

Vulnerabilidad sísmica en puentes

Elias Dimas Cirilo Berazain

Cochabamba, Bolivia
17 de julio de 2024

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
BOLIVIANA
COCHABAMBA

Espacio opcional para logotipo de
institución a la que pertenece el
presentador



Origen de los sismos:

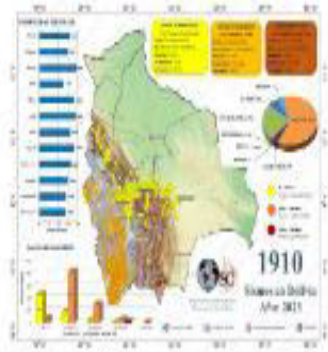
- Los movimientos sísmicos se definen como la vibración del suelo provocada por una repentina liberación de energía de deformación acumulada en la corteza terrestre.

Los sismos en Bolivia

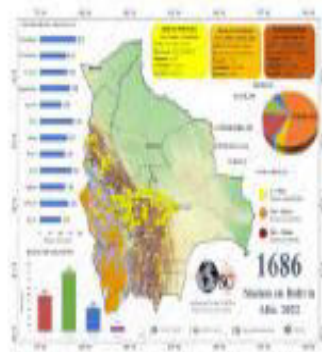
- La Fundación Privada de Fieles Observatorio San Calixto, es una institución privada sin fines de lucro, forma parte de las obras de la Compañía de Jesús. Fue fundada por recomendación de la Segunda Asamblea General de la Asociación de Sismología, realizada en Manchester en julio de 1911, iniciando sus actividades el 1º de mayo de 1913.

Su principal actividad es el monitoreo y vigilancia de la actividad sísmica en Bolivia lo que permite la investigación de la sismología para el conocimiento de la amenaza sísmica del país.

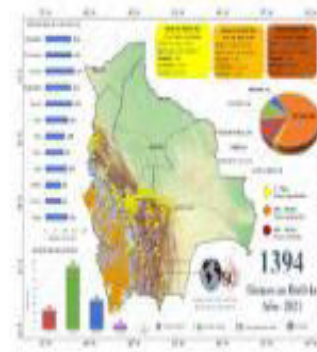
Boletines sísmicos



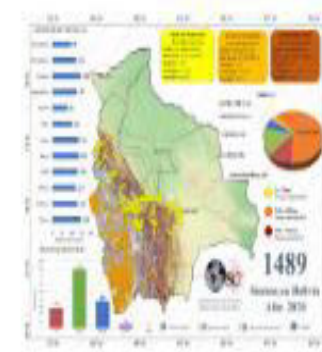
Boletín 2023



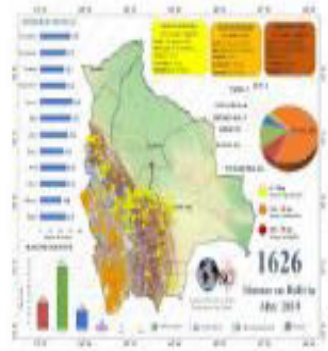
Boletín 2022



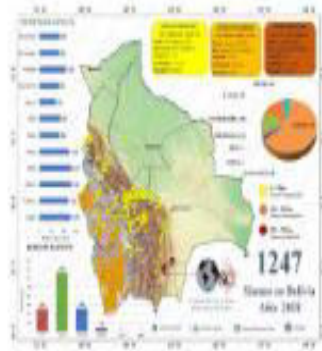
Boletín 2021



Boletín 2020



Boletín 2019



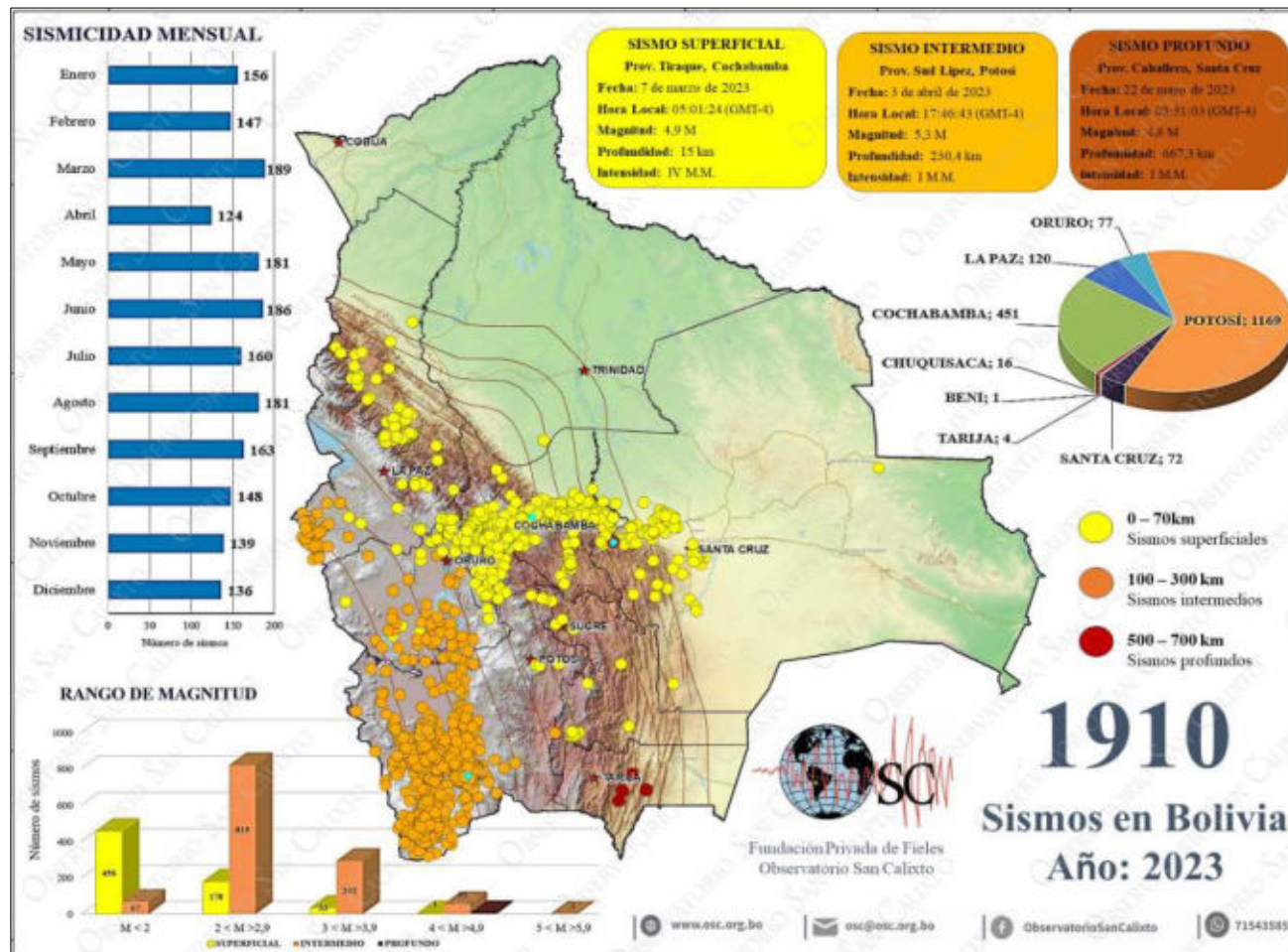
Boletín 2018



Boletín 2017



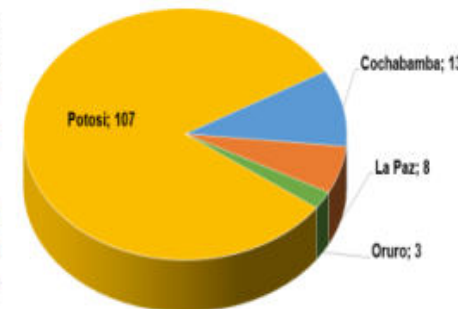
Boletín 2016



SISMICIDAD JUNIO 2024

Durante el mes de JUNIO de 2024 se localizaron 131 sismos. El departamento con mayor actividad fue Potosí con 107 eventos y Oruro registro 3 sismos.

Las profundidades de los temblores variaron desde 6.8 km a 349.4 km y las magnitudes de 1.9 M a 4.6 M.



Guías, manuales y normas de diseño sísmico



Artículo 2 – Campo de aplicación

Esta norma es aplicable al análisis, diseño y construcción de edificaciones sismorresistentes, además se incluyen recomendaciones para realizar el diagnóstico y refuerzo sísmico de estructuras.

