



**ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:
Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente
a un Espectro de Respuesta**

Norbey García Arbeláez

Informe de práctica presentado para optar al título de Ingeniero Civil

Asesora

Isabel Kristina Cardona Giraldo Magíster (MSc) en Ingeniería Geotécnica

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil
Medellín, Antioquia, Colombia
2024

Cita

(García Arbeláez, 2024)

Referencia

Estilo APA 7 (2020)

García Arbeláez, N. (2024). *Análisis comparativo de respuesta sísmica en puentes: Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta Informe de práctica*. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

3

Dedicatoria

A mis queridos padres, quiero expresar mi profundo agradecimiento por todo su incansable esfuerzo a lo largo de los años. Vuestra dedicación y sacrificio han sido la base de mi educación y crecimiento. Cada logro en mi vida es un reflejo de vuestro arduo trabajo y amor incondicional. Gracias por ser mis modelos a seguir y por siempre apoyarme. Este éxito es tan vuestro como mío. Con todo mi amor y gratitud

Agradecimientos

A mi amada familia, quiero expresar mi más profundo agradecimiento por su constante apoyo a lo largo de mi trayectoria académica. A mis respetados profesores de la Universidad de Antioquia, agradezco sinceramente su dedicación y sabiduría compartida, que ha enriquecido mi aprendizaje y crecimiento personal. A las grandes personas que tuve el privilegio de conocer en esta prestigiosa institución, agradezco por sus valiosas amistades y por el intercambio de experiencias que ha moldeado mi perspectiva. A la Universidad de Antioquia, gracias por proporcionar el entorno propicio para mi formación integral y por los recursos que han contribuido significativamente a mi desarrollo académico y personal. Este logro no hubiera sido posible sin el respaldo de cada uno de ustedes. En especial, agradezco a mis padres por todo el esfuerzo que realizaron para sacarme adelante; su sacrificio y dedicación son la razón de mi éxito.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

4

Tabla de contenido

1. Resumen.....	7
Abstract.....	8
2. Introducción.....	9
3. Objetivos.....	10
4. Marco teórico.....	11
4.1. Método de Análisis Modal Espectral.....	11
4.2. Método de Análisis Tiempo-Historia.....	13
5. Metodología.....	15
5.1. Obtención de los registros sísmicos.....	15
5.2. Descripción geométrica de las estructuras.....	17
5.2.1. Puente A.....	17
5.2.2. Puente B.....	17
5.2.3. Puente C.....	18
5.2.4. Puente D.....	18
5.3. Procedimiento.....	20
5.3.1. Análisis tiempo historia.....	20
5.3.2. Análisis modal espectral.....	23
6. Resultados.....	28
7. Análisis de resultados.....	41
8. Conclusiones.....	43
9. Referencias.....	44

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

5

Lista de tablas

Tabla 1. Puente A Reacciones Momentos (M) y Cortantes (V) por cargas sísmicas S_x y S_y en columnas	29
Tabla 2. Puente B Reacciones Momentos (M) y Cortantes (V) por cargas sísmicas S_x y S_y en columnas	30
Tabla 3. Puente C Reacciones Momentos (M) y Cortantes (V) por cargas sísmicas S_x y S_y en columnas	31
Tabla 4. Puente D Reacciones Momentos (M) y Cortantes (V) por cargas sísmicas S_x y S_y en columnas	32
Tabla 5. Puente A - Comparaciones Análisis Modal Espectral vs Análisis Tiempo Historia - Análisis Espectral Loma Prieta	38
Tabla 6. Puente B - Comparaciones Análisis Modal Espectral vs Análisis Tiempo Historia - Análisis Espectral Loma Prieta	39
Tabla 7. Puente C - Comparaciones Análisis Modal Espectral vs Análisis Tiempo Historia - Análisis Espectral Loma Prieta	39
Tabla 8. Puente D - Comparaciones Análisis Modal Espectral vs Análisis Tiempo Historia - Análisis Espectral Loma Prieta	40

