicos y disipadores de energía realizando un modelo matemático aplicando sistema de control pasivo que permita identificar las posibles ventajas”

“Debido a que los sistemas de control sísmico son utilizados para la protección de diversos tipos de estructuras, tanto nuevas como estructuras existentes que requieren de refuerzo o rehabilitación, el autor indica de este trabajo de investigación; identificar por medio de la ejecución de un modelo que simula la acción del sismo en puentes vehiculares, planteando el desarrollo de sistemas modernos ante la acción de un posible evento de alta, media o baja magnitud, logrando así proponer y demostrar por medio de resultados concretos con ayuda del software SAP2000, ventajas al emplear un sistema de aislación o disipación de energía, buscando así, reducir esfuerzos que puedan ser resistidos por una estructura existente”,

“La capacidad de disipación de energía del aislador elastómero empleado al 25%, que en cada oscilación se retuvo aproximadamente el 25% en cada una, es decir que dejó una parte de la energía en cada vibración mecánica, confirmando

así el concepto del amortiguamiento, ya que la energía absorbida por el neopreno quien se deforma lateralmente durante el sismo, pero se controla por medio del núcleo de plomo ingresando deformaciones plásticas, permite disipar la energía en forma de calor. Por lo tanto, los valores obtenidos demuestran reducción considerable de esfuerzos al conseguir que gran parte del sismo sea disipado antes de llegar directamente a la superestructura, tal como se observó durante en las gráficas anteriores”.

“Se identificaron reducciones considerables al evaluar fuerzas internas y cortantes en la base de las pilas ya que, en el modelo convencional al aplicar el sismo, se observan valores entre 1093 kN y 1095.7 kN, mientras que al aplicar el sistema de control sísmico se observa una importante reducción de cortante en base con valores de 448.1 kN y 453,3 kN máximo, obteniendo mayor estabilidad estructural. Así que el uso del sistema de control pasivo usado en el modelo diseñado demuestra mejor comportamiento ante la simulación del sismo por medio del espectro de aceleraciones, comprobando finalmente las ventajas que podría representar especialmente en ciudades de alta vulnerabilidad”.

Portillo (2020) “Madrid - España, en su trabajo de investigación “desempeño sísmico de aisladores con núcleo de plomo en puentes con pilas flexibles de hormigón armado”. Analizar la influencia de la rigidez de las pilas de un puente en el desempeño sísmico de los aisladores con núcleo de plomo y reducir las fuerzas sísmicas en las pilas, Esta investigación presenta un estudio paramétrico de los aisladores sísmicos LRB en puentes con pilas de hormigón armado con 3% de cuantía de acero. Mediante modelos simplificados indica que los resultados muestran que la eficiencia de los aisladores disminuye al aumentar la altura de las pilas del puente. Sin embargo, la altura máxima a la cual un sistema de aislamiento deja de ser eficaz dependiendo de los diferentes factores, en lo que se refiere a la aceleración máxima los resultados indican que si esta aumenta también aumenta la altura a la cual los aisladores dejan de ser eficaces. La energía que los sismo transfieren a la estructura también influye en la altura máxima a la cual los aisladores son eficaces. En general los aisladores son eficaces hasta una altura de

pila de 17m a partir de la cual la altura máxima a la que son capaces de reducir las acciones sísmicas depende de los diferentes parámetros que afectan su desempeño sísmico, como son la aceleración del suelo y la energía transmitida a la estructura”.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONES

Bustamante (2019) “Chiclayo en su trabajo de investigación “propuesta de aisladores sísmicos para la disipación de energía en el desempeño estructural por desplazamiento en edificaciones – Unach - Chota” el objetivo en el trabajo de investigación indica validar la Propuesta de aisladores sísmicos en la disipación de energía, para el desempeño estructural por desplazamiento y Analizar el momento curvatura determinando los esfuerzos y deformación del acero y concreto”.

“La utilización de aisladores sísmicos consiste en mejorar el comportamiento de ciertas edificaciones con la finalidad de evitar cualquier daño a la estructura. Las estructuras se diseñan para que no sufran daños en sismos leves, y aunque es posible que se deterioren durante un sismo fuerte, deben permanecer en pie salvaguardando la vida de los ocupantes. Para ello se exige, que toda estructura posea la suficiente reserva de energía potencial para incursionar en rango inelástico. En la actualidad, los efectos destructivos en una estructura pueden ser mitigados mediante sistemas de protección sísmica, dentro de eso tipo de sistema tenemos los aisladores sísmicos. A través de los aisladores sísmicos se realiza la disipación de energía reduciendo de esta manera los desplazamientos de la estructura”.

“Con la incorporación de aisladores sísmicos se obtuvieron menores desplazamientos horizontales de entre piso concluyendo de esta manera que la edificación aumenta la disipación de energía y así mismo aumenta el amortiguamiento debido a las propiedades que presentan estos dispositivos de aislamiento sísmico”.

“Con la aplicación de esta tecnología (aisladores sísmicos), se obtuvo mayores periodos de la estructura disminuyendo de esta manera las aceleraciones, así como también disminuyen las fuerzas frente al sismo”.

“Al asociar el espectro de capacidad con el espectro de respuesta se determinó el nivel de desempeño de la estructura con el cuál se obtuvo la ductilidad deseada, en donde el punto de desempeño representa el máximo desplazamiento probable que se experimenta con el sismo de diseño”.

Rivera (2019) “Lima, en su trabajo de investigación “Comportamiento sísmico del puente 7 tipo viga losa con empleo de aisladores sísmicos del puente Línea Amarilla, Rímac 2018” En la investigación se fijó como objetivo general, determinar la mejor respuesta sísmicas que brindará el puente tipo viga losa con o sin aisladores sísmicos. El método que se ha usado fue la recopilación de información de quienes señalan la necesidad de evaluar sus tipos, características y eficiencia sísmica de los mismos. En la investigación se aplicó el método científico, del tipo explicativo-correlativo y con un diseño no experimental; en cuanto a la población para esta investigación comprende al puente Línea Amarilla y se toma como muestra al puente viaducto 7. Los resultados encontrados fueron los siguientes: Con el análisis multimodal, resultó que los puentes con aislación sísmica reducen los esfuerzos, mejoran los periodos y reducen los desplazamientos. En la investigación se concluyó en que el puente con aisladores, tiene un mejor comportamiento sísmico a su situación actual que emplea apoyos elastómeros”.

“El análisis del puente, concluye que los resultados obtenidos en el puente sometido a cargas sísmicas, mostrando que los puentes con el empleo de aisladores sísmicos de límite inferior amplían el periodo de vibración y reduce la frecuencia de oscilación; mientras que, con el uso de aisladores sísmicos de límite superior, se muestra ligeramente mayor y menor en el periodo y frecuencia respectivamente. Después de realizar los análisis en los diferentes factores que influyen dentro del comportamiento sísmico, se comprobó que el comportamiento de la estructura frente a un movimiento telúrico, será mejor cuando esté aislada sísmicamente con el uso de aisladores con núcleo de plomo, que con el uso de apoyos elastómeros. Determinando que, en porcentaje, los aisladores disipan en un 63% para sismos longitudinales y en un 41% para sismos transversales, esta diferencia se debe a que

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

Minchán (2016) “**Cajamarca**, en su trabajo de investigación Comparación de la respuesta sísmica de puentes viga – losa, con y sin aisladores sísmicos, en Cajamarca. Como objetivo principal, comparar la respuesta sísmica de un puente viga-loso con diseño convencional y otro utilizando aisladores sísmicos en la zona de Cajamarca, por lo que, solo se realizó en forma comparativa, obteniéndose resultados con programas computacionales. Los resultados obtenidos en la presente investigación, son válidos para puentes viga losa de grandes luces, de dos tramos (apoyo intermedio), que tienen dos carriles de 3,60 m de ancho cada uno, el primer puente con una luz de 20,00 m de longitud entre ejes (Puente 1) y el segundo puente con una luz de 25,00 m entre ejes (Puente 2). La superestructura se compone de cuatro vigas de concreto armado simplemente apoyado sobre estribos y pilares. El pilar tiene una configuración de pórtico de concreto armado de 9,00 m de altura, conformado por dos columnas circulares unidas en la parte superior por una viga cabezal y en la parte inferior por una zapata. Los estribos se asumieron rígidos y no se considera en el modelo estructural. Se realizó la comparación de la respuesta sísmica de puentes viga-loso con y sin aisladores sísmicos, con el diseño preliminar de la superestructura y subestructura, siguiendo los lineamientos de la AASHTO LRFD. En el análisis sísmico se usó los métodos simplificados, multimodal y tiempo-historia, tanto para los puentes convencionales como para los puentes sísmicamente aislados. La comparación de los desplazamientos obtenidos en la subestructura y superestructura del puente 1 y el puente 2 se realizó mediante el método espectral multimodal y el método tiempo-historia, mediante un ratio. Se concluye, que existe reducción de desplazamiento en la subestructura; en cambio en la superestructura los desplazamientos se incrementan, debido a que la disipación de energía se presenta en los aisladores mediante la deformación de los mismos”

“Se recomienda a usar aisladores para puentes de concreto armado, ya que minimiza los desplazamientos longitudinales y transversales, frente a un puente convencional. Se debe realizar el presente estudio utilizando Aislador de Goma de Alto Amortiguamiento (HRB) para puentes de concreto armado, ya que solo se realizó el estudio utilizando Aisladores Sísmicos del tipo Aisladores Elastomérico con Núcleo de Plomo (LRB)”

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. AMENAZA SISMICA

2.2.1.1 Coeficiente de aceleración

El peligro sísmico del lugar donde se ha planteado la tesis “PROPUESTA DE AISLADORES SÍSMICOS COMO SISTEMA DE PROTECCION ANTE ACCIONES SISMICAS EN LA ESTRUCTURA DE PUENTES CONTINUOS - HUANCAYO 2021” se ha caracterizado de un aislamiento sísmico tanto en los estribos como en los pilares.

Para este propósito, se utiliza un espectro de respuesta a la aceleración compatible con la ubicación de la tesis de investigación y después un conjunto de registros de aceleración del suelo, producto a sismos ocurridos anteriormente en las características de geotecnia. (AASHTO 7ma edición 2017)

El espectro de aceleración se determinará utilizando el procedimiento general especificado en el Artículo 3.10.2.1 AASHTO de las Especificaciones de Diseño, se considera el efecto de la clase de sitio. (AASHTO 7ma edición 2017)

2.2.1.2 Clase, factores y efectos de sitio

a. Clase de sitio

Según AASHTO 7ma edición (2017) “Los sitios se clasifican según la Tabla 2.1 de AASHTO, de acuerdo a su rigidez determinada por la velocidad de onda de corte superior a 100ft. La prueba de penetración estándar (SPT), el número de golpes y la resistencia al corte de las muestras de suelo no drenadas también pueden usarse para la clasificación”

Tabla 2.1 Clasificación sísmica de suelos E.030, 2016

Tipo de suelo	Vs 30(m)	Descripción
S ₀	Vs > 1500	Roca dura
S ₁	500 > Vs > 1500	Suelo muy rígido
S ₂	180 > Vs > 500	Suelo intermedio
S ₃	Vs > 180	Suelo blando

Fuente: RNE. E.030 2016

Tabla 2.2 Definición sísmica de clase de sitio.

Clase de sitio	Tipo de suelo y perfil
A	Roca dura con medida de velocidad de onda de corte Vs > 5,000 ft/s
B	Roca con 2,500 ft/s < Vs < 5,000 ft/s
C	Suelo muy denso y suelo roca 1,200 ft/s < Vs < 2,500 ft/s , o con cualquiera N > 50 golpes/ft , o Su > 2.0 ksf
D	Suelo rígido con 600 ft/s < Vs < 1,200 ft/s , o con cualquiera 15 < N < 50 golpes/ft , o 1.0 < Su < 2.0 ksf
E	Perfil de suelo con Vs < 600 ft/s o con cualquiera N < 15 golpes/ft o Su < 1.0 ksf , o cualquier perfil con más de 10 ft de arcilla blanda definida como suelo con PI > 20 , w > 40 por ciento y Su < 0.5 ksf
F	Suelos que requieren evaluaciones específicas de sitio, tales como: <ul style="list-style-type: none"> • Turbas o arcillas altamente orgánicas (H > 10 ft de turba o arcilla altamente orgánica donde H = espesor del suelo) • Arcilla de alta plasticidad (H > 25 ft con PI > 75) • Estratos de arcillas de buen espesor, blandas o semirrígidas (H > 120 ft)

Fuente: (Tabla 3.10.3.1-1 AASHTO)

Excepciones: Según AASHTO 7ma edición (2017) “cuando las propiedades del suelo no son conocidas con suficiente detalle para determinar la clase de sitio, se emprenderá una investigación de sitio suficiente para definir su clase. Las clases de sitio E o F no serán supuestas a no ser que la entidad determine la clase de sitio E o F o estas sean establecidas por datos geotécnicos”

Donde:

V_s = Promedio de la velocidad de onda de corte para perfiles de suelo superiores a los 100 ft

N = Promedio de la cantidad de golpes (golpes/ft) de la prueba SPT (ASTM D1586) para perfiles de suelo superiores a 100 ft.

S_u = Promedio de resistencia d corte no drenada en ksf (ASTM D2166 o ASTM D2850) para perfiles de suelo superiores a 100 ft.

PI = Índice plástico (ASTM D4318)

W = Contenido de humedad (ASTM D2216)

b. Efectos y factores de sitio

Los efectos del sitio se han determinado de acuerdo al tipo de suelo que corresponde en la provincia de Huancayo y por ende se ha aplicado los factores del sitio tentativo por temas educativos”

“Las clases de sitio A-F se definen en las especificaciones de diseño en la siguiente tabla y los factores de sitio correspondientes para las porciones de período cero (F_{pga}), período corto (F_0) y período largo (1seg) (F_v)” (AASHTO 7ma edición 2017)

Tabla 2.3 Valores de factor de sitio F_{pga} , en periodo -cero en el espectro de aceleración

Clase de sitio	Coeficiente aceleracion pico del terreno (PGA) ¹				
	$PGA < 0.10$	$PGA = 0.20$	$PGA = 0.30$	$PGA = 0.40$	$PGA > 0.50$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1	1	1	1	1
C	1.2	1.2	1.1	1	1
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F ²	*	*	*	*	*

Notas:

1. Usar la interpolación lineal para valores intermedios de PGA
2. Llevar a cabo investigaciones geotécnicas específicas del sitio y análisis de respuesta dinámica de sitio, para todos los sitios en sitio clase F

Fuente: (Tabla 3.10.3.2-1 AASHTO)

Tabla 2.4 Valores de factor de sitio F_a , para rango de periodo corto en el espectro de aceleración

Clase de sitio	Coeficiente aceleración espectral en periodo 0.2 sec (S_s) ¹				
	$S_s < 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s > 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F ²	*	*	*	*	*

Notas:

1. Usar la interpolación lineal para valores intermedios de S_s
2. Llevar a cabo investigaciones geotécnicas específicas del sitio y análisis de respuesta dinámica de sitio, para todos los sitios en sitio clase F

Fuente: (Tabla 3.10.3.2-2 AASHTO)

Tabla 2.5 Valores de factor de sitio F_v , para rango de periodo largo en el espectro de aceleración

Clase de sitio	Coeficiente aceleración espectral en periodo 1.0 sec (S_1) ¹				
	$S_1 < 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 > 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F ²	*	*	*	*	*

Notas:

1. Usar la interpolación lineal para valores intermedios de S_1
2. Llevar a cabo investigaciones geotécnicas específicas del sitio y análisis de respuesta dinámica de sitio, para todos los sitios en sitio clase F

Fuente: (Tabla 3.10.3.2-3 AASHTO)

2.2.1.3 Espectro de respuesta de diseño

“El espectro de respuesta de diseño amortiguado al 5% del amortiguamiento crítico, se tomará como se especifica en la Figura 2.1. Este espectro se calcula utilizando los coeficientes de aceleración máxima del suelo y los coeficientes de aceleración espectral de diseño, escalado por factores de sitio de período cero, corto y largo, F_{pga} , F_0 y F_v , respectivamente”. (FIGURA 3.10.4.1-1 AASHTO)

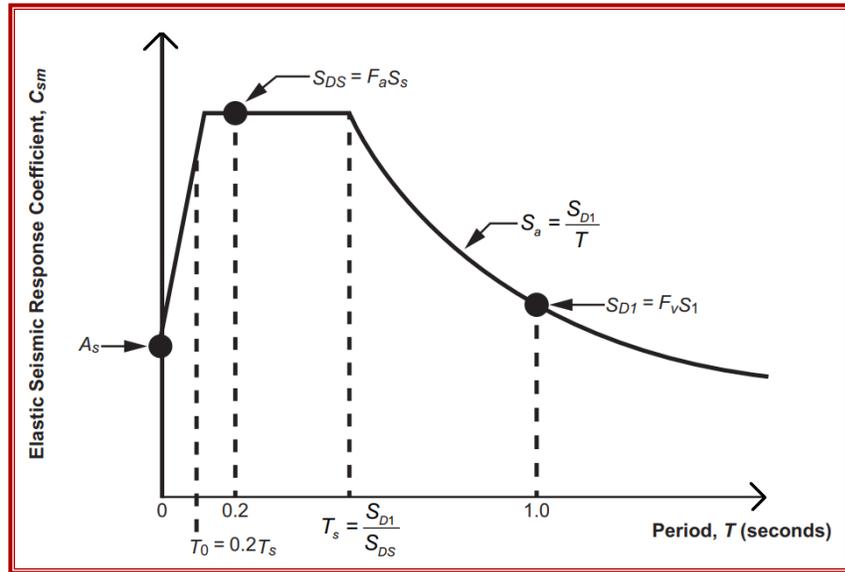


Figura 2.1 Espectro de Respuesta

Fuente: (FIGURA 3.10.4.1-1 AASHTO)

2.2.1.4 Espectro de diseño

Según AASHTO 7ma edición (2017) “Para períodos menores o iguales a T_0 , el coeficiente sísmico elástico, C_{sm} , se tomará como”:

$$C_{sm} = A_s + (S_{DS} - A_s) (T_m/T_0)$$

Donde:

$$A_s = F_{pga} \text{ (PGA)}$$

$$S_{DS} = F_a S_s$$

$$T_s = S_{D1}/S_{DS}$$

PGA : coeficiente máximo aceleración del suelo en roca (sitio clase B)

S_s : coeficiente de aceleración espectral de respuesta horizontal en un período de 0,2 seg. en roca (Clase de sitio B)

T_m : período de vibración del (los) n-ésimo modo (seg)

T_0 : período de referencia utilizado para definir formas espectrales

T_s : período en el que el espectro pasa de ser constante del período a ser inversamente proporcional al período $T^1(s)$

“Para períodos mayores o iguales a T_0 e inferiores o iguales a T_s , el coeficiente de respuesta sísmica elástica será constante y se tomará como”: (AASHTO 7ma edición 2014)

$$C_{sm} = S_{DS}$$

“Para períodos superiores a T_s , el coeficiente de respuesta sísmica elástica se tomará como”: (AASHTO 7ma edición 2017)

$$C_{sm} = \frac{S_{D1}}{T_m}$$

$$S_{D1} = F_v S_1$$

Dónde:

S_1 : Coeficiente de aceleración espectral de respuesta horizontal en un período de 1.0 seg. en roca (Sitio Clase B)

F_v : factor de sitio para un rango de largo período del espectro de respuesta de diseño

2.2.2. DISEÑO SISMICO

2.2.2.1 Zona sísmica

“A cada estudio de puente se asigna una zona sísmica de acuerdo con la Tabla 2.6 utilizando la ecuación S_{D1} .” (AASHTO 7ma edición 2017)

Tabla 2.6 Zonas sísmicas AASHTO

Coeficiente de Aceleración	Zona Sísmica
$S_{D1} \leq 0.15$	1
$0.15 < S_{D1} \leq 0.30$	2
$0.30 < S_{D1} \leq 0.50$	3
$0.50 < S_{D1}$	4

Fuente: (Tabla 3.10.6-1, AASHTO 2017)

En la tesis se le ha asignado la zona sísmica 3 por dos razones:

la primera porque $0.30 < S_{D1} < 0.50$ de la tabla anterior.

la segunda de acuerdo al reglamento nacional de edificaciones E.030 Huancayo está ubicado en la zona sísmica 3 (RNE E.030 PERU)

Tabla 2.7 Zonas sísmicas RNE

ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.1

Fuente: (RNE E.030 PERU)

“La provincia de Huancayo que pertenece al departamento de Junín se encuentra ubicada en la intensidad medio y alto, zona (Z) 2 y 3. De acuerdo a la intensidad que es determinada en base al factor de aceleración horizontal máximo establecido en la norma Técnica E 030 Del reglamento nacional de edificaciones”. (RNE E.030 PERU)

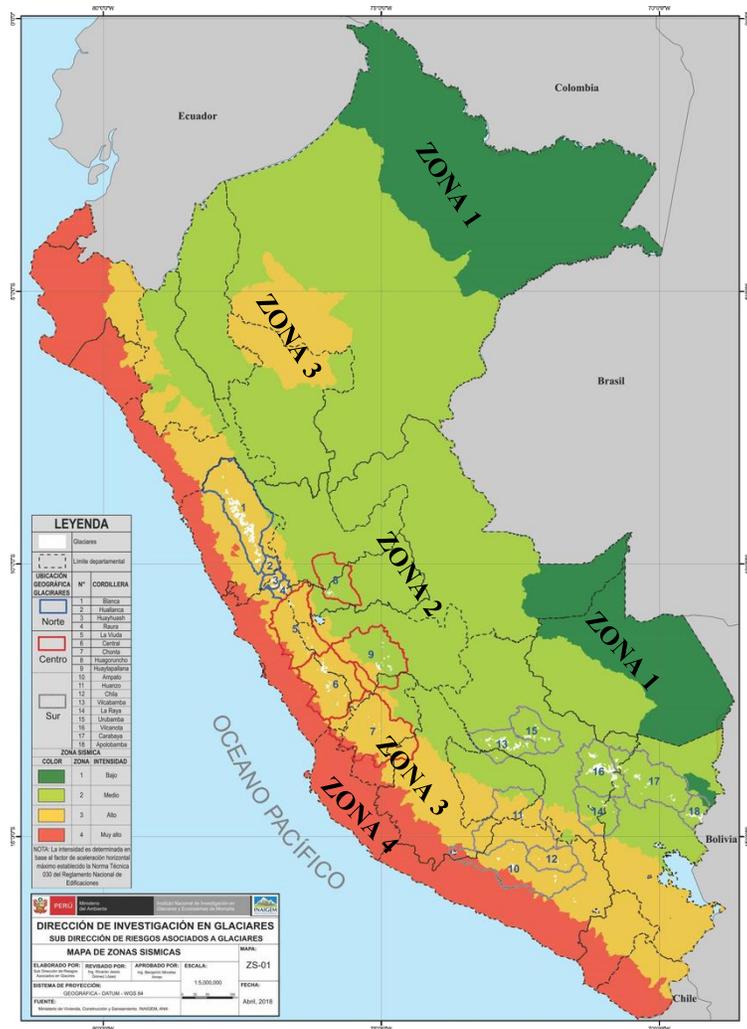


Figura 2.2 Mapa de zonas sísmicas del Perú

Fuente: Dirección de Investigación en glaciares

Con los antecedentes obtenidos y la norma peruana, manual de puentes, el AASHTO y otros relacionado a sismos nos ayudara a investigar el comportamiento de los aisladores sísmicos para proteger las estructuras de puentes continuos en la ciudad de Huancayo.

A continuación, se muestra el espectro de respuesta de la tesis que se encuentra en la Zona Sísmica 3 $S_{D1} > 0.30$ (AASHTO 7ma edición 2017)

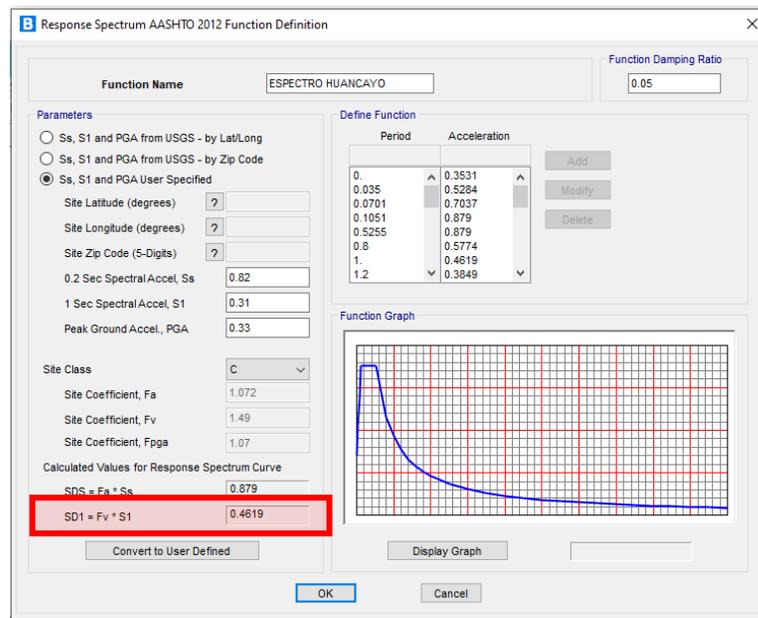


Figura 2.3 Respuesta al espectro Huancayo. Tipo de suelo C.

Fuente: Calculado en software CSiBridge v22.1.0

2.2.2.2 Selección de puentes por la cantidad de tramos

a. Puente de un solo tramo

“Los puentes de un solo tramo no requieren análisis sísmico independientemente de la zona sísmica”. (AASHTO 7ma edición 2017)

“Las conexiones entre la superestructura y el estribo se diseñan para una fuerza no menor que el producto del coeficiente

de aceleración A_s y la carga tributaria permanente.” (AASHTO 7ma edición 2017)

b. Puente de tramos múltiples

“Los puentes de múltiples tramos mayor e igual a dos tramos requiere de un análisis sísmico” (AASHTO 7ma edición 2017)

Tabla 2.8 Requerimientos mínimos de análisis por efecto sísmico

Zona Sísmica	Puentes de Un Solo Tramo	Puentes de Múltiples Tramos					
		Otros Puentes		Puentes Esenciales		Puentes críticos	
		Regular	Irregular	Regular	Irregular	Regular	Irregular
1	No se	-	-	-	-	-	-
2	requiere	SM/UL	SM	SM/UL	MM	MM	MM
3	análisis	SM/UL	MM	MM	MM	MM	TH
4	sísmico	SM/UL	MM	MM	MM	TH	TH

Fuente: (Tabla 4.7.4.3.1-1, AASHTO 2017)

2.2.2.3 Clasificación de puentes por categoría

a. Categoría 1 (puente crítico)

“Los puentes críticos de categoría 1 son vías principales e importantes que después de un sismo no debe quedar interrumpido, no debe colapsar; deben estar apto para ser usados por los vehículos de emergencia o fines de seguridad inmediatamente después de un sismo grande ocurrido. (Periodo de recurrencia de 2500 años)” (AASHTO 7ma edición 2017)

b. Categoría 2 (puentes esenciales)

“Los puentes esenciales de categoría 2 después de un sismo importante puede tener algún daño, pero en un corto plazo o tiempo se repara y volver a estar en servicio para el transporte de emergencia u otros. (Periodo de recurrencia de 1000 años)” (AASHTO 7ma edición 2017)

c. Categoría 3 (puentes comunes)

“Los puentes comunes de categoría 3 son diseñados para proteger la vida ante un sismo de diseño con un período de retorno de 1000 años. Su comportamiento esperado implica que resistan sismos pequeños sin daños importantes y para la ocurrencia del sismo de diseño sufran grandes daños sin colapso.” (AASHTO 7ma edición 2017)

2.2.3. CARGAS EN PUENTES.

2.2.3.1 Cargas permanentes

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

$$DL = Pp + Dw + Barrera$$

Donde:

DL = carga permanente

Pp = Peso propio

Dw = Superficie de desgaste

Barrera = Barrea en las veredas

2.2.3.2 Cargas transitorias

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

2.2.3.3 Sobrecargas vivas (LL y PL)

LL = sobre carga vehicular

PL = sobre carga peatonal

a. Sobrecarga vehicular (LL)

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

Aplicación AASHTO

La “carga viva vehicular de diseño” o “sobrecarga vehicular de diseño” HL – 93, es una combinación del “camión de diseño” y la “carga del carril de diseño” o la combinación del “tándem de diseño” y la “carga del carril de diseño”.

Para momento negativo entre puntos de contra flexión bajo carga uniforme, así como en la reacción de pilares interiores se considera: 90 por ciento de la solicitación debida a dos camiones de diseño (con ejes posteriores a 4.27m) separados como mínimo 15.24m entre el eje delantero de un camión y el eje trasero del otro, combinada con 90 por ciento de la solicitación debida a la carga del carril de diseño.

- **Camión de diseño**

“Para determinar las características del camión, nos guiaremos de la norma AASHTO LRFD, en la cual se considera un aumento de carga dinámica. El camión, tiene una separación de ejes de 145 kN, la cual variará de 4.30 a 9.0 m, a fin de producir efectos de fuerzas extremas” (Rodríguez, 2012, pag.189)

SUB SISTEMA K (HL – 93K)

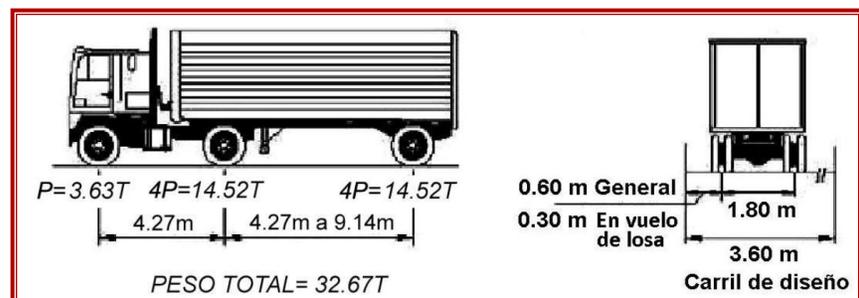


Figura 3.4 Camión estándar HL - 93.

Fuente: AASHTO LRFD 2017

La distancia entre los dos ejes más pesados se toma como aquella que, estando entre los límites de 4.27m y 9.14m., resulta en los mayores efectos.

- **Tándem de diseño**

SUB SISTEMA M (HL – 93M)

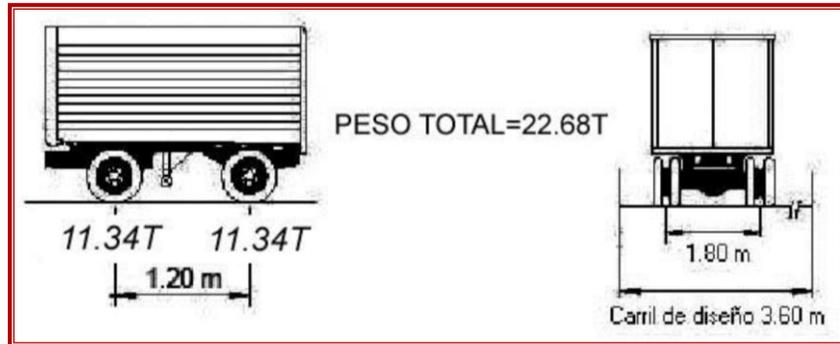
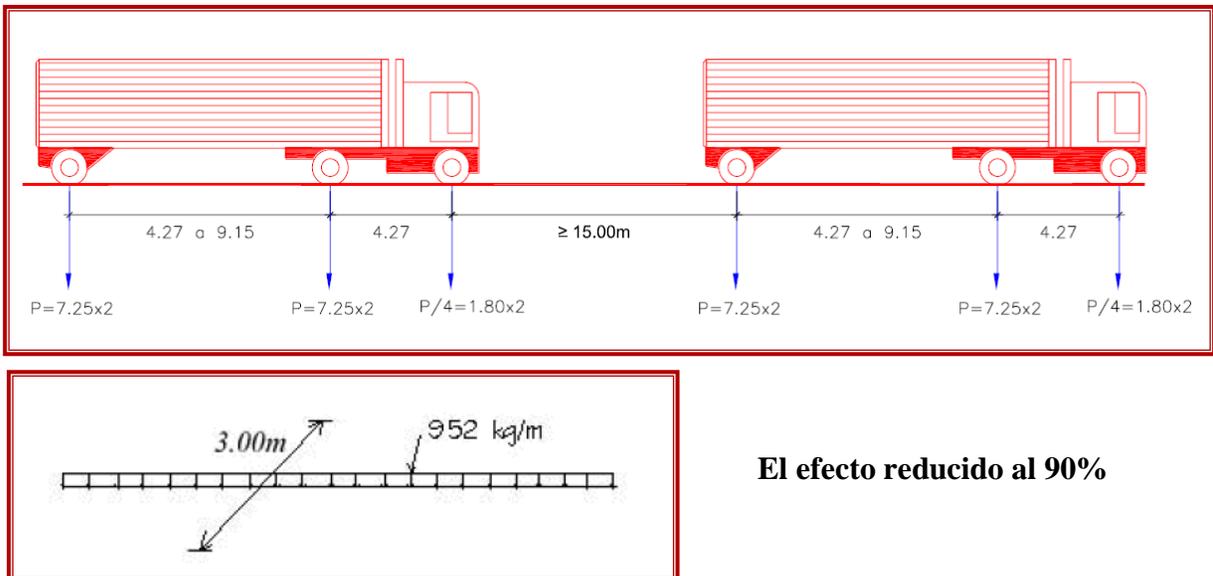


Figura 4.5 Camión tándem HL - 93.

Fuente: AASHTO LRFD 2017

- **Carga de carril de diseño**

SUB SISTEMA S (HL – 93S)



El efecto reducido al 90%

Figura 5.6 Camión tándem HL - 93.

Fuente: AASHTO LRFD 2017

b. Sobrecarga peatonal (PL)

“Los puentes peatonales se diseñan para una carga peatonal de 440kg/m^2 y no se aplica el incremento por carga dinámica (IM). Cuando no se impide el ingreso vehicular por medios físicos los puentes peatonales se diseñan también para un vehículo de mantenimiento H5 (para anchos libres de 2.10m hasta 3.05m) ó H10 (para anchos libres mayores de 3.05m) considerando el estado límite de Resistencia I. Este camión único no se combina con la carga peatonal y no requieren incluir el incremento por carga dinámica (IM)” (AASHTO 7ma edición 2017)

CAMION H10 y H5

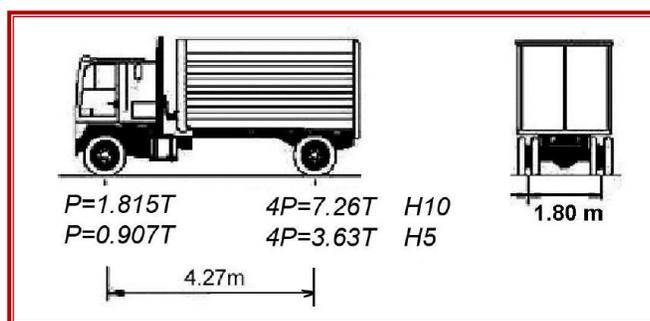


Figura 6.7 Camión H10 y H5.

Fuente: AASHTO LRFD 2017

2.2.4. NORMA TÉCNICA E. 031 (AISLAMIENTO SÍSMICO)

“Hasta el 2019 en Perú se trabajaba con la norma americana ASCE 7-16 (Minimum Design Loads and Associated Criterio for Buildings and Other Structures), sin embargo, a la fecha ya se tiene una norma oficial NORMA E 031. La presente Norma Técnica establece los requisitos mínimos para el diseño y construcción de edificaciones con cualquier tipo de sistema de aislamiento sísmico, así como las disposiciones aplicables de los ensayos necesarios para validar el comportamiento de los dispositivos del sistema de aislamiento sísmico además mejorar el desempeño sísmico de la edificación, proteger su estructura y contenido y buscar su operatividad continua” (NORMA TECNICA E 031)

2.2.5. MANUAL DE PUENTES

Tiene como objetivo que los puentes permanezcan funcionales y que sus componentes estructurales se comporten dentro del régimen elástico, después de ocurrido un evento sísmico moderado; por otra parte, en el caso de ocurrencia de un sismo extraordinario, se acepta cierto nivel de daño sin que se ponga en riesgo la estabilidad de la estructura.

“El Aislamiento sísmico es la tecnología en la cual se reduce la fuerza inercial actuante sobre una estructura y simultáneamente provee a los apoyos aislados de la superestructura la capacidad de deformación para absorber la energía de la vibración y aumentar el amortiguamiento en la estructura. Dado que a la actualidad no existe experiencia suficiente en puentes con aislamiento sísmico que hayan experimentado sismos de gran intensidad, queda a criterio de los ingenieros estructurales, garantizar la capacidad de disipación de energía, la distribución de las fuerzas inerciales en las subestructuras que permita un control de daño en los apoyos y pilares, la vida útil de diseño de los aisladores, entre otros”. **(Manual de puentes pág. 52. publicado por diario el peruano 20 de diciembre 2018)**

2.2.6. ANALISIS SISMICO

Minster y Jordan (1978) indica que “el Perú se localiza en una de las regiones de mayor potencial sísmico en Sudamérica, siendo este asociado al proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana con una velocidad relativa de 8 cm/año presente a lo largo del borde Occidental del continente Sudamericano”

Antayhua, (2002) menciona “De acuerdo a su origen, los sismos que ocurren en el Perú pueden ser de dos tipos: el primero asociado directamente al contacto de placas con la generación de sismos de magnitud elevada con relativa frecuencia a diferentes profundidades y el segundo, asociado a la deformación cortical en el interior del continente con sismos de menor magnitud y frecuencia. La ocurrencia continua de sismos en el Perú, como en cualquier otra región

sísmicamente activa, juega un rol importante en los diversos procesos sismo tectónicos que se producen en el tiempo, ya sea la deformación de rocas, formación de fallas, fenómenos precursores de grandes sismos y ruptura sísmica”

2.2.7. METODOS PARA EL PROCEDIMIENTO DE ANALISIS

Para la tesis de investigación se empleará tres tipos de métodos:

Procedimiento 1: Método Simplificado

Procedimiento 2: Método espectral multimodal

Procedimiento 3: Método tiempo historia dinámico

2.2.7.1 Procedimiento 1: Método Simplificado

La siguiente metodología utiliza el método simplificado o de la carga uniforme (UL) (artículo 7.1 AASHTO) que responden predominantemente como un sistema de un solo grado de libertad; para obtener estimaciones iniciales de desplazamiento para utilizar en una solución iterativa que implique el método de análisis espectral multimodal (MM) (artículo 7.3 AASHTO) y el método Tiempo – historia (TH).

Este análisis se realizará de forma independiente a lo largo de dos ejes perpendiculares y se combinará como se especifica en las Especificaciones de Diseño, Artículo 3.10. AASHTO 2017

Este método no se debe utilizar si hay suelos de la clase de sitio F.

Para sistemas que incluyen un amortiguador viscoso, la fuerza máxima en el sistema puede no corresponder al punto de desplazamiento máximo (Ec. 7.1-1). AASHTO 2017

A los efectos de este método, la fuerza sísmica, estáticamente equivalente se determinará como:

$$F=C_{sm} W \dots\dots\dots (Ec. 7.1-1)$$

Donde:

$$C_{smd} = \frac{C_{sm}}{B_L}$$

$$C_{smd} = \frac{S_{D1}}{T_{eff} B_L}$$

$$C_{smd} < \frac{S_{DS}}{B_L} \quad \dots\dots\dots (Ec. 7.1-2)$$

Donde:

B_L = Amortiguamiento para intervalo de periodo largo del espectro de diseño

ξ = Relación amortiguamiento equivalente viscosos

W = Fuerza vertical para el diseño del sistema de aislación (DI + LL_s)

La relación de amortiguamiento viscoso equivalente ξ , para sistemas con amortiguación por histéresis, depende de la energía disipada y almacenada por el sistema de aislamiento, que se verificará mediante la prueba de las características del sistema de aislamiento. En los sistemas de aislamiento donde la relación de amortiguamiento viscoso equivalente excede el 30%, se debe realizar un análisis Time History no lineal utilizando las curvas de histéresis del sistema o con el coeficiente de amortiguamiento, $B_L = 1.7$.

Si el amortiguamiento es verdaderamente viscoso lineal, entonces el coeficiente de amortiguamiento dado por la (ec. 7.1-3) puede extenderse al 50 % ($B_L = 2.0$).

El desplazamiento, d , se determinará como:

$$B_L = \left(\frac{\xi}{0.05} \right)^{0.3} \quad \dots\dots\dots (Ec. 7.1-3)$$

$$d = \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) \left(\frac{S_{D1} T_{eff}}{B_L} \right) \quad \dots\dots\dots (Ec. 7.1-4)$$

El periodo efectivo T_{eff} (seg) es tomado como:

$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{eff}g}} \quad \dots\dots\dots (\text{Ec. 7.1-5})$$

Cuando se calcula la rigidez efectiva (K_{eff}), la configuración y rigidez individual de la unidad de aislador y sub estructura será determinada como:

$$K_{eff} = \sum j K_{effj} \quad \dots\dots\dots (\text{Ec. 7.1-6})$$

$$K_{eff} = \frac{k_{sub}k_{eff}}{k_{sub} + k_{eff}} \quad \dots\dots\dots (\text{Ec. 7.1-6})$$

Donde;

K_{eff} = Factor de rigidez presentado en la figura 2.8. para el sistema de aislador

K_{sub} = Factor de rigidez presentado en la figura 2.8. para la unidad de la subestructura.

g = Aceleración de la gravedad

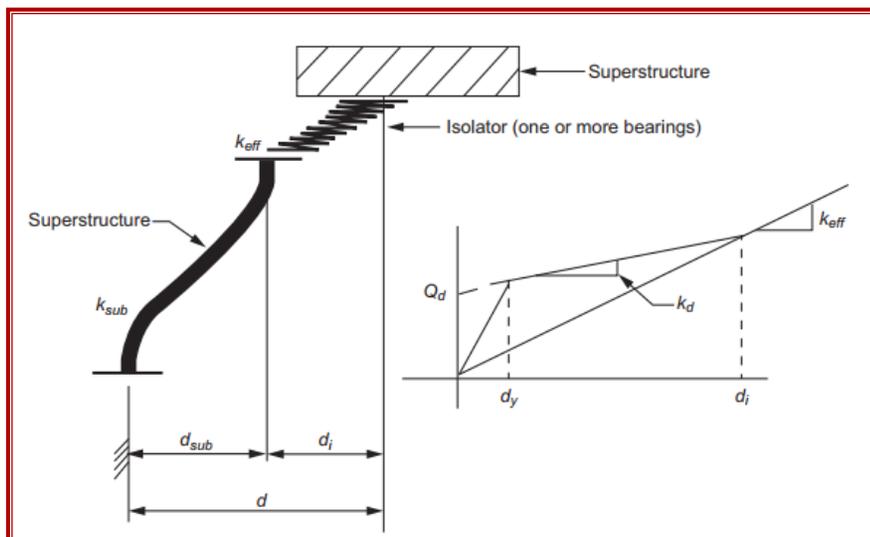


Figura 7.8 Deformación del aislador y la sub estructura debido a la carga lateral

Fuente: AASHTO LRFD 2017

El coeficiente de amortiguamiento equivalente ξ correspondiente, se determinará de la siguiente manera: (AASHTO 7ma edición 2017)

Para un solo aislador y subestructura j (Figura 2.8):

$$\xi = \frac{\text{Energía Disipar}}{2\pi K_{eff} d^2} \dots\dots\dots (\text{Ec. 7.1-8})$$

En el que la energía se disipa en un solo aislador = $4Q_d(d_i - d_y)$

La sustitución da:

$$\xi = \frac{2Q_d(d_i - d_y)}{\pi(d_i + d_{sub})^2 K_{eff j}} \dots\dots\dots (\text{Ec. 7.1-9})$$

Para múltiples aisladores y subestructuras que soportan un segmento continuo de la superestructura:

$$\xi = \frac{\text{Total Dissipated Energy}}{2\pi \sum_j (K_{eff j} d^2)} \dots\dots\dots (\text{Ec. 7.1-10})$$

$$\xi = \frac{2 \sum_j [Q_d(d_i - d_y)]}{\pi \sum_j [K_{eff j} (d_i + d_{sub})^2]} \dots\dots\dots (\text{Ec. 7.1-11})$$

Dónde:

- Qd = Resistencia característica de la unidad de aislamiento. ordenada del bucle de histéresis en el desplazamiento cero.
- d = Desplazamiento total del tablero en relación con el suelo ($d_i + d_{sub}$), como se muestra
- d_i = Desplazamiento de diseño a través de la unidad del aislador en la dirección de la carga sísmica, como se muestra.
- d_{sub} = Desplazamiento de la subestructura, como se muestra.
- d_y = Desplazamiento de cedencia del aislador, como se muestra.