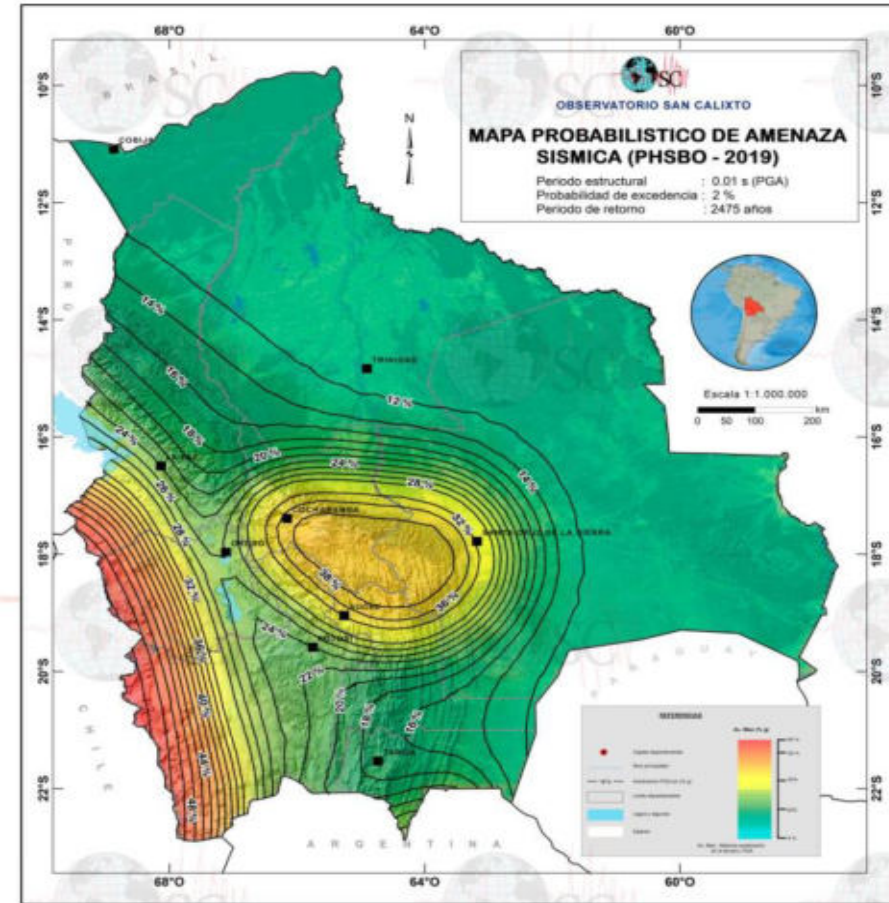
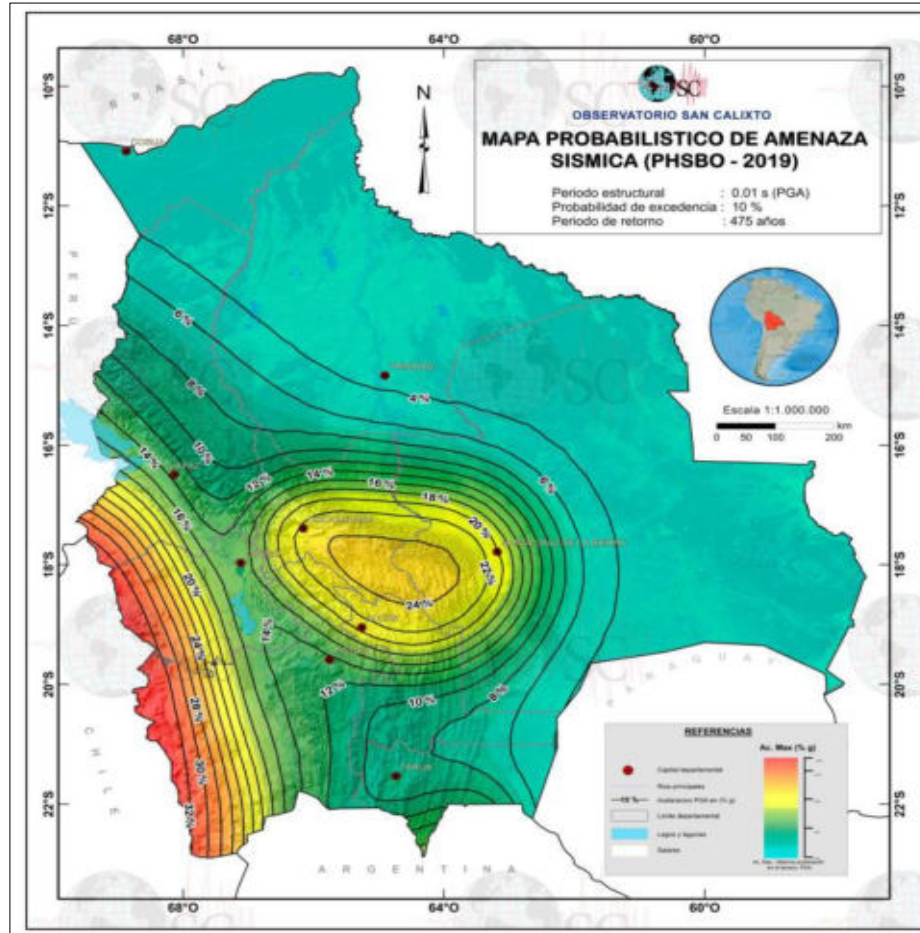
Los requisitos contenidos en esta norma se refieren específicamente a edificaciones públicas y privadas, tales como: Edificios de vivienda, conjuntos habitacionales, comercios, oficinas, hoteles, restaurantes, etc.; centros religiosos, teatros, cines, museos, parqueos, escuelas, clínicas, hospitales, universidades, centros culturales, deportivos, estadios, coliseos, terminales de transporte terrestre, terminales y torres aeroportuarias, fábricas, bodegas y similares.

El diseño sismorresistente de viviendas hasta 10 m de altura sobre el nivel del terreno, debe ser regulado por las Entidades Territoriales Autónomas.

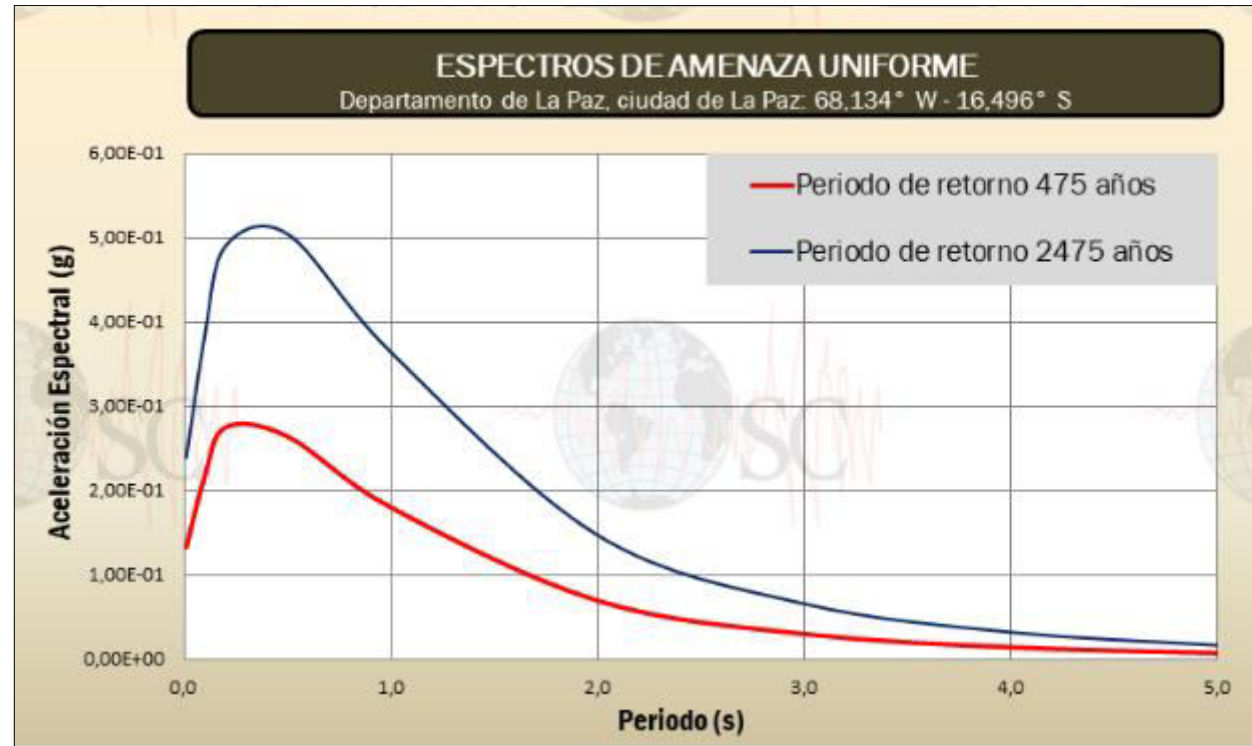
Esta norma no contempla recomendaciones específicas para el diseño sismorresistente de estructuras especiales tales como: Puentes, viaductos, túneles, represas, tanques, obras hidráulicas, redes de distribución (agua, gas, comunicaciones, electricidad), torres de transmisión, chimeneas, industrias que puedan contener materiales y sustancias tóxicas o explosivas, fundaciones de equipos industriales y similares; para las mismas, se debe recurrir a normativa específica.

Nota: En tanto se complemente esta norma de diseño sísmico con requisitos especiales, los lineamientos básicos pueden servir de referencia para realizar diseños específicos de las estructuras no contempladas.