Las sumas anteriores se extenderán a todas las subestructuras, incluidos los estribos.

El amortiguamiento de la subestructura se puede agregar al valor ξ

La Eq. 7.1-1 solo se debe usar para sistemas que no tienen amortiguación adicional de naturaleza viscosa, como son los amortiguadores viscosos.

Para sistemas con amortiguación viscosa añadido, como en el caso de sistemas elastoméricos o deslizadores con amortiguadores viscosos, la Eq. 7.1-4 puede tomarse como válido, en cuyo caso el coeficiente de amortiguación B_L se basará en la energía disipada por todos los elementos del sistema de aislamiento, incluidos los amortiguadores viscosos. (AASHTO 7ma edición 2017)

La fuerza sísmica se determinará en tres situaciones distintas de la siguiente manera:

- En el desplazamiento máximo del apoyo definido por la ecuación 7.1-1. Tenga en cuenta que, en esta etapa, las fuerzas de amortiguación viscosas son cero.
- A la velocidad máxima y cero en el apoyo, el lugar se determina como la combinación de la resistencia característica de los apoyos de aislamiento y la fuerza máxima del amortiguador viscoso. Este último se determinará a una velocidad igual a $2\pi d_d / T_{eff}$, donde d_d es el desplazamiento máximo del amortiguador. (Tenga en cuenta que el desplazamiento d_d está relacionado con el desplazamiento del aislador d_i).
- En la aceleración máxima de la superestructura (es decir, fuerza de inercia total) se determinado como:

$$F = (f_1 + 2\xi_d f_2) C_{smd} W \dots\dots\dots (\text{Ec. 7.1-12})$$

$$f_1 = \cos[\tan^{-1}(2\xi_d)] \dots\dots\dots (\text{Ec. 7.1-13})$$

$$f_2 = \text{sen}[\tan^{-1}(2\xi_d)] \dots\dots\dots (\text{Ec. 7.1-14})$$

Dónde:

C_{smd} = dado por la ecuación. 7.1-2

K_{eff} = la contribución de todos los elementos del sistema de aislamiento distintos de los amortiguadores viscosos

ξ_d = una parte de la relación de amortiguación efectiva del puente aislado aportada por los amortiguadores viscosos

La distribución de esta fuerza a los elementos de la subestructura se basará en desplazamientos de los apoyos iguales a $f_i d_i$, los desplazamientos de la subestructura serán iguales a $f_1 d_{sub}$, y la velocidad del amortiguador será igual a $f_2(2\pi d_d/T_{eff})$ donde d_d es el desplazamiento máximo del amortiguador. (AASHTO 7ma edición 2017)

Método netamente para puentes aislados

El método simplificado es análogo al método de carga uniforme en las Especificaciones de Diseño Seismic y del LRFD. Este método ha sido adaptado para su aplicación en puentes aislados.

Para el diseño de aislamiento sísmico, el coeficiente sísmico elástico, C_{smd} , está directamente relacionado con el espectro de respuesta en suelo elástico. Para una amortiguación del 5%, el coeficiente viene dado por las especificaciones de diseño o por la ecuación de la guía sísmica LRFD.

Los puentes con aisladores sísmicos suelen tener una relación de amortiguación superior al 5%, y para tener en cuenta este nivel más alto de amortiguación, se incluye un coeficiente de amortiguación, B_L , en la ecuación para C_{sm} en estas Especificaciones de la guía.

La cantidad C_{smd} es un coeficiente de diseño adimensional, que resulta de multiplicar por la aceleración debida a la gravedad (g) que produce la aceleración espectral (S_A). Esta aceleración espectral está relacionada con el desplazamiento espectral (S_D) por la relación:

$$S_A = \omega^2 S_D \dots\dots\dots (Ec. C7.1-1)$$

Donde: ω , es la frecuencia natural angular (rads/s) y es tomado por $\omega = 2\pi/T_{eff}$. Por lo tanto, desde:

$$S_A = C_{smd}g$$

$$S_A = \frac{S_{D1}g}{T_{eff}B_L} \dots\dots\dots (Ec. C7.1-2)$$

Resulta que:

$$S_D = \frac{S_{D1}g}{\omega^2 T_{eff} B_L}$$

$$S_D = \frac{T_{eff}^2 S_{D1}g}{4\pi^2 T_{eff} B_L}$$

$$S_D = \frac{T_{eff} S_{D1}g}{4\pi^2 B_L} \dots\dots\dots (Ec. C7.1-3)$$

En sistema U.S. Unidad $g=384.6 \text{ in/s}^2$

$$S_D = \frac{9.79 T_{eff} S_{D1}}{B_L} (in) \dots\dots\dots (Ec. C7.1-4)$$

Denotando S_D como d , el desplazamiento del tablero con respecto al suelo, la expresión anterior conduce al siguiente resultado aproximado:

$$d \approx \frac{10 T_{eff} S_{D1}}{B_L} (in) \dots\dots\dots (Ec. C7.1-5)$$

Es posible una forma alternativa de C_{sm} . Dado que el coeficiente C_{sm} se define por la relación:

$$F = C_{smd} W$$

donde F es la fuerza de diseño del sismo y W es el peso de la estructura, se deduce que:

$$C_{smd} = \frac{F}{W} = \frac{K_{eff} d}{W}$$

donde K_{eff} es la suma de las rigideces efectivas de todos los aisladores que soportan el segmento de superestructura.

Diagrama de histéresis para el análisis de desplazamiento máximo de diseño en el puente sísmicamente aislado

En la gran parte de las aplicaciones, los sistemas de aislamiento deben ser rígidos para cargas no sísmicas pero flexibles para cargas sísmicas (para permitir el cambio de período requerido). Como consecuencia, la mayoría tiene propiedades bilineales como se aprecia en la siguiente figura

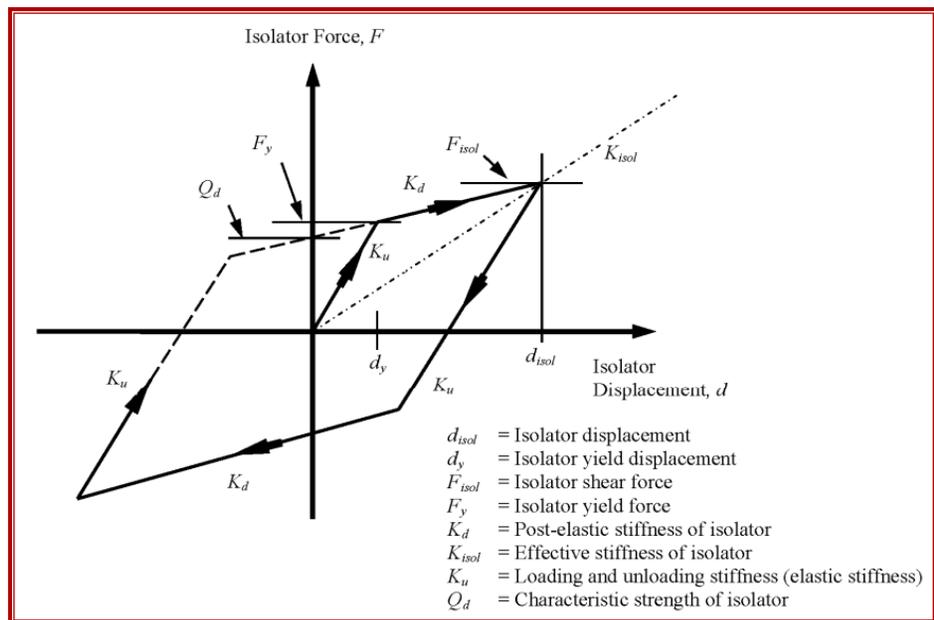


Figura 2.9 Diagrama de histéresis

Fuente: datos de AASHTO 2012

Para su análisis se deben utilizar métodos no lineales. Pero un enfoque común es usar resortes lineales equivalentes y amortiguamiento viscoso para representar los aisladores, de modo que se puedan usar métodos lineales de análisis para determinar la respuesta. Dado que las propiedades equivalentes como K_{isol} dependen del desplazamiento (d) y los desplazamientos no se conocen al comienzo del análisis, se requiere un enfoque iterativo. Tenga en cuenta que en el artículo 7.1 AASHTO 2017. k_{eff} se usa para la rigidez efectiva de una unidad combinada de aislador y subestructura. Para minimizar la confusión, en esta

investigación se usa K_{isol} en lugar de k_{eff} . No hay cambios en el uso de K_{eff} y $K_{eff, J}$, pero se usa K_{sub} en lugar de k_{sub} .

2.2.7.2 Procedimiento 2: Método espectral multimodal

El método de análisis espectral multimodo especificado en las Especificaciones de Diseño, Artículo 4.7.4.3.3 y el Artículo 5.4.3 Sísmico de LRFD se utilizará para puentes aislados en los que el acoplamiento ocurre entre desplazamientos en más de una de las tres direcciones de coordenadas dentro de cualquiera de las direcciones de coordenadas predominantes. modos de vibración.

“Para este método, el espectro de respuesta al movimiento del suelo amortiguado al cinco por ciento se tomará como se define en la Figura 2.1. Este espectro puede escalarse mediante el coeficiente de amortiguación (B_L), para incluir la amortiguación efectiva del sistema de aislamiento para los modos aislados. La escala mediante el coeficiente de amortiguación B_L se aplicará solo para períodos superiores a $0.8 T_{eff}$. El espectro de respuesta amortiguado del cinco por ciento se utilizará para todos los demás modos. La rigidez lineal efectiva de los aisladores corresponderá al desplazamiento de diseño. La amortiguación del sistema estructural incluirá todos los elementos estructurales y se obtendrá mediante un método racional”. (guía sísmica de LRFD 2017)

2.2.7.3 Procedimiento 3: Método tiempo historia dinámico

Para los sistemas de aislamiento que requieren un análisis Time history, se aplicarán los siguientes requisitos:

- Un método de análisis Time History lineal o no lineal debe satisfacer los requisitos del Artículo 4.7.4.3.4 de las Especificaciones de Diseño o del Artículo 5.4.4 de la guía Sísmica del LRFD.

- El sistema de aislamiento se modelará utilizando las características de deformación no lineal de los aisladores que se verifican mediante ensayo de acuerdo con los requisitos establecidos. (guía Sísmica de LRFD 2017)
- El análisis Time History se debe realizar con al menos tres conjuntos apropiados de registros sísmicos directos con las características del lugar de la investigación. Cada conjunto comprenderá tres componentes ortogonales seleccionados de acuerdo con las Especificaciones de Diseño, Artículo 4.7.4.3.4b o el Artículo 3.4.4 de la guía Sísmica de LRFD.

“Cada conjunto de aceleraciones sísmicas históricas en el tiempo se aplicará simultáneamente al modelo. El desplazamiento máximo del sistema de aislamiento se calculará a partir de la suma vectorial de los desplazamientos ortogonales en cada paso de tiempo. (guía Sísmica de LRFD 2017). El parámetro de interés se calculará para cada análisis histórico. Si se realizan tres análisis Time History, se utilizará para el diseño la respuesta máxima del parámetro de interés. Si se realizan siete o más análisis Time History, entonces el valor promedio del parámetro de respuesta de interés puede usarse para el diseño” (guía Sísmic LRFD 2017)

2.2.8. AISLADORES SÍSMICOS (Dispositivo de apoyos)

2.2.8.1 Definición de aisladores sísmicos

“Los aisladores sísmicos es un apoyo de caucho se ubica entre la super estructura y la subestructura del puente; cuya función es transmitir cargas y posibilitar desplazamientos y rotaciones que modifica el período propio de la estructura haciéndola más flexible. Los dispositivos de mejor calidad aumentan la amortiguación de la estructura incorporando elementos discretos entre table y subestructura” (AASHTO 7ma edición 2017)

Las cargas incluyen el peso propio de la superestructura, cargas vehiculares, de viento, sismo, frenado, fuerza centrífuga, entre otras. Los desplazamientos transversales y longitudinales, y las rotaciones, resultan de la acción de estas cargas, así como de variaciones de temperatura, flujo plástico, retracción, fatiga, etc.

La función de los aisladores sísmicos es:

- transmitir las cargas verticales de la super estructura a las pilas (peso propio, cargas muertas, sobrecargas)
- Transmitir las cargas horizontales del tablero a las pilas (viento, frenado, fuerza centrífuga, sismo)
- Compatibilizar los movimientos horizontales entre tablero y pilas. Permitir las deformaciones debido a retracción, fluencia y temperatura del concreto pretensado

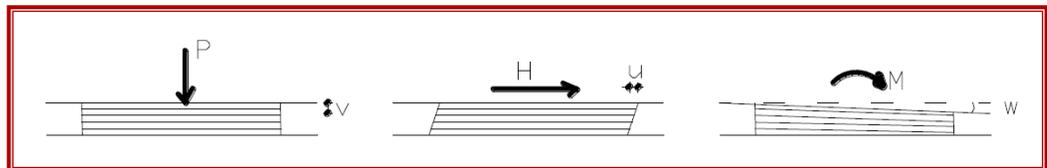


Figura 8.10 Solicitaciones en dispositivos de apoyo.

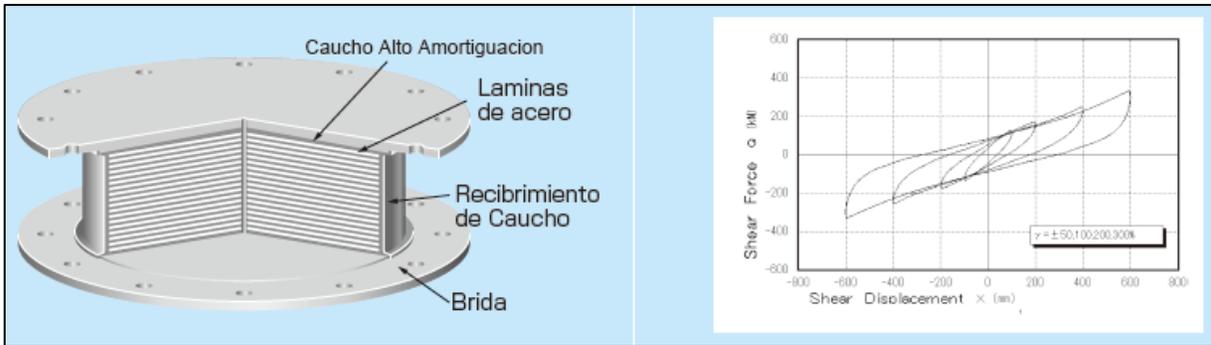
Fuente: AASHTO LRFD 2017

2.2.8.2 Tipos de aisladores sísmicos

a. Aislador o cojinete de goma de alta amortiguación HDR

“Son dispositivos con goma de alta amortiguación incluye características como resorte (k) y como amortiguación (β). En general no se requiere un amortiguador por separado, por lo que es una excelente opción para las zonas con limitaciones de espacio.

Sus curvas de histéresis son relativamente suaves. Dos diferentes módulos de elasticidad están disponibles (E0.4, X0.6R). Las cargas de los pilares también pueden ser absorbidas por este dispositivo siempre en cuando el aislador este sobre el encepado. El aislador HDR tiene fuerza de recuperación y tiene la característica de resorte” (BRIDGESTONE Seismic Isolation Design 2019)



Soporte de Caucho de alto amortiguamiento (HDR)

Seismic isolation material certification number by Ministry of Land, Infrastructure and Transport

MVBR-0468 (X 0.4R) Acquired in December 2012
MVBR-0430 (X 0.6R) Acquired in February 2011

● Producto Dimension

Item	Description
Diameter Exterior : D_o (mm)	
Diameter Interior : D_i (mm)	
Effective plane area : A ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	
Espesor de la capa de goma : t_r (mm)	
Numero de capa de goma : n	
Espesor capa de goma: $H = n \times t_r$ (mm)	
1mer factor forma $S_1 = (D_o - D_i) / (4 \times t_r)$	
2do factor forma $S_2 = D_o / (n \times t_r)$	
Diameter de brida : D_r (mm)	
Espesor Brida: borde/centro : t_r/t_r (mm)	
Perno Conexion PCD : PCD (mm)	
Diámetro del agujero de perno de conexión qty : $d_b(\text{mm}) \times \text{qty}$	
Talla de perno (assumption) : $M (d_b - 3)$	
Espesor de lamina de acero refuerzo : t_s (mm)	
Altura Total : H_t (mm)	
Peso Total 1 (kN) = 1/9.80665 (tonf)	

● Material de Caucho

Caucho code (standard temperature 20°C, standard strain $\gamma = 100\%$)

Rubber code	Modulus Corte G_{eq} (N/mm ²)	Equivalent damping ratio H_{eq}
X0.4R	0.392	0.220
X0.6R	0.620	0.240

Combination de materiales de caucho (weight ratio %)

Rubber designation	Caucho Natural Caucho Sistencia	Acero refuerzo, Relleno	Agente de Vulcanizacion y otros
Capas Caucho X0.4R	35 and above	20 and above	45 and below
X0.6R	35 and above	25 and above	40 and below
Recubri. Caucho	40 and above	15 and above	40 and below

Properties del material de Caucho

Item	Tensile strength (N/mm ²)	Elongation at Break (%)	Dureza (JIS A)	100% modulus (N/mm ²)	Young's modulus E (N/mm ²)	Modulus volumetrico E_{∞} (N/mm ²)	Young's modulus factor correccion according to dureza
Test Standard	JIS K6251	JIS K6251	JIS K6253	JIS K6251			
Caucho X0.4R	7 以上	840 以上	37 ± 8	0.43 ± 0.2	6.2	1300	1.0
Interior X0.6R	8.5 以上	780 以上	53 ± 5	0.73 ± 0.2	7.6	1500	1.0
Recub. Caucho	12 以上	600 以上	-	-			

● Material de acero

Cada parte de acero

Material	Material
Reinforced steel plate	SS400 (JIS G 3101)
Brida placa*1	SS400 (JIS G 3101)
Conexion plate*1	SS400 (JIS G 3101)

*1:Optionally SM490 (JIS G 3106).

Tratamiento Antioxidante de la Placa Brida metalica

Preparation	Remove rust up to blasting quality of SSPC-SP-10 (SIS Sa 2 1/2)
Primero	Zinc-rich paint 75 μ m x 1 coat
Capa Media	Epoxy resin paint 60 μ m x 1 coat
Final	Epoxy resin paint 35 μ m x 1 coat
Espes.Total de pelicula	170 μ m and above

*1:Standard color is gray.

*2:Others anti-rust treatment of flange plate than painting are also available. Please contact us for more details.

Figura 2.11 Aislador de Goma de alta amortiguación HDR y la histéresis.

Fuente: BRIDGESTONE Seismic Isolation design 2019.

b. Aislador o cojinete de caucho con núcleo de plomo LRB

“Este soporte incluye un núcleo de plomo incrustado en el centro de una estructura laminada de caucho natural, donde el caucho incorpora la capacidad de resorte(k) y el núcleo de plomo proporciona la capacidad de amortiguación(β). En general, un amortiguador por separado no es necesario por lo que es una buena opción para las zonas con limitaciones de espacio. Su histéresis se asemeja a los materiales elasto - plástico. La atenuación se puede ajustar variando el diámetro del núcleo de plomo. Un tipo de material de goma está disponible y es el G0.40. El rodamiento de caucho de plomo LRB tiene fuerza de recuperación tiene la característica de resorte” (BRIDGESTONE Seismic Isolation Design 2019)

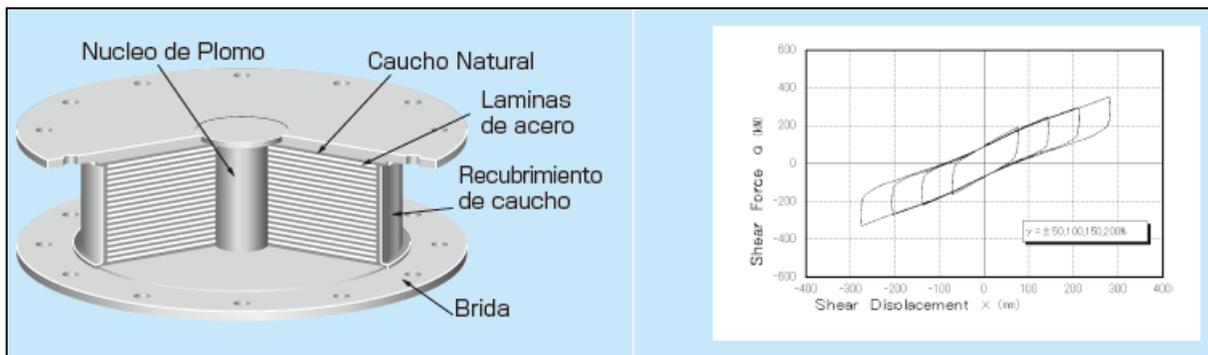


Figura 2.12 Aislador de caucho con núcleo de plomo LRB y la histéresis.

Fuente: BRIDGESTONE Seismic Isolation design 2019.

Soporte con Nucleo de Plomo (LRB)

Seismic isolation material certification number by Ministry of Land, Infrastructure and Transport
MVBR-0447 Acquired in February 2012

Dimension del Producto

Item	Description
Diameter Exterior : D_o (mm)	
Diameter nucleo plomo : D_i (mm)	
Effective plane area : A_r ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	
Espesor de cada capa de goma : t_r (mm)	
Nunero de Capa de caucho : n	
Espesor Total caucho : $H = n \times t_r$ (mm)	
1mer factor forma $S_1 = D_o / (4 \times t_r)$	
2do factor de forma $S_2 = D_o / (n \times t_r)$	
Diameter de brida : D_f (mm)	
Espesor de brida : edge/center : t_r/t_r (mm)	
Conexion perno PCD : PCD (mm)	
Diameter de perno conexion x qty : d_b (mm) x qty	
Talla de perno (assumption) : M ($d_b - 3$)	
Espesor de lamina de acero ref. : t_s (mm)	
Altura Total : H_t (mm)	
Peso Total 1 (kN) = 1/9.80665 (tonf)	

Material de Caucho

Rubber code
(standard temperature 20°C standard strain $y = 100\%$)

Rubber code	Shear modulus G_{eq} (N/mm ²)
G4	0.385

Combination of rubber materials (weight ratio %)

Rubber designation	Natural rubber Synthetic rubber	Reinforcement agent, Filler	Vulcanization agent and others
Rubber layers (G0.4)	60 and above	10 and above	25 and below
Cover rubber	40 and above	15 and above	40 and below

Properties of rubber materials

Item	Tensile strength (N/mm ²)	Elongation at Break (%)	Hardness (JIS A)	100% modulus (N/mm ²)	Young's modulus E (N/mm ²)	Bulk modulus E_{∞} (N/mm ²)	Young's modulus correction factor according to hardness
Test Standard	JIS K6251	JIS K6251	JIS K6253	JIS K6251			
Inner rubber	17 and above	600 and above	37 ± 5	0.8 ± 0.2	2.20	1176	0.85
Cover rubber	12 and above	600 and above	-	-			

Material acero

Each steel part

	Material
Reinforced steel plate	SS400 (JIS G 3101)
Flange plate *1	SS400 (JIS G 3101)
Connecting plate *1	SS400 (JIS G 3101)
Lead plug	Pb (JIS H 2105 special)

*1 : Optionally SM490 (JIS G 3106).

Anti-rust treatment of flange plate

Preparation	Remove rust up to blasting quality of SSPC-SP-10 (SIS Sa 2 1/2)
Primer	Zinc-rich paint 75 μ m x 1 coat
Middle coat	Epoxy resin paint 60 μ m x 1 coat
Finishing	Epoxy resin paint 35 μ m x 1 coat
Total film thickness	170 μ m and above

*1: Standard color is gray.

*2: Others anti-rust treatment of flange plate than painting are also available. Please contact us for more details.

Precaucion

Debido al nucleo de plomo es incrustado en el centro del caucho laminado, se requiere un tratamiento especial en caso de que el soporte de caucho laminado es tratado como un residuo industrial. Por favor, póngase en contacto con nosotros si tiene alguna pregunta.

Figura 2.13 Aislador de caucho con núcleo de plomo LRB y la histéresis.

Fuente: BRIDGESTONE Seismic Isolation design 2019.

c. Aislador o cojinete de caucho natural NRB

“Este soporte utiliza caucho natural, que inherentemente tiene un factor de amortiguación bajo (alrededor del 2 - 3% del factor de amortiguación equivalente), una linealidad excelente y una fuerza de recuperación estable por lo tanto el caucho natural no amortigua. Se requiere un amortiguador por separado, pero el diseño global de aislamiento tiene mucha mayor flexibilidad. Hay cuatro tipos diferentes de módulos elásticos que están disponibles (G0.30, G0.35, G0.40, G0.45) para apoyar una amplia gama de cargas sobre la columna. El cojinete de caucho natural NRB tiene fuerza de recuperación tiene la característica de resorte” (BRIDGESTONE Seismic Isolation Design 2019)

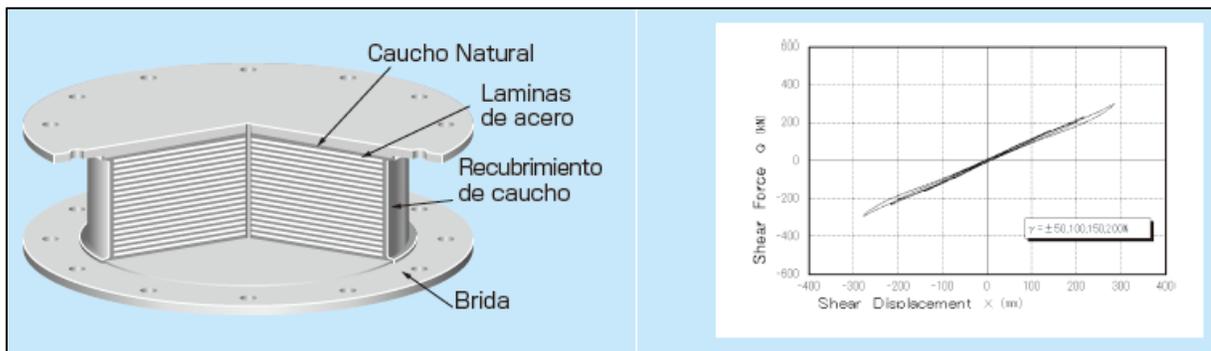


Figura 2.14 Aislador de caucho natural NRB y la histéresis.

Fuente: BRIDGESTONE Seismic Isolation design 2019.

Soporte de Caucho Natural (NRB)

Seismic isolation material certification number by Ministry of Land, Infrastructure and Transport

MVBR-0295 (N3, G3, G5) Acquired in January 2006
MVBR-0446 (G4) Acquired in February 2012

Product Dimension

Item	Description
Diameter exterior : D_o (mm)	
Diameter interior : D_i (mm)	
Effective plane area : A ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	
Espesor de cada capa de goma : t_r (mm)	
Numero de capa de goma : n	
Espesor total goma : $H = n \times t_r$ (mm)	
1me factor forma $S_1 = (D_o - D_i) / (4 \times t_r)$	
2do factor forma $S_2 = D_o / (n \times t_r)$	
Diameter of flange : D_r (mm)	
Thickness of flange: edge/center : t_f / t_{fc} (mm)	
Connecting bolt PCD : PCD (mm)	
Diameter of connecting bolt hole x qty : d_b (mm) x qty	
Bolt size (assumption) : $M (d_b - 3)$	
Thickness of each reinforced steel plate : t_s (mm)	
Total height : H_t (mm)	
Total weight 1 (kN) = 1/9.80665 (tonf)	

Material de Caucho Natural

Rubber code
(standard temperature 20°C standard strain $\gamma = 100\%$)

Rubber code	Rubber designation	Shear modulus G_{eq} (N/mm ²)
N3	G0.30	0.294
G3	G0.35	0.343
G4	G0.40	0.392
G5	G0.45	0.441

Combination of rubber materials (weight ratio %)

Rubber designation	Natural rubber	Synthetic rubber	Reinforcement agent, Filler	Vulcanization agent and others
Rubber layers	G0.30	55 and above	15 and above	25 and below
	G0.35	60 and above	10 and above	25 and below
	G0.40	60 and above	10 and above	25 and below
	G0.45	65 and above	10 and above	20 and below
Cover rubber	40 and above	15 and above	15 and above	40 and below

Properties of rubber materials

Item	Tensile strength (N/mm ²)	Elongation at Break (%)	Hardness (JIS A)	100% modulus (N/mm ²)	Young's modulus E (N/mm ²)	Bulk modulus E_{∞} (N/mm ²)	Young's modulus correction factor according to hardness	
Test Standard	JIS K6251	JIS K6251	JIS K6253	JIS K6251				
Inner rubber	G0.30	14 and above	600 and above	33 ± 4	0.6 ± 0.2	1.64	1200	0.85
	G0.35	16 and above	600 and above	33 ± 4	0.7 ± 0.2	1.92	1200	0.85
	G0.40	17 and above	600 and above	37 ± 5	0.8 ± 0.2	2.20	1200	0.85
	G0.45	17 and above	600 and above	40 ± 5	0.9 ± 0.2	2.47	1300	0.85
Cover rubber	12 and above	600 and above	-	-				

Material acero

Each steel part

Reinforced steel plate	Material
Reinforced steel plate	SS400 (JIS G 3101)
Flange plate*1	SS400 (JIS G 3101)
Connecting plate*1	SS400 (JIS G 3101)

*1: Optionally SM490 (JIS G 3106).

Anti-rust treatment of flange plate

Preparation	Remove rust up to blasting quality of SSPC-SP-10 (SIS Sa 2 1/2)
Primer	Zinc-rich paint 75 μ m x 1 coat
Middle coat	Epoxy resin paint 60 μ m x 1 coat
Finishing	Epoxy resin paint 35 μ m x 1 coat
Total film thickness	170 μ m and above

*1: Standard color is gray.

*2: Others anti-rust treatment of flange plate than painting are also available.
Please contact us for more details.

Figura 2.15 Aislador de caucho natural NRB y la histéresis.

Fuente: BRIDGESTONE Seismic Isolation design 2019.

d. Aislador de deslizamiento elástico

Este soporte consta de 2 piezas:

- Un soporte de caucho natural aglomeradas con material PTFE (teflón)
- Una placa deslizante de acero inoxidable.

“Desplazamientos pequeños son absorbidos por el propio caucho, mientras que los grandes desplazamientos provocan que el soporte de caucho se deslice sobre la placa. Puesto que no hay fuerza de recuperación, el soporte de deslizamiento se utiliza normalmente en combinación con un NRB, LRB o HDR. Tres diferentes coeficientes de fricción están disponibles para satisfacer los requisitos de amortiguación” (**BRIDGESTONE Seismic Isolation Design 2019**)

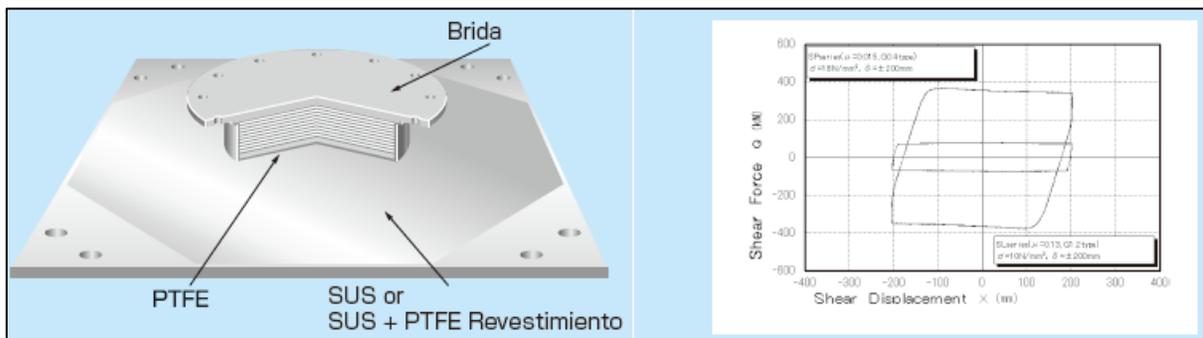


Figura 2.16 Cojinete de deslizamiento elástico

Fuente: BRIDGESTONE Seismic Isolation design 2019.

Soporte Deslizante Elastico

Seismic isolation material certification number by Ministry of Land, Infrastructure and Transport

MVBR-0349 (SL Series) Acquired in June 2007
 MVBR-0469 (SP Series, G0.4 Type) Acquired in December 2012
 MVBR-0479 (SK Series, G0.4 Type) Acquired in May 2013

Product Dimension

Item		Plan and Sectional View								
Dimensions	Diameter Exterior : D_o (mm)									
	Diameter interior : D_i (mm)									
	Effective diameter (outer diameter of sliding Plate) : D_e (mm)									
	Effective plane area : A ($\times 10^2 \text{mm}^2$)									
	Thickness of each rubber layer : t_r (mm)									
	Number of rubber layers : n									
	Total rubber thickness : $H = n \times t_r$ (mm)									
	First shape factor $S_1 = (D_o - D_i) / (4 \times t_r)$									
	Second shape factor $S_2 = D_o / (n \times t_r)$									
	Diameter of flange : D_f (mm)									
	Thickness of flange: edge/center : t_f/t_{fc} (mm)									
	Connecting bolt PCD : PCD (mm)									
	Diameter of connecting bolt hole x qty : d_b (mm) x qty									
	Bolt size (assumption) : M ($d_b - 3$)									
	Thickness of each reinforced steel plate : t_s (mm)									
	Total height : H_t (mm)									
	Total weight 1 (kN) = 1/9.80665 (tonf)									
	<table border="1"> <tr><td>Sliding plate</td></tr> <tr><td>Outer base plate : L_1 (mm)</td></tr> <tr><td>Outer SUS plate : L_2 (mm)</td></tr> <tr><td>Inner SUS plate : L_3 (mm)</td></tr> <tr><td>Total thickness : $t_s = t_b + t_{st}$ (mm)</td></tr> <tr><td>Connecting bolt hole position : L_{b1}, L_{b2} (mm)</td></tr> <tr><td>Diameter of connecting bolt hole x qty : d_b (mm) x qty</td></tr> <tr><td>Bolt size (assumption) : M ($d_b - 5$)</td></tr> <tr><td>Weight of sliding plate : (kN)</td></tr> </table>	Sliding plate	Outer base plate : L_1 (mm)	Outer SUS plate : L_2 (mm)	Inner SUS plate : L_3 (mm)	Total thickness : $t_s = t_b + t_{st}$ (mm)	Connecting bolt hole position : L_{b1}, L_{b2} (mm)	Diameter of connecting bolt hole x qty : d_b (mm) x qty	Bolt size (assumption) : M ($d_b - 5$)	Weight of sliding plate : (kN)
Sliding plate										
Outer base plate : L_1 (mm)										
Outer SUS plate : L_2 (mm)										
Inner SUS plate : L_3 (mm)										
Total thickness : $t_s = t_b + t_{st}$ (mm)										
Connecting bolt hole position : L_{b1}, L_{b2} (mm)										
Diameter of connecting bolt hole x qty : d_b (mm) x qty										
Bolt size (assumption) : M ($d_b - 5$)										
Weight of sliding plate : (kN)										

Material de Caucho

Notation of rubber kind (standard temperature 20°C standard strain $\gamma = 100\%$)

Series	Rubber code	Rubber name	Shear modulus G_{eq} (N/mm ²)
SK	G4	G0.4	0.392
SL	GC	G1.2	1.18

Composition of rubber materials (weight ratio %)

Rubber name	Natural rubber	Synthetic rubber	Reinforcement agent, Filler	Vulcanization agent and others
Rubber layers	G0.4	60 or above	10 or above	25 or below
	G1.2	60 or above	10 or above	25 or below
Cover rubber		40 or above	15 or above	40 or below

Properties of rubber materials

Item	Tensile strength (N/mm ²)	Elongation at Break (%)	Hardness (JIS A)	100% modulus (N/mm ²)	Young's modulus E (N/mm ²)	Bulk modulus E_∞ (N/mm ²)	Young's modulus correction factor according to hardness	
Test Standard	JIS K6251 (ISO 37)	JIS K6251 (ISO 37)	JIS K6253 (ISO 7619-1)	JIS K6251 (ISO 37)				
Inner rubber	G0.4	17 or above	600 or above	37 \pm 5	0.8 \pm 0.2	2.20	1200	0.85
	G1.2	15 or above	550 or above	65 \pm 5	2.45 \pm 0.69	5.88	1569	0.53
Cover rubber		12 or above	600 or above	-	-			

Material Deslizante y Placa Revestida Deslizante

Composition of sliding material and sliding plate coating (weight ratio %)

SK Series	Tetrafluoroetileno	Relleno
Sliding material	80	20
Sliding plate coating	55	45

SL Series	Tetrafluoroetileno	Fibra Vidrio	Disulfuro de molibdeno
Sliding material	80	15	5
Sliding plate	SUS (polished by #400 and above)		

Material acero

Steel material for each part

	Material	
Reinforced steel plate	SS400 (JIS G 3101)	
Flange plate	SS400 (JIS G 3101)	
Sliding plate	Stainless plate	SUS304, SUS316 (JIS G 4304, G 4305)
	Base plate	SS400 (JIS G 3101)

Anti-rust treatment of base plate

Preparation	Remove rust up to blasting quality of SSPC-SP-10 (SIS Sa 2 1/2)
Primer	Zinc-rich paint 75 μ m x 1 coat
Middle coat	Epoxy resin paint 60 μ m x 1 coat
Finishing	Epoxy resin paint 35 μ m x 1 coat
Total film thickness	170 μ m and above

*1: Standard color is gray.

*2: Other kinds of anti-rust treatment are also available. Please contact us for more details.

Figura 2.17 Cojinete de deslizamiento elástico

Fuente: BRIDGESTONE Seismic Isolation design 2019

2.3. DEFINICION DE TERMINOS

- **Aisladores sísmicos.**

El aislamiento sísmico es un dispositivo compuesto de elementos estructurales de alta tecnología, sirve para proteger la super estructura de los efectos destructivos de un sismo, además su función es desfazar la super estructura de la sub estructura cuando se genera un sismo; así proteger la integridad del puente y/o la infraestructura. El aislamiento sísmico es una herramienta de gran alcance de la ingeniería sísmica con eficacia de proteger a las estructuras contra los sismos

- **Estructura.**

Básicamente un puente está formado por 2 partes principales: el tablero y los apoyos, Normalmente además de estas dos partes también llevan una armadura ya sea metálica o de acero con concreto. El tablero se apoya en los apoyos, siendo la distancia entre dos puntos de apoyo, A la hora de plantearse la construcción de un puente, se dividen en dos partes separadas: **La superestructura.** Que es un conjunto de los tramos que salvan los apoyos situados entre los soportes, **La sub estructura.** Está formada por los cimientos, los estribos y las pilas que soportan los tramos

- **Sismo.**

Los sismos llamado también temblor de tierra o movimiento telúrico, es la sacudida brusca y pasajera de la corteza terrestre producida por la liberación de energía acumulada en forma de ondas sísmicas. Los más comunes se producen por la actividad de fallas geológicas. También pueden ocurrir por otras causas como, por ejemplo, fricción en el borde de placas tectónicas, procesos volcánicos, impactos de asteroides o cualquier objeto celeste de gran tamaño, o incluso pueden ser producidas por el ser humano al realizar detonaciones nucleares subterráneas.

- **Norma técnica.**

La presente Norma Técnica es un documento reconocido y aprobado por el ente competente del estado peruano para dar cumplimiento obligatorio en todo el

territorio nacional, para las edificaciones con sistemas de aislamiento sísmico incluyendo aquellas indicadas en la Norma Técnica E 031.

- **Puente.**

Los puentes son estructuras destinada a salvar obstáculos naturales, como ríos, valles, lagos o brazos de mar, y obstáculos artificiales, como vías férreas o carreteras, con el fin de poder transportar mercancías, permitir la circulación de las gentes y trasladar mercancías de un sitio a otro

- **Aislador.**

Elemento estructural del sistema de aislamiento sísmico que es verticalmente rígido y horizontalmente flexible, y que permite grandes deformaciones laterales bajo sollicitaciones sísmicas.

- **Amortiguamiento efectivo.**

Valor del amortiguamiento viscoso equivalente correspondiente a la energía disipada en la respuesta cíclica del sistema de aislamiento sísmico, expresado como fracción del amortiguamiento crítico.

- **Desplazamiento traslacional.**

Desplazamiento lateral máximo en el centro de rigidez del sistema de aislamiento sísmico, en la dirección de análisis, excluyendo el desplazamiento adicional generado por la torsión natural y accidental. El desplazamiento traslacional debe ser calculado separadamente con los límites inferior y superior de las propiedades del sistema de aislamiento sísmico.

- **Desplazamiento total.**

Desplazamiento lateral máximo, incluyendo el desplazamiento adicional generado por el efecto de la torsión natural y accidental, que se requiere para verificar la estabilidad de los aisladores y del sistema de aislamiento sísmico, para determinar las separaciones entre estructuras, y para los ensayos de los aisladores prototipo. El

desplazamiento total debe ser calculado separadamente con los límites inferior y superior de las propiedades del sistema de aislamiento sísmico.