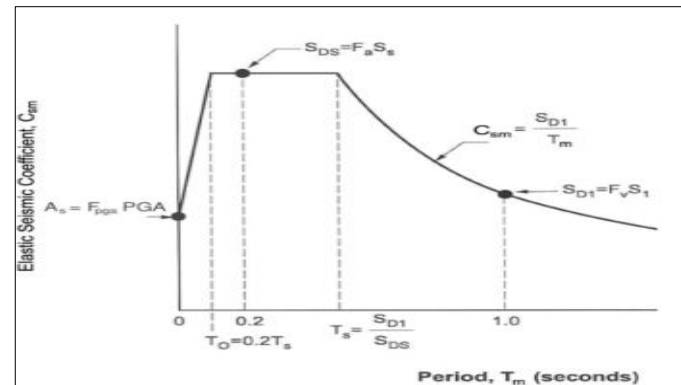
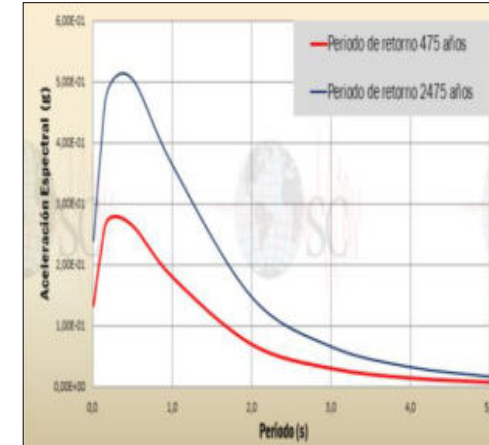
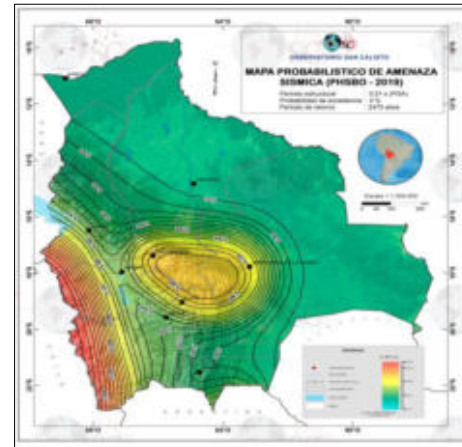
Mapas de probabilidad de amenaza sísmica



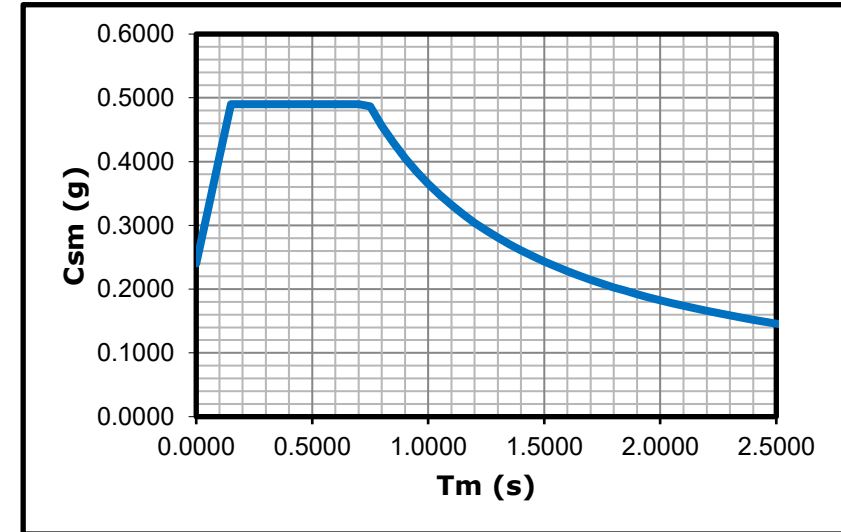
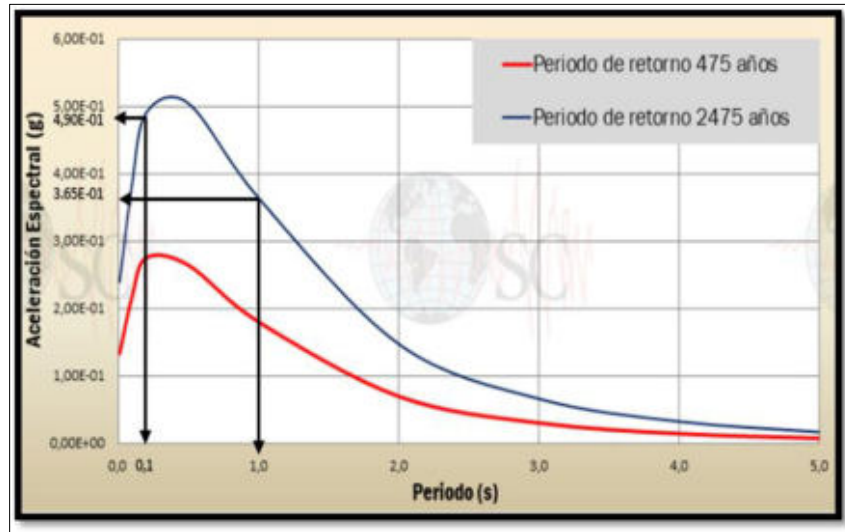
Espectro de amenaza sísmica



Espectro objetivo



Espectro objetivo



$$A_s = 0.24g, S_{DS} = 0.49g, S_{D1} = 0.35g$$

$$T_o = 0.142s, T_s = 0.714s$$

Acelerogramas sintéticos:

- Pueden evaluarse a partir de modelos sismológicos teóricos de ruptura de fallas sísmicas mediante modelos dinámicos o cinemáticos. Usando este procedimiento no es posible tener resultados consistentes para valores de frecuencia superiores a 5 Hz.

Acelerogramas artificiales:

- Se obtienen mediante simulaciones numéricas a partir de una espectro objetivo. Un método común espectro de amplitud de Fourier, este es un procedimiento iterativo a través del cual el contenido de frecuencia de el registro se modifica paso a paso, si la forma de Fourier el espectro de amplitud cambia significativamente. Un enfoque alternativo para la coincidencia espectral ajusta el historial de tiempo en el dominio del tiempo agregando wavelets.

Este tipo de registros muchas veces no tienen una amplitud, contenido de frecuencia y duración razonables, ya que se estiman a partir de enfoques estocásticos.

Acelerogramas reales:



PEER Ground Motion Database *NGA-West2*
Pacific Earthquake Engineering Research Center

HOME DOCUMENTATION HELP SUBSCRIBE PEER
ELIAS_DIMASCIRELO@HOTMAIL.COM SIGN_OUT

Target Spectrum

Select Spectrum Model

Select models to generate target spectrum

User Defined Spectrum

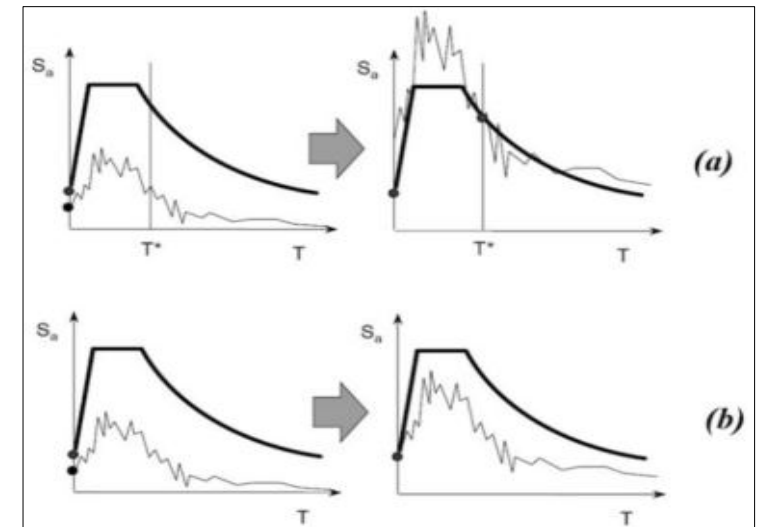
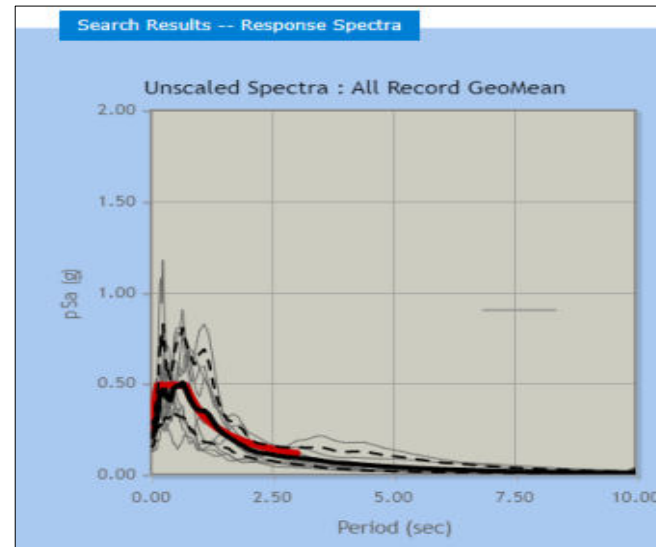
As shown in the sample file, start spectra data at row 4 of input file. Spectra data consists of rows of T and Sa comma separated values.