- **Interfaz de aislamiento.**

Zona o espacio generado por el sistema de aislamiento sísmico que está limitado en su parte superior por la superestructura, que está aislada, y en su parte inferior por la subestructura o cimentación, que se mueve rígidamente con el terreno.

- **Espectro de respuesta:**

es un valor utilizado en los cálculos de ingeniería sísmica, que mide la reacción de una estructura ante la vibración del suelo que la soporta.

Existen diferentes tipos de espectros de respuesta según la reacción que se quiera comparar: espectro de respuesta de velocidad, espectro de respuesta de deformación...

El más habitual en cálculos sísmicos es el espectro elástico de respuesta, que relaciona la aceleración.

2.4. HIPOTESIS

2.4.1. HIPOTESIS GENERAL

La propuesta de aisladores sísmicos

2.4.2. HIPOTESIS ESPECÍFICAS

1. La amortiguación efectiva en la estructura de puentes continuos
2. La rigidez efectiva en la estructura de puentes continuos
3. El desplazamiento de diseño en la estructura de puentes continuos se reduce.

2.5. VARIABLES

2.5.1. DEFINICION CONCEPTUAL DE LA VARIABLE

- a. **Variable Independiente (x) aisladores sísmicos** Genatios y La Fuente (2016) indica que: "Los aisladores son una herramienta de alta tecnología que protege una estructura de los efectos destructivos de un sismo. Lo hace separando la base de la edificación de la tierra. De esta manera los

movimientos del suelo producidos por un terremoto o sismo, no afectan la estructura. Con las nuevas normas actualizadas dar protección de la infraestructura frente a terremotos, una guía para la propuesta de aisladores sísmicos en puentes continuos".

- b. Variable Dependiente (y) Estructura de puentes continuo.** Rodríguez (2012) señala: "La estructura del puente continuo es mayor a 2 tramos son hiperestáticas que permite sujetar cuantiosamente la flexión de cálculo con vigas continuas y dependerá de cómo se comportará con aisladores sísmicos. Los aisladores sísmicos serán para disminuir los daños en la super estructura y demostrar la eficiencia que tiene los aisladores. Los aisladores sísmicos no generan daño en la superestructura, la vibración de la super estructura debe estar por debajo de la aceleración del aislador sísmico".

2.5.2. DEFINICION OPERACIONAL DE LA VARIABLE

- a. Variable Independiente (x) aisladores sísmicos.** Los aisladores sísmicos incorporados en el puente absorberán la energía sísmica disminuirá desastres, daños y pérdidas económicas después de un sismo ya sea severo o de gran magnitud.
- b. Variable Dependiente (y) Estructura de puentes continuos.** La super estructura del puente continuo transmitirá su carga sísmica al aislador y su comportamiento durante un sismo será mucho mayor su amortiguamiento.

2.5.3. OPERACIONALIZACION DE LA VARIABLE

Tabla 2.9 Operacionalización de la variable

VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable Independiente	Aisladores sísmicos	1. amortiguación efectiva	<ul style="list-style-type: none"> - disipación de energía sísmica - Factor de amortiguamiento
		2. Rigidez efectiva	<ul style="list-style-type: none"> - Fuerza de recuperación - Transmisión de cargas, desplazamiento y rotación - Curva de estéresis - Características del resorte
		3. Desplazamiento de diseño	<ul style="list-style-type: none"> - Desplazamiento en x-x - Desplazamiento en y-y
Variable Dependiente	Estructura de puentes continuos	1. efectos sísmicos	<ul style="list-style-type: none"> - Desplazamiento de diseño - Desplazamiento máximo
		2. Estructuras aisladas	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis de rigidez en la sub estructura - Peso de la super estructura - Rigidez en la sub estructura - Cortantes en los pilares - Análisis dinámico no lineal
		3. Comportamiento estructural	<ul style="list-style-type: none"> - Seguridad - Calidad

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

En el presente trabajo de investigación se hará uso del **Método Científico** como método general. Según **ANDER, Egg (1984:56)**, “El estudio del método científico es objeto de estudio de la epistemología. Asimismo, el significado de la palabra “método” ha variado. Ahora se le conoce como el conjunto de técnicas y procedimientos que le permiten al investigador realizar sus objetivos”.

Roberto Hernández Sampieri. “La investigación se define como un conjunto de procesos sistemáticos y empíricos que se aplica al estudio de un fenómeno”. En términos generales, los dos enfoques emplean procesos cuidadosos, sistemáticos y empíricos para generar conocimiento”

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación es **aplicada** pertenece a La **metodología cuantitativa**, de acuerdo con **Tamayo (2007)** “consiste en el contraste de teorías ya existentes a partir de una serie de hipótesis surgidas de la misma, siendo necesario obtener una muestra, ya sea en forma aleatoria o discriminada, pero representativa de una población o fenómeno objeto de estudio”

La investigación es **aplicativa** porque se busca mejorar las condiciones estructurales de los puentes durante un sismo ocurrido en la ciudad de Huancayo y en el país porque de una u otra manera los sismos abarcan departamentos.

3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

3.3.1. NIVEL DESCRIPTIVO

Supo (2014) “En la tesis de investigación Descriptivo tiene relación causal; no sólo persigue describir o acercarse a un problema, sino que intenta encontrar las causas del mismo y explicar todo el procedimiento desarrollado conjuntamente con resultados reales y confiables, para obtener todo ello se trabaja con toda las normas técnicas peruanas y reglamentos relacionados a puentes. Para mayor veracidad de los resultados obtenidos en el tiempo se aplicará la tecnología de sistemas de alta vanguardia de esta manera estar cada día de la mano de la tecnología” para los diseños y propuestas de aisladores sísmicos para puentes continuos.

3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Sabino (2007) “El diseño de investigación es un plan global de investigación que integran de un modo coherente y adecuadamente correcto, técnicas de recogida de datos a utilizar, análisis previstos y objetivos, se tiene como objetivo para la tesis de investigación de puentes”

3.4.1. EXPERIMENTAL

Sabino (2007) “El tipo de investigación científica cuantitativa es del tipo experimental porque se recopilará información y se realizará todo el cálculo matemáticamente ya sea simples y con programas de computación. De esta manera se obtendrá información real de la investigación”

3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.5.1. POBLACION

“Una población se refiere al universo, conjunto o totalidad de todos los elementos o casos que se investiga o hacen estudio y que concuerdan con una serie de especificaciones” (Selltiz, 1980 citado por Hernández Sampieri, 2010) La población de la investigación cuantitativa aplicada corresponde a los puentes continuos carrozables de la Provincia de Huancayo Región Junín

3.5.2. MUESTRA

“Para el proceso cuantitativo la muestra es un subgrupo o una parte previamente que se selecciona de la población del cual se recolectan datos y debe ser representativo” (Selltiz, 1980 citado por Hernández Sampieri, 2010)

La muestra de la tesis de investigación cuantitativa aplicada corresponde al puente carrorable entre av Huancavelica y Rio Shulcas de la Provincia de Huancayo Región Junín

3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Las técnicas que se emplea son mediante recopilación de datos e informaciones de hechos reales y teóricos que has sido plasmados en la vida real, También se extraen información de internet, libros, páginas web. Revistas y se usaran programas de ingeniería

3.7. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

SUÁREZ (1998:36) “sostiene que el fichaje “consiste en registrar los datos que se van obteniendo en los instrumentos llamados fichas, las cuales debidamente elaboradas y ordenadas contienen la mayor parte de la información que se recopila en una investigación”

Para la elaboración y el procesamiento de los datos para la propuesta de aisladores sísmico se utilizarán los modelos tabulares números y gráficos además el uso de herramientas y programas de computacional para procesar toda la información.

3.8. TÉCNICAS Y ANÁLISIS DE DATOS

El análisis de datos consiste en la realización de las operaciones a las que el investigador someterá los datos con la finalidad de alcanzar los objetivos del estudio. Todas estas operaciones no pueden definirse de antemano de manera rígida.

En la Técnica cuantitativa los datos se presentan en forma numérica distribuida estadísticamente.

CAPITULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACION

4.1. PROCEDIMIENTOS PARA LA TESIS DE INVESTIGACION

Para la tesis se ha tomado tres tipos de procedimientos para el análisis del desplazamiento del puente continuo propuesto sísmicamente aislado. De la siguiente manera:

- **Procedimiento 1: Método simplificado**
- **Procedimiento 2: Método espectral multimodal**
- **Procedimiento 3: Método Time – History Dinámico**

4.2. UBICACIÓN DE LA TESIS DE INVESTIGACION

La tesis de investigación se ha planteado en la provincia de Huancayo, departamento Junín. La tesis de investigación se encuentra en la zona sísmica Z3

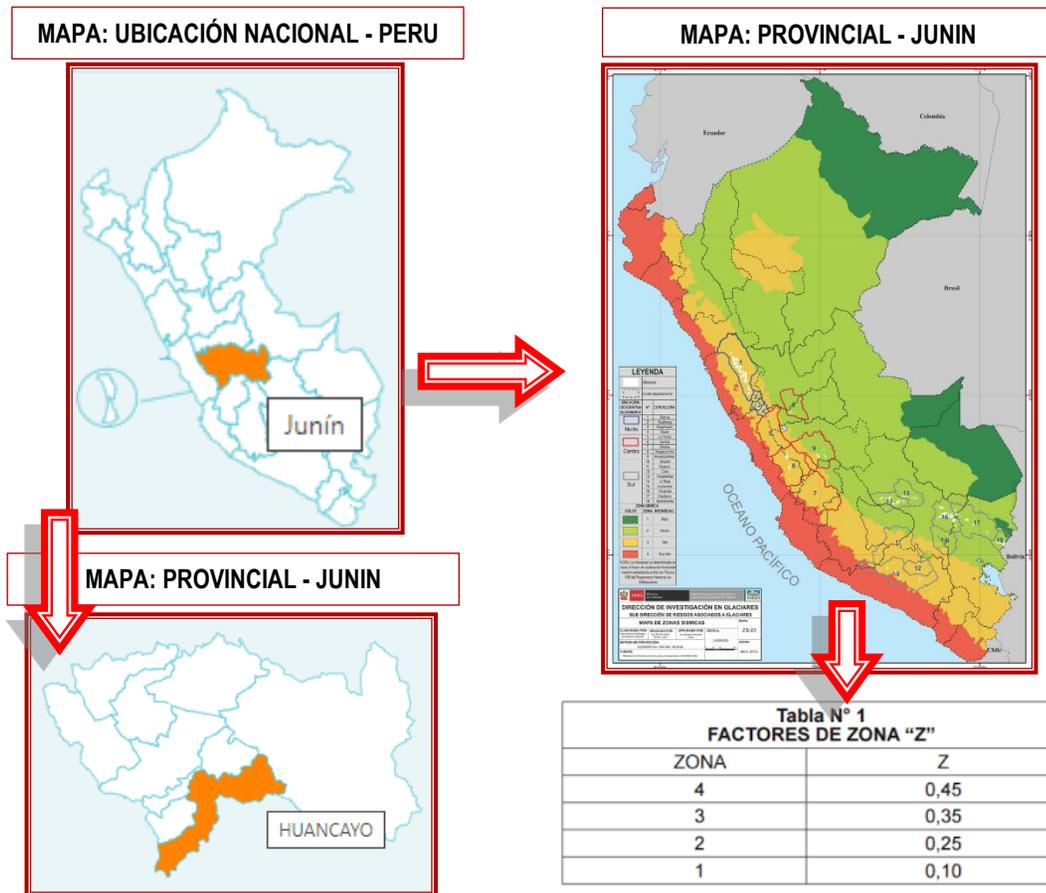


Figura 9.1 Ubicación de la tesis de investigacion y mapa sísmica.

Fuente: Mapa extraída INEI 2022. Mapa sísmica extraída norma de puentes 2018

4.3. CLASIFICACION DEL TIPO DE SUELO PARA LA TESIS

La clasificación del tipo de suelo se ha clasificado en función de la velocidad de propagación mas no a la velocidad del suelo de acuerdo al código AASHTO LRFD 2017, para ello se ha tenido que recurrir a un estudio final de geología y geotecnia de suelo realizado en el 2018 para el puente de Chupuro Km 52+308 por PROVIAS NACIONAL denominado “CONSTRUCCION DE PUENTES POR REEMPLAZO EN ANCASH Y JUNIN”, longitud del puente Chupuro es de 78m. para dicho puente han realizado 2 perforaciones diamantina p-01 y p-02, a una profundidad de 35m cada perforación.

Tabla 4.1 Descripción de materiales de la perforación P-01 y P-02 Puente Chupuro

Profundidad		Descripción visual de la textura del suelo
desde (m)	hasta (m)	
0.00	0.55	Carpeta asfáltica, material de base
0.55	2.60	Grava en matriz de arcilla limosa con algo de arena fina
2.60	3.40	Bloques de aglomerado calcacio en matriz limo arenosa
3.40	3.69	Graba en matriz arenosa de grano fino a media con algo de finos
3.69	5.20	Aglomerado calcacio, la matriz son calizas de formas angulosas
5.20	5.40	Tramo de grava en matriz arenosa de grano media con algo de finos
5.40	9.50	Bloques de aglomerado, grabas y clastos atrapados en la matriz son calizas
9.50	11.10	Grava 55%, arena 30% fina 15% con limo, de color amarillo grisáceo
11.10	15.50	Arena 45%, grava 30%, cantos 10%, limo 15% color amarillo grisáceo
15.50	17.60	Arena 30%, grava 48%, cantos 10%, finos 15% color amarillo grisáceo
17.60	19.35	Bloque de roca cal cacea sin alteración y algunos rellenos de calcitas
19.35	20.30	Arena 25%, grava 70%, finos 5% color amarillo grisáceo
20.30	21.30	Roca cementación cal cacea con oquedades rellena por arena fina
21.30	24.40	Grava 55%, finos 20%, boleos 20%, arena 5%, en tamaño máximo 23cm
24.40	26.30	Gravas angulosas monomícticos Grava 65%, arena 10% fina 25%
26.30	28.00	Grava 55%, cantos 10%, fino 20%, bolo 5%, arena 10%, tamaño máx. 18cm
28.00	29.72	Bloque de roca cal cacea color gris claro presenta relleno de calcitas
29.72	30.50	Grava de forma angulosa tamaño máx. 5cm, Grava 75%, finos 25%
30.50	32.50	Grava 50%, finos 20%, canto 5%, bolo 15%, arena 10%, tamaño máx. 12cm
32.50	33.60	Bloque de roca calcacea color pardo grisáceo sin alteración, sin oquedades
33.60	35.00	Grava 55%, finos 25%, canto 10%, arena 10%, tamaño máx. de 6cm a 15cm

Fuente: Provias Nacional 2018

Tabla 4.2 Nivel freático en las perforaciones P-01 y P-02 Puente Chupuro

Puente	Perforación	Nivel freático (m)
Chupuro	P - 01	13.45
	P - 02	13.1

Fuente: Provias Nacional 2018

En cada ensayo MASW se obtuvo un perfil unidimensional de las velocidades “S” hasta la profundidad de 30.00 m, cuyos resultados obtenidos y clasificación de suelos según AASHTO y la Norma E.030 son mostrados en las siguientes tablas.

De las tablas a continuación se identifica que el terreno de cimentación para las pilas y estribos es un suelo de tipo “C” según la clasificación de la AASHTO – LRFD 2017, por lo tanto con este estudio geotécnico; me guio y planteo el tipo de suelo de tipo “C” para la tesis.

Tabla 4.3 Variación de velocidad de onda “S” en función a la profundidad P-01 Puente Chupuro

Línea MASW	Profundidad (m)	Vs (m/s)	Vs 30 (m/s)	Clasificación del suelo AASHTO 2014	Clasificación del suelo E.030 2016
MASW - 01	1.07	488	703	C	S1 (suelo muy rígido)
	2.31	520			
	3.71	530			
	5.28	592			
	7.01	608			
	8.90	648			
	10.96	675			
	13.19	691			
	15.58	709			
	18.13	731			
	20.85	776			
	23.74	839			
	26.79	874			
30.00	921				

Fuente: Provias Nacional 2018

Tabla 4.4 Variación de velocidad de onda “S” en función a la profundidad P-02 Puente Chupuro

Línea MASW	Profundidad (m)	Vs (m/s)	Vs 30 (m/s)	Clasificación del suelo AASHTO 2014	Clasificación del suelo E.030 2016
MASW - 02	1.07	510	727	C	S1 (suelo muy rígido)
	2.31	525			
	3.71	560			
	5.28	584			
	7.01	645			
	8.90	680			
	10.96	714			
	13.19	745			

15.58	766
18.13	705
20.85	722
23.74	842
26.79	861
30.00	900

Fuente: Provias Nacional 2018

4.4. CONSIDERACIONES PARA EL PUENTE CONTINUO

4.4.1. DESCRIPCION DE LOS MATERIALES

Los materiales cumplen con la calidad y satisfacen para el diseño tal como indica en las especificaciones técnicas para puentes con vigas prefabricadas (presforzados) que especifica en el manual de puentes 2018 y en la norma AASHTO – LRSD 8va edición 2017

CONCRETO

Tabla 4.5 elementos del Concreto armado

CONCRETO			
Elementos	Resistencia a la Compresión (f'_c)	Coefficiente de poisson (μ_c)	Módulo de elasticidad (E_c)
Concreto en superestructura			
tablero o losa	$f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$ $f'_c = 28 \text{ MPa}$	$\mu_c=0.20$	$E_c = K_1 \cdot (\gamma_c)^{1.5} 0.043 \sqrt{f'_c}$
Vereda	$f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$ $f'_c = 28 \text{ MPa}$		
Viga pre esforzada	$f'_c=350 \text{ kg/cm}^2$ $f'_c = 35 \text{ MPa}$		
Concreto en subestructura			
Viga cabezal	$f'_c=350 \text{ kg/cm}^2$ $f'_c = 35 \text{ MPa}$	$\mu_c=0.20$	$E_c = K_1 \cdot (\gamma_c)^{1.5} 0.043 \sqrt{f'_c}$
Pilares	$f'_c=350 \text{ kg/cm}^2$ $f'_c = 35 \text{ MPa}$		
Encepado	$f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$ $f'_c = 28 \text{ MPa}$		
Pilotes	$f'_c=350 \text{ kg/cm}^2$ $f'_c = 35 \text{ MPa}$		

Fuente: AASHTO – LRDF (Bridge Design Specifications) 8va edición 2017

Para concretos de peso unitario o resistencia normal (γ_c) comprendido entre 1450 kg/cm³ y 2500 kg/m³; el módulo de elasticidad (E_c) será lo siguiente.

$$E_c = K_1 \cdot (\gamma_c)^{1.5} \cdot 0.043 \sqrt{f'_c}$$

- $\gamma_c = 2320 \text{ kg/m}^3$
- $K = 1.0$ (Factor de corrección debido al origen de los agregados, se tomará 1.0)

$$E_c = 1(2320)^{1.5} \cdot 0.043 \sqrt{28 \text{ MPa}}$$

$$E_c = 25426 \text{ MPa} = 254260 \text{ kg/cm}^2$$

ACERO DE REFUERZO

Tabla 4.6 elementos del Acero de refuerzo ASTM A615 – grado 60

ACERO DE REFUERZO			
Elementos	Resistencia a la fluencia (f_y)	Coefficiente de poisson (μ_c)	Módulo de elasticidad (E_s)
Acero de refuerzo ASTM A615 - grado 60 en superestructura y subestructura	$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ $f_y = 420 \text{ MPa}$	$\mu_c = 0.30$	$E_s = 2040000 \text{ kg/cm}^2$ $E_s = 204000 \text{ MPa}$

Fuente: AASHTO – LRDF (Bridge Design Specifications) 8va edición 2017

DENSIDAD DE LOS MATERIALES

Tabla 4.7 Densidad (λ) de los materiales

Material	Peso unitario (densidad) (kg/m ³)	Peso unitario (densidad) (tn/m ³)
Concreto armado	2500	2.50
Concreto normal	2400	2.40
Asfalto	2250	2.25
Acero de refuerzo	7850	7.85
Baranda metálica	300 kg/m	0.30 Tn/m

Fuente: AASHTO – LRDF (Bridge Design Specifications) 8va edición 2017

PESO ESPECIFICO DE LOS MATERIALES

Tabla 4.8 Peso específico de los materiales

Material	Peso específico (tnf/m ³)
Concreto armado	2.50
Concreto normal	2.40
Asfalto	2.25
Acero de refuerzo	7.85
Baranda metálica	0.30 Tnf/m
Barrera de concreto	0.13 Tnf/m

Fuente: AASHTO – LRDF (Bridge Design Specifications) 8va edición 2017

4.4.2. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS PARA EL PUENTE

Para la tesis se plantea toda la característica de la propuesta puente continuo con vigas prefabricadas - presforzada. A continuación, se plasma todo el plano para su mejor visualización. Las medidas del puente para el dimensionamiento están de acuerdo a la norma AASHTO 8va Edición 2017. Los planos en planta, arquitectura, estructura, cortes, elevaciones, detalles, acotaciones, leyendas y descripciones se han dibujado en gabinete en el programa computacional AutoCAD 2019 – English

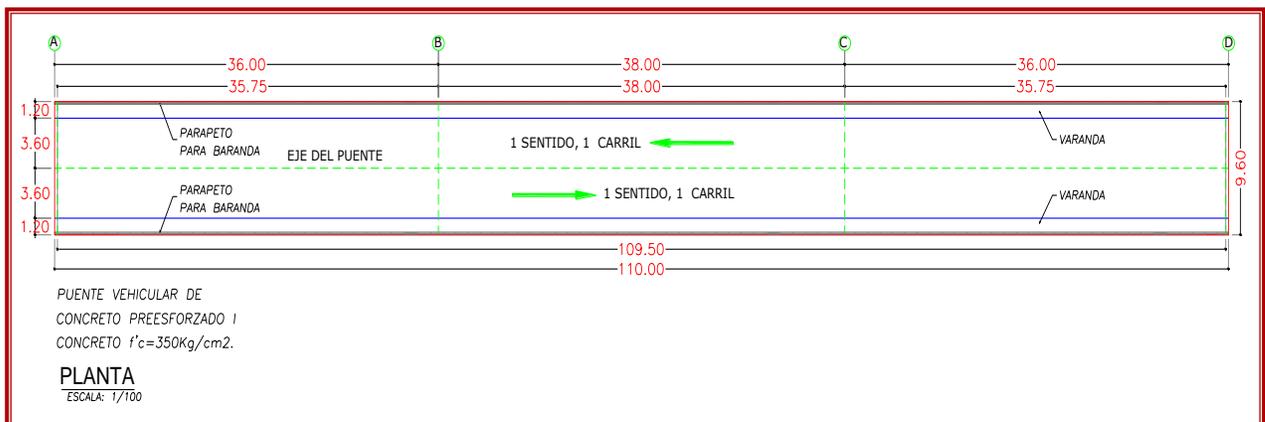


Figura 4.2 Plano en planta - Puente propuesto

Las medidas del puente para el dimensionamiento están realizadas de acuerdo a la norma AASHTO 8va Edición 2017

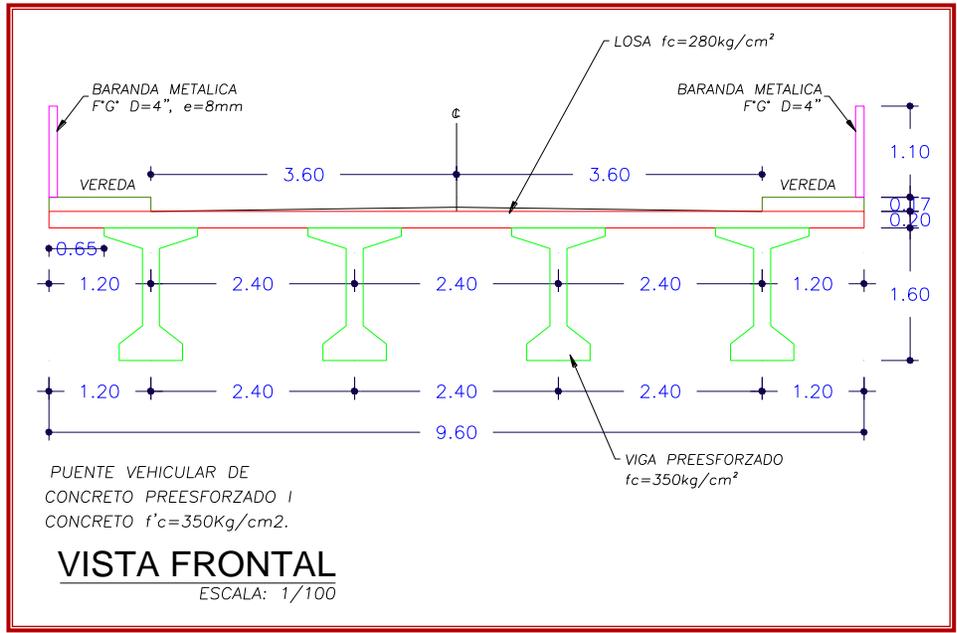


Figura 4.3 Plano frontal - puente propuesto

Las medidas del puente para el dimensionamiento están realizadas de acuerdo a la norma AASHTO 8va Edición 2017

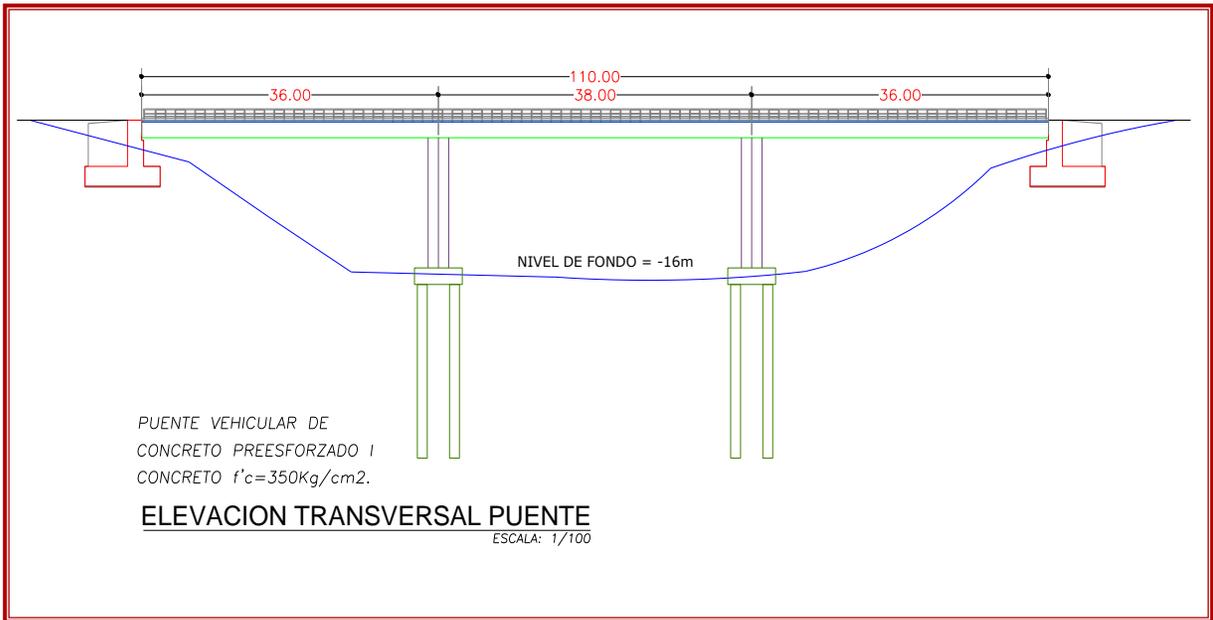


Figura 4.4 Plano Elevación lateral - puente propuesto

El dimensionamiento de la viga presforzada para el puente está realizado de acuerdo a la norma AASHTO 8va Edición 2017

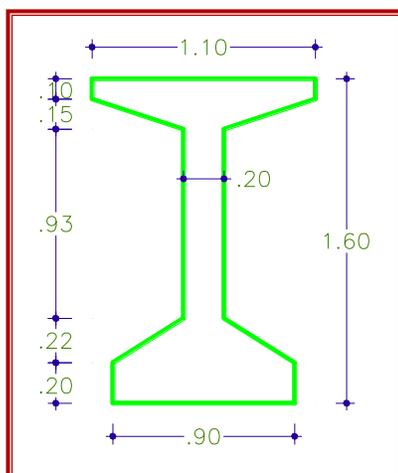


Figura 4.5 Esquema propuesto de la viga presforzada - puente propuesto

Tabla 4.9 elementos descriptivos principales del puente continuo

DESCRIPCION PRINCIPAL DEL PUENTE CONTINUO CON VIGA PREEFORZADA - PREFABRICADA	
SUPER ESTRUCTURA	
Número de carriles	2.00
Numero de sentido/carril	1.00
Número de tramos	3.00
Longitud del tramo 1 (m)	36.00
Longitud del tramo 2 (m)	38.00
Longitud del tramo 3 (m)	36.00
Longitud total del puente	110.00
numero de vigas presforzadas - prefabricada	4.00
Numero de diafragmas cada 4 metros	
Ancho de cada carril (m)	3.60
Ancho total del puente (m)	9.60
Ancho de vereda (m)	1.20
Espesor de losa (m)	0.20
Altura de la viga $H=0.04*L$ (m)	1.60
Ancho de la viga (m)	0.20
Altura del diafragma (m)	1.18
Ancho del diafragma (m)	0.25
Numero de apoyos	4.00
Estribo norte y estribo sur	2.00
Apoyo interior	2.00
Angulo de desviación	0°

SUBESTRUCTURA	
Altura de pilares tipo pared incluido viga cabezal	15.00
Tipo de viga cabezal. Trapezoidal irregular	
Dimensiones del encepado (l*a*h) =8.90m*5.80m*2.00	
Altura de pilotes incluido encepado H=m	21.80

4.5. MODELADO Y ANALISIS DEL PUENTE

4.5.1. MODELADO ESTRUCTURAL DEL PUENTE CONTINUO

Con las características matemáticas y geométricas establecidas en el cuadro anterior de (materiales y características) para el modelado del puente aportara criterios claros y sólidos para abordar correctamente el modelamiento estructural del puente continuo y las acciones asociadas derivadas de la aplicación del reglamento AASHTO 2017 y el manual de puentes 2018.

Concerniente a las veredas, barandas y la superficie de desgaste no se ha incluido en el modelamiento del puente; por lo tanto, no es parte del modelamiento estructural. Pero si se ha ingresado a estas partes como cargas lineales y cargas de área.

Para el modelamiento de la estructura se ha empleado el programa computacional CSiBridge v22.1.0

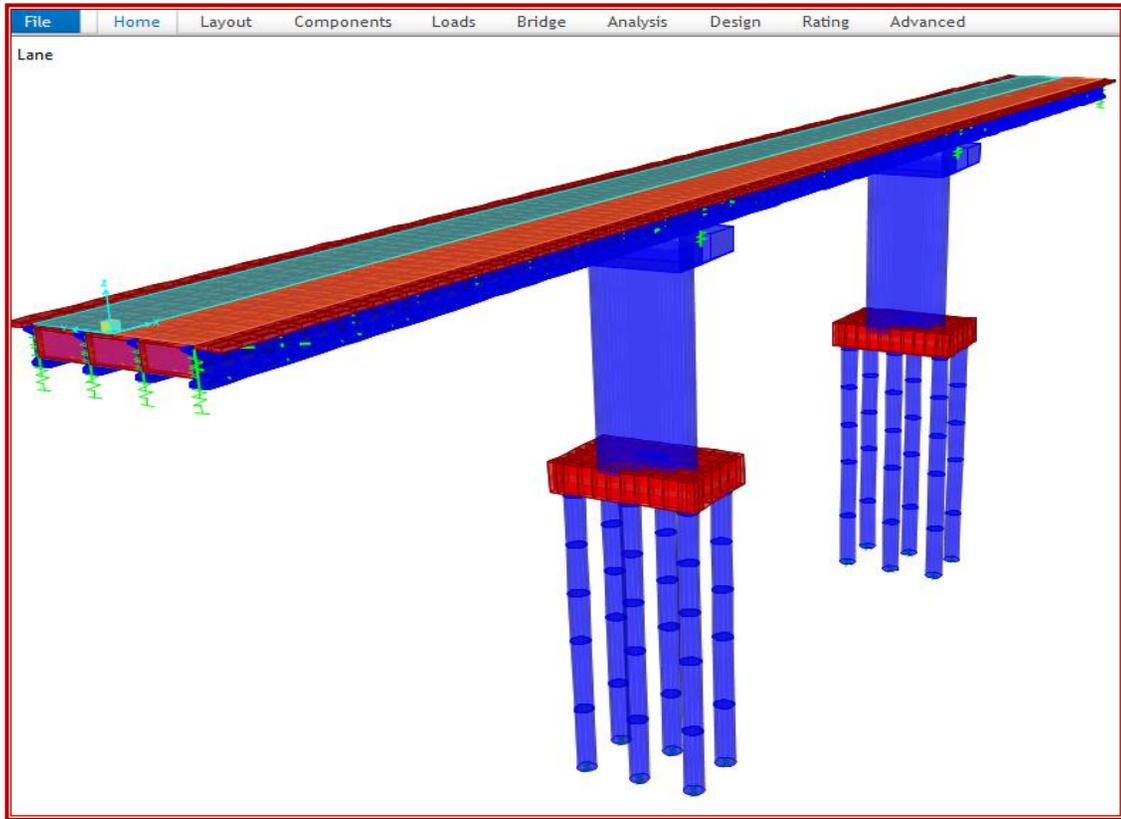


Figura 4.6 Planteamiento general 1 del modelamiento estructural CSiBridge v22.1.0

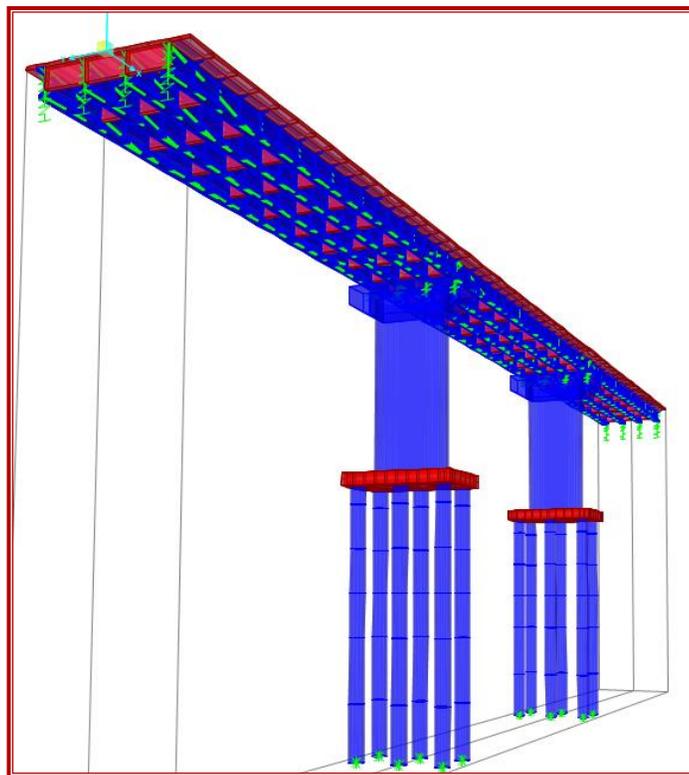


Figura 4.7 Planteamiento general 2 del modelamiento estructural CSiBridge v22.1.0

4.5.2. COMPONENTES DEL PUENTE

- **Superestructura**

La superestructura del puente está conformada por el tablero, diafragmas y las vigas presforzadas que soporta directamente las cargas permanentes y vehiculares, cargas lineales (barrera y baranda), cargas de la vereda (lado izquierda y derecha), carga de la superficie de desgaste (asfalto) y carga peatonal. El peso propio del tablero es calculado directamente por el programa. Todo ello es quienes transmiten las cargas del tablero a los apoyos.

- **Subestructura**

La subestructura del puente está conformada por la viga cabezal, pilares (apoyos centrales), estribos (apoyos extremos), son los encargados de transmitir a la cimentación los esfuerzos.

- **Cimentación**

La cimentación del puente es una cimentación profunda constituida por el encepado y los pilotes son los encargados de transmitir al terreno los esfuerzos de toda la superestructura y la subestructura.

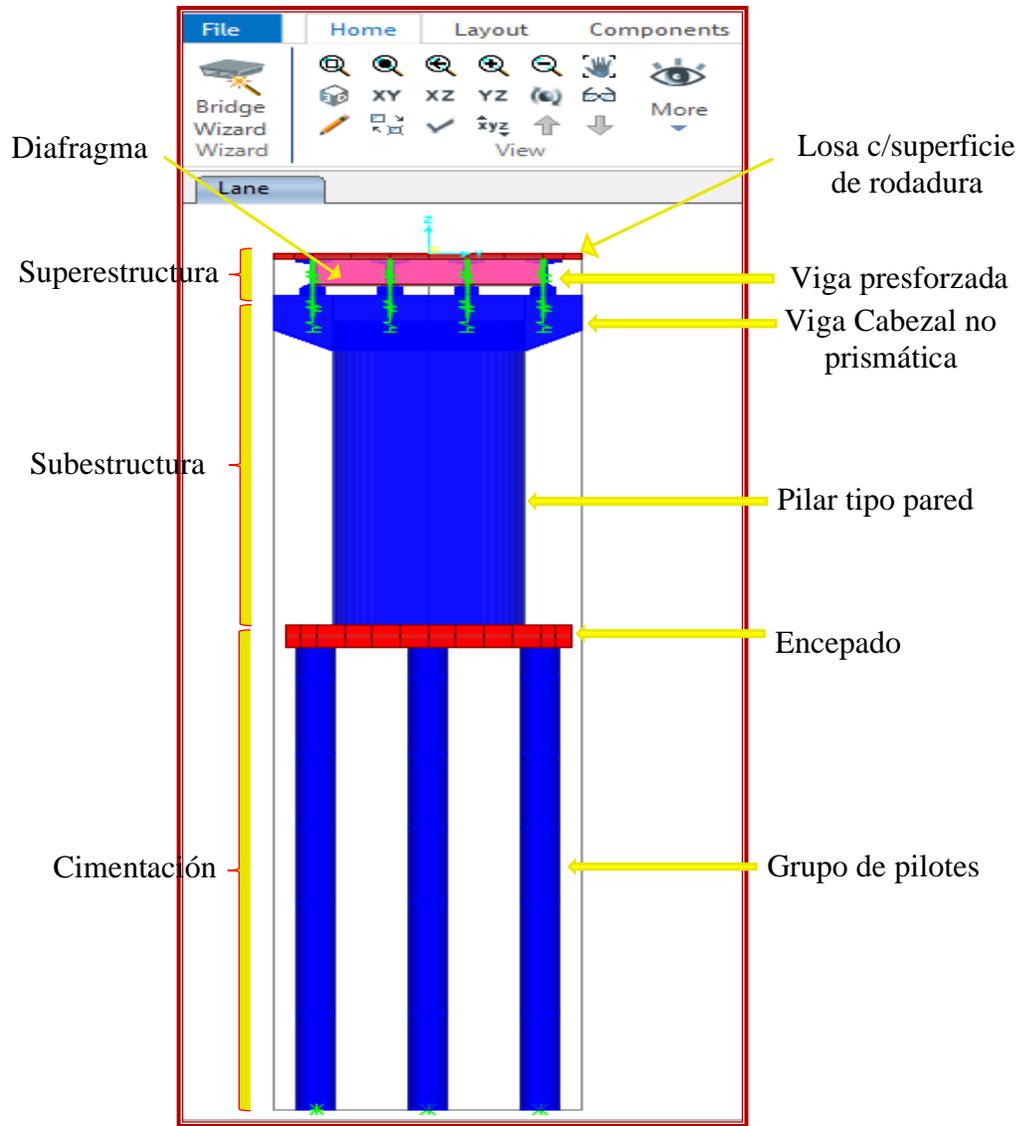


Figura 4.8 Componentes del modelamiento estructural del puente CSiBridge v22.1.0

4.6. DETERMINACION DE CARGAS Y RIGIDEZ

Para la determinación de las cargas se ha tomado en cuenta las cargas según AASHTO 2017; se ha clasificado de la siguiente manera.

4.6.1. CARGA PERMANENTE INCLUIDO CARGA MUERTA

Dentro de las cargas permanentes se tiene incluido:

- Los elementos estructurales comprenden todo el peso propio o carga muerta de la superestructura del puente (losa, vigas presforzadas longitudinales y diafragmas)
- Los elementos no estructurales de la super estructura del puente comprende (carga de superficie de desgaste - carpeta asfáltica, carga de barrera – barandas y veredas). Se establece de la siguiente manera:

$$DL = Pp + Dw + Barrera$$

Tabla 4.10 Cargas permanentes incluido carga muerta estructural y no estructural

Descripción de la superestructura y la sub estructura	Carga
Peso de los elementos estructurales (carga muerta - DC)	
peso propio de la Losa $Pp = a \times \rho$ (peso específico)	2.304 Tn/m
Diafragma. (Tn/diafragma)	3.151 Tn/diaf
Viga cabezal $W = a \times b \times \rho$ (peso específico)	36.45 Tn/viga
Pilar $W = a \times L \times \rho$ (peso específico)	46.58 Tn/pier
Elementos no estructurales	
Vereda $W = e \times \rho$ (peso específico)	0.408 Tn/m ²
Superficie de carpeta asfáltica $DW = e \times \rho$ (peso específico)	0.112 Tn/m ²
Baranda metálica o BARRERA.	0.3 Tn/m

En la tabla 4.10. las cargas o peso de los elementos estructurales (carga muerta DC) no se ingresará como datos al programa computacional CSiBridge v22.1.0; porque estas serán calculadas y determinadas por el programa, en cambio los elementos no estructurales serán ingresados como datos al programa computacional CSiBridge v22.1.0 para ser modelados.

Se muestra las cargas distribuidas de manera lineal y área distribuida de la siguiente manera.

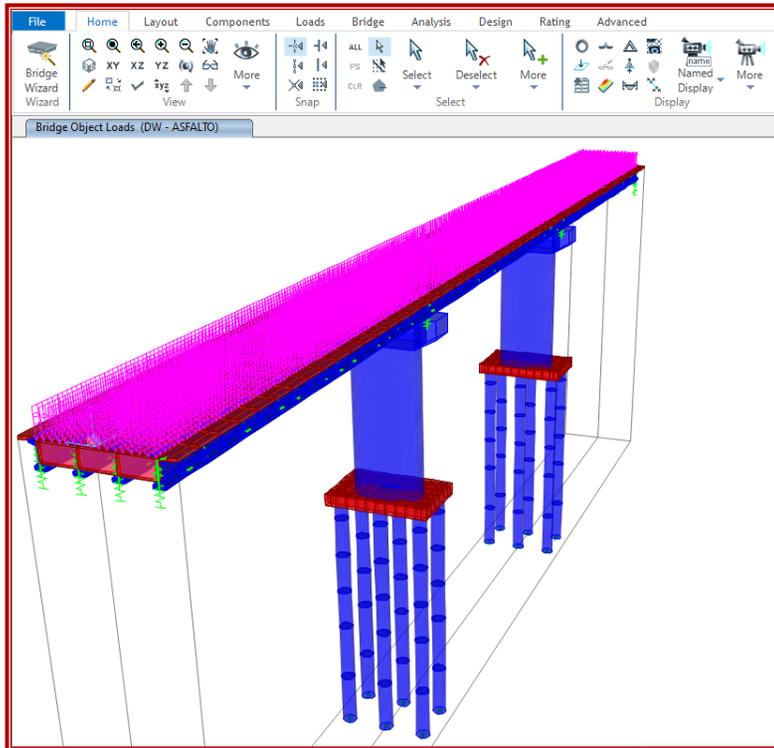


Figura 4.9 Carga superficial no estructural distribuida de la carpeta asfaltica en toda la plataforma del puente CSiBridge v22.1.0

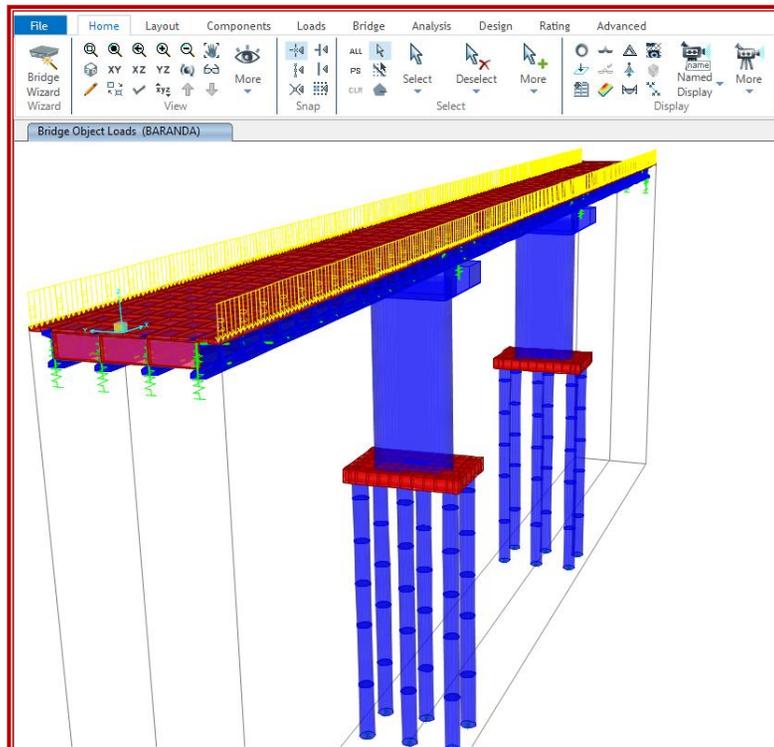


Figura 4.10 Carga lineal no estructural de la baranda metalica en ambas margenes del puente CSiBridge v22.1.0

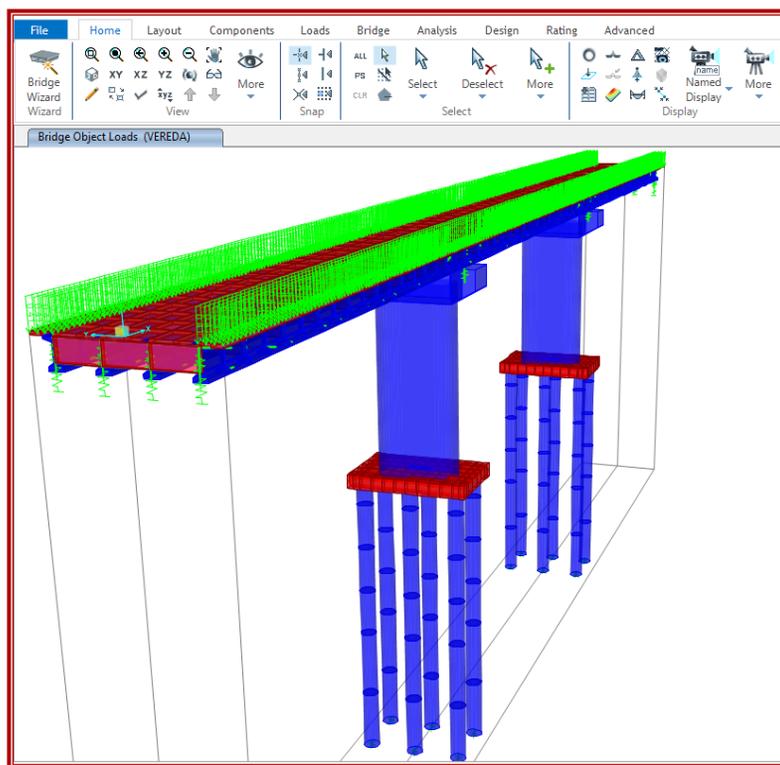


Figura 4.11 Carga distribuida no estructural de la vereda en ambas margenes del puente CSiBridge v22.1.0

4.6.2. SOBRE CARGA VEHICULAR DE DISEÑO (HL-93)

La sobrecarga vehicular de diseño o conocido como carga viva vehicular de diseño (HL-93)

Para definir la clase de combinación de la HL – 93, se ha incluido los siguientes tipos de vehículos de la AASHTO 2017

HL – 93M (representa al tándem)

HL – 93K (representa al camión)

HL – 93S (representa a carga de carril)

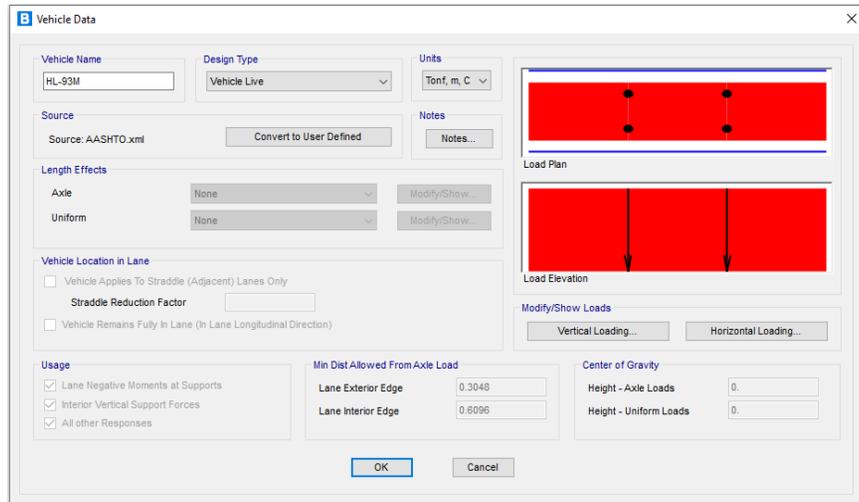


Figura 4.12 Tipo de vehículo HL – 93M tándem. CSiBridge v22.1.0

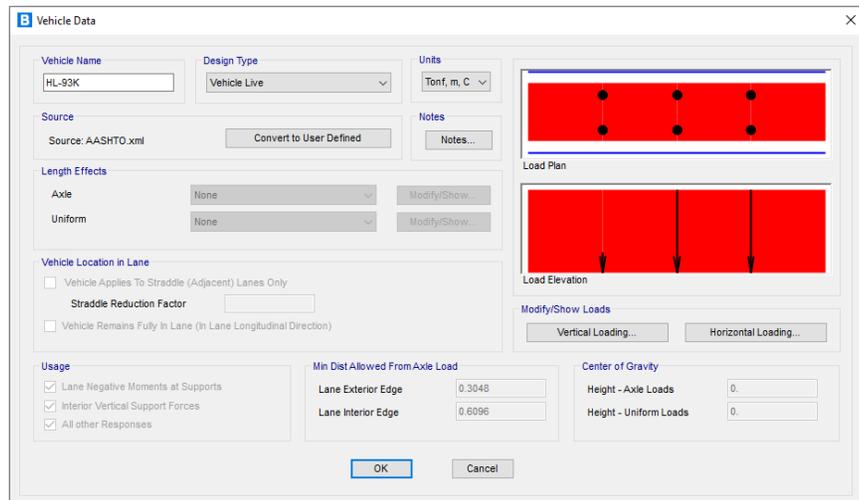


Figura 4.13 Tipo de vehículo HL – 93K camión. CSiBridge v22.1.0

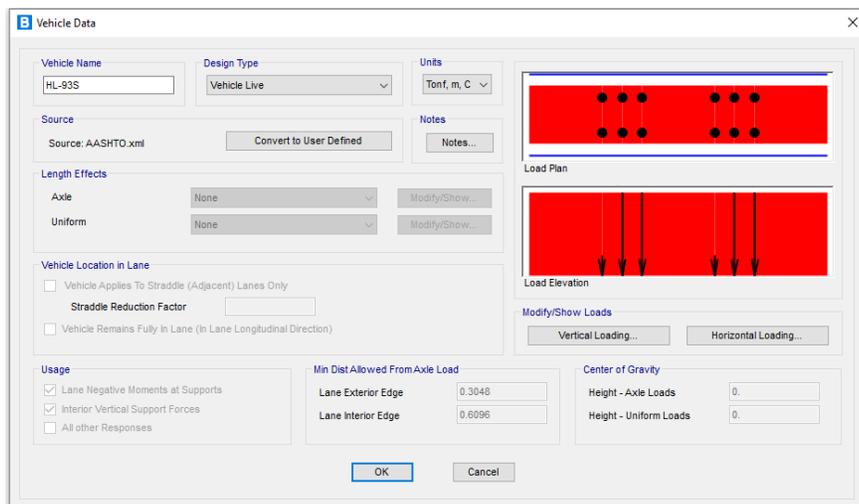


Figura 4.14 Tipo de vehículo HL – 93S carril. CSiBridge v22.1.0

Para el diseño de los aisladores en el puente continuo se ha tomado los siguientes parámetros que se encuentra establecido dentro de la norma AASHTO 2017

- **Cargas vivas** (LL - carga vehicular, PL - carga peatonal)

La carga peatonal está dada por la vereda en ambos extremos del puente que tiene un ancho de 1.20m, con un peso de 0.408 Tn/m²

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

4.6.3. VERIFICACION DE LA DEFORMACION

Vamos a verificar la deflexión en cada tramo los límites con la formula y en el programa modelado el puente.

Tabla 4.11 Limites para la verificación de la deformación de losa en puentes

Limites

Carga vehicular Luz/800

Cargas vehiculares y/o peatonales Luz/1000

Carga vehicular sobre voladizos Luz/300

Cargas vehiculares y/o peatonales sobre voladizos Luz/375

Fuente: Limites de deformación de losa en puentes AASHTO 2014

Deflexión con formula

Tramo 1 = $36\text{m}/800 = 0.045 \text{ m}$

Tramo 2 = $38\text{m}/800 = 0.0475 \text{ m}$

Tramo 3 = $36\text{m}/800 = 0.045 \text{ m}$

Deflexión en el puente modelado

Tramo 1 = 0.04474

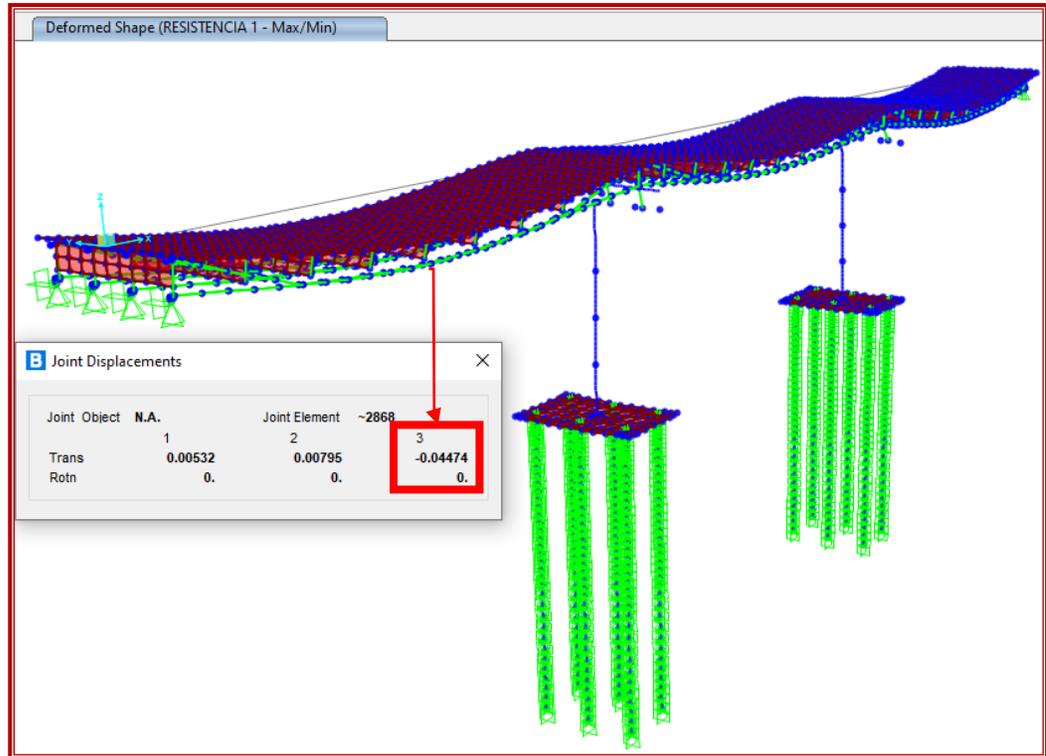


Figura 4.15 Deflexión en tramo 1 CSiBridge v22.1.0

Tramo 2 = 0.04802

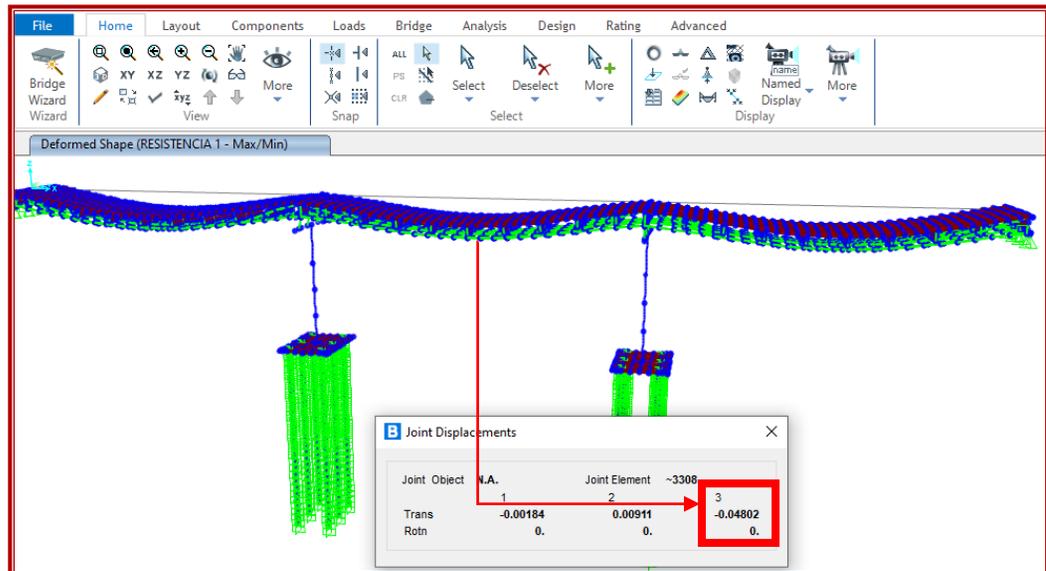


Figura 4.16 Deflexión en tramo 2 CSiBridge v22.1.0

Tramo 3 = 0.04474

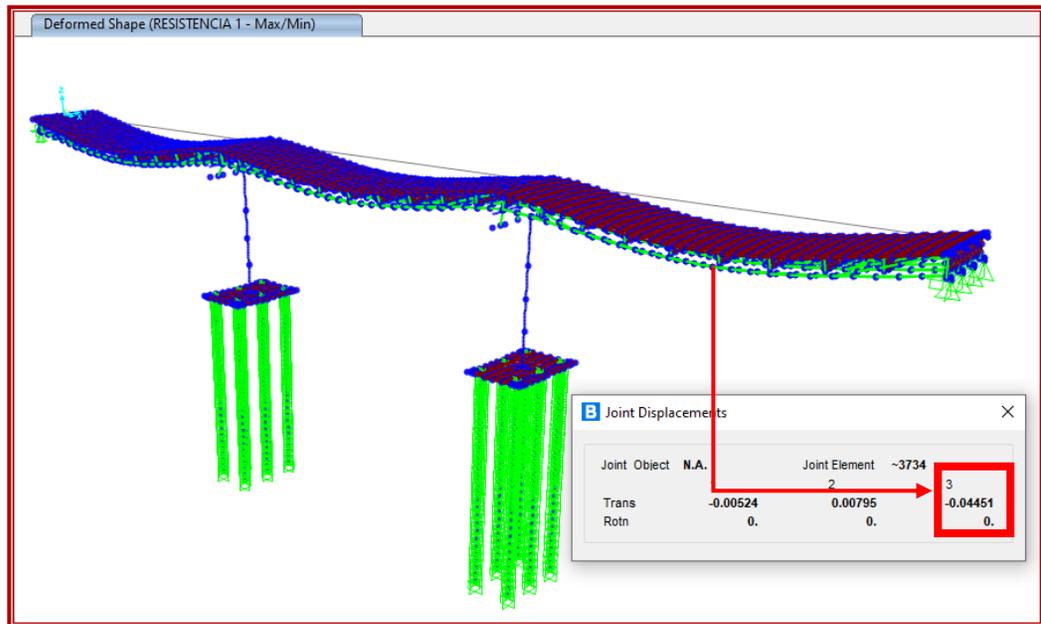


Figura 4.17 Deflexión en tramo 3 CSiBridge v22.1.0

Se observa que las deflexiones con la formula realizada coincide con las deflexiones obtenidos del modelamiento del puente. Entonces las deflexiones en cada tramo no son mayores del límite que nos indica. Por lo tanto, esta ok

4.6.4. PESO DE LA SUPER ESTRUCTURA INCLUYENDO CARGA PERMANENTE

- Peso de la super estructura

$$W_{ss} = 1,558.8369 \text{ Tn } 1558836.9 \text{ kg}$$

- Peso en cada apoyo

W1=	242.8615 Tn	242,861.5 kg	Estribo norte
W2=	536.5685 Tn	536,568.5 kg	Pier 1
W3=	536.5332 Tn	536,533.2 kg	Pier 2
W4=	242.8737 Tn	242,873.7 kg	Estribo sur

4.6.5. PESO TOTAL DE LOS PILARES O APOYOS BENT

$$W_{pp} = 2,257.003 \text{ Tn } 2257003 \text{ kg}$$

4.6.6. PESO EFECTIVO (PARA EL CÁLCULO DEL PERIODO)

$$W_{\text{eff}} = W_{\text{ss}} + W_{\text{pp}} = 1,558.8369 \text{ Tn} + 2,257.003 \text{ Tn} = 3,815.8399 \text{ Tn}$$

$$3,815,839.9 \text{ Kg}$$

4.6.7. RIGIDEZ DE LA SUB ESTRUCTURA EN AMBAS DIRECCIONES

- Longitudinal (x-x)

$$K_{\text{sub, pier 1, (x-x)}} = 78,058.47 \text{ Kg/cm} \quad 7,805.847 \text{ Tn/m}$$

$$K_{\text{sub, pier 2, (x-x)}} = 78,058.47 \text{ Kg/cm} \quad 7,805.847 \text{ Tn/m}$$

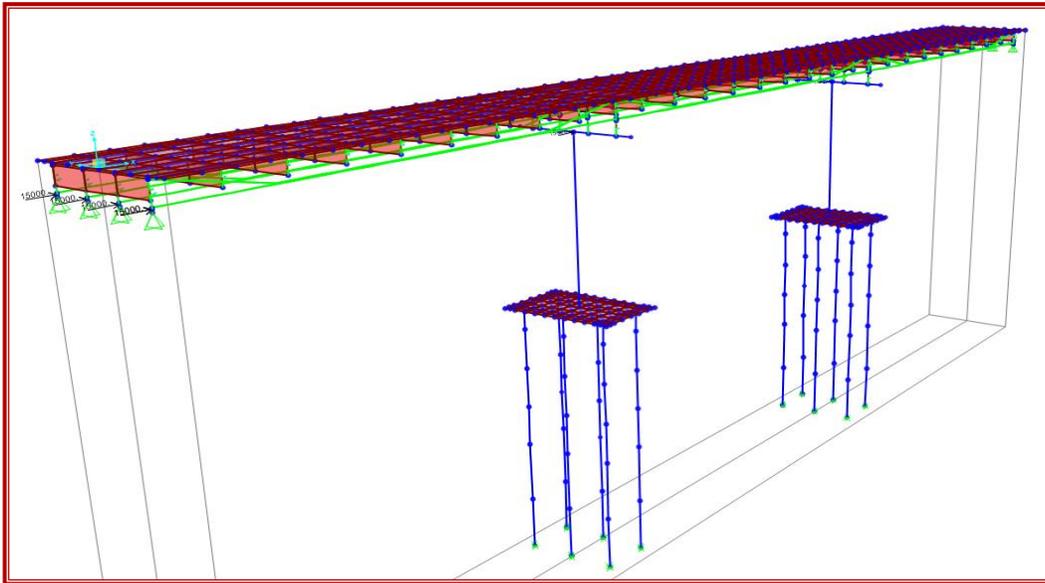


Figura 4.18 Rigidez longitudinal del puente CSiBridge v22.1.0

- Transversal (y-y)

$K_{sub, pier 1, (y-y)} = 59,206.63 \text{ Kg/cm} \quad 5,920.6631 \text{ Tn/m}$

$K_{sub, pier 2, (y-y)} = 59,206.63 \text{ Kg/cm} \quad 5,920.6631 \text{ Tn/m}$

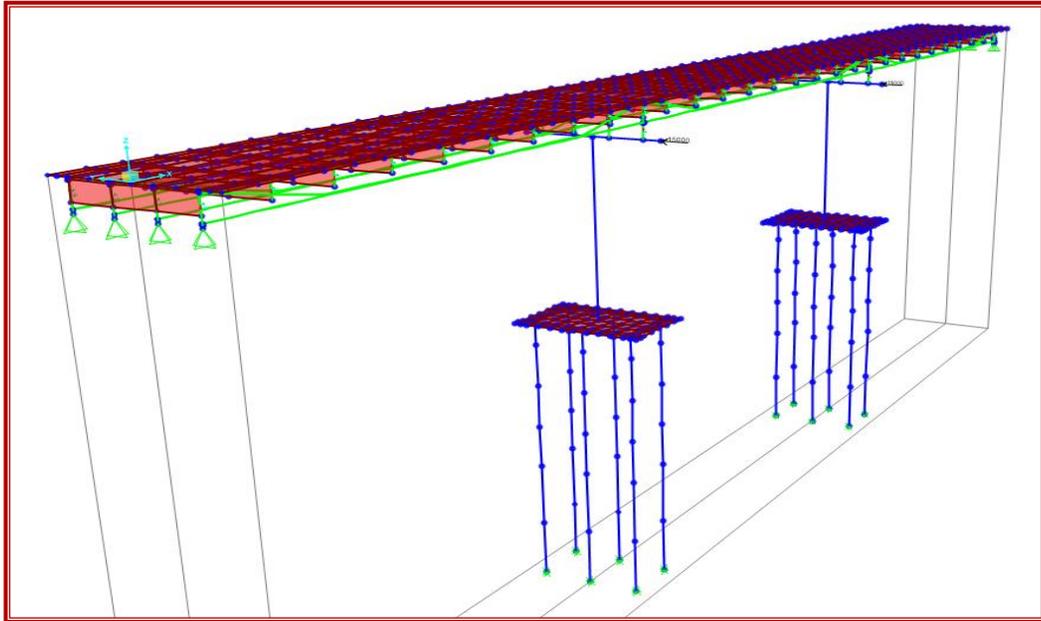


Figura 4.19 Rigidez transversal del puente CSiBridge v22.1.0

Caso importante

Desplazamiento permitido longitudinal subestructura = 3in (7.62 cm)

Sistema de Aislamiento: Lead – rubber isolators

4.7. DESEMPEÑO REQUERIDO

La tesis de investigación del puente continuo se especifica la funcionalidad completa después del sismo de diseño y por lo tanto, los pilares deben permanecer elásticos (sin llegar a la cedencia por flexión y corte).

Para permanecer en el intervalo elástico, la carga lateral máxima en los pilares debe ser menor que la carga para alcanzar la cedencia (M_p) esto es que $V < V_R$, donde $V_R > M_p/H$, corte resistente.

4.8. IDENTIFICACION DE LA AMENAZA SISMICA

4.8.1. COEFICIENTES

Se halla los Coeficientes de aceleración sísmica para la ubicación del puente

PGA= 0.33 para un periodo estructural de 0.0 seg

Ss= 0.82 para un periodo estructural de 0.2 seg

SD1= 0.31 para un periodo estructural de 1.0 seg

4.8.2. CLASE DE SITIO

El puente se plantea en una clase de sitio C donde el tipo de suelo a 30m corresponde a un suelo muy rigido con una velocidad de la onda de corte (vs) entre 703 m/s a 730 m/s; por lo tanto, los factores de sitio son:

Tabla 4.12 Parámetros AASHTO LRFD 2014 roca (tipo C)

Parametros AASHTO LRFD 2014 roca (tipo C)	
Fpga	1.07
Fa	1.07
Fv	1.49
As = Fpga x PGA	0.353
SDs = Fs x Ss	0.879
SD1 = Fv x S1	0.462
T0 = 0.2 x (SD1/SDs)	0.11
Ts = SD1/SDs	0.53

Fuente: AASHTO – LRDF 8va edición 2017

El puente planteado en la investigación se encuentra en la zona 3, $Z=0.35$.

Según AASHTO $0.30 < SD1 < 0.50$, $SD1 = 0.465$; por lo tanto, está en la zona sísmica 3.

4.9. ANALISIS DEL DESPLAZAMIENTO DEL PUENTE SISMICAMENTE NO AISLADO

4.9.1. ANALISIS MULTIMODAL (MM)

4.9.1.1 ESPECTRO DE RESPUESTA

En el capítulo 3.6.2 de la norma AASHTO LRFD especifica el espectro de respuesta elástica que se aplica en las direcciones longitudinal y transversal para determinar su desplazamiento generado por los sismos.

En el programa CSiBridge v22.1.0 se ingresa los datos de PGA, Ss y SD1 tal como indica nos indica los coeficientes.

Para el diseño sísmico del puente se está realizando con el 5%, por que el puente es sin aislador sísmico

Clase de sitio “C”, el espectro de respuesta es:

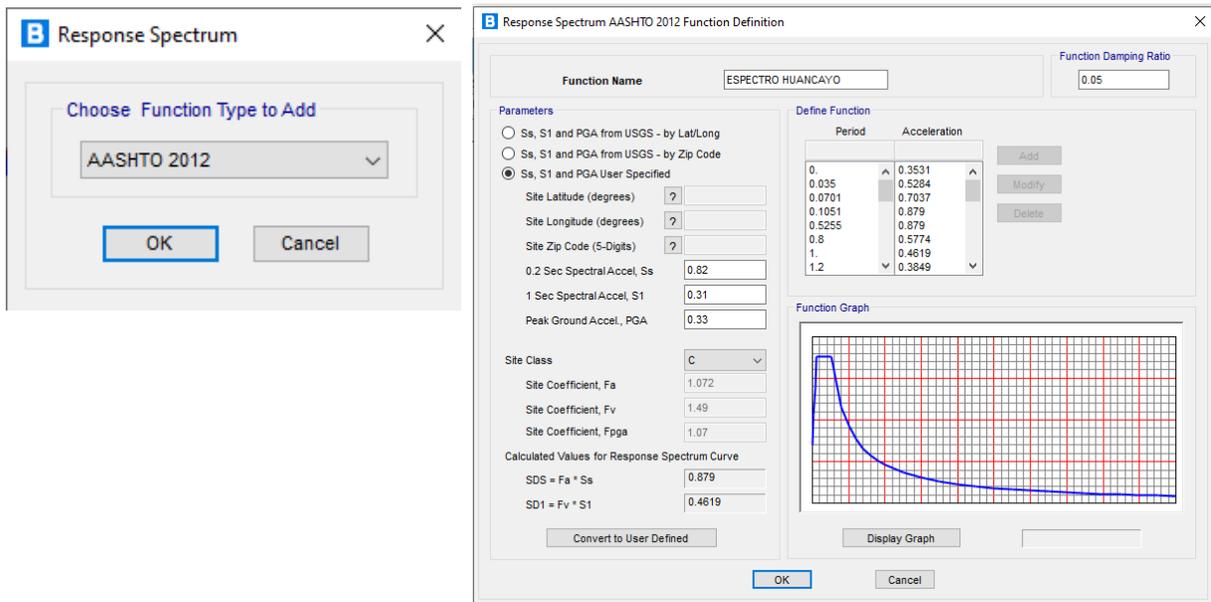


Figura 4.20 Respuesta al espectro Huancayo. Tipo de suelo C.

Fuente: Calculado en software CSiBridge v22.1.0

Esto es el espectro elástico con un amortiguamiento con 5% y $BL = 1$, con esto se ha diseñado la subestructura

Diseñamos o corroboramos el espectro de respuesta con los datos de CSiBridge v22.1.0

Con los parámetros de coeficientes mencionado anteriormente e ingresados al programa CSiBridge v22.1.0 se obtiene los valores espectrales y el análisis sísmico no aislado.

Tabla 4.13 Tabla de datos obtenidos con el 5% de CSiBridge v22.1.0

TABLA: Funcion – Espectro de respuesta		
Espectro	Periodo	Aceleración
Huancayo	(Seg)	(g)
espectro Huancayo	0	0.33
espectro Huancayo	0.0252	0.4933
espectro Huancayo	0.0504	0.6567
espectro Huancayo	0.0756	0.82
espectro Huancayo	0.378	0.82
espectro Huancayo	0.6	0.5555
espectro Huancayo	0.8	0.4263
espectro Huancayo	1	0.3488
espectro Huancayo	1.2	0.2971
espectro Huancayo	1.4	0.2602
espectro Huancayo	1.41	0.2602
espectro Huancayo	1.6	0.2326
espectro Huancayo	1.852	0.205
espectro Huancayo	1.897	0.200
espectro Huancayo	2	0.1938
espectro Huancayo	2.01	0.1938
espectro Huancayo	2.5	0.1628
espectro Huancayo	3	0.1421
espectro Huancayo	3.5	0.1274
espectro Huancayo	4	0.1163
espectro Huancayo	4.5	0.1077
espectro Huancayo	5	0.1008
espectro Huancayo	5.5	0.0952
espectro Huancayo	6	0.0905
espectro Huancayo	6.5	0.0865
espectro Huancayo	7	0.0831
espectro Huancayo	7.5	0.0801
espectro Huancayo	8	0.0776
espectro Huancayo	8.5	0.0753
espectro Huancayo	9	0.0732
espectro Huancayo	9.5	0.0714
espectro Huancayo	10	0.0698

Fuente: Calculado en software CSiBridge v22.1.0

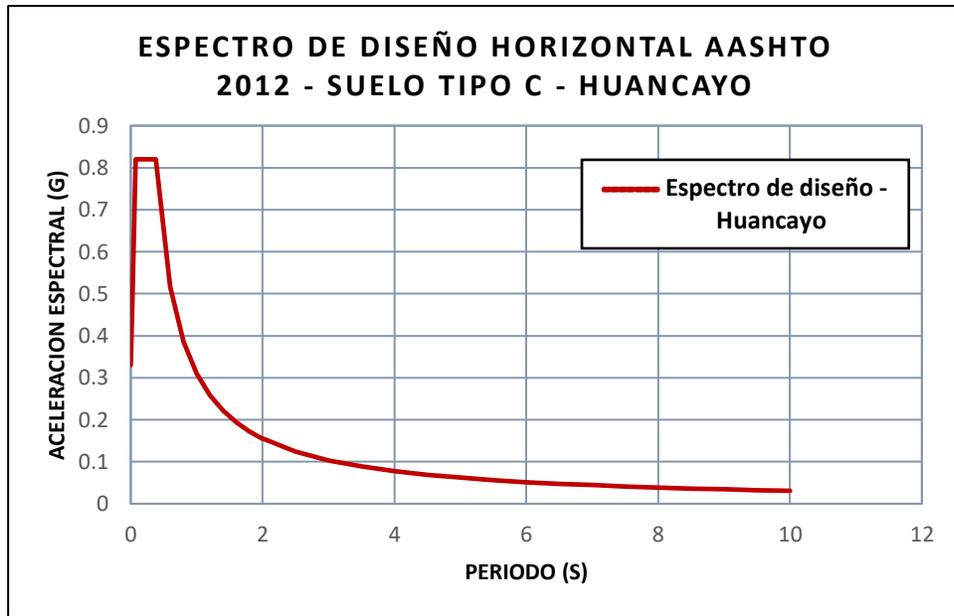


Figura 4.21 Mapa de isoaceleraciones espectrales suelo tipo “C”

Fuente: datos de AASHTO 2012

4.9.1.2 DEFINICIÓN DE LOS DESPLAZAMIENTOS

Para determinar los desplazamientos por el método multimodal MM, se ha usado el programa CSiBridge v22.1.0, a través del programa se ha realizado todo el cálculo así como las combinaciones modales para caracterizar la respuesta sísmica. En la siguiente tabla 4.14; se muestra los desplazamientos longitudinal y transversal de la subestructura y de la super estructura en un solo desplazamiento global de ambas direcciones.

Tabla 4.14 Desplazamiento del puente sin aislador MM

DESC	METODO MULTIMODAL (MM)
d x-x (cm)	17.785
d y-y (cm)	15.892

4.9.2. ANALISIS TIME HISTORY (TH)

Para el análisis sísmico en el método tiempo historia, se ha empleado un sistema completo de registros directos, los registros son los sismos ocurridos en Perú en los años 1969, 1971 y 1974, sus denominaciones de aceleraciones son 7035 - 7036 (norte sur; este oeste); 7038 – 7039 (norte sur; este oeste); 7051-7051(norte sur; este oeste). Los registros sísmicos fueron obtenidos del Sistema Nacional de Datos Geofísicos del Instituto Geofísico del Perú, www.igp.gob.pe. Con un amortiguamiento de 5% base y con periodos de 0.00 seg hasta 4.00 seg.

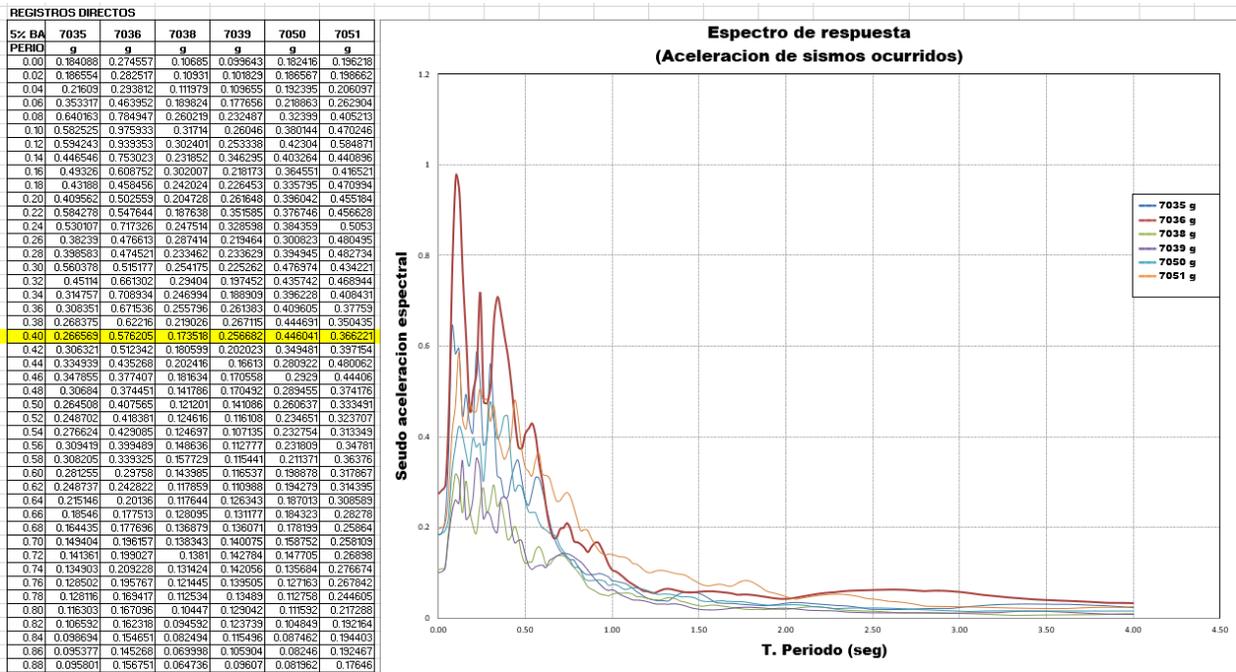


Figura 4.22 Espectro de respuesta de las aceleraciones de sismos ocurridos en el Perú de los 3 años

4.9.2.1 NORMALIZACION DEL SISMO

Graficamos la curva de demanda sísmicamente en la zona de Huancayo, así es como se han hecho los códigos, las líneas muy pronunciadas se generan con la media geométrica y con dos desviaciones estándar para un nivel de confianza del 95% y es así donde comenzamos a entender porque los puentes se diseñan con esta amenaza.

El diseño en puentes sísmicamente es por el desplazamiento, por la flexibilidad que tiene el periodo y los elementos de apoyo y dan un mayor periodo; por ende nos van a dar un mayor desplazamiento.

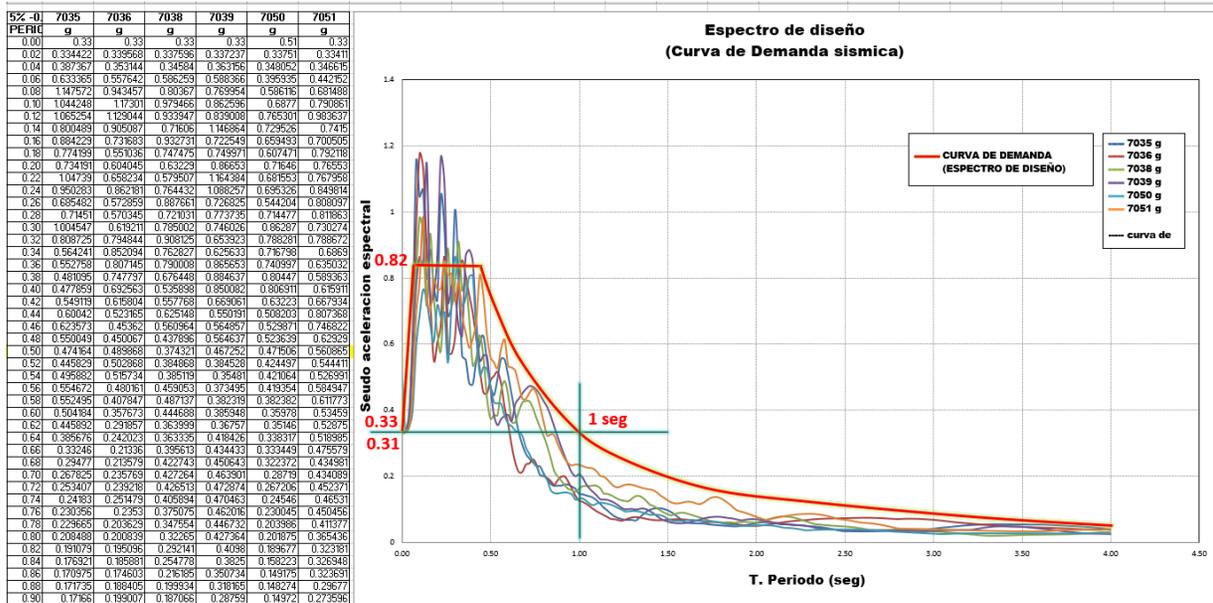


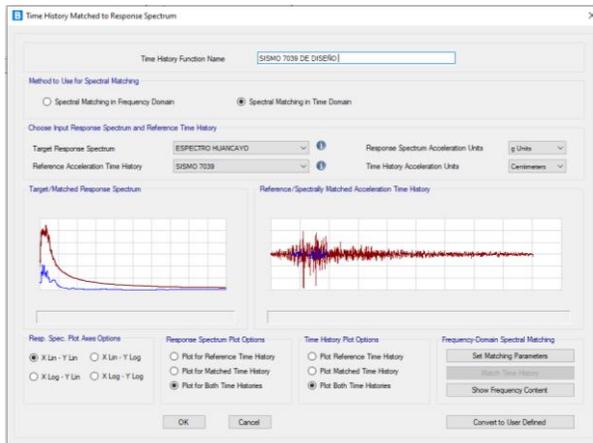
Figura 4.23 Espectro de diseño a través de la curva de diseño sísmico para 1 seg. En las aceleraciones de sismos ocurridos en el Perú.

Como se aprecia estos sismos han dado origen a la Norma Sísmica Peruana, comprobando su validez para ser usada en el Método Time – History

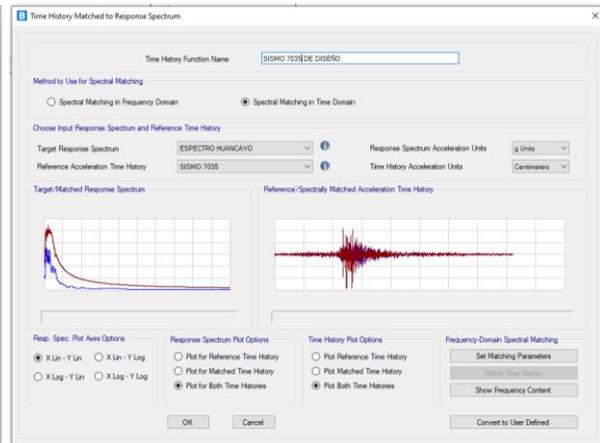
4.9.2.2 ANÁLISIS DEL DISEÑO ESPECTRAL TIEMPO HISTORIA

Para el análisis sísmico del diseño espectral se obtiene con el programa computacional ingresando los datos del espectro de huancayo obtenidos, donde la líneas azules indica sismos ocurridos en el paso, mientras las líneas rojas indica el sismo de diseño con la que se ba diseñar el desplazamiento pero sin aislador sísmico. En el dominio del tiempo lo esta haciendo cada 0.02 seg, por lo tanto se tendria 40 seg.