Filename: Upload

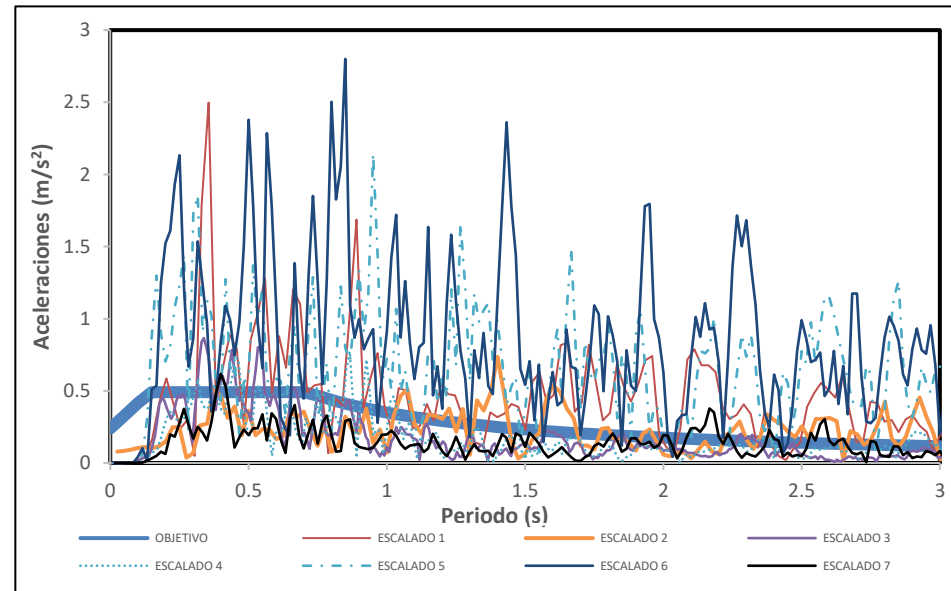
File:

Download (sample file.csv)

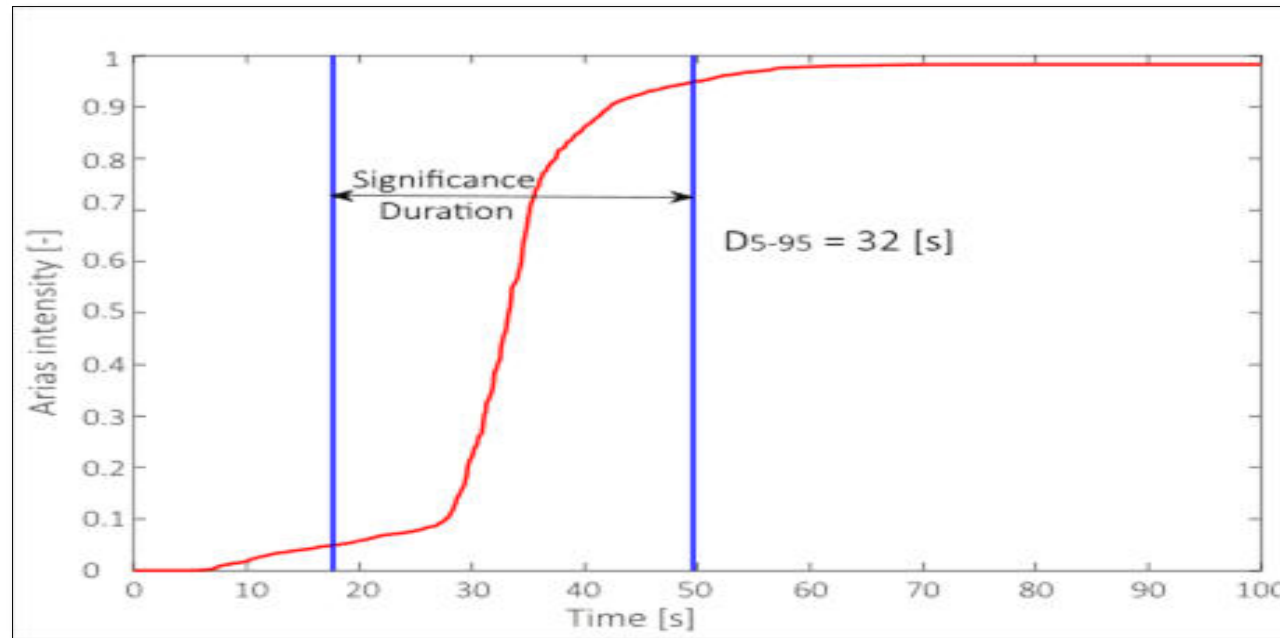
Submit



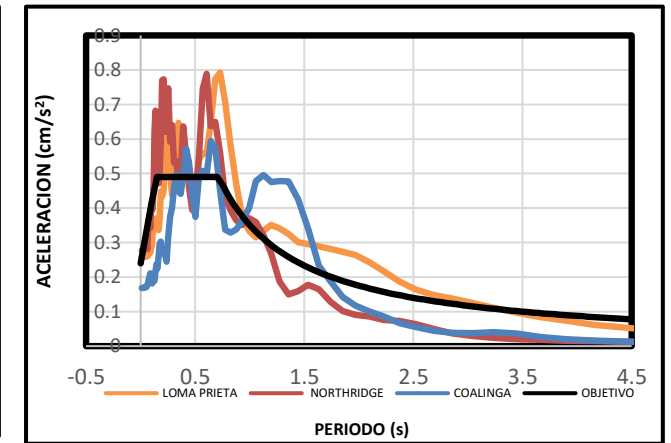
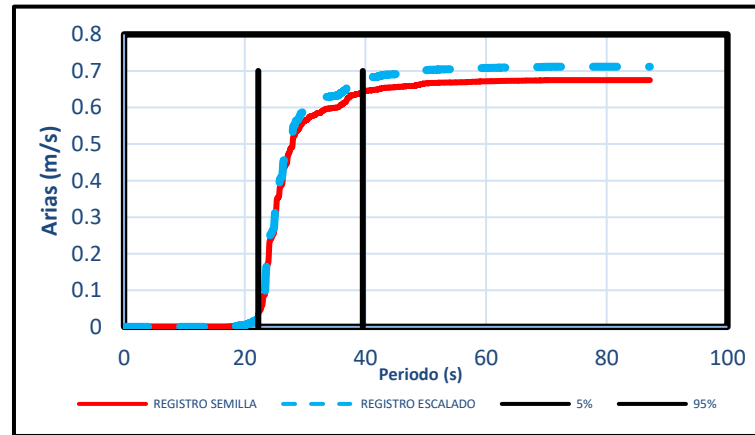
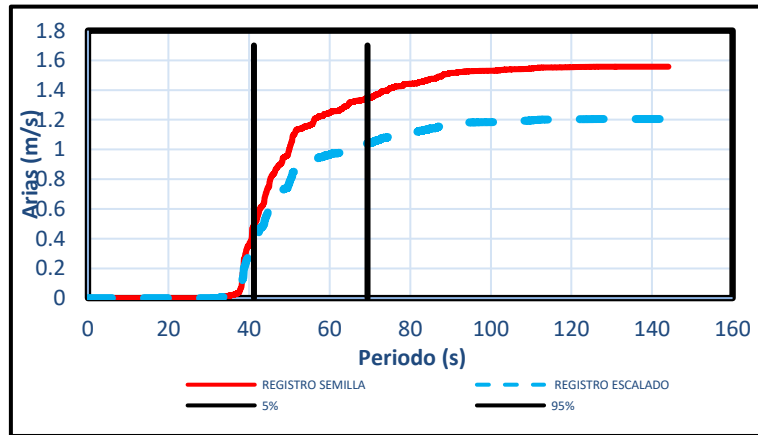
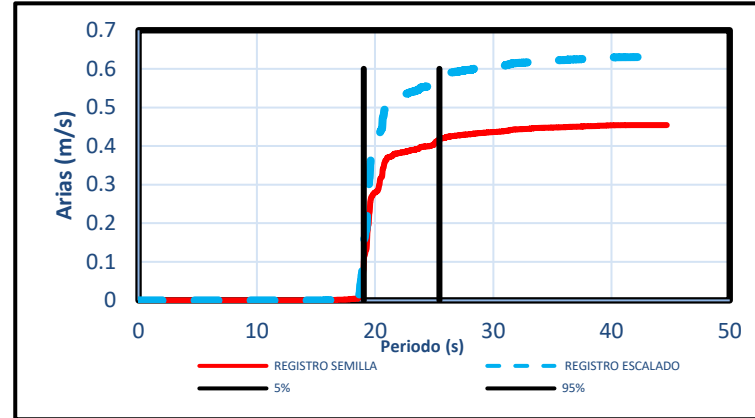
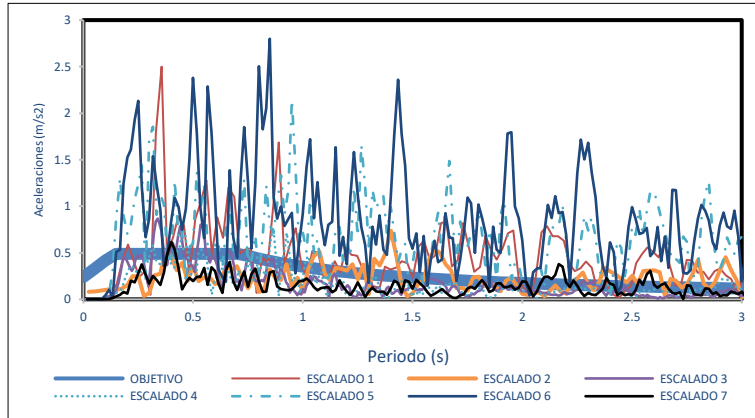
Espectros escalados:



Intensidad de Arias de los espectros:

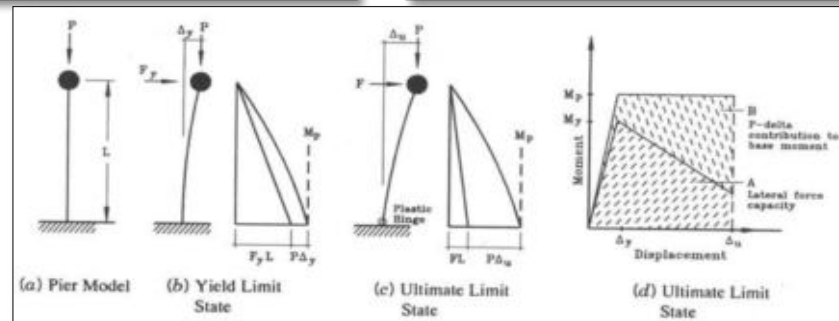
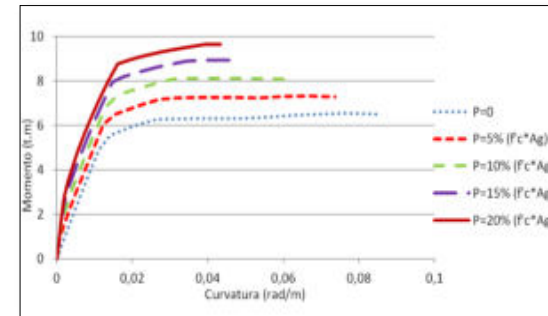
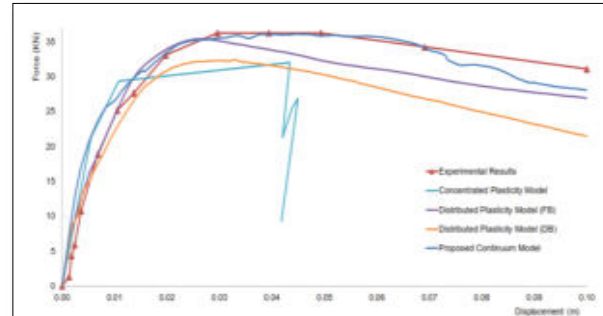
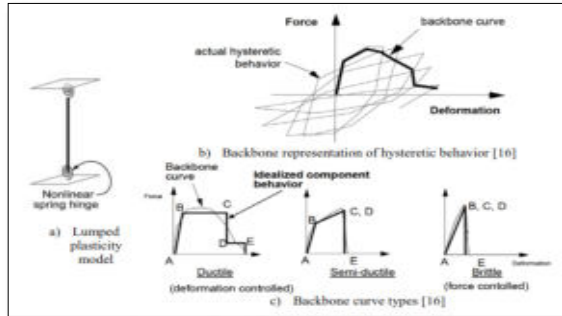


Tratamiento de los registros sísmicos

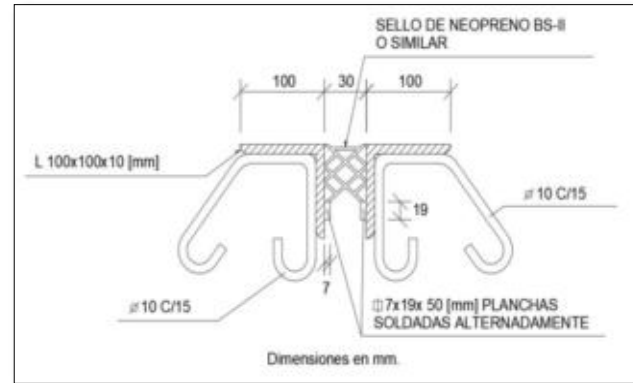
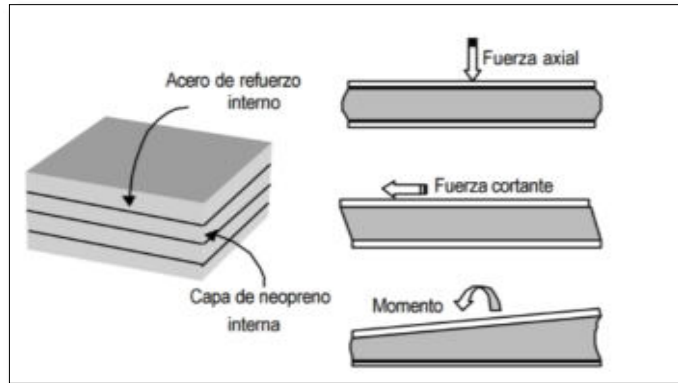


Consideraciones para los estudios:

- Interacción suelo estructura
- Respuesta de sitio
- Análisis no lineal de las sección y no linealidad geométrica

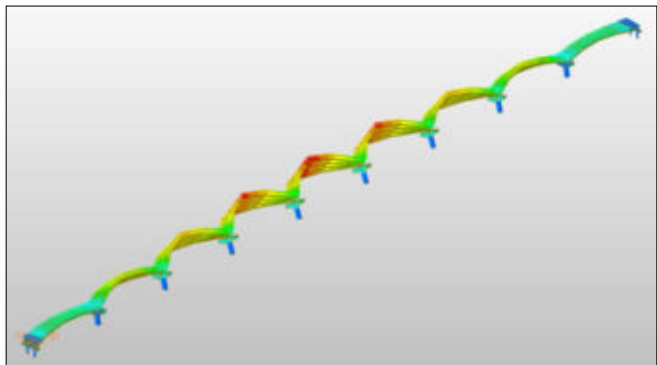


Consideraciones para generar los modelos matemáticos:

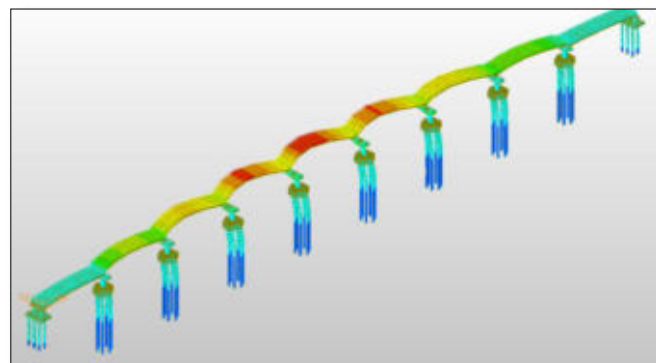


Elemento	Modelación
Piadas de apoyo (neoprenos)	No Lineal
Topes sísmicos	No Lineal
Pilas centrales	No Lineal
Empuje pasivo del relleno en estribos	No Lineal
Interacción suelos estructura	No Lineal
Superestructura	Lineal - elástico
Pilotes	Lineal - elástico
Cabezal de columnas	Lineal - elástico
Cabezal de pilotes	Lineal - elástico

Análisis de los resultados puente mono pila:



Modo No	Periodo (s)	TRAS-X MASA (%)	TRAS-Y MASA (%)	TRAS-Z MASA (%)
1	0.697	0	63.6	0



MODO No	Perido (s)	TRAS-X MASA (%)	TRAS-Y MASA (%)	TRAS-Z MASA (%)
1	1.046843	0	39.29	0

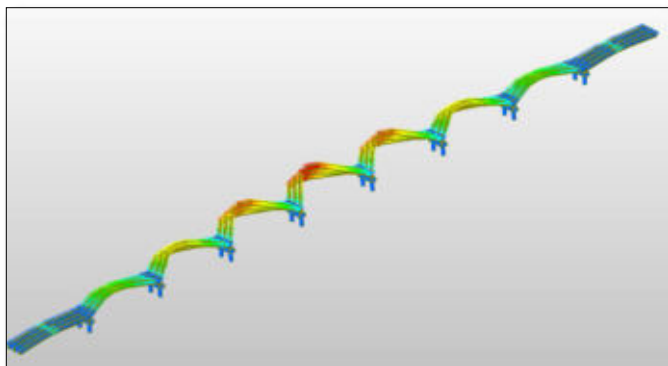
PUEBTE SIN ISE				
	Periodo (s)	MASA TRAS X (%)	MASA TRAS Y (%)	MASA ROT Z (%)
MODO 1	0.697	0	63.6	0
MODO 19	0.365	98.4	0	0
MODO 24	0.327	0	0	0

PUEBTE CON ISE				
	Periodo (s)	MASA TRAS X (%)	MASA TRAS Y (%)	MASA ROT Z (%)
MODO 1	1.046	0	39.29	0
MODO 19	0.542	0	0	0
MODO 24	0.411	0	0	28.91

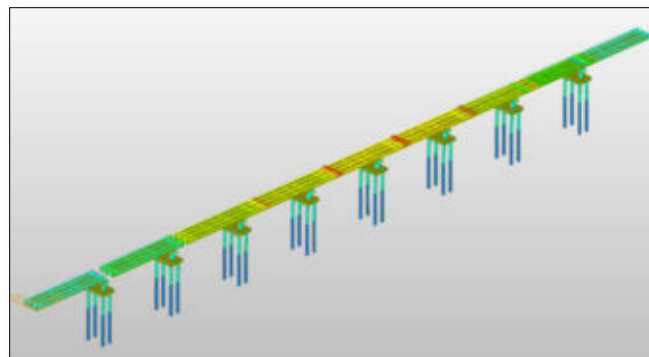
Σ	30	Periodo del suelo (s)	0.293	0.07320
Vs30 (m/s)			410	

Los sismos y la sismicidad en Bolivia

Análisis de los resultados puente con pila de dos columnas :



Modo No	Periodo (s)	TRAN-X MASA (%)	TRAN-Y MASA (%)	TRAN-Z MASA (%)
1	0.519	0	42.92	0



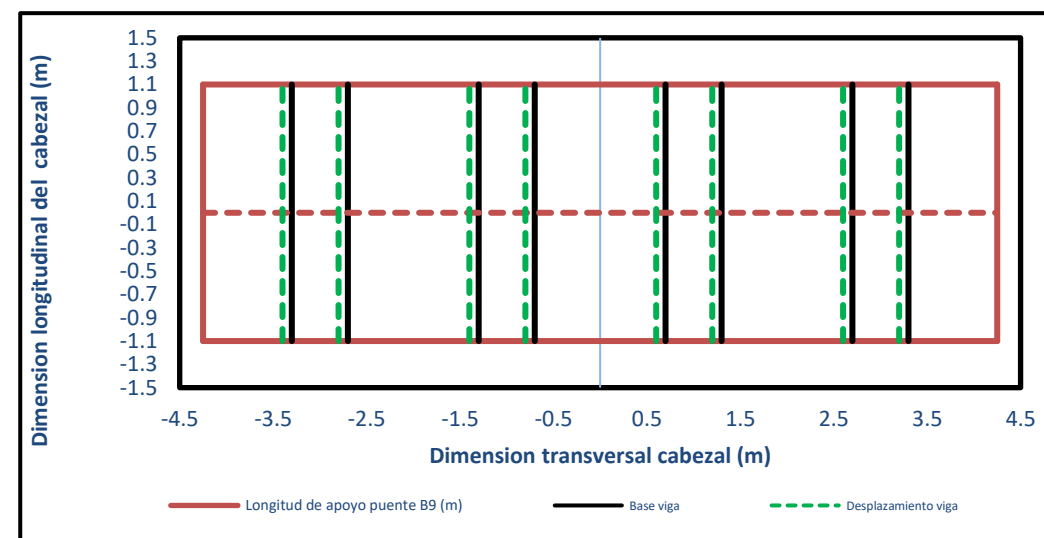
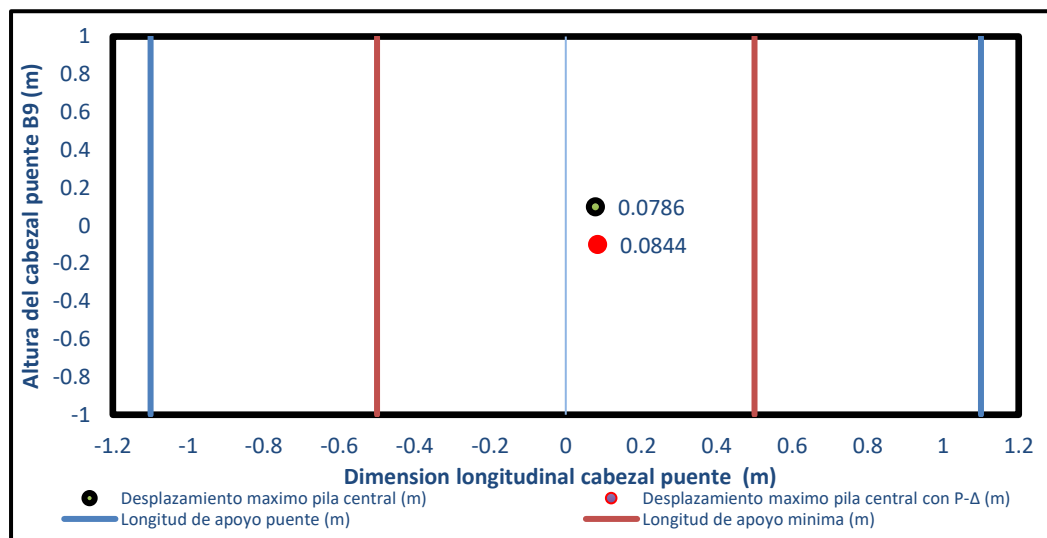
MODO No	Perido (s)	TRAN-X MASA (%)	TRAN-Y MASA (%)	TRAN-Z MASA (%)
1	1.616287	28.72	0	0

PUENTE SIN ISE				
	Periodo (s)	MASA TRAS X (%)	MASA TRAS Y (%)	MASA ROT Z (%)
MODO 1	0.519	0	42.92	0
MODO 18	0.366	0	0	53.97
MODO 28	0.189	80.57	0	0

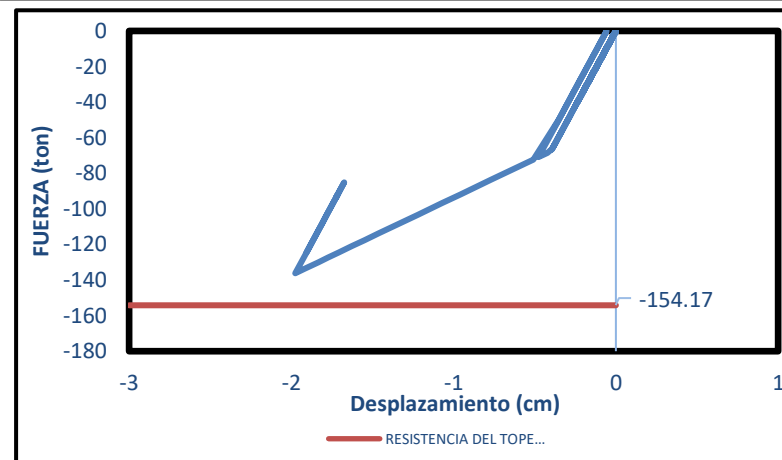
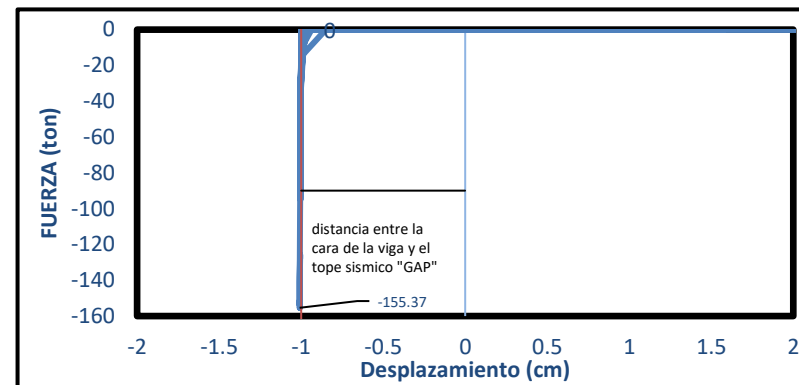
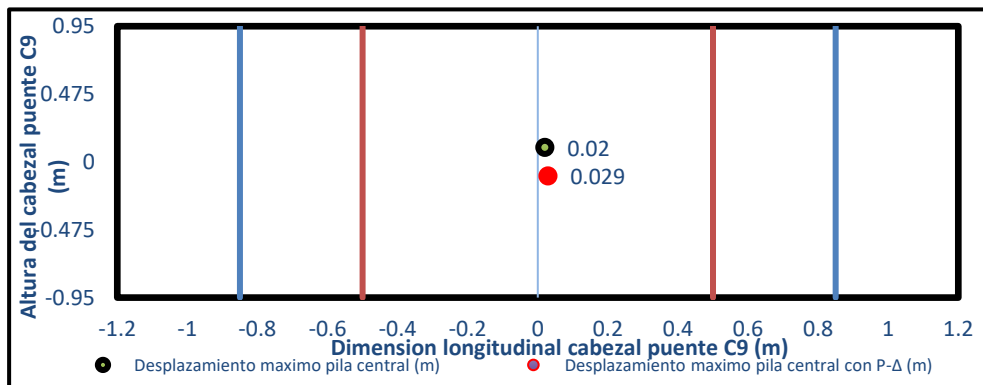
PUENTE CON ISE				
	Periodo (s)	MASA TRAS X (%)	MASA TRAS Y (%)	MASA ROT Z (%)
MODO 1	1.616	28.72	0	0
MODO 18	0.381	0	0	23.18
MODO 28	0.350	0	0.01	0