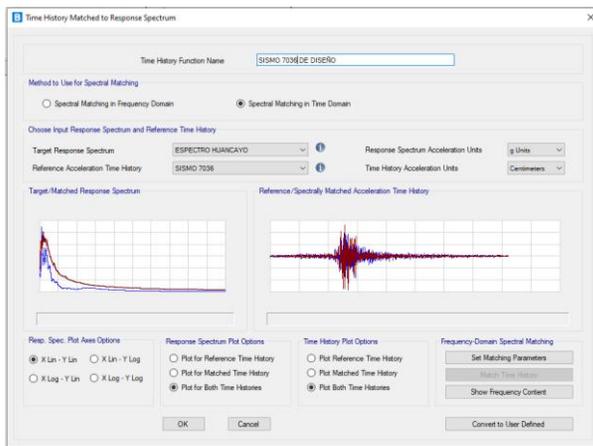
SISMO 7039 DE DISEÑO



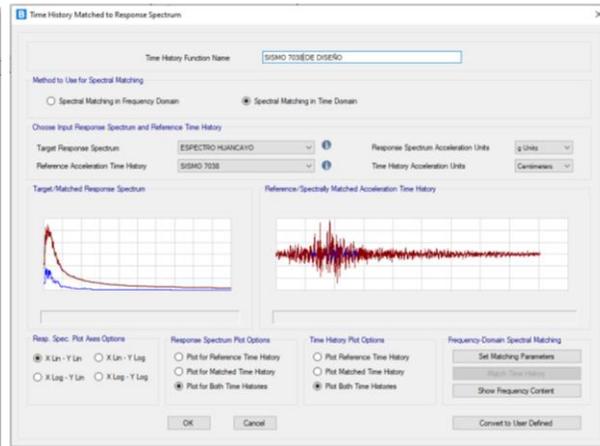
SISMO 7035 DE DISEÑO



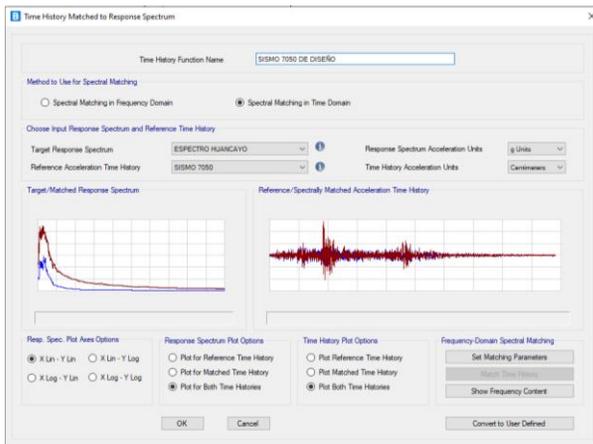
SISMO 7036 DE DISEÑO



SISMO 7038 DE DISEÑO



SISMO 7050 DE DISEÑO



SISMO 7051 DE DISEÑO

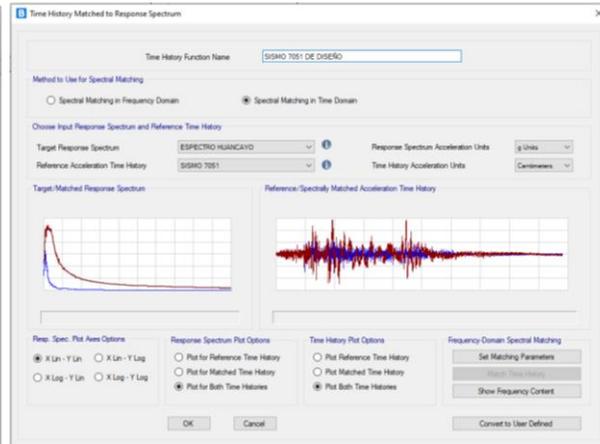
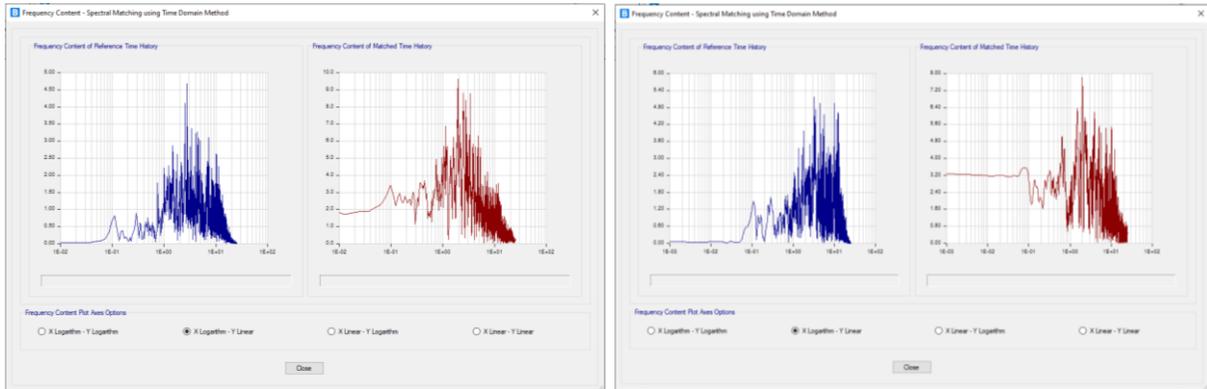


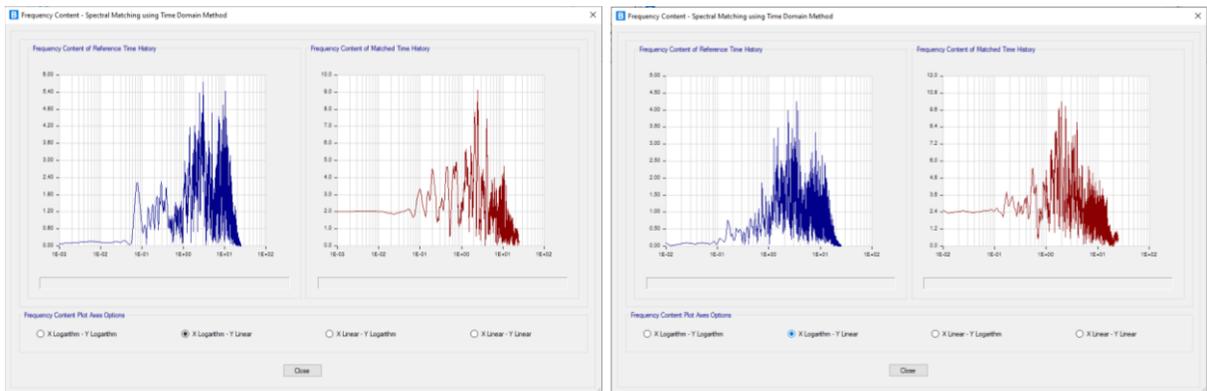
Figura 4.24 Espectro de sismos ocurridos versus espectros de diseño sísmicos con registros sísmicos ocurridos en el Perú

Verificando el dominio de frecuencia del sismo inicial ocurrido en Perú, donde se muestra las frecuencias 1 para las ondas primarias y la frecuencia 2 para las ondas secundarias, versus la frecuencia normalizado a nivel de diseño. Con ello verificamos los desplazamientos del puente.

sismo 7039 inicial sismo 7039 de diseño sismo 7035 inicial sismo 7035 de diseño



sismo 7036 inicial sismo 7036 de diseño sismo 7038 inicial sismo 7038 de diseño



sismo 7050 inicial sismo 7050 de diseño sismo 7051 inicial sismo 7051 de diseño

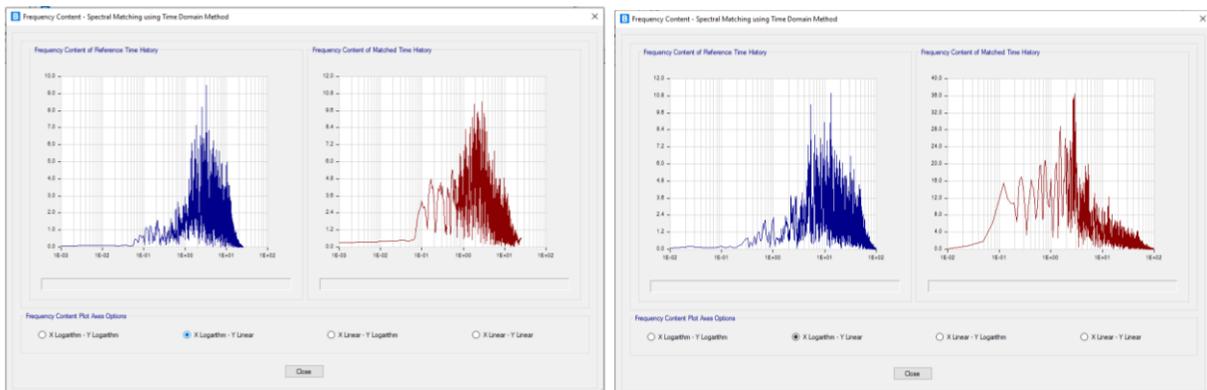


Figura 4.25 Frecuencias de sismos inicial y frecuencias de sismos de diseño.

4.9.2.3 DEFINICION DE LOS DESPLAZAMIENTOS

en la siguiente tabla 4.15 se muestra los resultados del desplazamiento sísmico longitudinal y transversal sin aislador a través del análisis sísmico con el método T-H. los desplazamientos en ambas direcciones son globales.

Tabla 4.15 Desplazamiento del puente sin aislador T-H

DESC	TIME HISTORY (TH)
d x-x (cm)	19.107
d y-y (cm)	18.779

4.10. PRODECIMIENTO Y ANALISIS DEL DESPLAZAMIENTO MAXIMO CON AISLADOR SISMICO

4.10.1. METODO SIMPLIFICADO (UL)

El Método Simplificado (en la AASHTO Artículo 7.1), indica la respuesta en un solo grado de libertad del puente, con propiedades lineales equivalentes y amortiguadores viscosos para representar los aisladores, se analiza iterativamente para obtener estimaciones del desplazamiento de la superestructura, a continuación se incluye los desplazamientos de la subestructura y las propiedades requeridas de cada aislador necesarias para dar el desempeño especificado (es decir, desplazamiento d , resistencia característica, Q_{dj} y rigidez post-elástica, K_{dj} para cada aislador "j" de manera que el desempeño sea satisfecho). Para este análisis, el espectro de respuesta de diseño se aplica en la dirección longitudinal del puente.

Realizamos las siguientes disposiciones:

4.10.1.1 Desplazamiento de la Estructura "d"

Una manera de hacer esta estimación es asumir que el período de aislamiento efectivo, T_{eff} , es de 1.0 segundo y tomar la relación de amortiguamiento viscoso ξ del 5 por ciento, y calcular el desplazamiento. El factor de amortiguamiento, B_L , viene dado igual a 1.0.

Esto es el desplazamiento de diseño.

$$d = \frac{24.85 S_{D1} T_{eff}}{B_L}$$

$$d = 24,85 \times 0.31 = 7.857 \text{ cm}$$

Para el sistema de aislación en cada apoyo vamos a calcular la resistencia característica “ Q_d ”, la rigidez post cedencia o llamado también rigidez tangente “ K_d ” y la rigidez efectiva “ K_{eff} ”, estas resistencias y rigideces son de los apoyos mas no de los aisladores.

4.10.1.2 Resistencia característica “ Q_d ” y “ $Q_{d,j}$ ”

Esta resistencia debe ser lo suficientemente alta como para que la cedencia no se produzca bajo cargas no sísmicas (por ejemplo, la carga de viento, frenado y otros), pero lo suficientemente bajo como para que la cedencia se produzca bajo un sismo. La experiencia ha demostrado que tomar Q_d como el 5 por ciento del peso total de la super estructura del puente es un buen punto de partida, Resistencia característica total calculada incluido estribos y pilares. ecuación dada.

$$Q_d = 0.05 W_{ss}$$

$$Q_d = 0.05 \times 1,558.8369 = 77.9418 \text{ Tn}$$

Cálculo de la resistencia característica, $Q_{d,j}$, del sistema de aislamiento en cada apoyo "j" distribuyendo los valores de resistencia total calculada, Q_d , en proporción a la carga muerta aplicada en el apoyo.

$$Q_{d,j} = Q_d \frac{W_{ss}}{W}$$

$Q_{d,1}$	= 12.143075	Tn	12143.075	Kg	Estribo Norte
$Q_{d,2}$	= 26.828425	Tn	26828.425	Kg	Pier 1
$Q_{d,3}$	= 26.826660	Tn	26826.660	Kg	Pier 2
$Q_{d,4}$	= 12.143685	Tn	12143.685	Kg	Estribo Sur

4.10.1.3 Rigidez post cedencia “ K_d ” y “ K_{dj} ”

En el AASHTO requiere que todos los aisladores exhiban una fuerza de restauración lateral mínima en el desplazamiento de diseño, lo que se traduce en una rigidez post - fluencia mínima, dada por la siguiente ecuación.

$$K_{d,min} \geq \frac{0.025W_{ss}}{d}$$
$$K_{d,min} \geq \frac{0.025 \times 1000 \times 1,558.8369}{7.857}$$

$$K_{d,min} \geq 4,959.666 \text{ kg/cm}$$

Cabe precisar que la experiencia ha demostrado un buen punto de partida cuando se toma una rigidez post cedencia un valor referencial de un 5%, esta será la rigidez post cedencia dada en la siguiente ecuación:

$$K_d = \frac{0.05W_{ss}}{d}$$
$$K_d = \frac{0.05 \times 1000 \times 1,558.8369}{7.857}$$

$$K_d = 9,919.332 \text{ kg/cm}$$

Cálculo de la rigidez post-elástica, K_{dj} , del sistema de aislamiento en cada apoyo "j" distribuyendo los valores de rigidez total calculada, K_d , en proporción a la carga muerta aplicada en el apoyo.

$$K_{d,j} = K_d \frac{W_{ss}}{W}$$

$K_{d,1}$	= 1545.3983	kg/cm	Estribo Norte
$K_{d,2}$	= 3414.3412	kg/cm	Pier 1
$K_{d,3}$	= 3414.1166	kg/cm	Pier 2
$K_{d,4}$	= 1545.4759	kg/cm	Estribo Sur

4.10.1.4 Rigidez efectiva del sistema combinado del pilar y del aislador

Cálculo de la rigidez efectiva o rigidez secante, K_{effj} , de cada apoyo "j" para todos los apoyos, teniendo en cuenta la rigidez de los aisladores en el apoyo "j" ($K_{isol,j}$) y la rigidez de la subestructura $K_{sub,j}$.

Ver la figura siguiente (Figura 4.26)

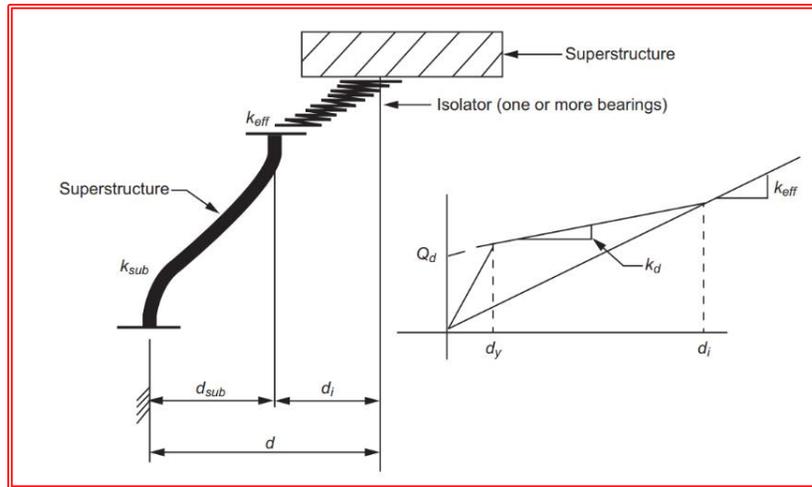


Figura 4.26 Deformaciones del aislador y de la subestructura debido a la carga lateral del puente – AASHTO 2017

Fuente: Grafico de AASHTO 2012

En la primera ecuación se da una expresión para $K_{eff,j}$ pero para encontrar la $K_{eff,j}$ se requiere de la siguiente ecuación α_j . se menciona las siguientes ecuaciones:

$$K_{eff,j} = \frac{\alpha_j K_{sub,j}}{1 + \alpha_j}$$

$$\alpha_j = \frac{K_{d,j} d + Q_{d,j}}{K_{sub,j} d - Q_{d,j}}$$

El $K_{sub,j}$ es para los pilares; ya se ha establecido en el paso de la rigidez de la sub estructura. Para los estribos, considere que $K_{sub,j}$ es un número grande, digamos como ejemplo a 178,579Tn/m (10,000 kip/in), A menos que se disponga de valores de rigidez reales. Tenga

en cuenta que, si se eligen números irrealmente grandes para $K_{sub,j}$, pueden resultar valores no conservadores para los momentos de la columna y las fuerzas cortantes.

Hallamos:

$$\alpha_j = \frac{K_{d,j}d + Q_{d,j}}{K_{sub,j}d - Q_{d,j}}$$

$$\alpha_{1x} = 0.04039566$$

$$\alpha_{2x} = 0.09148318$$

$$\alpha_{3x} = 0.09147688$$

$$\alpha_{4x} = 0.04039774$$

$$\alpha_{1y} = 0.05360268$$

$$\alpha_{2y} = 0.12239473$$

$$\alpha_{3y} = 0.12238619$$

$$\alpha_{4y} = 0.05360544$$

Hallamos la rigidez efectiva en los pilares

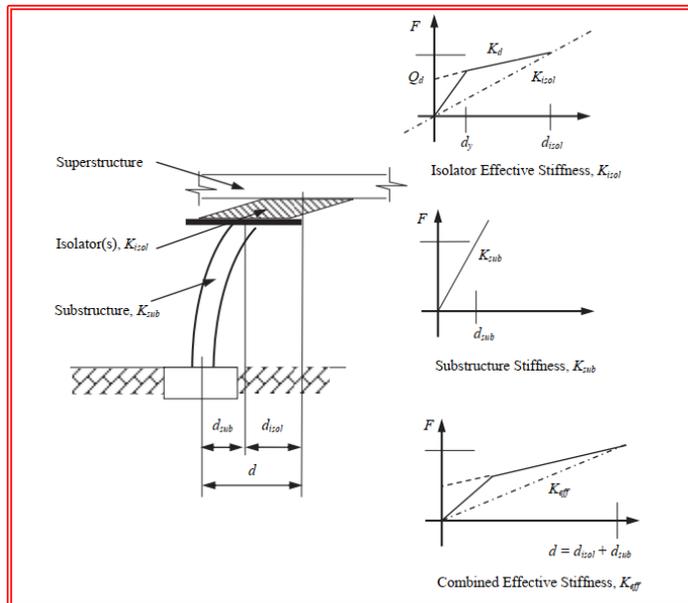


Figura 4.27 Rigidez efectiva combinada del aislador bilineal y la subestructura de soporte lineal – AASHTO 2017

Fuente: grafico de AASHTO 2017

$$K_{effj} = \frac{\alpha_j K_{subj}}{1 + \alpha_j}$$

$$K_{eff\ 1x} = 3030.7930 \text{ kg/cm}, \quad 303.0793 \text{ Tn/m} \quad \text{Estribo Norte}$$

$$K_{eff\ 2x} = 6542.5078 \text{ kg/cm}, \quad 654.2508 \text{ Tn/m} \quad \text{Pier 1}$$

$$K_{eff\ 3x} = 6542.0954 \text{ kg/cm}, \quad 654.2095 \text{ Tn/m} \quad \text{Pier 2}$$

$$K_{eff\ 4x} = 3030.9423 \text{ kg/cm}, \quad 303.0942 \text{ Tn/m} \quad \text{Estribo Sur}$$

$$K_{eff\ 1y} = 2298.8285 \text{ kg/cm}, \quad 229.8829 \text{ Tn/m} \quad \text{Estribo Norte}$$

$$K_{eff\ 2y} = 4962.4318 \text{ kg/cm}, \quad 496.2432 \text{ Tn/m} \quad \text{Pier 1}$$

$$K_{eff\ 3y} = 4962.1190 \text{ kg/cm}, \quad 496.2119 \text{ Tn/m} \quad \text{Pier 2}$$

$$K_{eff\ 4y} = 2298.9418 \text{ kg/cm}, \quad 229.8942 \text{ Tn/m} \quad \text{Estribo Sur}$$

Hallamos la rigidez efectiva total

Cálculo de la rigidez efectiva K_{eff} del puente continuo.

$$K_{eff} = \sum_{j=1}^m K_{effj}$$

$$K_{effx-x} = 19146.338497 \text{ kg/cm}, \quad 1914.63385 \text{ Tn/m}$$

$$K_{effy-y} = 14522.321013 \text{ kg/cm}, \quad 1452.232101 \text{ Tn/m}$$

Calculamos el desplazamiento de diseño de los aisladores en cada apoyo del puente (2 estribos y 2 pier)

4.10.1.5 Desplazamiento del sistema de aislamiento en cada apoyo

Cálculo del desplazamiento del sistema de aislador sísmico “j”

d_{isolj} , para todos los apoyos:

$$d_{isol,j} = \frac{d}{1 + \alpha_j}$$

$$d_{isol\ 1x} = 7.552 \text{ cm}, \quad 0.0755248 \text{ m} \quad \text{Estribo Norte}$$

$$d_{isol\ 2x} = 7.199 \text{ cm}, \quad 0.0719898 \text{ m} \quad \text{Pier 1}$$

$$d_{isol\ 3x} = 7.199 \text{ cm}, \quad 0.0719903 \text{ m} \quad \text{Pier 2}$$

$$d_{isol\ 4x} = 7.552 \text{ cm}, \quad 0.0755247 \text{ m} \quad \text{Estribo Sur}$$

$$\begin{aligned}
d_{isol\ 1y} &= 7.458 \text{ cm}, & 0.0745781 \text{ m} & \text{ Estribo Norte} \\
d_{isol\ 2y} &= 7.001 \text{ cm}, & 0.0700072 \text{ m} & \text{ Pier 1} \\
d_{isol\ 3y} &= 7.001 \text{ cm}, & 0.0700077 \text{ m} & \text{ Pier 2} \\
d_{isol\ 4y} &= 7.458 \text{ cm}, & 0.0745779 \text{ m} & \text{ Estribo Sur}
\end{aligned}$$

4.10.1.6 Rigidez del sistema de aislamiento en cada apoyo

Cálculo de la rigidez de cada aislador sísmico “j” $K_{isol,j}$, para todos los apoyos:

$$K_{isol,j} = \frac{Q_{d,j}}{d_{isol,j}} + K_{d,j}$$

$$\begin{aligned}
K_{isol\ 1x} &= 3153.2239 \text{ kg/cm}, & 315.3224 \text{ Tn/m} & \text{ Estribo Norte} \\
K_{isol\ 2x} &= 7141.0372 \text{ kg/cm}, & 714.1037 \text{ Tn/m} & \text{ Pier 1} \\
K_{isol\ 3x} &= 7140.5459 \text{ kg/cm}, & 714.0546 \text{ Tn/m} & \text{ Pier 2} \\
K_{isol\ 4x} &= 3153.3855 \text{ kg/cm}, & 315.3386 \text{ Tn/m} & \text{ Estribo Sur}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K_{isol\ 1y} &= 3173.6340 \text{ kg/cm}, & 317.3634 \text{ Tn/m} & \text{ Estribo Norte} \\
K_{isol\ 2y} &= 7246.5798 \text{ kg/cm}, & 724.6580 \text{ Tn/m} & \text{ Pier 1} \\
K_{isol\ 3y} &= 7246.0739 \text{ kg/cm}, & 724.6074 \text{ Tn/m} & \text{ Pier 2} \\
K_{isol\ 4y} &= 3173.7977 \text{ kg/cm}, & 317.3798 \text{ Tn/m} & \text{ Estribo Sur}
\end{aligned}$$

4.10.1.7 Desplazamiento de la subestructura en cada apoyo

Cálculo del desplazamiento de la subestructura “j” $d_{sub,j}$, para todos los apoyos.

$$d_{sub,j} = d - d_{isol,j}$$

$$\begin{aligned}
d_{sub,1\ x-x} &= 0.30509 \text{ cm}, & 0.00305 \text{ m} \\
d_{sub,2\ x-x} &= 0.65859 \text{ cm}, & 0.00659 \text{ m} \\
d_{sub,3\ x-x} &= 0.65854 \text{ cm}, & 0.00659 \text{ m} \\
d_{sub,4\ x-x} &= 0.30510 \text{ cm}, & 0.00305 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$d_{sub,1} \text{ y-y} = 0.39976 \text{ cm}, \quad 0.00400 \text{ m}$$

$$d_{sub,2} \text{ y-y} = 0.85685 \text{ cm}, \quad 0.00857 \text{ m}$$

$$d_{sub,3} \text{ y-y} = 0.85680 \text{ cm}, \quad 0.00857 \text{ m}$$

$$d_{sub,4} \text{ y-y} = 0.39978 \text{ cm}, \quad 0.00400 \text{ m}$$

4.10.1.8 Fuerza cortante en cada apoyo de la subestructura

Cálculo de la fuerza longitudinal de la subestructura; esta fuerza conocida como fuerza cortante en cada apoyo “j” $F_{sub,j}$, para todos los apoyos:

$$F_{sub,j} = K_{sub,j} \times d_{sub,j}$$

$$F_{sub,1} \text{ x-x} = 23814.668 \text{ kg}, \quad 23.81467 \text{ Tn}$$

$$F_{sub,1} \text{ x-x} = 51408.213 \text{ kg}, \quad 51.40821 \text{ Tn}$$

$$F_{sub,1} \text{ x-x} = 51404.973 \text{ kg}, \quad 51.40497 \text{ Tn}$$

$$F_{sub,1} \text{ x-x} = 23815.841 \text{ kg}, \quad 23.81584 \text{ Tn}$$

$$F_{sub,1} \text{ y-y} = 23668.364 \text{ kg}, \quad 23.668364 \text{ Tn}$$

$$F_{sub,1} \text{ y-y} = 50731.268 \text{ kg}, \quad 50.731268 \text{ Tn}$$

$$F_{sub,1} \text{ y-y} = 50728.112 \text{ kg}, \quad 50.728112 \text{ Tn}$$

$$F_{sub,1} \text{ y-y} = 23669.522 \text{ kg}, \quad 23.669522 \text{ Tn}$$

4.10.1.9 Periodo efectivo y Amortiguamiento

- Cálculo del Periodo Efectivo T_{eff}

$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{W_{eff}}{gK_{eff}}}$$

$$T_{eff} = 2.832 \text{ seg}$$

- Cálculo del amortiguamiento ξ , se calcula en %

$$\xi = \frac{2 \sum_j (Q_{d,j} (d_{isol,j} - 0))}{\pi \sum_j (K_{eff,j} (d_{isol,j} + d_{sub,j})^2)}$$

	$2 \sum_j (Q_{d,j} (d_{isol,j} - 0))$	$\pi \sum_j (K_{eff,j} (d_{isol,j} + d_{sub,j})^2)$
Estribo norte	60866.9503	187125.423
pier 1	124993.204	403943.631
pier 2	124986.095	403918.17
Estribo sur	60869.8254	187134.64
	743432.15	3713745.36

$$\xi = \frac{743432.15}{3713745.36}$$

$$\xi = 0.200$$

4.10.1.10 Factor de amortiguamiento BL

Cálculo del factor de amortiguamiento BL

$$B_L = \left(\frac{\xi}{0.05} \right)^{0.3}$$

$$B_L = \left(\frac{0.200}{0.05} \right)^{0.3}$$

$$B_L = 1.516$$

4.10.1.11 Desplazamiento “d” del puente

Calculamos el máximo desplazamiento del puente

$$d = \frac{9.79 S_{D1} T_{eff}}{B_L}$$

$$d = \frac{9.79 \times 0.31 \times 2.832}{1.516}$$

$$d = 5.669 \text{ in} = 14.40 \text{ cm}$$

4.10.1.12 Verificación de convergencia

1ra Iteración

Se observa que el desplazamiento asumido es 0.079m no se acerca al desplazamiento encontrado 0.144m

Tabla 4.16 Primera iteración

Rigidez de pilares	d = 0.079 m	Keff	d isol	Kisol	d sub	Fsub
Ksub, pier 1, (x-x) = 7805.8473 Tn/m	a1 = 0.09148	Keff 1x = 654.250778 Tn/m	0.07198984 m	714.103719 Tn/m	0.00659 m	51.4082129 Tn
Ksub, pier 2, (x-x) = 7805.8473 Tn/m	a2 = 0.09148	Keff 2x = 654.20954 Tn/m	0.07199026 m	714.05459 Tn/m	0.00659 m	51.4049725 Tn
1308.46032 Tn/m						
Ksub, pier 1, (y-y) = 5920.6631 Tn/m	a1 = 0.12239	Keff 1y = 496.243176 Tn/m	0.07000719 m	724.6580 Tn/m	0.008569 m	50.7312679 Tn
Ksub, pier 2, (y-y) = 5920.6631 Tn/m	a2 = 0.12239	Keff 2y = 496.21190 Tn/m	0.07000772 m	724.607387 Tn/m	0.008567 m	50.7281124 Tn
992.455073 Tn/m						

Periodo efectivo		
Teff y-y	1.8742 s	
Teff x-x	2.8320 s	
num	145.4126	0.38
deno	324.1785	1.98
num	192.7541	0.41
deno	375.2265	1.99
dy =	5.67 in	14.4559 cm
dx =	5.78 in	14.7450 cm

2da Iteración

En la segunda iteración cambiamos la resistencia característica del sistema de aislación, así como la rigidez post cedencia a un 10%. y aumentamos el desplazamiento en 0.14m

Tabla 4.17 Segunda iteración

Rigidez de pilares	d = 0.14 m	Keff	d isol	Kisol	d sub	Fsub
Ksub, pier 1, (x-x) = 7805.8473 Tn/m	a1 = 0.09605	Keff 1x = 684.07605 Tn/m	0.1399201 m	562.338321 Tn/m	0.01008 m	78.6824169 Tn
Ksub, pier 2, (x-x) = 7805.8473 Tn/m	a2 = 0.09605	Keff 2x = 524.515702 Tn/m	0.1399207 m	562.299549 Tn/m	0.01008 m	78.6773564 Tn
1208.59175 Tn/m						
Ksub, pier 1, (y-y) = 5920.6631 Tn/m	a1 = 0.12861	Keff 1y = 397.865907 Tn/m	0.1368047 m	571.0713 Tn/m	0.013195 m	78.1252058 Tn
Ksub, pier 2, (y-y) = 5920.6631 Tn/m	a2 = 0.12860	Keff 2y = 397.84032 Tn/m	0.1368055 m	571.031268 Tn/m	0.013195 m	78.1202168 Tn
795.706225 Tn/m						

Periodo efectivo

Teff y-y	0.98714 s
Teff x-x	1.93248 s

num	242.3214	0.31
deno	826.4728	1.74

num	271.9856	0.32
deno	976.5874	1.8

d =	5.43 in	13.8565 Cn
d =	5.54 in	14.1336 Cn

Para una capacidad del sistema de aislación de:

$$Q_d = 155.8837 \text{ Tn}$$

Y una rigidez post cedencia de:

$$K_d = 1,039.225 \text{ Tn/m}$$

Y una rigidez efectiva de:

$$K_{eff} = 2,002.5952 \text{ Tn/m}$$

Se usarán 16 aisladores 4 por cada apoyo

La capacidad a compresión de un aislador se determinará como la rigidez vertical $K_v = 254.9 \text{ Tn} = 2500 \text{ KN}$ (del catálogo aislador seleccionado)

Resistencia Característica Q_d : $9.00 \text{ Tn} = 95.53 \text{ kN}$

Rigidez Post Cedencia K_d : $64.952 \text{ Tn/m} = 636.915 \text{ kN/m}$

Rigidez efectiva K_{eff} : $125.1622 \text{ Tn/m} = 1227.3045 \text{ kN/m} = 1.227 \times 10^3 \text{ KN/m}$

4.10.2. METODO ESPECTRAL MULTIMODAL (MM)

El segundo método que se ha empleado es el método de análisis dinámico espectral Multimodal; se ha realizado con las características de los aisladores determinado por el método simplificado y propuestos en una compatibilidad comercial y se ha realizado con el software CSiBridge v22.1.0

4.10.2.1 Caracterización de los aisladores en estribos y pier

Cada aislador se modela como un elemento rígido, se realiza la caracterización de los Aisladores en los estribos y en los apoyos o pier.

Se define 4 aisladores en cada apoyo o pier y 4 aisladores en cada estribo.

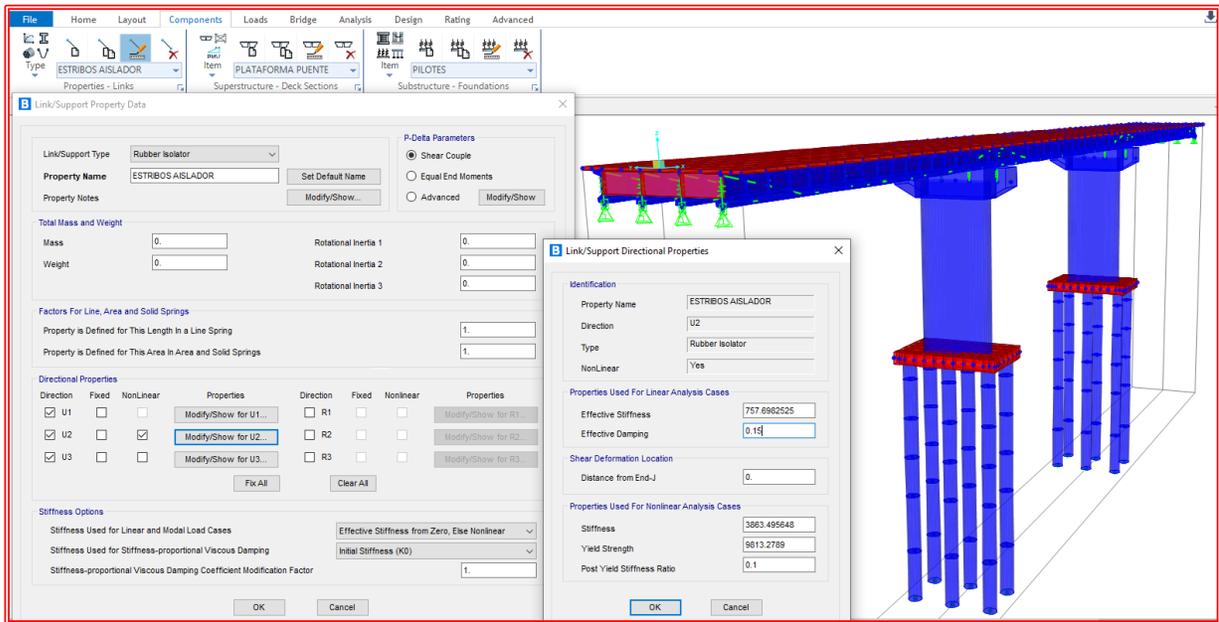


Figura 4.28 Para cada aislador se ingresa la Rigidez inicial, rigidez efectiva y fuerza de cedencia, para el estribo norte y el estribo sur. Mismos datos

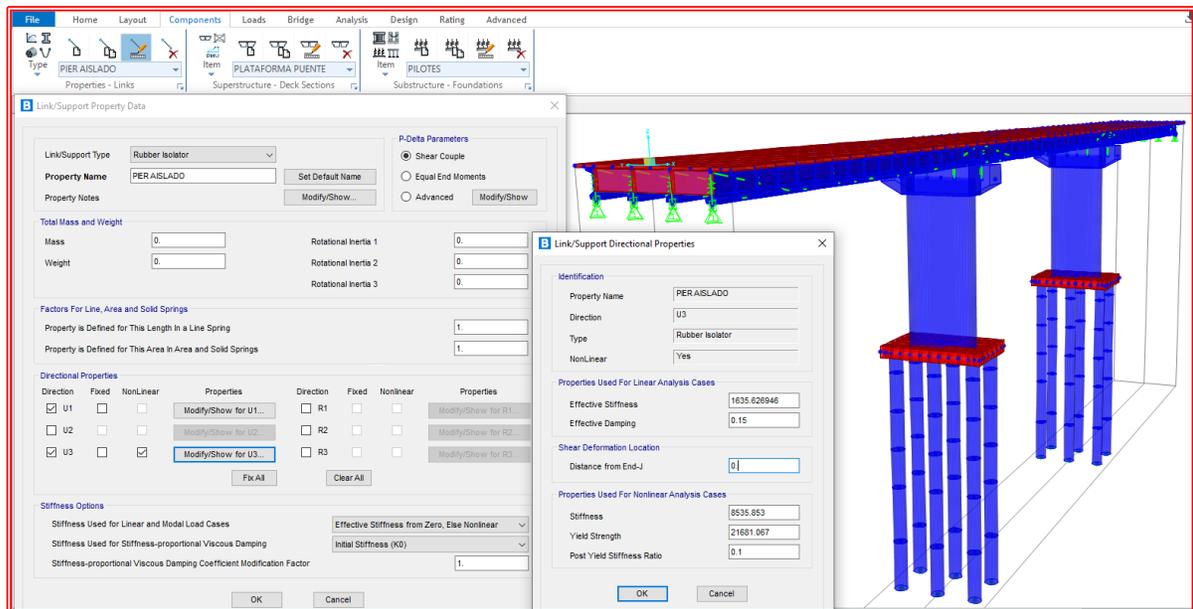


Figura 4.29 Para cada aislador se ingresa la Rigidez inicial, rigidez efectiva y fuerza de cedencia, para el pier 1 y pier 2. Mismos datos

4.10.2.2 Periodos objetivos en el primer modo

Con estos aisladores se alcanza los 1.897s en dirección longitudinal y 0.94s en dirección transversal, muy similar al Método Simplificado (1.93s y 0.99s respectivamente) ya que se ha escogido las características del aislador propuesto con un valor similar.

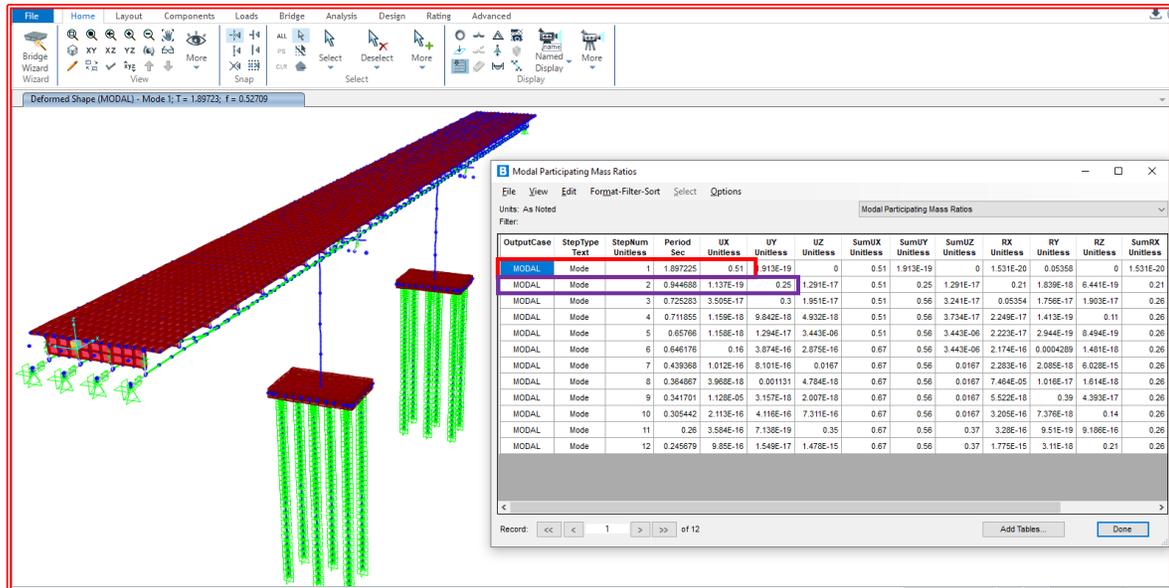


Figura 4.30 Periodo objetivo alcanzados longitudinal y transversal en el 1er modo con aislador y en los 12 modales

OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX
	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	1.897225	0.51	1.913E-19	0	0.51	1.913E-19	0	1.531E-20	0.05358	0	1.531E-20
MODAL	Mode	2	0.944688	1.137E-19	0.25	1.291E-17	0.51	0.25	1.291E-17	0.21	1.839E-18	6.441E-19	0.21
MODAL	Mode	3	0.725283	3.505E-17	0.3	1.951E-17	0.51	0.56	3.241E-17	0.05354	1.756E-17	1.903E-17	0.26
MODAL	Mode	4	0.711855	1.159E-18	9.842E-18	4.932E-18	0.51	0.56	3.734E-17	2.249E-17	1.413E-19	0.11	0.26
MODAL	Mode	5	0.65766	1.158E-18	1.294E-17	3.443E-06	0.51	0.56	3.443E-06	2.223E-17	2.944E-19	8.494E-19	0.26
MODAL	Mode	6	0.646176	0.16	3.874E-16	2.875E-16	0.67	0.56	3.443E-06	2.174E-16	0.0004289	1.481E-18	0.26
MODAL	Mode	7	0.439368	1.012E-16	8.101E-16	0.0167	0.67	0.56	0.0167	2.283E-16	2.085E-18	6.028E-15	0.26
MODAL	Mode	8	0.364867	3.968E-18	0.001131	4.784E-18	0.67	0.56	0.0167	7.464E-05	1.016E-17	1.614E-18	0.26
MODAL	Mode	9	0.341701	1.128E-05	3.157E-18	2.007E-18	0.67	0.56	0.0167	5.522E-18	0.39	4.393E-17	0.26
MODAL	Mode	10	0.305442	2.113E-16	4.116E-16	7.311E-16	0.67	0.56	0.0167	3.205E-16	7.376E-18	0.14	0.26
MODAL	Mode	11	0.26	3.584E-16	7.138E-19	0.35	0.67	0.56	0.37	3.28E-16	9.51E-19	9.186E-16	0.26
MODAL	Mode	12	0.245679	9.85E-16	1.549E-17	1.478E-15	0.67	0.56	0.37	1.775E-15	3.11E-18	0.21	0.26

Figura 4.31 Periodo objetivo alcanzados T1 longitudinal y T2 transversal en el 1er modo con aislador.

4.10.2.3 Diseño del aislador con núcleo de plomo (LRB)

Características generales del aislador (LRB)

Consiste en capas de caucho vulcanizado alternadas con capas de acero inoxidable y contienen un núcleo metálico (lead plug) que es diseñado para cambiar el comportamiento LINEAL a BILINEAL

Para el diseño de los aisladores para el puente continuo. como parte de un proceso se le facilita al fabricante los siguientes cálculos para luego obtener los siguientes datos del aislador sísmico:

Para el diseño de los aisladores en los estribos y en los pier; Esto son los datos de resumen calculado por el método simplificado.

ESTRIBO

# DE AISLADORES	4 UND		
Ki=	15453.9826 kg/cm	3863.49565 kg/cm	
Kd=	1545.39826 kg/cm	386.349565 kg/cm	
Keff=	3030.79301 kg/cm	757.698253 kg/cm	
ratio=	0.1		
dy=	2.54 cm	2.54 cm	
Fy=	39253.1158 kg	9813.27895 kg	

PIER

# DE AISLADORES	4 UND		
Ki=	34143.412 kg/cm	8535.85301 kg/cm	
Kd=	3414.3412 kg/cm	853.585301 kg/cm	
Keff=	6542.50778 kg/cm	1635.62695 kg/cm	
ratio=	0.1		
dy=	2.54 cm	2.54 cm	
Fy=	86724.2665 kg	21681.0666 kg	

Tabla 4.18 Apoyos con aisladores sísmicos

Descripción	Und
Numero de estribos	2
Numero de apoyos	2
numero de aisladores LRB por estribo	4
Numero de aisladores LRB por apoyo	4

Características de los aisladores comercial propuesto

Para la selección del aislador se ha tomado en cuenta las especificaciones técnicas de un proveedor BRIDGESTONE. Se ha seleccionado en aislador con núcleo de plomo (LRB) de alto amortiguamiento por que el puente se encuentra en la zona sísmica z3.

En el aislador con núcleo de plomo se observa en la curva esteretica en el primer ciclo que la rigidez inicial 200KN es mayor a la rigidez inicial del aislador de goma de alto amortiguamiento. Y su desplazamiento del aislador con núcleo de plomo es más rígido y menor a 100mm que la del aislador de goma de alta amortiguación.

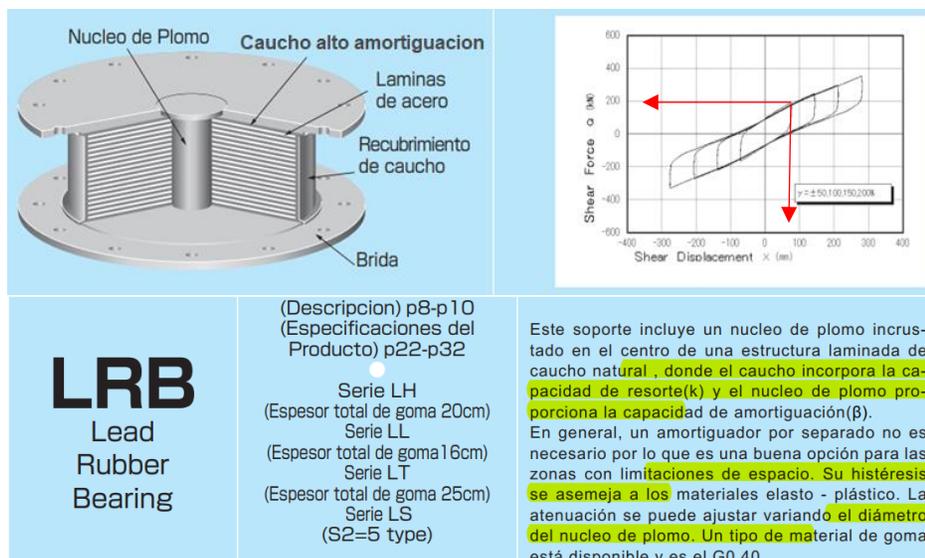


Figura 4.32 Aislador de caucho de alto amortiguamiento con núcleo de plomo

Fuente: Seismic Isolation design 2019

Propiedades y características físicas para el pre dimensionamiento del aislador (LRB)

Soporte con Nucleo de Plomo (LRB)

Seismic isolation material certification number by Ministry of Land, Infrastructure and Transport

Dimension del Producto

Item	Description
Diameter Exterior : D_o (mm)	
Diameter nucleo plomo : D_i (mm)	
Effective plane area : A_e ($\times 10^6 \text{mm}^2$)	
Espesor de cada capa de goma : t_r (mm)	
Nunero de Capa de caucho : n	
Espesor Total caucho : $H = n \times t_r$ (mm)	
1mer factor forma $S_1 = D_o / (4 \times t_r)$	
2do factor de forma $S_2 = D_o / (n \times t_r)$	
Diameter de brida : D_r (mm)	
Espesor de brida : edge/center : t_s/t_c (mm)	
Conexion perno PCD : PCD (mm)	
Diametarde perno conexion x qty : d_b (mm) x qty	
Talla de perno (assumption) : $M (d_b - 3)$	
Espesor de lamina de acero ref. : t_a (mm)	
Altura Total : H_t (mm)	
Peso Total 1 (kN) = 1/9.80665 (tonf)	

Figura 4.33 características del Aislador de caucho de alto amortiguamiento con núcleo de plomo

Fuente: Seismic Isolation design 2019

Propiedades horizontales del aislador (LRB) y propiedades de la lámina de acero que se va a usar.

Material de Caucho

Rubber code
(standard temperature 20°C standard strain $\gamma = 100\%$)

Rubber code	Shear modulus G_{sw} (N/mm ²)
G4	0.385

Combination of rubber materials (weight ratio %)

Rubber designation	Natural rubber Synthetic rubber	Reinforcement agent. Filler	Vulcanization agent and others
Rubber layers (G0.4)	60 and above	10 and above	25 and below
Cover rubber	40 and above	15 and above	40 and below

Properties of rubber materials

Item	Tensile strength (N/mm ²)	Elongation at Break (%)	Hardness (JIS A)	100% modulus (N/mm ²)	Young's modulus E (N/mm ²)	Bulk modulus E_w (N/mm ²)	Young's modulus correction factor according to hardness
Test Standard	JIS K6251	JIS K6251	JIS K6253	JIS K6251			
Inner rubber	17 and above	600 and above	37 ± 5	0.8 ± 0.2	2.20	1176	0.85
Cover rubber	12 and above	600 and above	—	—			

Material acero

Each steel part

Reinforced steel plate	Material
Reinforced steel plate	SS400 (JIS G 3101)
Flange plate *1	SS400 (JIS G 3101)
Connecting plate *1	SS400 (JIS G 3101)
Lead plug	Pb (JIS H 2105 special)

*1 : Optionally SM490 (JIS G 3106).

Anti-rust treatment of flange plate

Preparation	Remove rust up to blasting quality of SSPC-SP-10 (SIS Sa 2 1/2)
Primer	Zinc-rich paint 75 μm x 1 coat
Middle coat	Epoxy resin paint 60 μm x 1 coat
Finishing	Epoxy resin paint 35 μm x 1 coat
Total film thickness	170 μm and above

*1: Standard color is gray.

*2: Others anti-rust treatment of flange plate than painting are also available. Please contact us for more details.

Figura 4.34 Propiedades de los materiales del Aislador de caucho de alto amortiguamiento con núcleo de plomo

Fuente: Seismic Isolation design 2019

Propiedades por corte horizontales del aislador (LRB)

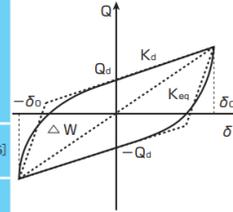
● Propiedades por Corte

■ Rigidez Equivalente por Corte K_{eq} , Relacion de amortiguamiento equivalente H_{eq} , Rigidez inicial K_1 , Rigidez post-yield K_2 , característica de resistencia Q_d

Propiedades por corte de LRB depende de la amplitud del esfuerzo de corte.

La dependencia por esfuerzo de corte de cada propiedad se expresa mediante las siguientes ecuaciones:

Rigidez Post-yield $K_2 = K_d = C_{kd} \cdot (K_1 + K_d)$	
Rigidez corte por lamina de caucho: $K_1 = G_r \cdot A_r / H$	
Rigidez Adicional a corte por nucleo plomo: $K_p = \alpha_p \cdot A_p / H$	
Donde, C_{kd} : k post-yield factor de correccion debido a la dependencia por esfuerzo	
G_r : shear modulus of rubber 0.383N/mm ²	$C_{kd} \begin{cases} 0.779 \gamma^{-0.03} & [\gamma < 0.25] \\ \gamma^{-0.25} & [0.25 \leq \gamma < 1.0] \\ \gamma^{-0.12} & [1.0 \leq \gamma < 2.5] \end{cases}$
γ : esfuerzo de corte	
α_p : modulo de corte aparente en el plomo 0.583N/mm ²	
Característica de Resistencia: $Q_d = C_{qd} \cdot \sigma_{pb} \cdot A_p$	$\begin{cases} 2.036 \gamma^{0.11} & [\gamma \leq 0.1] \\ 1.106 \gamma^{0.115} & [0.1 < \gamma < 0.5] \\ 1 & [0.5 \leq \gamma] \end{cases}$
Donde, C_{qd} : factor de correccion a la característica por dependencia resistencia	
σ_{pb} : esfuerzo de corte en la cedencia del plomo 7.967N/mm ²	
Rigidez Inicial: $K_1 = \beta \cdot K_d$	
Donde, β : Ratio por rigidez inicial en post-yield cual esta entre 10 ~ 15. (recommended value: 13)	
Rigidez Equivalente corte K_{eq}	Relacion Amortiguamiento Equivalente
$K_{eq} = \frac{Q_d}{\gamma \cdot H} + K_d$	$H_{eq} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{Q_d}{K_{eq} \cdot (\gamma \cdot H)^2}$



■ Performance variation

La velocidad de cambio de las causas principales (variación de fabricación, el envejecimiento, de cambio de temperatura), que afectan a las propiedades de corte se muestra a continuación.

Rubber materials	GO.4		
Properties	Post-yield stiffness K_d	Characteristic strength Q_d	
Manufacturing variation *2	Within $\pm 10\%$	Within $\pm 10\%$	
Aging *3	Within +10%	-	
Ambient temperature variation 20°C \pm 20°C	(+) side	Within +6%	Within +23%
	(-) side	Within -5%	Within -21%
Total	(+) side	Within +26%	Within +33%
	(-) side	Within -15%	Within -31%

*2 : The variation of each product (standard value) shall be within $\pm 20\%$ and variation of all (per project) products (total of standard values) shall be within $\pm 10\%$. However, if the total units of products is less than 8 units per project, the variation (total of standard values) shall be within $\pm 15\%$. (Reference: For compressive stiffness K_v , variation of each product (standard value) shall be within $\pm 20\%$.)

*3 : Predicted rate of change after 60 years at 20°C standard temperature. (20% variation is considered in the rate of change)

Figura 4.35 Propiedades por corte horizontales del Aislador de caucho de alto amortiguamiento con núcleo de plomo

Fuente: Seismic Isolation design 2019

Usamos el catálogo de aisladores sísmicos del fabricante BRIDGESTONE CORPORATION, y seleccionamos el tipo de aislador teniendo en cuenta los siguientes datos.

Desplazamiento $d = 5.669 \text{ in} = 14.40 \text{ cm}$

Resistencia Característica $Q_d: 9.00 \text{ Tn} = 95.53 \text{ kN}$

Rigidez Post Cedencia $K_d: 64.952 \text{ Tn/m} = 636.915 \text{ kN/m}$

Altura de goma = 160mm

● LL-Series (Total Rubber Thickness 160mm)

Code		
Designation	Compound	Shear Modulus (N/mm ²)
G4	GO.40	0.385

AISLADOR SELECCIONADO

Characteristics		LL080G4					LL065G4					LL070G4					LL075G4								
		C	B	A	G	H	C	B	A	G	H	C	B	A	G	H	C	B	A	G	H				
Physical Dimensions	Outer Diameter (mm)	600					650					700					750								
	Inner diameter (mm)	100	110	120	130	140	110	120	130	140	150	120	130	140	150	160	130	140	150	160	170				
	Effective Plane Area (× 10 ³ mm ²)	2749	2732	2714	2695	2673	3223	3205	3186	3164	3142	3735	3716	3695	3672	3647	4285	4264	4241	4217	4191				
	Thickness of One Rubber Layer (mm)	3.95					4.4					4.9					4.85								
	Number of Rubber Layers (-)	41					37					34					34								
	Total Rubber Thickness (mm)	162					163					167					165								
	First Shape Factor (-)	38.0					36.9					35.7					38.7								
	Second Shape Factor (-)	3.70					3.99					4.20					4.55								
	Diameter of Flange (mm)	900					950					1000					1100								
	Thickness of Flange (mm)	22/28					22/28					22/28					22/28								
	Diameter of Bolt Center (mm)	775					825					875					950								
	Diameter (Number) of Fixing bolts	φ33 × 12					φ33 × 12					φ33 × 12					φ33 × 12								
	Supposed Bolt (-)	M30					M30					M30					M30								
	Thickness of One Reinforcing Steel Plate (mm)	3.1					3.1					3.1					3.1								
	Height (mm)	342.0					330.4					324.9					323.2								
Total Weight (KN)	5.9	5.9	6.0	6.0	6.1	6.5	6.5	6.6	6.6	6.7	7.1	7.2	7.2	7.3	7.3	8.3	8.3	8.4	8.4	8.5					
Compression Properties	Critical Stress (N/mm ²)	γ=0 σ _c					(48.4)					(53.7)					(66.5)								
	Ultimate Compressive Stress (N/mm ²)	(γ ₀ , σ ₀)					(0.00,48.4)					(0.00,53.7)					(0.00,60.0)								
		(γ ₁ , σ ₁)					-					-					(0.50,60.0)								
		(γ ₂ , σ ₂)					(3.70,4.10)					(3.99,4.84)					(4.00,7.69)					(4.00,13.9)			
	Compressive Stiffness (× 10 ³ kN/m)	2070					2400					2680					3200								
	Nominal Long Term Compressive Stress (N/mm ²)	9.2 ^{+1.4} _{-2.1}					10.5 ^{+1.6} _{-2.4}					11.4 ^{+1.7} _{-2.6}					13.0 ^{+2.0} _{-3.0}								
Nominal Long Term Column Load (kN)	2530	2510	2500	2480	2460	3380	3370	3340	3320	3300	4260	4240	4210	4190	4160	5570	5540	5510	5480	5450					
Allowable Tensile Stress (γ=100%) (N/mm ²)	1.0					1.0					1.0					1.0									
Shear Properties (γ=100%)	Initial Stiffness (× 10 ³ kN/m)	8.86	8.89	8.92	8.95	8.98	10.4	10.4	10.4	10.4	10.5	11.7	11.8	11.8	11.9	11.9	13.6	13.6	13.7	13.7	13.8				
	Post Yield Stiffness (γ=100%) (× 10 ³ kN/m)	0.682	0.684	0.686	0.688	0.691	0.796	0.798	0.801	0.803	0.806	0.903	0.905	0.908	0.910	0.913	1.05	1.05	1.05	1.06	1.06				
	Characteristic Strength (kN)	63	76	90	106	123	76	90	106	123	141	90	106	123	141	160	106	123	141	160	181				
	Equivalent shear stiffness (× 10 ³ kN/m)	1.07	1.15	1.24	1.34	1.45	1.26	1.35	1.45	1.56	1.67	1.44	1.54	1.64	1.76	1.87	1.69	1.79	1.91	2.03	2.16				
	Equivalent Damping Ratio (-)	0.219	0.244	0.266	0.285	0.302	0.223	0.246	0.266	0.284	0.300	0.227	0.247	0.266	0.283	0.298	0.229	0.248	0.266	0.282	0.296				

Figura 4.36 Catalogo de selección del tipo de aislador de caucho de alto amortiguamiento con núcleo de plomo

Fuente: Seismic Isolation design 2019

La resistencia Característica Qd= 90kN < 95.537kN, se acerca más a 90KN

La rigidez post cedencia Kd = 686kN/m > 636.915kN/m

La rigidez efectiva K_{eff}: = 1.24 x 10³ KN/m > 1.227 x 10³ KN/m

rigidez vertical K_v = 254.9Tn = 2500KN

Por lo tanto, la altura total del aislador con núcleo de plomo es 3420mm = 34.20cm

Resumen de las características del aislador (LRB)

Soporte con Nucleo de Plomo (LRB)

Seismic isolation material certification number by Ministry of Land, Infrastructure and Transport

Dimension del Producto

Item	Description
Diameter Exterior : D_o (mm)	
Diameter nucleo plomo : D_i (mm)	
Effective plane area : A_e ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	
Espesor de cada capa de goma : t_r (mm)	
Nunero de Capa de caucho : n	
Espesor Total caucho : $H = n \times t_r$ (mm)	
1mer factor forma $S_1 = D_o / (4 \times t_r)$	
2do factor de forma $S_2 = D_o / (n \times t_r)$	
Diameter de brida : D_f (mm)	
Espesor de brida : edge/center : t_s / t_c (mm)	
Conexion perno PCD : PCD (mm)	
Diameterde perno conexion x qty : d_b (mm) x qty	
Talla de perno (assumption) : M ($d_b - 3$)	
Espesor de lamina de acero ref. : t_s (mm)	
Altura Total : H_t (mm)	
Peso Total 1 (kN) = 1/9.80665 (tonf)	

Figura 4.37 Dimensiones del Aislador de caucho de alto amortiguamiento con núcleo de plomo

Fuente: Seismic Isolation design 2019

Diámetro Exterior D_o (mm):	600 mm
Diámetro Interior D_i (mm):	120 mm
Área efectiva A_e ($\times 10^2 \text{mm}^2$):	2714 $\times 10^2 \text{mm}^2$
Espesor de la capa de goma T_r (mm):	3.95 mm
Numero de capa de goma: $n =$	41
Espesor de la goma H (mm)= $n \times T_r$:	162 mm
1mer factor de forma $S_1 = D_o / (4 \times T_r)$	38.0 adimensional
2do factor de forma $S_2 = (D_o) / (n \times T_r)$	3.70 adimensional
Diámetro de la placa D_f (mm)	900 mm
Espesor de la placa (mm)	28 mm
Espesor de una lámina de acero (mm)	3.10 mm

La altura total del aislador será:

$$\text{Altura total} = 162 + ((41 - 1) \times 3.10) + (28 \times 2)$$

$$\text{Altura total} = 342 \text{ mm} = 34.2 \text{ cm}$$

Elemento de apoyo de elastómeros, 4 en cada apoyo, la junta

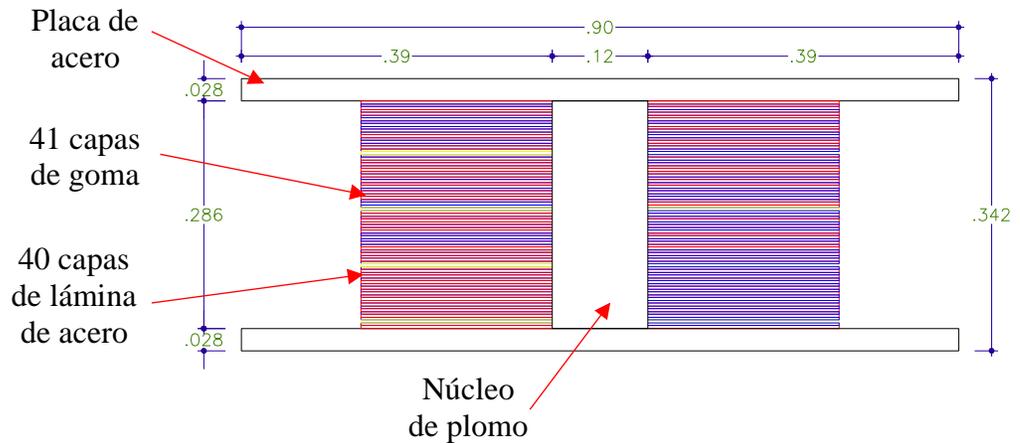


Figura 4.38 Partes definidas del Elemento de apoyo de elastómeros.

4.10.2.4 Definición de espectro de respuesta con aisladores

Para este método, el espectro de respuesta al movimiento del suelo amortiguado al 20% dato obtenido por el método simplificado, se tomará como se define en la siguiente figura. Este espectro puede escalarse mediante el coeficiente de amortiguación (B_L), según se define en el artículo 7.1 del AASHTO 2017, para incluir la amortiguación efectiva del sistema de aislamiento para los modos aislados. La escala mediante el coeficiente de amortiguación B_L se aplicará solo para períodos superiores a $0.8 T_{eff}$.

Esto son los datos para el espectro de respuesta reducido para el sistema de aislación con un amortiguamiento del 20% y un $B_L = 1.516$.

Diseñamos o corroboramos el espectro de respuesta reducida a partir de los 1.4seg o también se puede reducir todo el espectro que no abra ningún problema, realizamos con los datos en CSiBridge v22.1.0

Tabla 4.19 Tabla de datos para Espectro de comparación de respuesta sísmica

TABLE: Funcion - Respuesta Spectral			
Espectro	Periodo	Seudo	FuncDamp
Huancayo	Seg	Aceleración	Unitless
		(g)	
Espectro Huancayo	0	0.33	0.33
Espectro Huancayo	0.0252	0.4933	0.4933
Espectro Huancayo	0.0504	0.6567	0.6567
Espectro Huancayo	0.0756	0.82	0.82
Espectro Huancayo	0.378	0.82	0.82
Espectro Huancayo	0.6	0.5555	0.5555
Espectro Huancayo	0.8	0.4263	0.4263
Espectro Huancayo	1	0.3488	0.3488
Espectro Huancayo	1.2	0.2971	0.2971
Espectro Huancayo	1.4	0.2602	0.2602
Espectro Huancayo	1.41	0.2602	0.2602
Espectro Huancayo	1.6	0.2326	0.2326
Espectro Huancayo	1.852	0.205	0.205
Espectro Huancayo	1.897	0.200	0.200
Espectro Huancayo	2	0.1938	0.1938
Espectro Huancayo	2.01	0.1938	0.1285146
Espectro Huancayo	2.5	0.1628	0.1079576
Espectro Huancayo	3	0.1421	0.0942308
Espectro Huancayo	3.5	0.1274	0.0844828
Espectro Huancayo	4	0.1163	0.077122
Espectro Huancayo	4.5	0.1077	0.0714191
Espectro Huancayo	5	0.1008	0.0668435
Espectro Huancayo	5.5	0.0952	0.06313
Espectro Huancayo	6	0.0905	0.0600133
Espectro Huancayo	6.5	0.0865	0.0573607
Espectro Huancayo	7	0.0831	0.0551061
Espectro Huancayo	7.5	0.0801	0.0531167
Espectro Huancayo	8	0.0776	0.0514589
Espectro Huancayo	8.5	0.0753	0.0499337
Espectro Huancayo	9	0.0732	0.0485411
Espectro Huancayo	9.5	0.0714	0.0473475
Espectro Huancayo	10	0.0698	0.0462865

Este espectro de diseño esta con un amortiguamiento de 20%, entonces ay una reducción en el espectro para el periodo principal, el punto objetivo del coeficiente sísmico estará aproximado en un (periodo 1.897seg. y 0.1326 aceleración espectral)
 Esto es para el sistema de aislación.

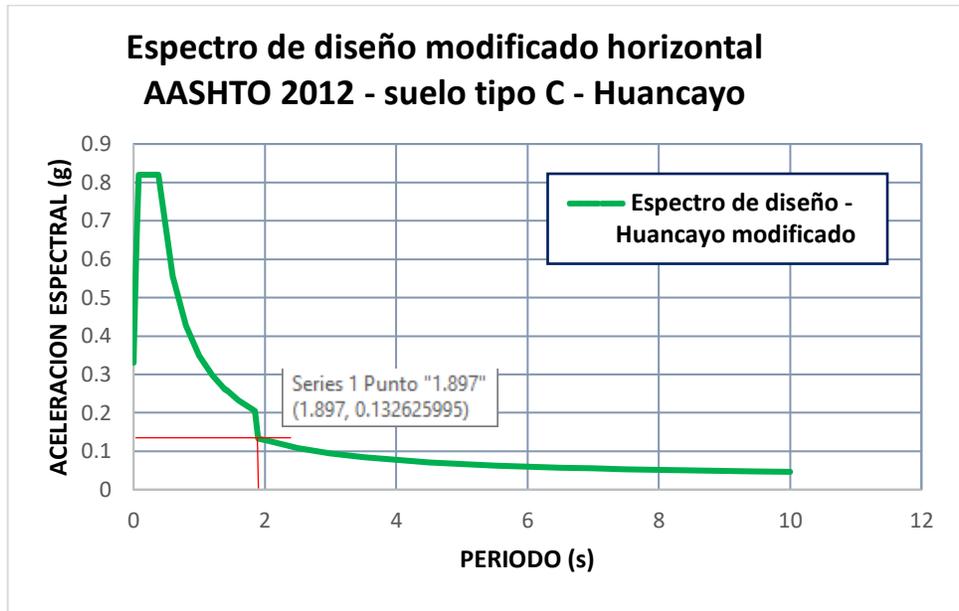


Figura 4.39 Espectro de diseño modificado con 20% de amortiguación

Comparación de espectro de diseño Huancayo con espectro de diseño modificado. donde el espectro de diseño Huancayo es con un amortiguamiento de 5% y el espectro de diseño Huancayo modificado con un amortiguamiento de 20%.

Por lo tanto para el método multimodal MM el amortiguamiento $\xi=0.200$ y el factor de amortiguamiento $BL=1.516$

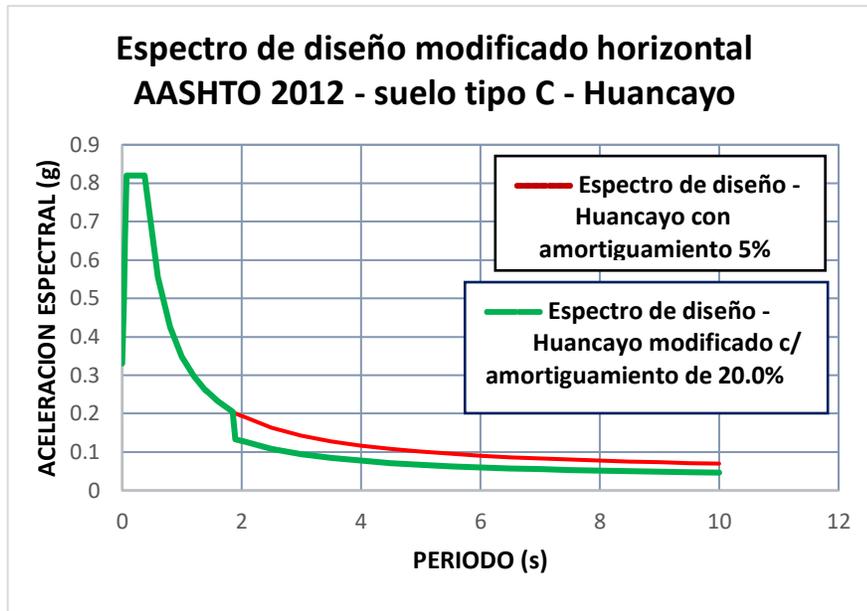


Figura 4.40 Espectro de comparación de respuesta sísmica.

Fuente: Seismic Isolation design 2019

Espectro de diseño Huancayo modificado, Respuesta sísmica.
Esto es un amortiguamiento con el 20%

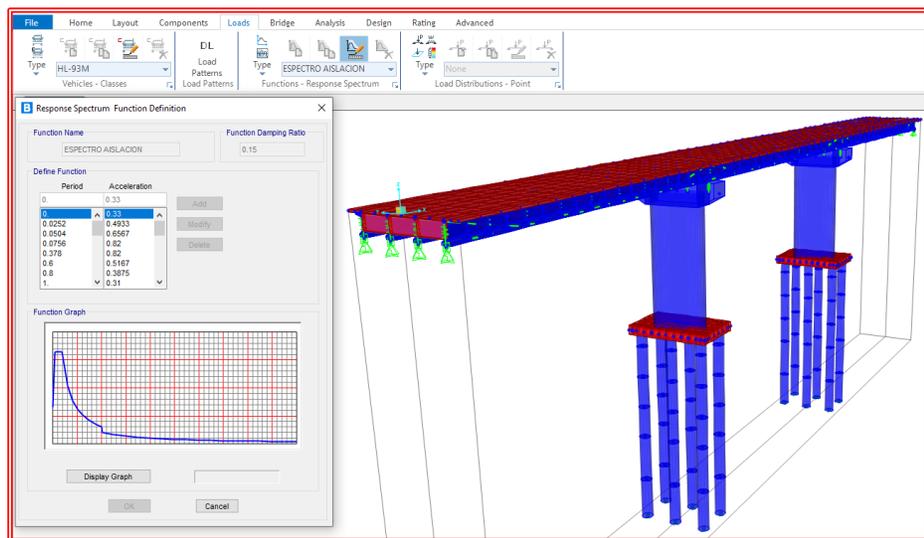


Figura 4.41 Espectro de Respuesta sísmica para el sistema de aislación.

4.10.2.5 Desplazamiento longitudinal sísmica x-x

En la dirección longitudinal (sísmica x-x) modificamos el espectro de Huancayo por el espectro aislado para conocer su desplazamiento

máximo. Con un factor de escala de 9.81 y un adicional de 30% que equivale a 2.943.

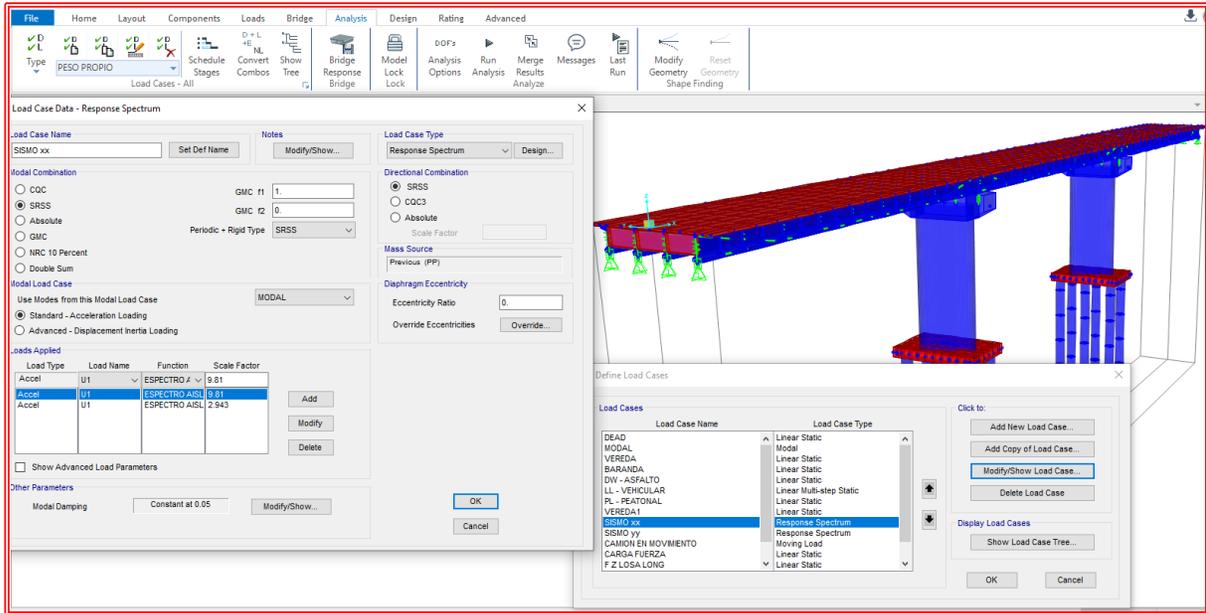


Figura 4.42 Espectro aislado en la dirección sísmica x-x.

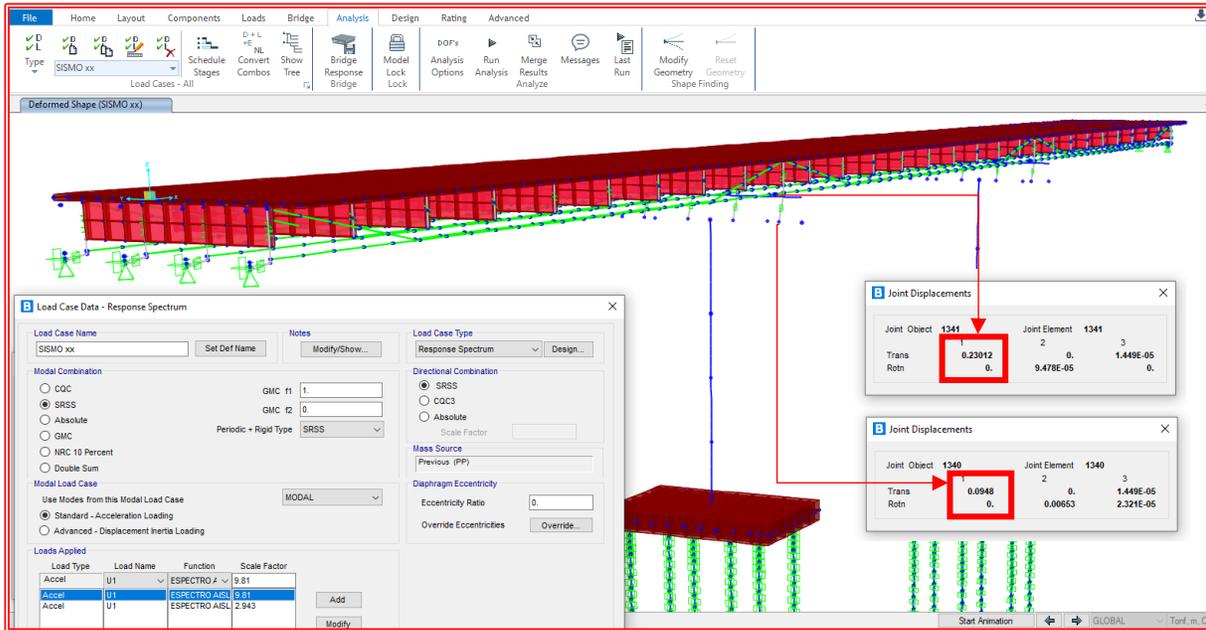


Figura 4.43 Diferencia de desplazamiento máximo en CSiBridge v22.1.0 en la dirección sísmica x-x.

Para hallar el desplazamiento máximo longitudinal en la dirección sísmica x-x calculamos de la siguiente manera:

Desplazamiento longitudinal (x-x) = 0.23012m – 0.0948m

Desplazamiento longitudinal (x-x) = 0.1353m =13.53cm

4.10.2.6 Desplazamiento transversal sísmica y-y

En la dirección transversal (sísmica y-y) modificamos el espectro de Huancayo por el espectro aislado para conocer su desplazamiento máximo. Con un facto de escala de 9.81 y un adicional de 30% que equivale a 2.943.

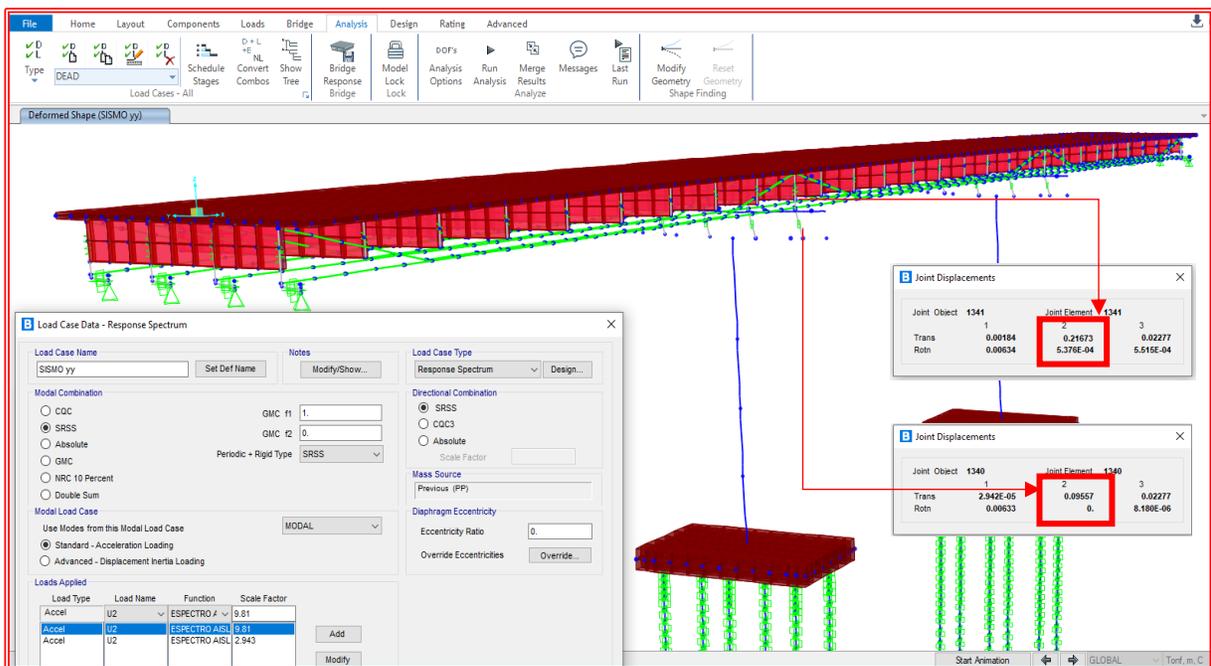


Figura 4.44 Diferencia de desplazamiento máximo en CSiBridge v22.1.0 en la dirección sísmica y-y.

Para hallar el desplazamiento máximo transversal en la dirección sísmica y-y calculamos de la siguiente manera:

Desplazamiento transversal (y-y) = 0.21673m – 0.09557m

Desplazamiento transversal (y-y) = 0.1212m =12.12cm

4.10.2.7 Fuerzas de sismo en el sistema aislado

$F_x = 627.83 \text{ Tn}$ y $F_y = 626.94 \text{ Tn}$; la capacidad en los pilares es $1,073.102 \text{ Tn}$ ($536.55 \times 2 \text{ pier}$) y en estribos es: 485.735 Tn ; ($242.8675 \text{ Tn} \times 2 \text{ estribos}$) OK un evento sísmico de diseño.

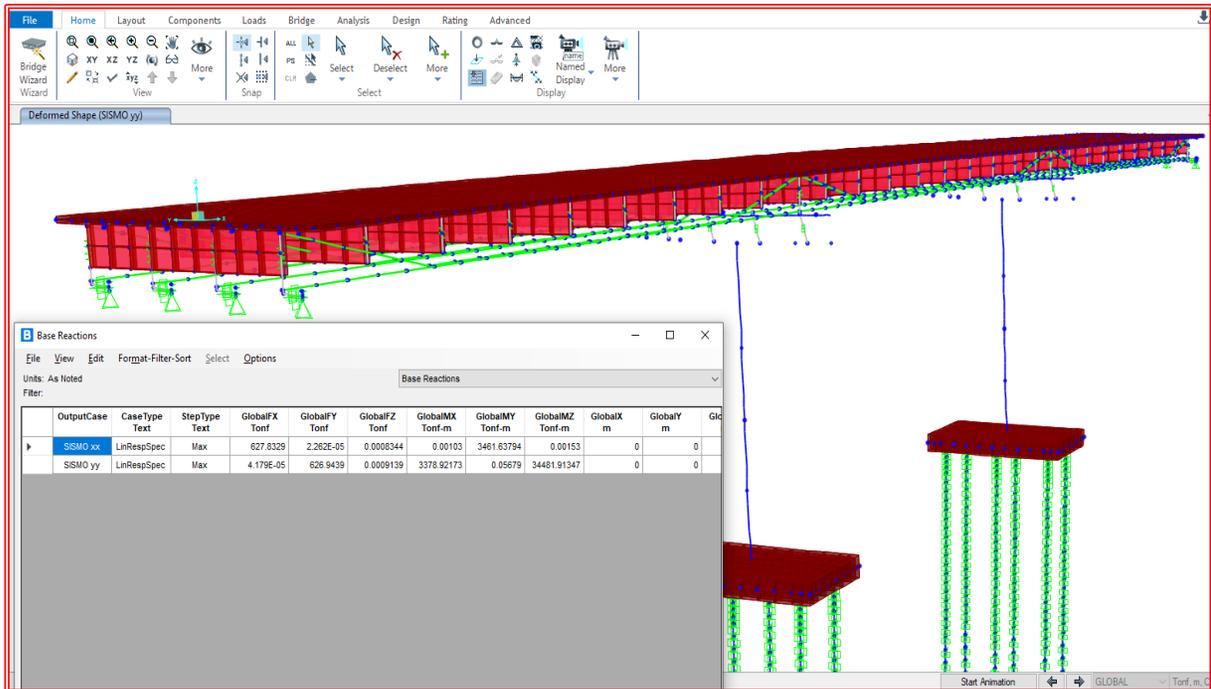


Figura 4.45 Fuerza de sismo en el sistema aislado en ambas direcciones y la cortante en los pilares. Bridge v22.1.0

4.10.3. METODO TIME HISTORY DINAMICO (T-H)

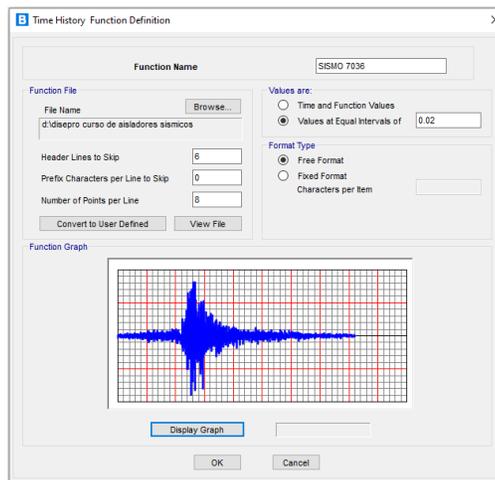
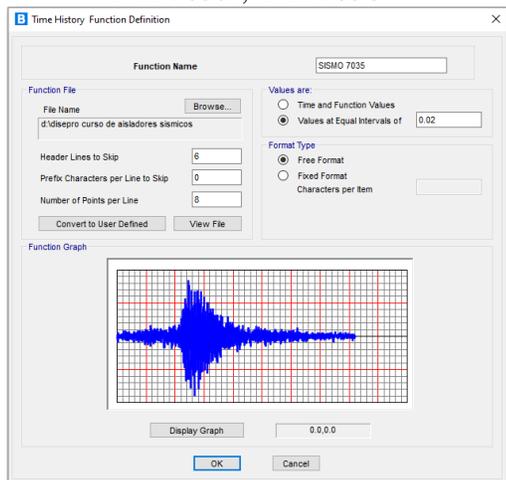
4.10.3.1 Ensayos sísmicos tiempo - Historia

Se ha realizado la comprobación de los aisladores con ensayos tiempo historia, con 3 pares de registros directos llevados a nivel de diseño, y así comprobar los máximo desplazamientos en los aisladores propuesto, los registros son los que dieron origen a la norma Sismo resistente en Perú (1969, 1971 y 1974), sus denominaciones son 7035 - 7036 (norte sur; este oeste); 7038 – 7039 (norte sur; este oeste); 7051- 7051(norte sur; este oeste).