Σ	30	Periodo del suelo (s)	0.615	0.15393
Vs30 (m/s)			195	

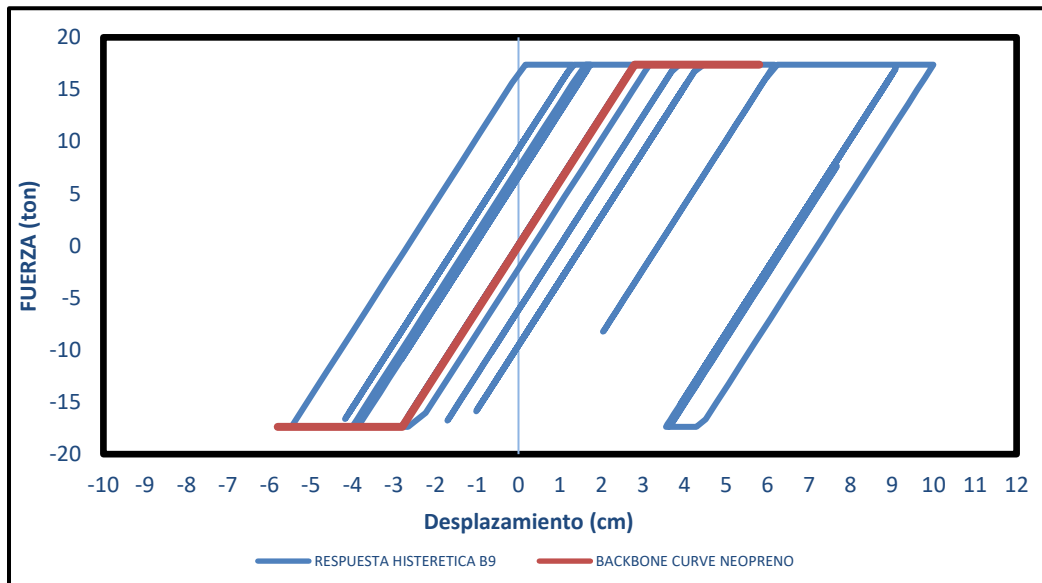
Desplazamiento longitudinal y transversal puente con mono pila:



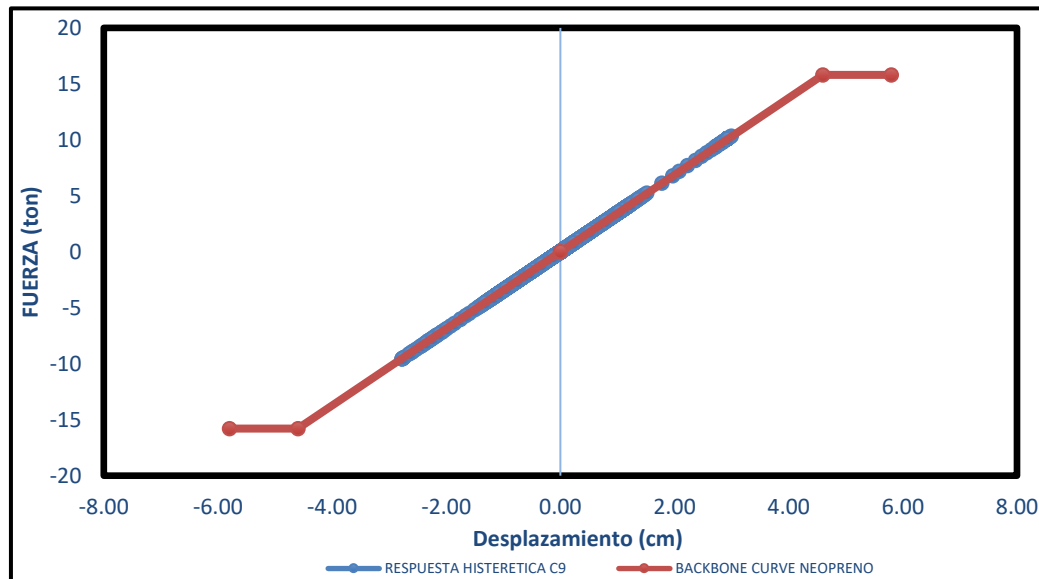
Desplazamiento longitudinal y transversal puente con pila de dos columnas:



Respuesta neoprenos puente con mono pila :



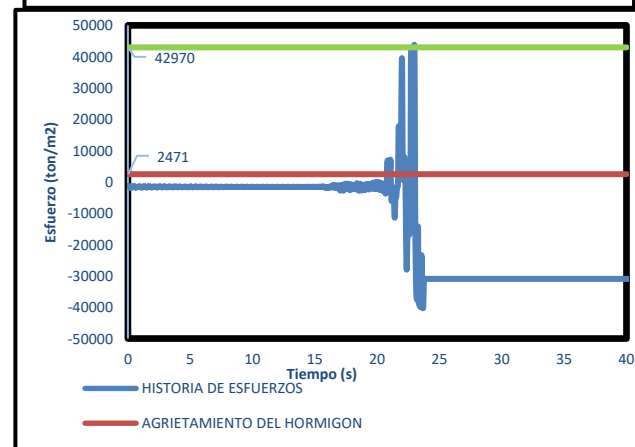
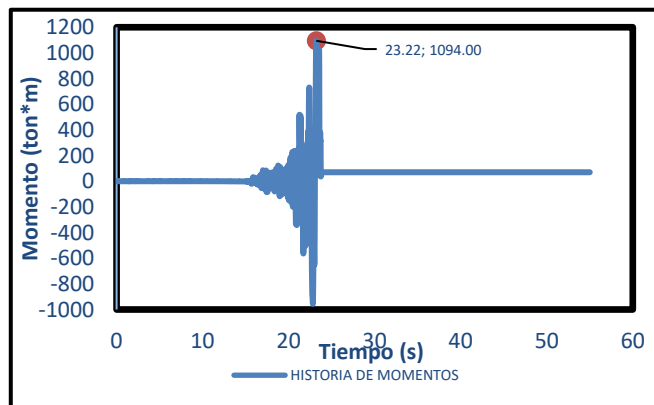
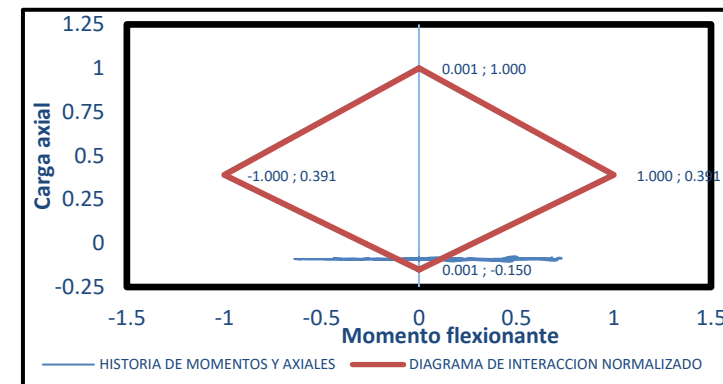
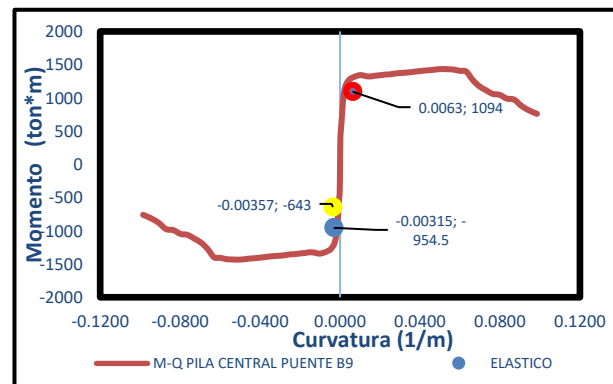
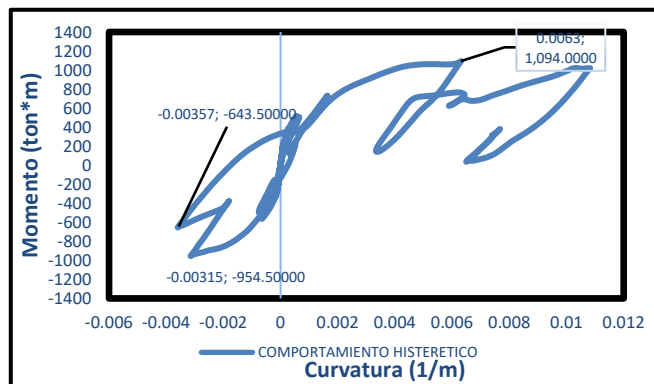
Respuesta neoprenos puente con con pila de dos columnas :



Los sismos y la sismicidad en Bolivia

Respuesta de las pilas centrales:

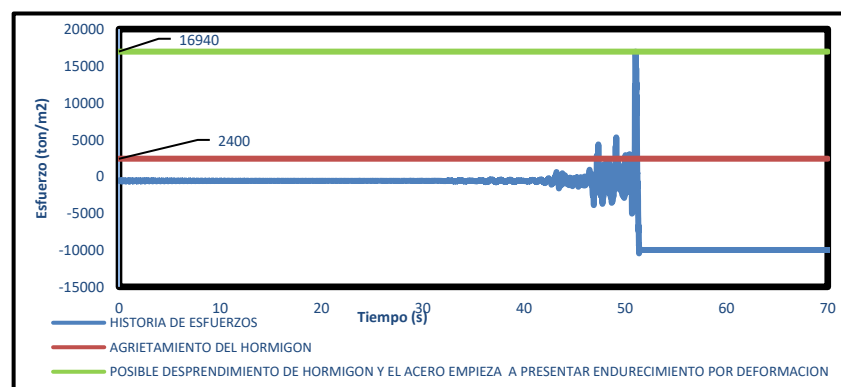
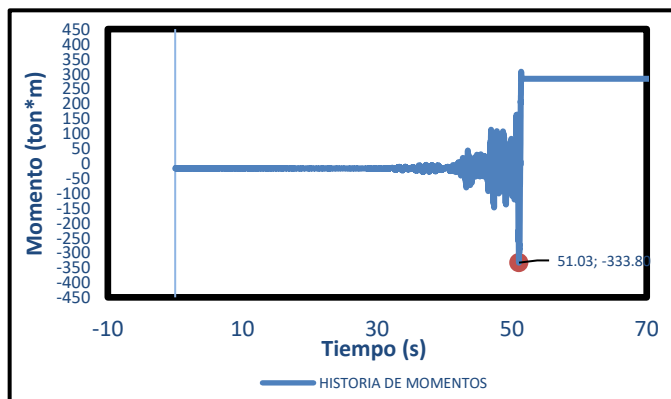
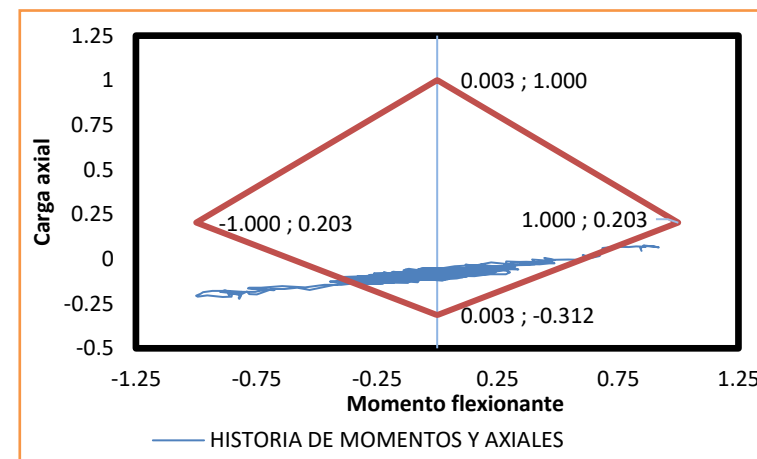
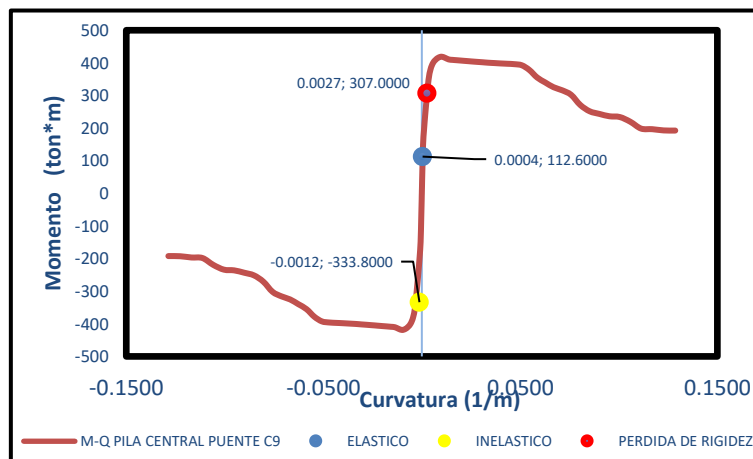
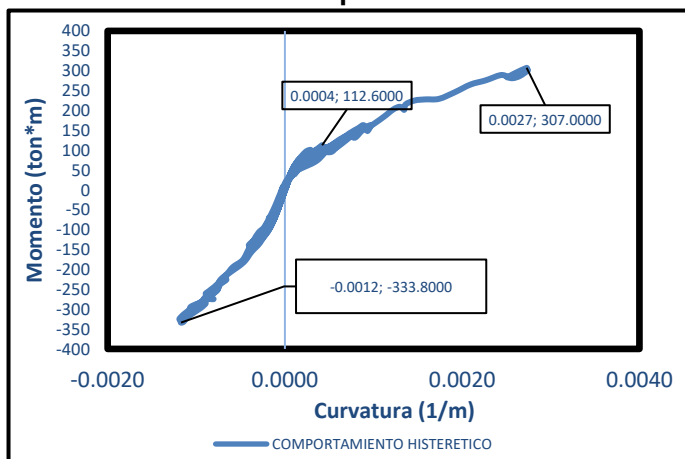
- Puente mono pila



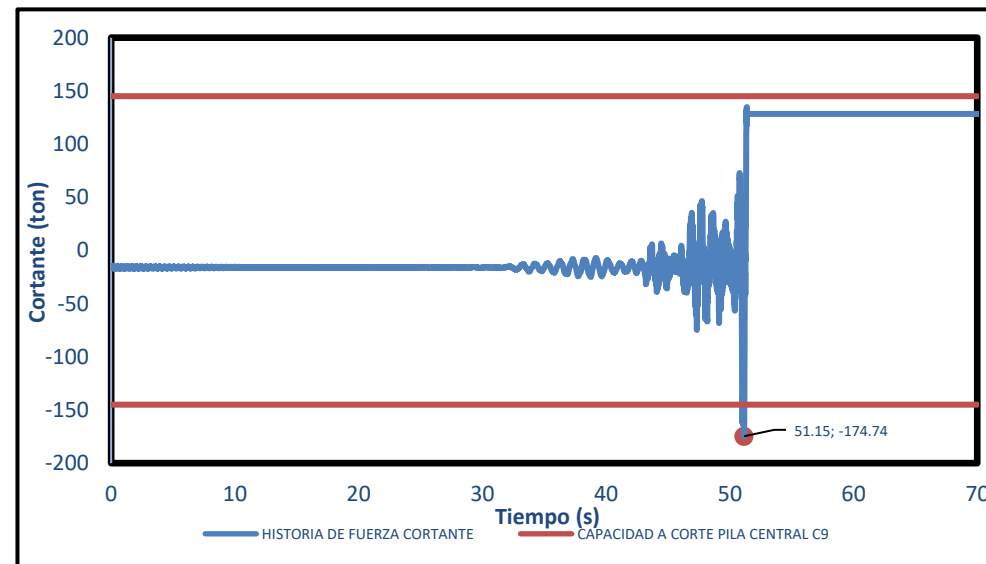
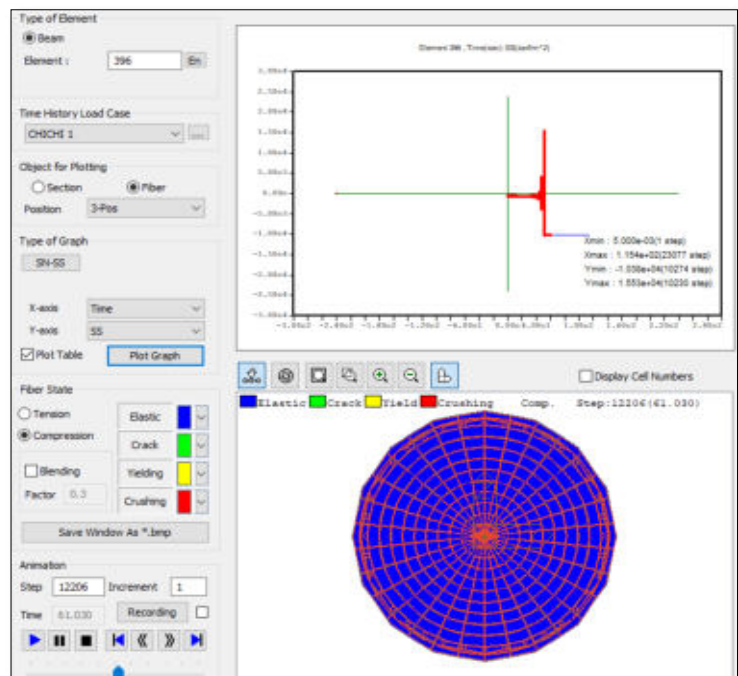
Los sismos y la sismicidad en Bolivia

Respuesta de las pilas centrales:

- Puente con pilas de dos columnas



Los sismos y la sismicidad en Bolivia



- Se generaron acelerogramas para los puentes en estudio, basándose en el espectro objetivo que se definió con las ecuaciones de la AASHTO LRFD y el mapa probabilístico de amenaza sísmica para Bolivia.
- Los registros generados para los puentes pasaron por un proceso de filtrado, en él que se realizó un escalamiento lineal y posteriormente se verificó que no exista grandes variaciones en el contenido de energía de estos registros con el registro semilla seleccionado en función al espectro objetivo definido.
- Ya definidos los registros sísmicos para cada puente, se propagó estas señales hasta la superficie, llegando a observar que existen amplificaciones, debido a las características geotécnicas y geológicas del suelo.

- Al adicionar la interacción suelo-estructura se observó que existe una influencia directa en el comportamiento de las pilas centrales de los puentes, ya que existe incremento de los periodos de vibración y variación de la participación de las masas en los diferentes modos de vibrar al comprar un modelo matemático con apoyos empotrados versus otro modelo matemático que considere interacción suelo-estructura.
- Al evaluar las pilas centrales se evidenció que el comportamiento no lineal de las pilas intermedias de los puentes en estudio muestran que, los mismos tienen una capacidad a momento y a cortante menor que la historia de momentos y cortantes que actúan en las pilas centrales, ya que estos contaban con la cuantía de refuerzo longitudinal equivalente al 1% del área de la sección transversal, así mismo los puentes no cuentan con zonas de confinamiento teniendo espacios mayores a 20 cm y 25 cm en dichas zonas

- De los resultados obtenidos se puede observar que los puentes estudiados tienen una elevada vulnerabilidad sísmica, por ello se debe continuar con los estudios e investigaciones con el fin de disminuir la vulnerabilidad



www.codigomodelosismico.org

Gracias por su atención