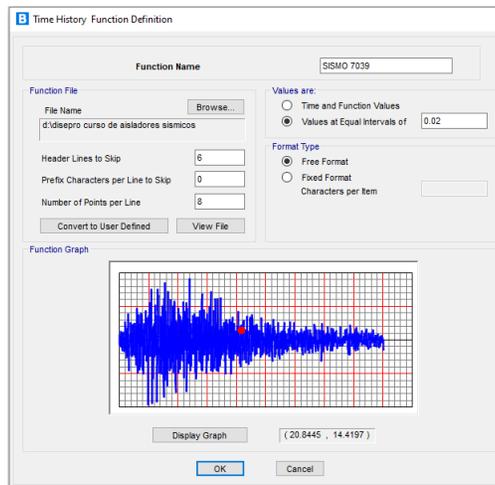
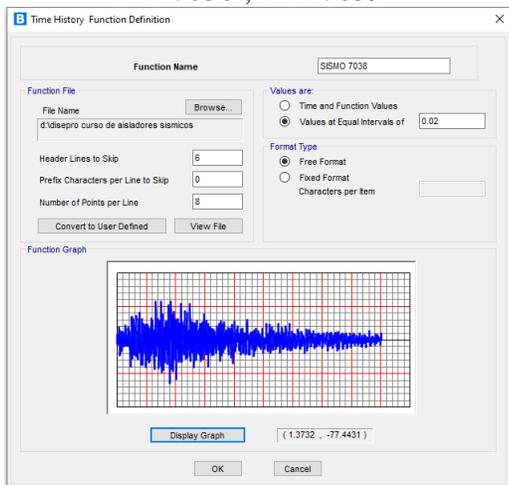
REGISTROS DIRECTOS							2.78	0.02028257	0.05951641	0.01258145	0.01095209	0.01800785	0.02667482
5% BASE	7035	7036	7038	7039	7050	7051	2.80	0.02054373	0.05899998	0.01263201	0.01087808	0.01773303	0.0251421
PERIODO	g	g	g	g	g	g	2.82	0.02076962	0.05946922	0.01263405	0.01079806	0.01745036	0.02487441
0.00	0.18408767	0.27455657	0.10685015	0.09964322	0.1824159	0.19621814	2.84	0.02094842	0.05983578	0.01258797	0.01071203	0.01714832	0.02477482
0.02	0.18655443	0.28251682	0.10930958	0.10182854	0.18656718	0.19866208	2.86	0.02107195	0.0600055	0.0124945	0.01061957	0.01682997	0.02467197
0.04	0.12160895	0.29381193	0.1119789	0.10965474	0.1923947	0.20609735	2.88	0.02113129	0.05998379	0.01236177	0.01052895	0.01658097	0.02456463
0.06	0.35331733	0.4639524	0.18982385	0.17765647	0.2188632	0.26290357	2.90	0.02114689	0.05985464	0.01219908	0.0104476	0.01618369	0.02445148
0.08	0.6401633	0.78494669	0.26021896	0.23248705	0.32399032	0.40521335	2.92	0.02110377	0.05957594	0.0119949	0.01035708	0.01587044	0.0243315
0.10	0.58252467	0.97593252	0.31713955	0.26046004	0.38014383	0.47024618	2.94	0.02099796	0.05912457	0.0117525	0.0102686	0.01557829	0.02420408
0.12	0.59424302	0.9393526	0.30240112	0.25333761	0.42303955	0.58487074	2.96	0.02138879	0.05850989	0.0114897	0.01035953	0.01527615	0.0240686
0.14	0.44654577	0.75302314	0.23185189	0.3462946	0.40326422	0.44089633	2.98	0.02229806	0.05789348	0.01128542	0.0105371	0.01496616	0.02392477
0.16	0.49325953	0.6087525	0.30200734	0.21817299	0.36455127	0.4165208	3.00	0.02312752	0.05727044	0.01105046	0.0106685	0.01465046	0.02377268
0.18	0.43188022	0.45845627	0.24202365	0.22645321	0.3357949	0.47099368	3.02	0.02396453	0.05650489	0.01078451	0.01079256	0.01433109	0.023616
0.20	0.40956198	0.50255923	0.20472803	0.26164811	0.39604159	0.4551843	3.04	0.02471774	0.05561142	0.01049174	0.01101233	0.01400968	0.02345545
0.22	0.58427768	0.54764353	0.18763772	0.35158481	0.37674557	0.45662803	3.06	0.02536412	0.05460581	0.01026188	0.01118318	0.01399144	0.02328736
0.24	0.53010703	0.71732579	0.24751427	0.32859827	0.38435902	0.5053	3.08	0.0259002	0.0535683	0.01001325	0.01130102	0.01420347	0.02311264
0.26	0.38239042	0.47661274	0.28741417	0.21946432	0.30082263	0.4804946	3.10	0.02636646	0.0524633	0.0097419	0.01138298	0.01445657	0.02293201
0.28	0.39858318	0.4745209	0.23346157	0.23362854	0.39494536	0.48273435	3.12	0.02698685	0.05143456	0.0094524	0.01140948	0.01456738	0.02274669
0.30	0.56037768	0.51517696	0.25417462	0.22526198	0.4769736	0.4342211	3.14	0.02764954	0.05048654	0.00914924	0.01148919	0.01485627	0.0225577
0.32	0.45114027	0.66130214	0.29404016	0.19745158	0.43574241	0.46894444	3.16	0.02823119	0.04975352	0.0088371	0.0115156	0.0150052	0.02236626
0.34	0.31475708	0.78893354	0.2469945	0.18890938	0.39622844	0.40843099	3.18	0.0287263	0.04903558	0.00852039	0.01150418	0.01512181	0.0221739
0.36	0.30835107	0.67153598	0.25579551	0.26138318	0.40960479	0.37759042	3.20	0.02913874	0.04827176	0.00820326	0.0115051	0.01520795	0.02198175
0.38	0.26837462	0.62215953	0.2190261	0.26711539	0.44469123	0.35043547	3.22	0.02947329	0.04753068	0.00789001	0.01176942	0.01526534	0.02179134
0.40	0.26656932	0.57620499	0.17351764	0.25668165	0.44604077	0.3662212	3.24	0.02973965	0.04676544	0.0075843	0.01231937	0.01529592	0.02160387
0.42	0.3063213	0.5123422	0.18059888	0.20202253	0.34948114	0.39715372	3.26	0.0299735	0.04598767	0.0072895	0.01288369	0.01530163	0.0214208
0.44	0.33493894	0.43526789	0.2024157	0.16612977	0.28092232	0.48006157	3.28	0.03014271	0.04523099	0.00700877	0.01340785	0.01528471	0.02124353
0.46	0.34785474	0.37740724	0.18163374	0.1705581	0.2928999	0.44406045	3.30	0.03025046	0.04459857	0.00674475	0.01387411	0.01527472	0.02107329
0.48	0.30683986	0.37445097	0.14178552	0.17049154	0.28945484	0.37417635	3.32	0.03045729	0.04400479	0.00663415	0.01425311	0.01520285	0.02091121
0.50	0.26450826	0.40756504	0.12120092	0.14108634	0.2606371	0.33349072	3.34	0.03061233	0.04341121	0.00665973	0.01454546	0.01514281	0.02075851
0.52	0.24870173	0.41838094	0.1246159	0.11610795	0.23465127	0.32370724	3.36	0.03070928	0.04281978	0.00670112	0.01473772	0.01507679	0.02061621
0.54	0.27662365	0.42908512	0.12469715	0.10713466	0.23275382	0.31334903	3.38	0.03074771	0.04223078	0.00673782	0.01481743	0.01504241	0.02048522
0.56	0.30941927	0.3994893	0.14863598	0.11277655	0.23180887	0.34780968	3.40	0.03072681	0.04164312	0.00678991	0.01478899	0.01506422	0.02036656
0.58	0.30820479	0.33932457	0.15772936	0.11544098	0.21137115	0.36376024	3.42	0.03068053	0.04105821	0.00693609	0.01473293	0.01507085	0.02026086
0.60	0.28125484	0.29758002	0.14398481	0.1165366	0.19887757	0.31786748	3.44	0.03057757	0.04059551	0.0070946	0.01469164	0.01506422	0.02016871
0.62	0.2487368	0.24282161	0.11785851	0.11098756	0.1942787	0.3143948	3.46	0.03046769	0.04021825	0.00723272	0.01468318	0.01506983	0.02009083
0.64	0.21514608	0.20136024	0.11764373	0.12634332	0.18701335	0.30858879	3.48	0.03049215	0.0398317	0.00734771	0.01461794	0.01507288	0.02002742
0.66	0.18546004	0.17751305	0.12809501	0.13117666	0.18432253	0.28277951	3.50	0.03044536	0.03945148	0.00744118	0.01446075	0.01506616	0.0199788
0.68	0.16443466	0.17769562	0.1368792	0.13607125	0.17819908	0.25863996	3.52	0.03032477	0.03911366	0.00751662	0.01422039	0.01506962	0.01994526
0.70	0.14940387	0.19615739	0.13834312	0.14007452	0.15875168	0.25810928	3.54	0.03013384	0.03879021	0.00757727	0.01388257	0.01507564	0.01992681
0.72	0.14136065	0.19902712	0.1380998	0.142784	0.14770469	0.26898012	3.56	0.03009735	0.03843323	0.00763119	0.01349582	0.01507472	0.01992345
0.74	0.13490255	0.20922793	0.13142365	0.14205586	0.135684	0.2766737	3.58	0.03025423	0.03811876	0.00768236	0.0131787	0.01506809	0.01993476
0.76	0.12850224	0.19576738	0.12144506	0.1395054	0.1271631	0.26784159	3.60	0.03026167	0.03787288	0.00774006	0.01283425	0.01505698	0.01996075
0.78	0.12811641	0.16941743	0.11253384	0.13489032	0.11275841	0.2446051	3.62	0.03016555	0.03758593	0.00778767	0.01243282	0.01504251	0.02000092
0.80	0.11630316	0.16709572	0.10447044	0.1290421	0.11159174	0.21728838	3.64	0.02991213	0.03725882	0.00783394	0.01206656	0.01502559	0.02030775
0.82	0.10659205	0.16231825	0.09459185	0.12373874	0.10484862	0.19216371	3.66	0.02964027	0.03697238	0.0078685	0.01167666	0.01500714	0.02068848
0.84	0.09869409	0.15465127	0.08249419	0.11549562	0.08746157	0.19440336	3.68	0.02937604	0.03667034	0.0079264	0.01131182	0.01498787	0.02104363
0.86	0.09537717	0.14526789	0.06999827	0.10590398	0.08246035	0.19246656	3.70	0.02913068	0.03633109	0.00798135	0.01095321	0.0149685	0.02137074
0.88	0.09580112	0.15675076	0.06473619	0.09606962	0.08196198	0.17645984	3.72	0.02874098	0.03597513	0.00806116	0.01058247	0.01494954	0.02166707
0.90	0.09575902	0.16557217	0.06056983	0.08683751	0.08276137	0.16268002	3.74	0.02842752	0.03560296	0.00812895	0.01019929	0.0149315	0.02193007
0.92	0.09779562	0.16599725	0.05587503	0.0784156	0.08373354	0.15022202	3.76	0.0280842	0.03520449	0.00817197	0.00983812	0.01491896	0.02215688
0.94	0.0973843	0.15253955	0.05239419	0.07060979	0.08280275	0.14216565	3.78	0.0277474	0.03478451	0.00822997	0.00954271	0.01490958	0.02234842
0.96	0.09411539	0.13553537	0.05126218	0.0637263	0.0803474	0.1384948	3.80	0.02749235	0.03434801	0.00844169	0.00924546	0.01490163	0.02251641
0.98	0.09061019	0.11728828	0.04982161	0.06046779	0.0715051	0.14047166	3.82	0.02724169	0.03389959	0.00862141	0.00893547	0.01489521	0.02264057
1.00	0.08241549	0.10546922	0.05282039	0.062358	0.07333191	0.13961448	3.84	0.02690173	0.03344404	0.00876412	0.00861539	0.01489021	0.02271855
1.02	0.08118665	0.10261182	0.0550897	0.05936789	0.07351957	0.13748379	3.86	0.02647737	0.03320815	0.00886758	0.00845739	0.01488675	0.02274781
1.04	0.07932895	0.09755484	0.05534852	0.05344536	0.06985392	0.13483405	3.88	0.02599888	0.03315984	0.00911743	0.00836014	0.01488451	0.0227263
1.06	0.07763782	0.09139735	0.05527992	0.04911784	0.06466463	0.13419643	3.90	0.0255001	0.03310703	0.00941407	0.00826524	0.01488349	0.02265209
1.08	0.07540591	0.08442171	0.05575739	0.0460157	0.0623683	0.13264393	3.92	0.02499409	0.03309399	0.00968247	0.00817278	0.01488318	0.02254536
1.10	0.07092681	0.0784369	0.05550877	0.04293772	0.06485362	0.12768104	3.94	0.024421	0.03302518	0.00990754	0.00807798	0.01488349	0.02241845
1.12	0.06507146	0.07373874	0.05313425	0.03952324	0.06654495	0.11963028	3.96	0.02379735	0.03289878	0.01008481	0.00797992	0.014884	0.02280673
1.14	0.05859633	0.06898644	0.04805209	0.03941672	0.06596137	0.1184844	3.98	0.02315209	0.03273935	0.01021539	0.007879	0.0148844	0.02349898
1.16	0.05393853	0.06429847	0.04769521	0.03893333	0.06464271	0.11301641	4.00	0.02250581	0.03254954	0.01030296	0.00777727	0.0148842	0.02402548

REGISTRO DIRECTO

T-H 7035 ; T-H 7036



T-H 7038 ; T-H 7039



T-H 7050 ; T-H 7051

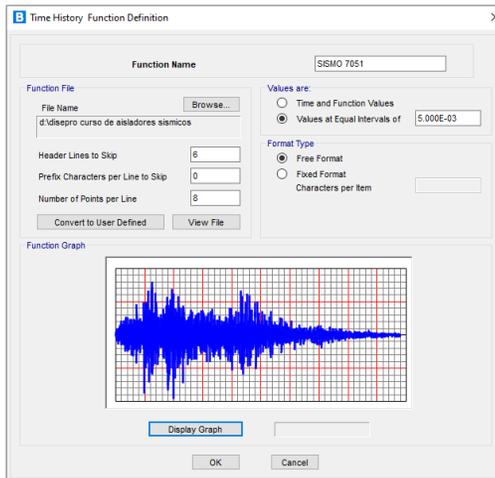
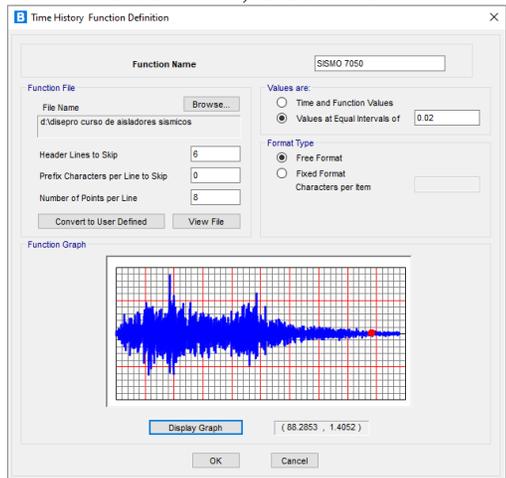


Figura 4.47 Registros directos de sismos ocurridos en el Perú.

Espectro modificado/ B_L

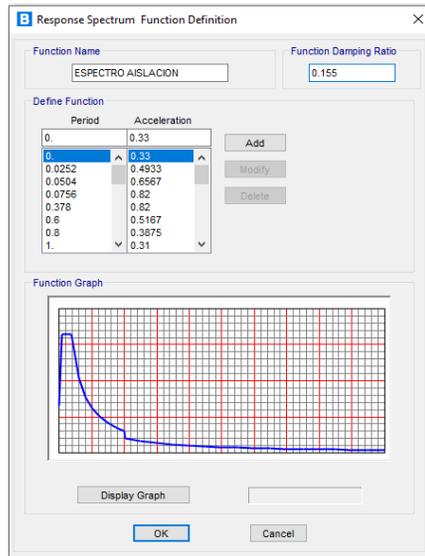


Figura 4.48 Espectro modificado al 20%

4.10.3.3 Registro escalado o normalizado a nivel de diseño

Cuando se hace el analisis con la curva azul pseudo espectral es el tipo de sismo que ocurre frecuentemente y muy bajo y no se tiene un nivel de diseño.

El nivel de diseño se analiza con la curva guindo espectral de Huancayo con $PGA=0.33$, $S_s=0.82$ y $SD1=0.31$. ocurrencia 1000 años el escalamiento o se hace para ingresar el sismo a nivel de diseño al puente

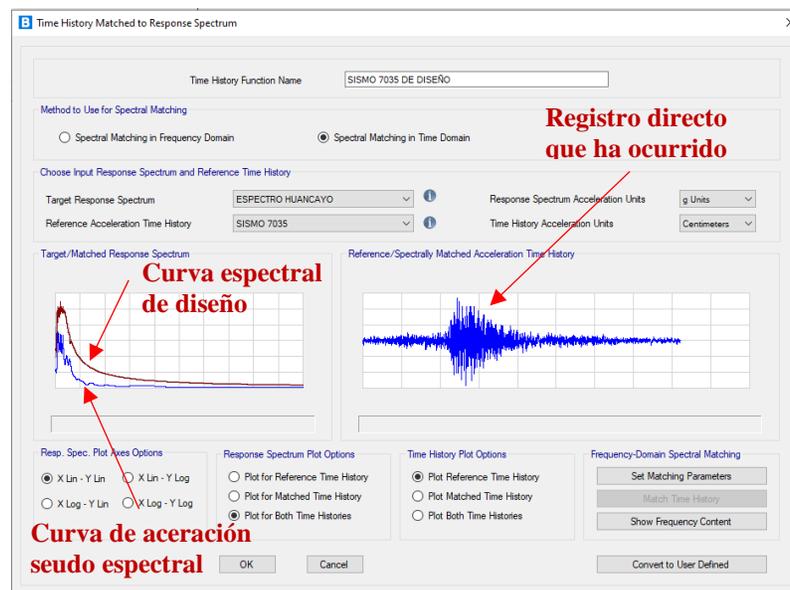


Figura 4.49 Partes de un Registro escalado o normalizado.

De esta manera se realiza el escalado de los registros de Sismos Directos al nivel de Diseño

T-H 7035 espectro Normalizado

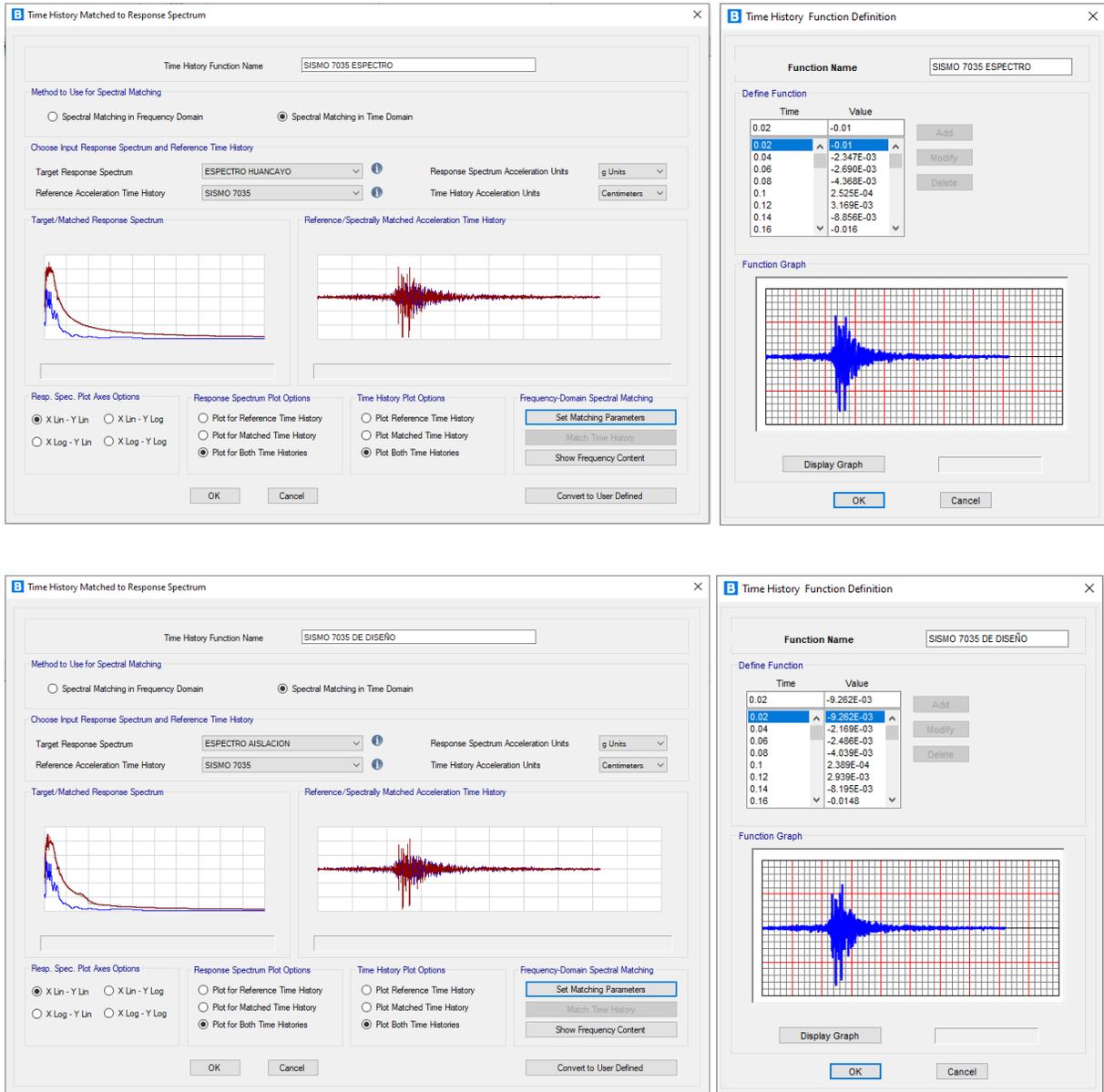


Figura 4.50 T-H 7035. Registro escalado o normalizado a nivel de diseño

T-H 7036 espectro Normalizado

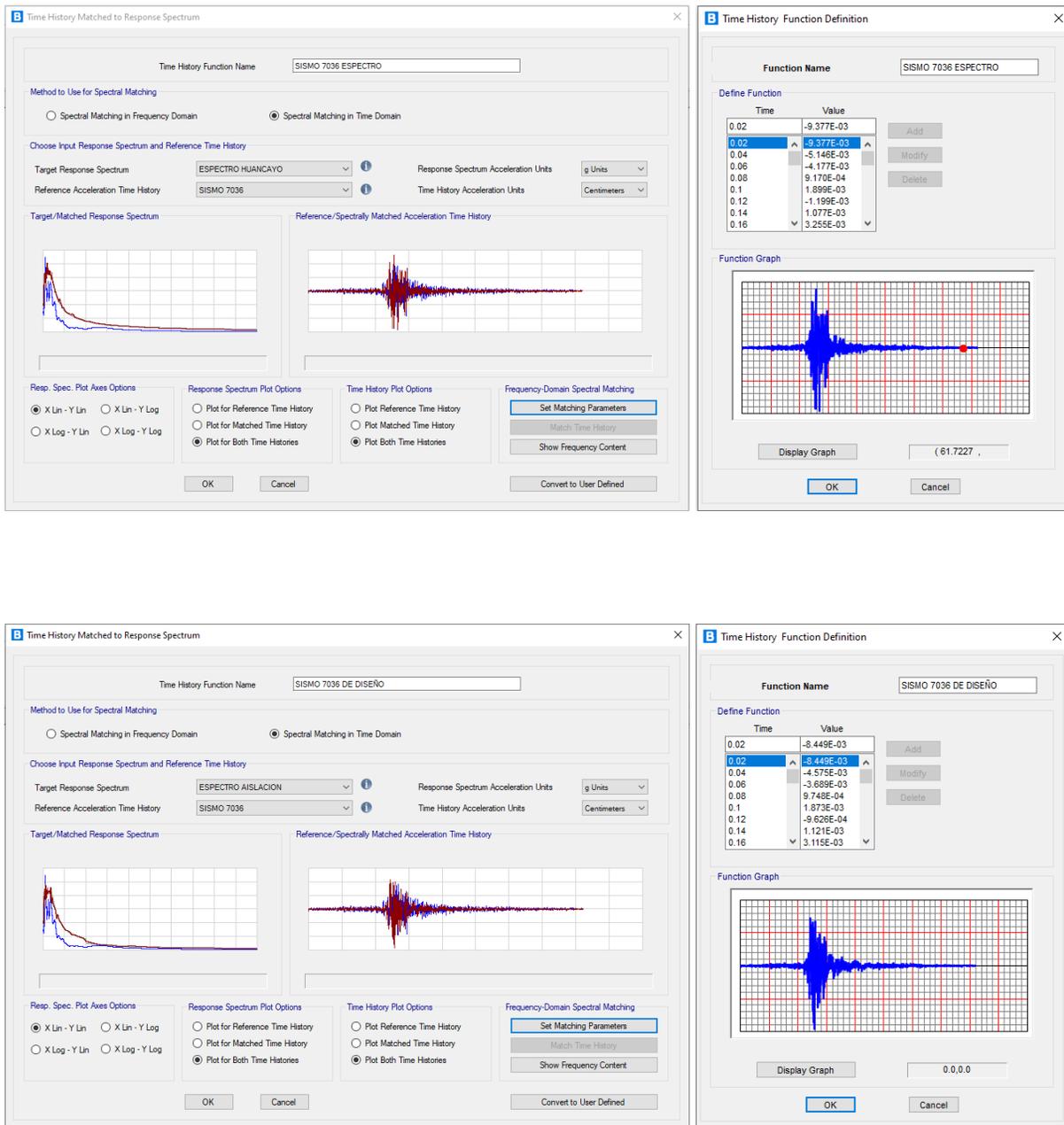


Figura 4.51 T-H 7036. Registro escalado o normalizado a nivel de diseño

T-H 7038 espectro Normalizado

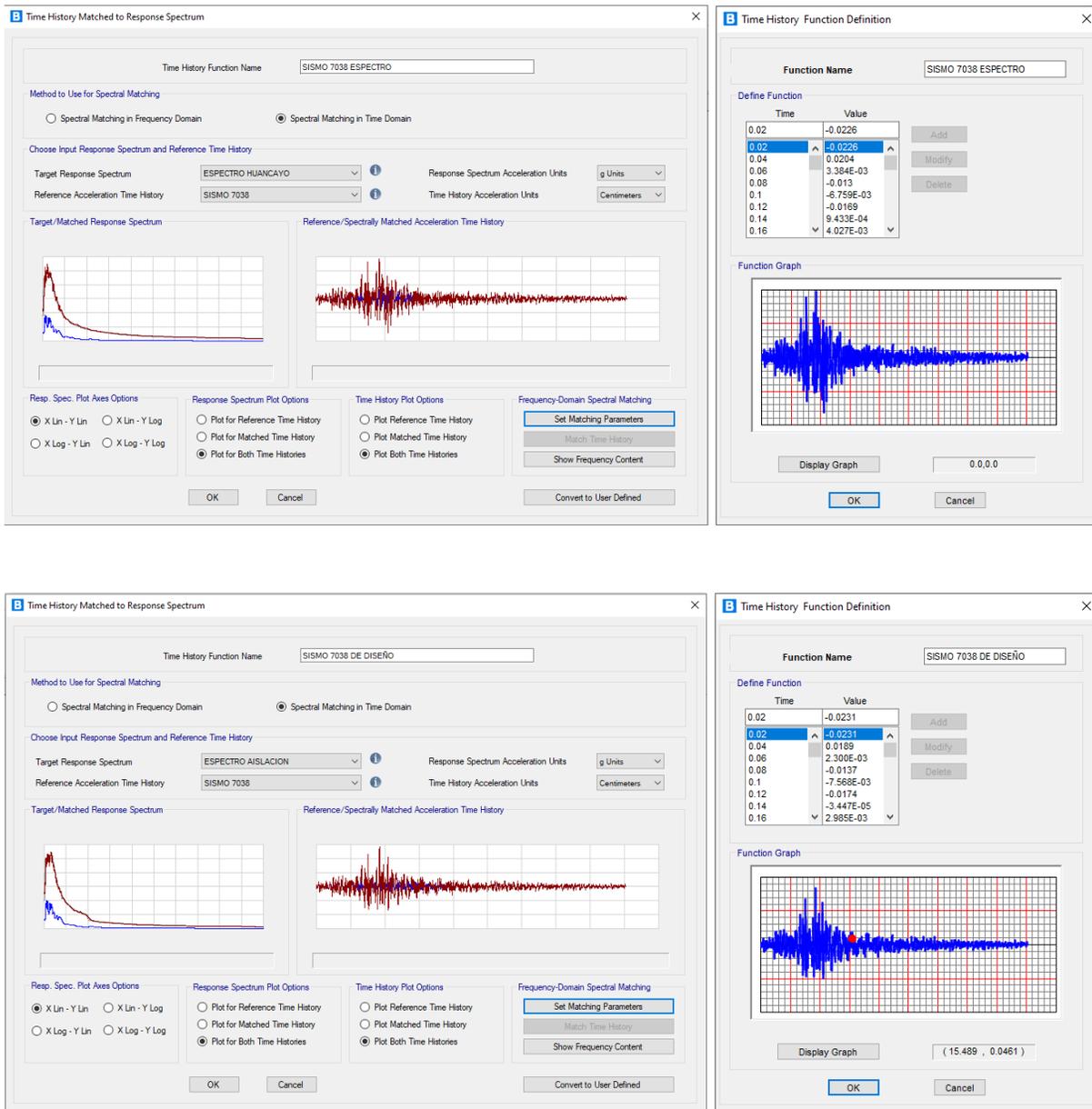


Figura 4.52 T-H 7038. Registro escalado o normalizado a nivel de diseño

T-H 7039 espectro Normalizado

Time History Matched to Response Spectrum

Time History Function Name: SISMO 7039 ESPECTRO

Method to Use for Spectral Matching:
 Spectral Matching in Frequency Domain
 Spectral Matching in Time Domain

Choose Input Response Spectrum and Reference Time History
 Target Response Spectrum: ESPECTRO HUANCAYO
 Reference Acceleration Time History: SISMO 7039

Target/Matched Response Spectrum
 Reference/Spectrally Matched Acceleration Time History

Resp. Spec. Plot Axes Options:
 X Lin - Y Lin
 X Lin - Y Log
 X Log - Y Lin
 X Log - Y Log

Response Spectrum Plot Options:
 Plot for Reference Time History
 Plot for Matched Time History
 Plot for Both Time Histories

Time History Plot Options:
 Plot Reference Time History
 Plot Matched Time History
 Plot Both Time Histories

Frequency-Domain Spectral Matching:

Time History Function Definition

Function Name: SISMO 7039 ESPECTRO

Time	Value
0.02	0.0136
0.04	6.417E-03
0.06	-2.107E-03
0.08	-8.882E-03
0.1	-0.0118
0.12	6.595E-04
0.14	0.0116
0.16	-1.562E-03

Function Graph
 0.0,0.0

Time History Matched to Response Spectrum

Time History Function Name: SISMO 7039 DE DISEÑO

Method to Use for Spectral Matching:
 Spectral Matching in Frequency Domain
 Spectral Matching in Time Domain

Choose Input Response Spectrum and Reference Time History
 Target Response Spectrum: ESPECTRO AISLACION
 Reference Acceleration Time History: SISMO 7039

Target/Matched Response Spectrum
 Reference/Spectrally Matched Acceleration Time History

Resp. Spec. Plot Axes Options:
 X Lin - Y Lin
 X Lin - Y Log
 X Log - Y Lin
 X Log - Y Log

Response Spectrum Plot Options:
 Plot for Reference Time History
 Plot for Matched Time History
 Plot for Both Time Histories

Time History Plot Options:
 Plot Reference Time History
 Plot Matched Time History
 Plot Both Time Histories

Frequency-Domain Spectral Matching:

Time History Function Definition

Function Name: SISMO 7039 DE DISEÑO

Time	Value
0.02	9.870E-03
0.04	2.548E-03
0.06	-6.069E-03
0.08	-0.013
0.1	-0.016
0.12	-3.884E-03
0.14	6.745E-03
0.16	-6.425E-03

Function Graph
 (17.0863 , 3.725E-03)

Figura 4.53 T-H 7039. Registro escalado o normalizado a nivel de diseño

T-H 7050 espectro Normalizado

The figure shows two screenshots of software dialog boxes used for defining a normalized T-H 7050 spectrum.

Left Dialog: Time History Matched to Response Spectrum

- Time History Function Name:** SISMO 7050 ESPECTRO
- Method to Use for Spectral Matching:** Spectral Matching in Time Domain
- Choose Input Response Spectrum and Reference Time History:**
 - Target Response Spectrum: ESPECTRO HUANCAYO
 - Reference Acceleration Time History: SISMO 7050
 - Response Spectrum Acceleration Units: g Units
 - Time History Acceleration Units: Centimeters
- Target/Matched Response Spectrum:** [Graph showing spectral density]
- Reference/Spectrally Matched Acceleration Time History:** [Graph showing time history]
- Resp. Spec. Plot Axes Options:** X Lin - Y Lin
- Response Spectrum Plot Options:** Plot for Both Time Histories
- Time History Plot Options:** Plot Both Time Histories
- Frequency-Domain Spectral Matching:**

Right Dialog: Time History Function Definition

- Function Name:** SISMO 7050 ESPECTRO
- Define Function:**

Time	Value
0.02	-6.094E-03
0.02	-6.094E-03
0.04	7.327E-03
0.06	8.967E-03
0.08	2.791E-03
0.1	-5.283E-03
0.12	-4.924E-03
0.14	1.509E-03
0.16	1.501E-03
- Function Graph:** [Graph showing the defined function]

Figura 4.54 T-H 7050. Registro escalado o normalizado a nivel de diseño

T-H 7051 espectro Normalizado

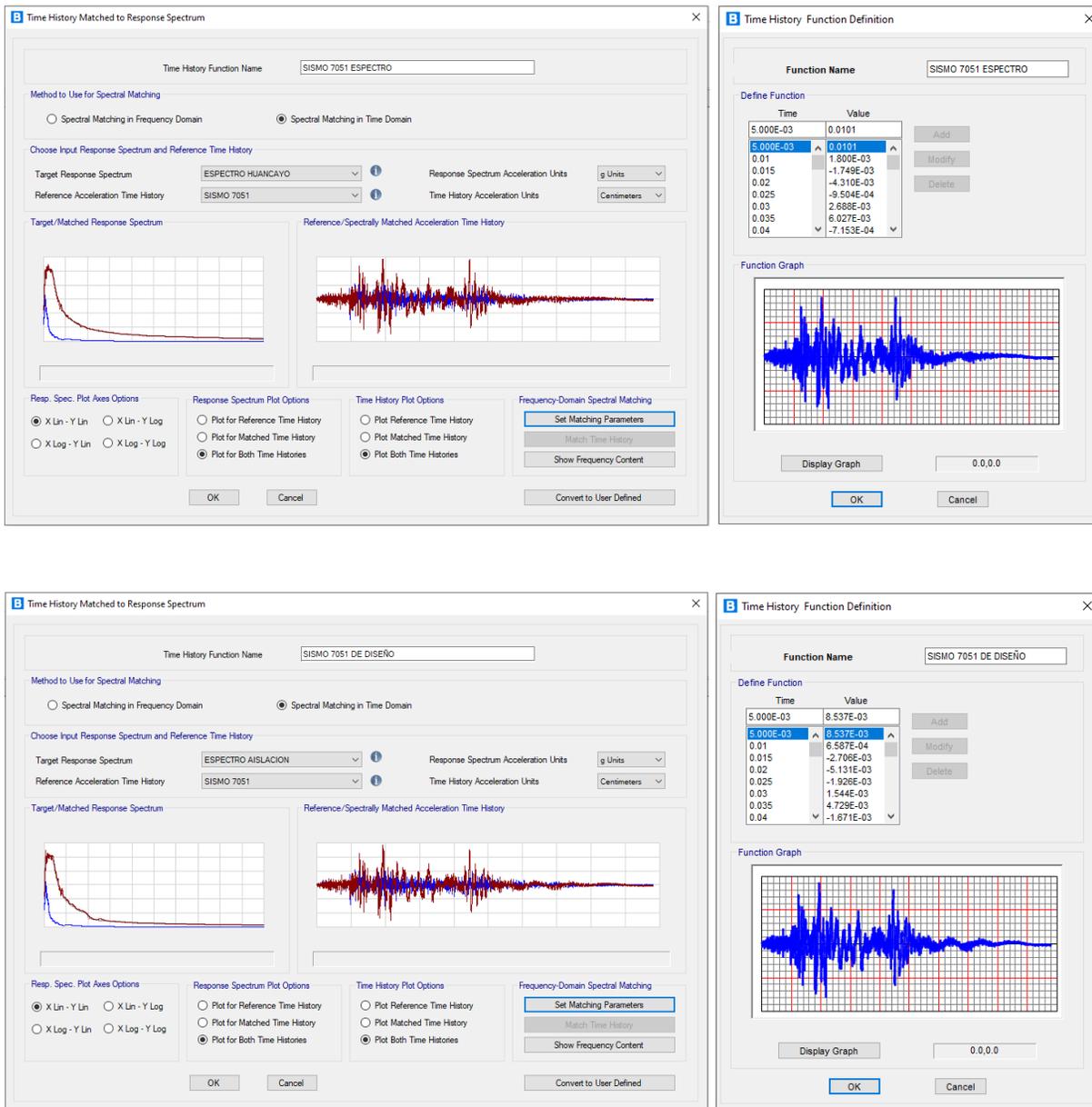


Figura 4.55 T-H 7051. Registro escalado o normalizado a nivel de diseño

4.10.3.4 Realizamos el analisis del peso de la estructura. no lineal

Realizamos el peso máximo total no lineal del puente continuo con el método tiempo – historia. $WT = 3,815.6464Tn$ es muy parecido al resultado del método simplificado donde es: $WT = 3,815.84 Tn$. Para ello realizamos la participacion de masa porcentual dinamico mayor al 90% como indica la norma del AASHTO 2017.

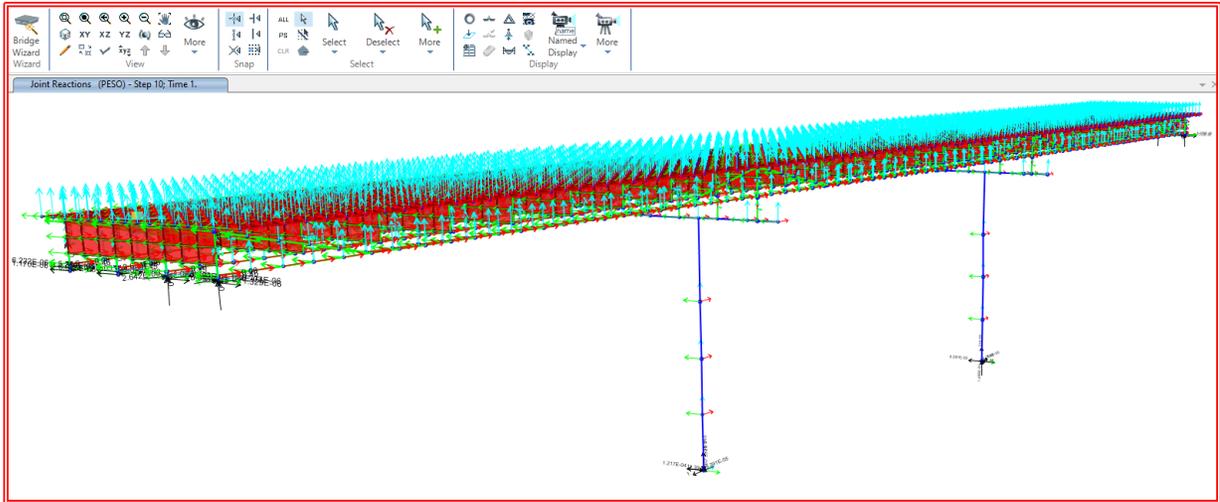


Figura 4.56 Verificamos los nodos en la estructura a traves de CSiBridge v22.1.0.

OutputCase	Item Type Text	Item Text	Static Percent	Dynamic Percent
MODAL	Acceleration	UX	100	100
MODAL	Acceleration	UY	100	99.8694
MODAL	Acceleration	UZ	100	97.8498

OutputCase	Case Type Text	Step Type Text	GlobalFX Tonf	GlobalFY Tonf	GlobalFZ Tonf	GlobalMX Tonf-m	GlobalMY Tonf-m	GlobalMZ Tonf-m	GlobalX m	GlobalY m
DEAD	LinStatic		-4.949E-08	7.383E-10	2627.9065	-9.442E-08	-144534.855	-1.561E-07	0	
PESO	NonModHist	Max	0.0612	0.0688	3815.6464	0.67848	0	3.78317	0	
PESO	NonModHist	Min	-0.0515	0	0	0	-209278.386	0	0	

97.849% participación porcentual mayo al 90% según la norma AASHTO 2017

Figura 4.57 Verificamos el peso total no lineal de la estructura con CSiBridge v22.1.0.

4.10.3.5 Realizamos la evaluacion time history Direccion longitudinal (x-x)

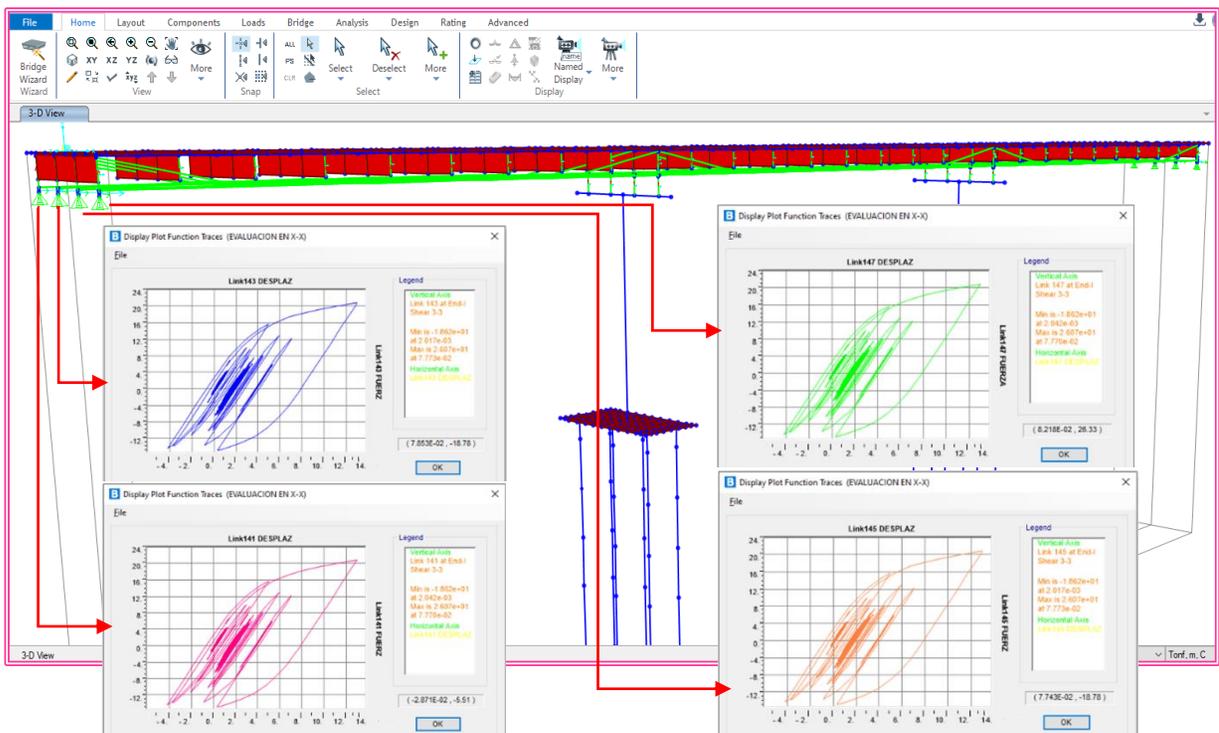
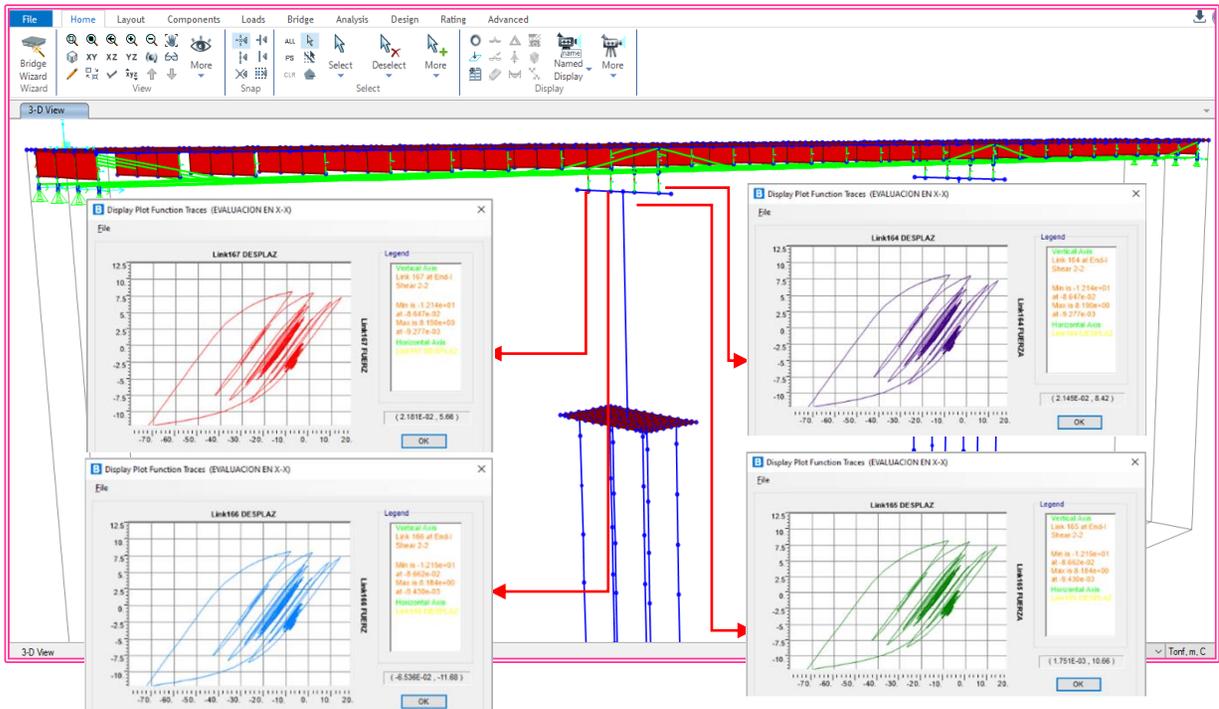


Figura 4.58 Evaluación tiempo–historia direcc long. (x-x) con CSiBridge v22.1.0.

Dirección transversal (y-y)

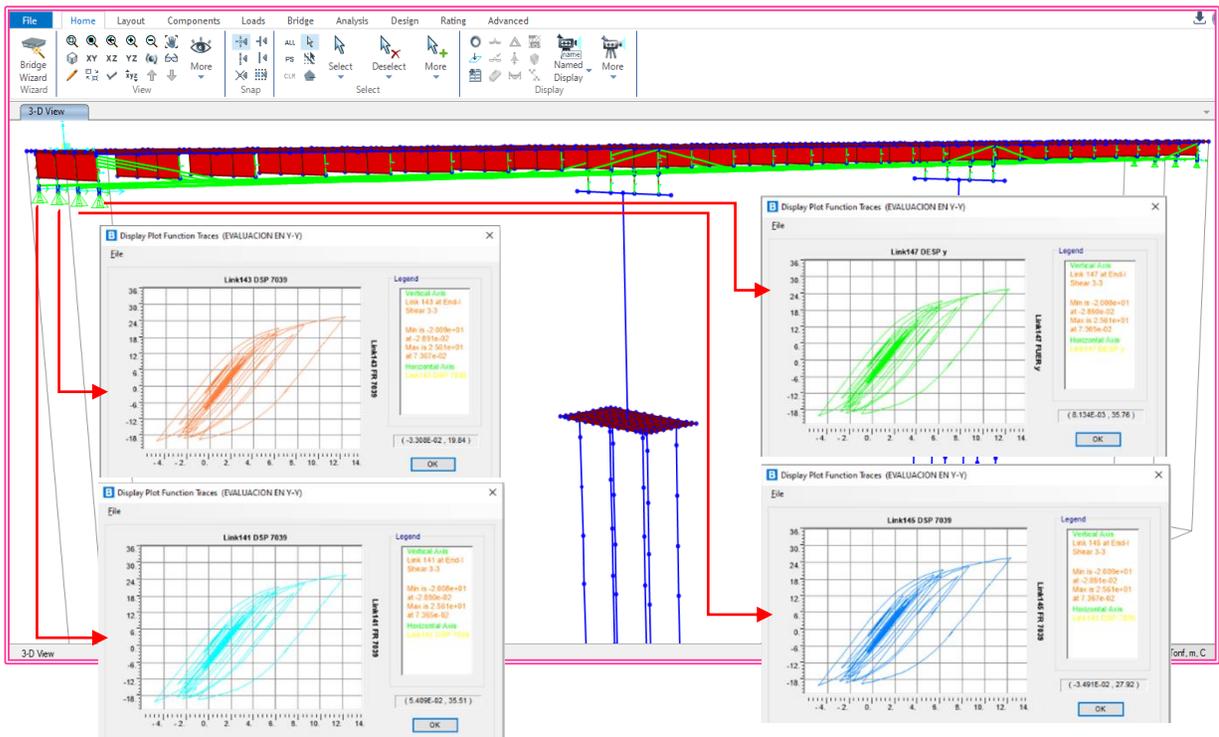
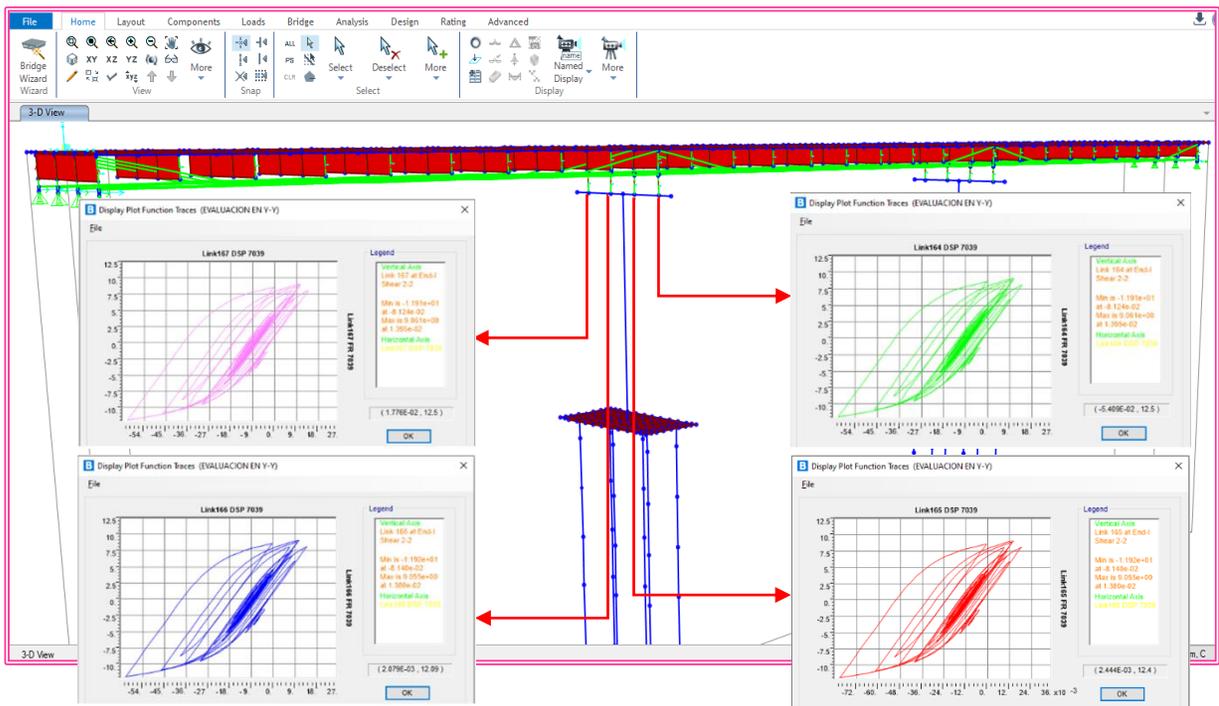


Figura 4.59 Evaluación tiempo–historia direcc transv. (y-y) con CSiBridge v22.1.0.

A continuación se muestra la tabla de resultados del desplazamiento sísmico del puente con aisladores sísmicos con el método TIEMPO HISTORIA

Tabla 4.20 Resultado de desplazamiento sísmico con aisladores método Tiempo Historia.

Dirac	Estribo norte	Pier 1	Pier 2	Estribo sur
d x-x (cm)	14.36	14.38	14.37	14.27
d y-y (cm)	13.01	14.12	14.14	13.10

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACION

5.1. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La presente tesis de investigación de acuerdo a la hipótesis general tiene como objetivo analizar los resultados encontrados de cada método que son: método simplificado, método multimodal y método tiempo – historia, y con ello obtener el análisis comparativo de desplazamiento de la respuesta sísmica para dimensionar el aislador sísmico como sistema de protección ante acciones sísmicas en la estructura de puentes continuos – Huancayo 2021

Según mi hipótesis específico El comportamiento estructural de los puentes con aisladores sísmicos. Estos resultados obtenidos guardan relación con lo que sostienen. **Minchán P. M. L (2016) Cajamarca y Portillo R.D.E (2020) España** “Analizan la influencia de la rigidez de las pilas de un puente en el desempeño sísmico de los aisladores con núcleo de plomo y reducir las fuerzas sísmicas en las pilas, Esta investigación presenta un estudio paramétrico de los aisladores sísmicos LRB”

La hipótesis específica del presente tesis de investigación; los elementos básicos en aislamiento sísmico son los dispositivos de carga vertical que proporciona flexibilidad lateral, amortiguación, disipación de energía sísmica y proporcionar rigidez efectiva bajo los niveles de carga con el objetivo de verificar los elementos indispensables necesarias para el dimensionamiento de los elementos de aislación sísmica para proteger los puentes coinciden con el catálogo seleccionado de **(BRIDGESTONE SEISMIC ISOLATION DESING 2019)**, por lo tanto se ha seleccionado las características del aislador (LRB).

De acuerdo al objetivo específico; demostrar que si es posible vivir en nuestro país un terremoto sin daños estructurales, sin pérdidas humanas y económicas después de

incorporar aisladores sísmicos en puentes continuos. **Bustamante (2019) Chiclayo** “en su trabajo de investigación indica si es posible mejorar la estabilidad de los puentes con aisladores sísmicos. De acuerdo al análisis desarrollado con los tres métodos indica que el objetivo hipotético es demostrar que si es posible vivir en nuestro país un terremoto sin daños estructurales, sin pérdidas humanas y económicas con puentes con aisladores sísmicos, manteniéndose transitable después de un sismo severo o leve”

5.2. ANALIZAR LA COMPARACION DE PERIODOS Y AMORTIGUAMIENTO

Comparación del periodo “Teff”, amortiguamiento “ ξ ” y el factor de amortiguamiento “BL” del puente sísmicamente sin aislador y del puente sísmicamente aislado, en los 3 métodos (método simplificado, método Multimodal y método Tiempo Historia)

Tabla 5.1 Comparación de periodos “Teff”, amortiguamiento “ ξ ” y factor de amortiguamiento “BL”, puente sin aislador en los 3 métodos.

DESC	METODO SIMPLIFICADO	METODO MULTIMODAL	TIME HISTORY
ξ	0.05	0.05	0.05
BL	1	1	1
Teff (seg)	1.00	1.00	1.00

Tabla 5.2 Comparación de periodos “Teff”, amortiguamiento “ ξ ” y factor de amortiguamiento “BL”, puente con aislador en los 3 métodos

DESC	METODO SIMPLIFICADO	METODO MULTIMODAL	TIME HISTORY
ξ	0.20	0.20	0.20
BL	1.516	1.516	1.516
Ratio		0.10	

El periodo “Teff”, amortiguamiento “ ξ ” y el factor de amortiguamiento “BL” del puente con aislador su amortiguamiento es 75% mas al del puente sin aislador en los 3 métodos (método simplificado, método Multimodal y método Tiempo Historia)

Tabla 5.3 Comparación de periodos “Teff”, amortiguamiento “ ξ ” y factor de amortiguamiento “BL”, puente con y sin aislador

método simplificado, método Multimodal y método Tiempo Historia			
Desc	Sin aislador	Con aislador	Ratio
ξ	5%	20%	1.00
BL	1	1.516	

Comparación del periodo efectivo “Teff”, de los 3 métodos (método simplificado, método Multimodal y método Tiempo Historia) del puente con aislador sísmico, el periodo efectivo en los 3 métodos es muy parecidos por lo que también los desplazamientos longitudinal y transversal son muy parecidos. Por lo tanto se demuestra que con los 3 métodos se comprueba que da un resultado único para el diseño sísmico de aisladores en el puente continuo.

Tabla 5.4 Comparación del periodo efectivo “Teff”, con aislador sísmico en los 3 métodos

DESC	METODO SIMPLIFICADO	METODO MULTIMODAL	TIME HISTORY
Teff x-x (s)	1.93248	1.89723	1.9524
Teff y-y (s)	0.98714	0.94468	0.9981

5.3. EVALUACION DE COMPARACION DE LA RESPUESTA SÍSMICA DEL PUENTE

Como objetivo principal indica analizar y describir los criterios metodológicos para comparar la respuesta sísmica de desplazamiento de los 3 métodos empleados. En el análisis sísmico se ha usado el método simplificado, método multimodal y método tiempo-historia, tanto para los puentes sísmicamente no aislados y para los puentes sísmicamente aislados. El método simplificado solo se aplica para el cálculo de desplazamiento con aislador sísmico.

5.3.1. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE DESPLAZAMIENTOS

Método Simple

El método simplificado de acuerdo a la norma del ASSHTO 2017 no esta diseñada para realizar o calcular desplazamiento longitudinal y transversal para puentes sin aislador, por lo tanto con el método indicado solo se tiene el resultado del desplazamiento longitudinal y transversal del puente sísmicamente aislado.

Tabla 5.5 Comparación de resultados de desplazamiento con y sin aislador método Simplificado

DESC	METODO SIMPLIFICADO	
	Sin aislador	Con aislador
d x-x (cm)	-	14.1336
d y-y (cm)	-	13.8565

Método multimodal

Los resultados obtenidos en la siguiente tabla 5.6 se muestra la comparación de resultados de desplazamientos del puente continuo sin aislador y con aislador, en ambos resultados se observa que ay una diferencia bastante significativa de desplazamiento; el puente con aislador sísmico su desplazamiento es menor a un 30% al desplazamiento del puente no aislado, esto se da cuando se presenta un evento sismo y su desplazamiento de la sub estructura disminuye porque el aislador disipa la energía mediante su deformación y la superestructura aumenta su desplazamiento.

Tabla 5.6 Comparación de resultados de desplazamiento con y sin aislador método Multimodal.

DESC	METODO MULTIMODAL	
	Sin aislador	Con aislador
d x-x (cm)	17.785	13.530
d y-y (cm)	15.892	12.120

En el siguiente grafico 5.1 Se muestra el 30% de la diferencia de los desplazamientos del puente con y sin aislador sísmico del método Multimodal.

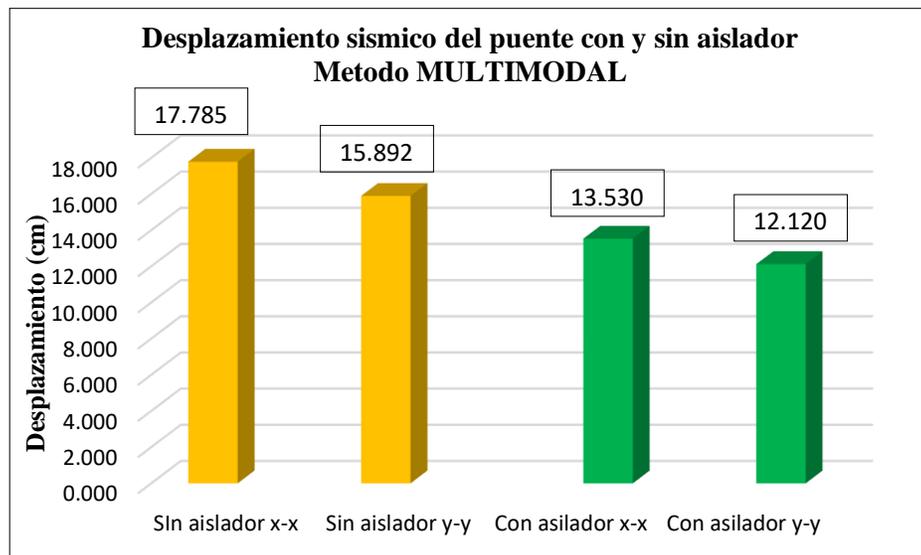


Figura 5.1 Comparacion de resultados de desplazamiento con y sin aislador metodo multimodal graficamente con diferencia de 30%.

Método Time – History dinámico

Los resultados que se obtiene con el método Time History en la siguiente tabla 5.7 se muestra la comparación de desplazamientos en ambas direcciones del puente continuo sin y con aislador, con este método también se observa que ay una diferencia bastante significativa de desplazamiento en ambas direcciones; en el puente sísmicamente aislado se tiene un 25% menor de desplazamiento al puente sísmicamente no aislado, esto se da cuando se presenta un evento sismo y su desplazamiento de la sub estructura disminuye porque el aislador disipa la

energía mediante su deformación y la superestructura aumenta su desplazamiento.

Tabla 5.7 Comparación de resultados de desplazamiento con y sin aislador método Time History dinámico.

DESC	METODO TIME- HISTORY	
	Sin aislador	Con aislador
d x-x (cm)	19.107	14.380
d y-y (cm)	18.779	14.120

En el siguiente grafico 5.2 Se muestra el 25% de la diferencia de los desplazamientos del puente con y sin aislador sísmico del método Time History dinámico.

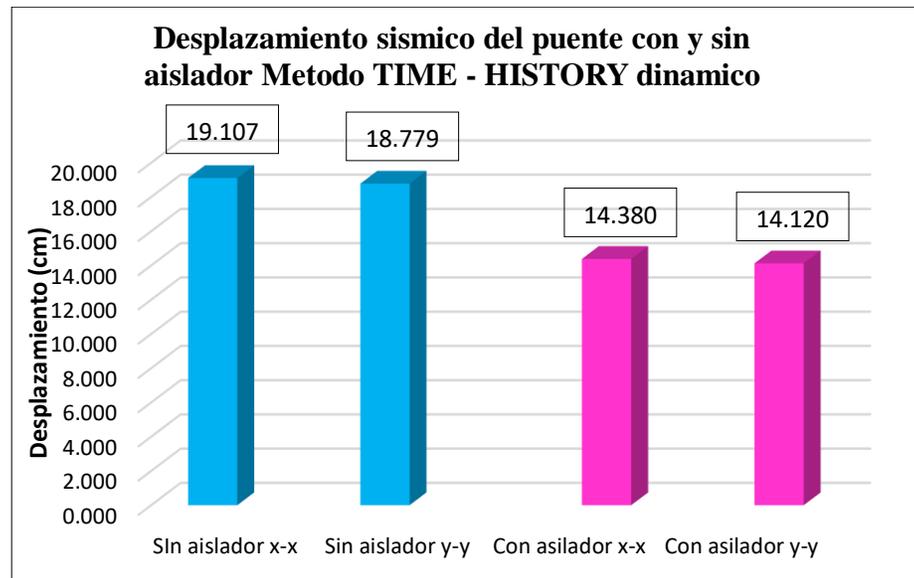


Figura 5.2 Comparacion de resultados de desplazamiento con y sin aislador metodo Time History graficamente con diferencia de 25%.

5.3.2. RESUMEN DE RESULTADOS COMPARATIVO DE DESPLAZAMIENTOS

El comportamiento estructural de los puentes con aisladores sísmicos es mucho mejor y una mejor alternativa como sistema de protección ante acciones sísmicas en la estructura de puentes; con el objetivo de analizar el

comportamiento en su desplazamiento máximo de la estructura del puente con aisladores sísmicos

Se menciona en el siguiente cuadro los resultados finales de los desplazamientos máximos longitudinal y transversal con aislador es menor al desplazamiento longitudinal y transversal sin aislador desarrollados con los tres métodos

Tabla 5.8 Comparación de resultados de desplazamiento long. y transv. sin aislador. método simplificado, método multimodal y método Time History dinámico.

SIN AISLADOR			
DESC	METODO SIMPLIFICADO	METODO MULTIMODAL	METODO TIME-HISTORY
d x-x (cm)	-	17.785	19.107
d y-y (cm)	-	15.892	18.779

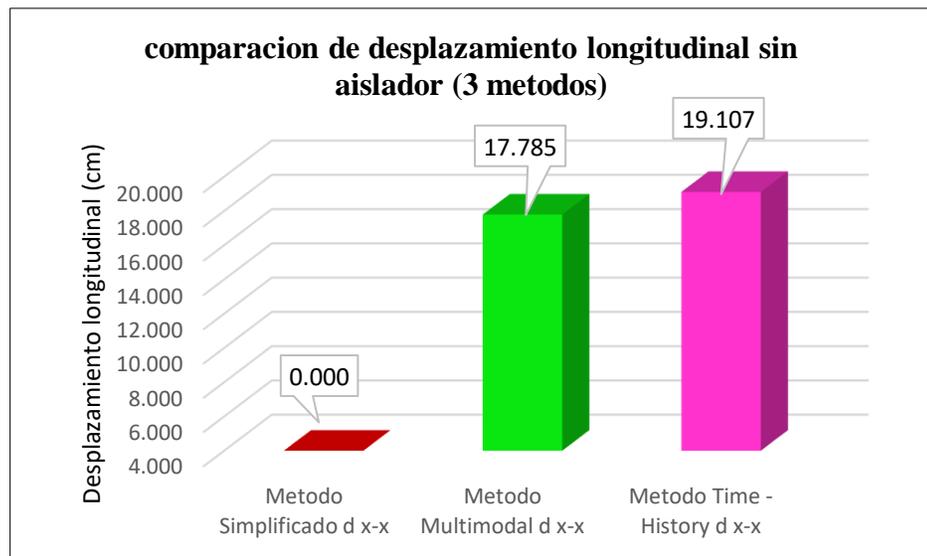


Figura 5.3 Comparacion de resultados de desplazamiento longitudinal sin aislador método simplificado, método multimodal y método Time History dinámico graficamente

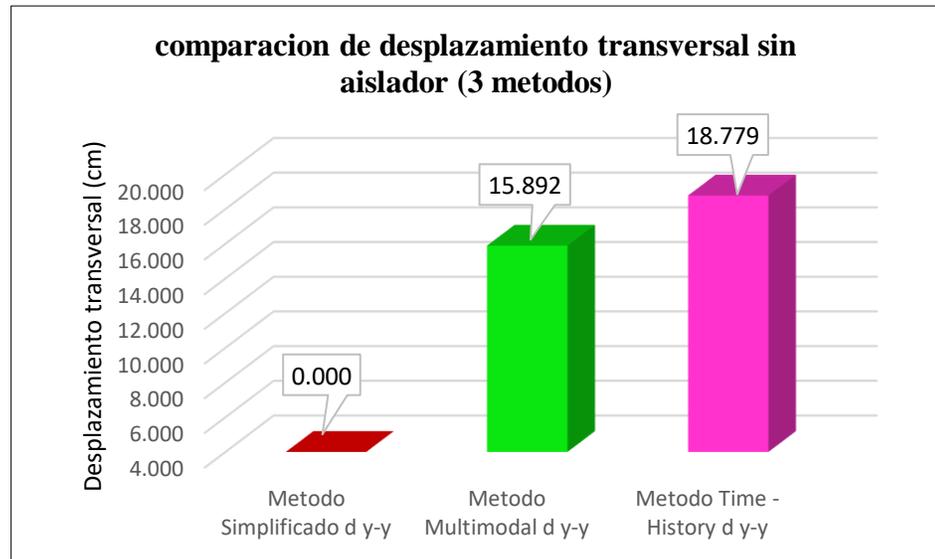


Figura 5.4 Comparacion de resultados de desplazamiento transversal sin aislador método simplificado, método multimodal y método Time History dinámico graficamente

Cabe precisar que los resultados de los tres métodos con aisladores sísmicos no difieren en mucho por lo tanto los 3 métodos son válidos para el dimensionamiento de los aisladores sísmicos

Tabla 5.9 Comparación de resultados de desplazamiento long. y transv. con aislador. método simplificado, método multimodal y método Time History dinámico.

CON AISLADOR			
DESC	METODO SIMPLIFICADO	METOD MULTIMODAL	METODO TIME-HISTORY
d x-x (cm)	14.1336	13.5300	14.3800
d y-y (cm)	13.8565	12.1200	14.1200

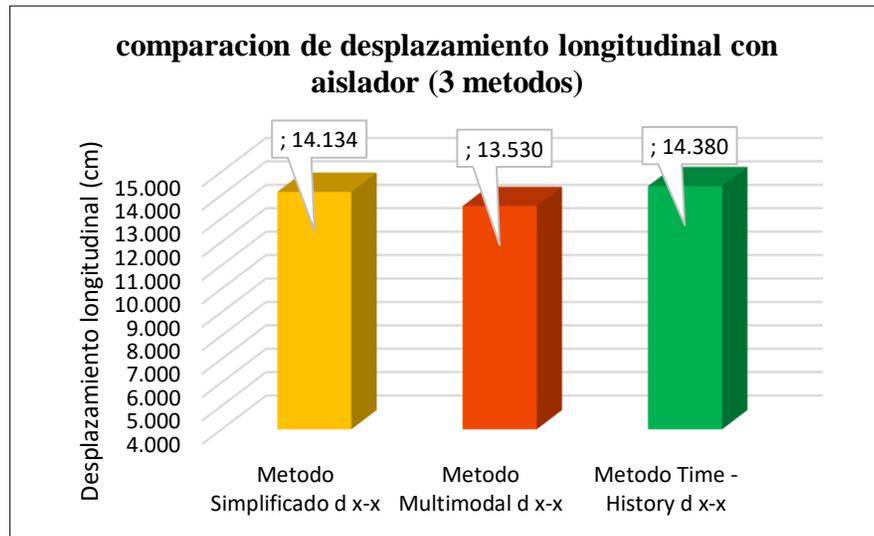


Figura 5.5 Comparacion de resultados de desplazamiento longitudinal con aislador método simplificado, método multimodal y método Time History dinámico graficamente

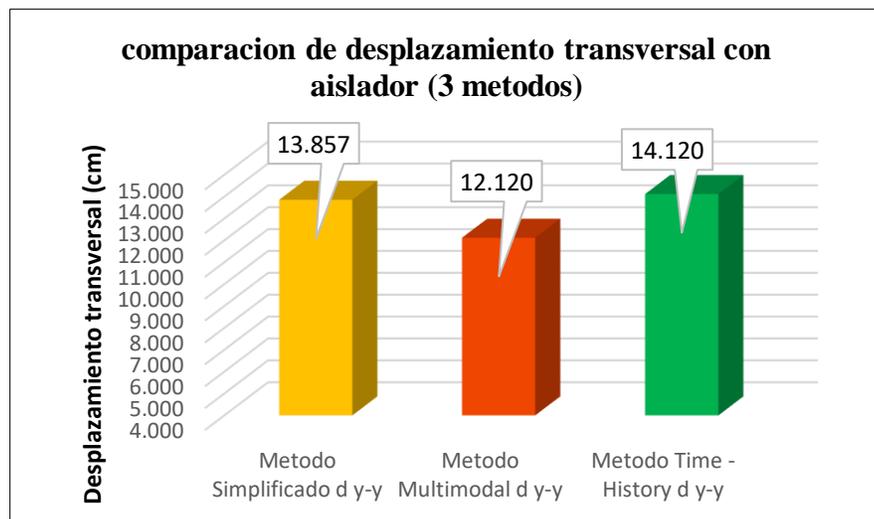


Figura 5.6 Comparacion de resultados de desplazamiento transversal con aislador método simplificado, método multimodal y método Time History dinámico graficamente

Tabla 5.10 Comparación de resultados de desplazamiento longitudinal y transversal con y sin aislador. método simplificado, método multimodal y método Time History dinámico

DESC	METODO SIMPLIFICADO		METODO MULTIMODAL		METODO TIME-HISTORY	
	Sin aislador	Con aislador	Sin aislador	Con aislador	Sin aislador	Con aislador
d x-x (cm)	-	14.1336	17.785	13.530	19.107	14.380
d y-y (cm)	-	13.8565	15.892	12.120	18.779	14.120

CONCLUSIONES

1. El método simplificado llamado también método manual se ha desarrollado con el manual del AASHTO, donde los desplazamientos máximos son semejantes al resultado de los otros métodos multimodal y método Time History.

El método simplificado es análogo al método de carga uniforme en las Especificaciones de Diseño Seismic y del LRFD. Este método es adaptado para su aplicación en puentes aislados. El desplazamiento de los 3 métodos es semejante

2. Se concluye que se ha determinado para el puente continuo el tipo de aislador LRD con nucleo de plomo que tiene mayor amortiguacion y menor vibracion de la estructura del puente continuo, su desplazamiento de sedencia es $d_y=2.54\text{cm}$, el Keff del aislador es $1.227 \times 10^3 \text{ KN/m}$. dicho aislador actua como un sistema de protección ante acciones sísmicas en la estructura de puentes en la ciudad de Huancayo.
3. Se concluye que el puente con diseño sísmico; su amortiguamiento efectiva biscooso crece de 5% sin aislador a un 20% con aislador y el factor de amortiguamiento de 1 sin aislador a 1.516 con aislador; por lo tanto la bibracion desminuye rapidamente y la estructura del puente buelbe a estado normal muy rapido, por lo tanto la amortiguacion es 75% mas, con los tres metodos se obtiene los mismos resultados.
4. Se concluye que la rigidez efectiba “Keff” en cada estribo es 757.698253 kg/cm y la rigidez efectiva “Keff” en cada pier es 1635.62695 kg/cm , para los 3 metodos se obtiene el mismo resultado.
5. Se concluye que el desplazamiento del puente con aislador desminuye enormemente un 30% menos de desplazamiento. Sin aislador (MM: $d_x=17.785$ y $d_y=15.892$, TH= $d_x=19.107$ y $d_y=18.779$) y con aislador (UL: $d_x=14.1336$ y $d_y=13.8565$, MM: $d_x=13.530$ y $d_y=12.120$, TH= $d_x=14.380$ y $d_y=14.120$).

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar más estudios y/o análisis de estructuras de puentes con diferentes tipos de aisladores en nuestra región, porque la región Junín se encuentra en la zona sísmica 3. Por lo tanto las entidades ejecutoras públicas y privadas deben normar en sus términos de referencia la elaboración de expedientes técnicos de puentes esenciales e infraestructuras con aisladores sísmicos; de esta manera tendremos puentes con menor riesgo cuando se genera sismos leves y fuertes.
2. Poco se ha tomado en cuenta estos aisladores como disipador de energía sísmica cuando se instalan en las infraestructuras de los puentes. En nuestro país se tiene escasa información además no se tiene información en el reglamento nacional de edificaciones y en el manual de puentes del Perú. Por lo tanto se recomienda que en las propuestas y/o TDR de los proyectos de puentes e infraestructuras se deben de especificar el tipo de diseño sísmico con dispositivos que disipen la energía sísmica
3. Se recomienda contar con las características del clima del lugar; porque las temperaturas hacen que se cristalice los elastómeros cuando se rigidizan por la baja temperatura y entonces los elastómeros se vuelven frágiles y poco a poco empiezan a perder su resistencia en las gomas.
4. Para el mantenimiento de los aisladores se recomienda cambiarlos cada 50 años o dependiendo la zona, temperatura o por su envejecimiento.
5. Se recomienda realizar estudios de tesis del comportamiento de aisladores sísmicos en el encepado del puente para visualizar su desplazamiento de la superestructura acoplado con la subestructura.

REFERENCIAS

Bibliografías

- AGUIAR FALCONÍ ROBERTO, ALMAZÁN JOSÉ LUIS, DECHENT PETER y SUÁREZ VINICIO** (2008) aisladores de base elastoméricos y FPS. 1ra Edición, Registro de autor 018400
- American of State Highway and transportation officials**, AASHTO LRFD Bridge Design Specification, EE. UU, 2017, 7ta Edición.
- Duo sistema puentes modulares de emergencia 2020**. infraestructura de transportes, Golden Gate (el puente que no se podía construir) metro cable de Medellín, ampliación del canal de Panamá.
- DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS**. (2010) Aislamiento sísmico para edificaciones y puentes, la mejor tecnología de protección antisísmica en el mundo. Estados Unidos
- Genatios, C., & Lafuente, M.** (2016). introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras. Caracas.
- Instituto de la Construcción y Gerencia**, ICG, Autores varios selección de artículos. el presenta la cuarta Edición del Libro “Análisis, Diseño y Construcción de Puentes”
- Jurado Cabañes Carlos** Ingeniero civil de caminos, canales y puentes. (2017), cálculo de puentes con csibridge (tomo II. 1ra ed.) España
- Jurado Cabañes Carlos** 2016. puentes III. cimentaciones - calculo sísmico - conservación y rehabilitación de puentes. Editorial Bellisco ediciones
- Manterola Javier** (2006), apuntes para su diseño, calculo y construcción puentes ISBN tomo II. Impreso en España. (1ra ed.)
- Manual de diseño de aisladores sísmicos** para puentes carreteros, que complementa al manual de puentes del MTC, AASHTO. 4ta edición
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones** 2018 manual de puentes aprueban con RESOLUCION DIRECTORAL N°19 -2018-MTC/14
- Mohamed Mehdi Hadi Mohamed. PH. D.** Diseño de puentes de concreto armado según la norma AASHTO - LRFD (2018) 2da edición. tomo I. Perú
- Ozbulut O. E., Hurlebaus S. and Desroches R.** (2011), Seismic Response Control Using Shape Memory Alloys: A Review,

Pinzón Mayorga Nathaly, Martínez López Edwin (2014), Estado del arte y modelo didáctico descriptivo de amortiguadores y aisladores sísmicos, Trabajo de grado para optar al título de Ing. Civil, Universidad Católica de Colombia, Bogotá.

RNE. (2020) Norma E031 aislamiento sísmico. 1ra Edición digital. (www.gob.pe/sencico)

Rosenblueth, E., Newmark, N. (1976) Fundamentos de Ingeniería Sísmica. Editorial Diana, México, 1976

Soler de la Cruz José Isaac y Pino Velázquez Ángel Julver (2014) Rigidez y flexibilidad en el análisis de diafragmas flexibles

Trama Impresiones Editorial S.A. Corporación de desarrollo tecnológico – cámara chilena de la construcción (2011) protección sísmica de estructuras (sistemas de aislación sísmica y disipación de energía)

Páginas web

- https://www.youtube.com/watch?v=jdOqXjra_2I (Metodología para Supervisar el Diseño y Ensayos de Aisladores Sísmicos en Puentes y Edificaciones)
- <https://www.youtube.com/watch?v=nWeAsZ1FQWI> (aisladores sísmicos en la construcción del centro de información FIC UNI 25 11 14)
- <https://www.gpintech.com/wp-content/uploads/2019/04/Aislamiento-sismico-Div.-Hirun-Eng..pdf> (aisladores y juntas sísmicas, disipadores, apoyos para puentes y viaductos)
- <https://www.facebook.com/watch/?v=627777204497778>
- https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732015000300006
- <https://www.youtube.com/watch?v=AUdejh9dIBc> (colapso estructural de puentes)
- <https://es.slideshare.net/JONAER/estructuras-postensadas-y-pretensadas>
- <https://www.youtube.com/watch?v=vQoN1HNBAIU>
- <https://www.cdvperu.com/nuestros-diseños/>
- https://www.mexpresa.com/productos/vigas_p-e.php
- https://www.google.com.mx/search?q=predimensionamiento+de+vigas+dobles+concreto+presforzado+peru&tbm=isch&ved=2ahUKEwjNjt6W0Ir1AhUKuZUCHff-AFYQ2-cCegQIABAA&oq=predimensionamiento+de+vigas+dobles+concreto+presforzado+peru&gs_lcp=CgNpbWcQA1D-GVjdLGDmM2gAcAB4AIAB2AGIAZIFkgEFNi4wLjGYAQCgAQQgAQtnD3Mtd2l6LWltZ8ABAQ&sclient=img&ei=dC3NYc2EIYry1sQP9_2DsAU#imgsrc=KG0f7B5BaaRBZM&imgdii=2-D0qvsTtbpg4M

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO: PROPUESTA DE AISLADORES SÍSMICOS COMO SISTEMA DE PROTECCION ANTE ACCIONES SISMICAS EN LA ESTRUCTURA DE PUENTES CONTINUOS - HUANCAYO 2021

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	OPERACIONALIZACION		METODOLOGIA
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE	DIMENSIONES	METODO DE LA INVESTIGACIÓN:
¿Cuál es la propuesta de aisladores sísmicos como sistema de protección ante acciones sísmicas en la estructura de puentes continuos - Huancayo 2021?	Determinar la propuesta de aisladores sísmicos como sistema de protección ante acciones sísmicas en la estructura de puentes continuos - Huancayo 2021.	La propuesta de aisladores sísmicos mejora la condición como sistema de protección ante acciones sísmicas en la estructura de puentes continuos	INDEPENDIENTE:	Amortiguación efectiva	* GENERAL: Científico.
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICAS	Aisladores sísmicos	Rigidez efectiva	TIPO DE INVESTIGACIÓN: * Aplicada.
¿Cuáles son los resultados de amortiguación efectiva en la estructura de puentes continuos?	Analizar los resultados de amortiguación efectiva en la estructura de puentes continuos.	Disminuye la vibración de la estructura con una amortiguación efectiva en la estructura de puentes continuos	DEPENDIENTE:	Desplazamiento de diseño	NIVEL DE INVESTIGACIÓN: * Descriptivo.
¿Qué resultados se obtienen respecto a la rigidez efectiva en la estructura de puentes continuos?	Evaluar los resultados que se obtienen respecto a la rigidez efectiva en la estructura de puentes continuos.	Se obtiene prevenir la falla a corte con respecto a la rigidez efectiva en la estructura de puentes continuos	Estructura de puentes continuos	Efectos sísmicos	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN: * Experimental
¿Cuál es el resultado que se obtiene en el desplazamiento de diseño en la estructura de puentes continuos?	Determinar el resultado que se obtiene en el desplazamiento de diseño en la estructura de puentes continuos.	Se obtiene un desplazamiento máximo de diseño en la estructura de puentes continuos.		Estructuras aisladas	POBLACIÓN Y MUESTRA: * POBLACIÓN Puentes continuos carrozables de la ciudad de Huancayo, Región Junín
				Comportamiento estructural	* MUESTRA NO PROBABILISTICA La muestra es dirigida o intencional, se ha considerado los puentes continuos de la ciudad de Huancayo de manera general
					TECNICA DE INVESTIGACIÓN: * Observación
					INSTRUMENTOS: * Ficha de observación

MATRIZ DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

TITULO: PROPUESTA DE AISLADORES SÍSMICOS COMO SISTEMA DE PROTECCION ANTE ACCIONES SISMICAS EN LA ESTRUCTURA DE PUENTES CONTINUOS - HUANCAYO 2021

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Aisladores sísmicos	Genatios y La Fuente (2016) indica que: "Los aisladores son una herramienta de alta tecnología que protege una estructura de los efectos destructivos de un sismo. Lo hace separando la base de la edificación de la tierra. De esta manera los movimientos del suelo producidos por un terremoto o sismo, no afectan la estructura. Con las nuevas normas actualizadas dar protección de la infraestructura frente a terremotos, una guía para la propuesta de aisladores sísmicas en puentes continuos".	Los aisladores sísmicos incorporados en el puente absorberán la energía sísmica disminuirá desastres, daños y pérdidas económicas después de un sismo ya sea severo o de gran magnitud.	Amortiguación efectiva	- Disipación de energía sísmica. - Factor de amortiguamiento.	Razón
			Rigidez efectiva	- Fuerza de recuperación. - Transmisión de cargas desplazamiento y rotación. - Curva de estérésis. - Características del resorte.	Razón
			Desplazamiento de diseño	- Desplazamiento en x-x. - Desplazamiento en y-y.	Razón
Estructura de puentes continuos	Rodríguez (2012) señala: "La estructura del puente continuo es mayor a 2 tramos son hiperestáticas que permite sujetar cuantiosamente la flexión de cálculo con vigas continuas y dependerá de cómo se comportará con aisladores sísmicos. Los aisladores sísmicos serán para disminuir los daños en la super estructura y demostrar la eficiencia que tiene los aisladores. Los aisladores sísmicos no generan daño en la superestructura, la vibración de la super estructura debe estar por debajo de la aceleración del aislador sísmico".	La super estructura del puente continuo transmitirá su carga sísmica al aislador y su comportamiento durante un sismo será mucho mayor su amortiguamiento.	Efectos sísmicos	- Desplazamiento de diseño. - Desplazamiento máximo.	Razón
			Estructuras aisladas	- Análisis de rigidez en sub estructura. - Peso de la superestructura. - Cortante en pilares. - Análisis dinámico no lineal.	Razón
			Comportamiento estructural	- Seguridad. - Calidad.	Razón