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

6

Lista de figuras

figura 1 Registro señales sísmica – seismosignal.....	16
figura 2 Ilustración puente A	17
figura 3 Ilustración puente B.....	18
figura 4 Ilustración puente C.....	18
figura 5 Ilustración puente D	19
figura 6 Definición de función Aceleración vs tiempo, Análisis tiempo-historia.....	20
figura 7 Definición función Desplazamiento vs tiempo, Análisis tiempo-historia.....	21
figura 8 caso de carga S_x Aceleraciones- tiempo-historia.....	22
figura 9 caso de carga S_x Desplazamientos- tiempo-historia.	22
figura 10 asignación de patrón de carga en los puntos que representan al suelo	23
figura 11 respuesta de aceleración vs Periodo-sismo Loma prieta2 - 1986.....	24
figura 12 Definición función del Espectro del sismo Loma prieta.	25
figura 13 definición de caso de carga S_x espectro Loma prieta- Análisis modal espectral.....	26
figura 14 definición de caso de carga S_y espectro Loma prieta -Análisis modal espectral.....	26
figura 15 Ejecución del Modelo software Sap2000	27
Figura 16 Grafico aceleración vs tiempo - Loma Prieta.....	28
Figura 17 Grafico desplazamiento vs tiempo - Loma Prieta	28
figura 18 Gráficos solicitaciones puente A.....	33
figura 19 Gráficos solicitaciones Puente B.....	34
figura 20 Gráficos solicitaciones Puente C.....	36
figura 21 Gráficos solicitaciones Puente D.....	37

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

7

1.Resumen

Este estudio se enfoca en analizar las respuestas sísmicas en puentes, centrándose en las diferencias en las señales de aceleraciones y desplazamientos de un sismo en específico y compararlo a su vez con el espectro de respuesta. El contexto se sitúa en el ámbito de la ingeniería estructural, donde comprender estas variaciones es crucial para diseñar infraestructuras sísmicamente resistentes. El objetivo principal es identificar patrones distintivos en las respuestas sísmicas, comparándolas con un espectro de respuesta estándar. Para lograr esto, se empleará una metodología que implica el análisis de datos sísmicos reales, haciendo uso del software Sap2000 para modelado estructural. El estudio busca proporcionar una comprensión más profunda de las respuestas sísmicas en puentes, lo que puede tener implicaciones significativas en el diseño y la evaluación de la seguridad estructural en áreas propensas a actividad sísmica.

Palabras clave: Puentes, sismos, espectro de respuesta, respuesta sísmica, desplazamientos, aceleraciones, tiempo-historia

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

8

Abstract

This study focuses on analyzing seismic responses in bridges, specifically examining differences in acceleration and displacement signals during a specific earthquake. The analysis also involves comparing these responses with the response spectrum. The context is within the field of structural engineering, where understanding these variations is crucial for designing structures that are seismically resistant. The main objective is to identify distinctive patterns in seismic responses by comparing them with a standard response spectrum. To achieve this, a methodology involving the analysis of real seismic data will be employed, utilizing the Sap2000 software for structural modeling. The study aims to provide a deeper understanding of seismic responses in bridges, which can have significant implications for the design and assessment of structural safety in areas prone to seismic activity.

Keywords: Bridges, earthquakes, response spectrum, seismic response, displacements, accelerations, time-history

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

9

2.Introducción

En el ámbito de la ingeniería estructural, la comprensión de las respuestas sísmicas de puentes desempeña un papel crucial en el diseño y la evaluación de la seguridad de las infraestructuras. Los eventos sísmicos representan desafíos significativos para la integridad de los puentes, ya que las estructuras deben resistir fuerzas dinámicas impredecibles.

Este proyecto de prácticas se propone realizar un análisis comparativo de las respuestas sísmicas en puentes, específicamente en los puentes denominados A, B, C y D. El enfoque se centrará en la exploración de las diferencias en las señales de aceleraciones y desplazamientos de un sismo. Para este propósito, se empleará el sismo Loma Prieta como base de estudio, así como su espectro de respuesta permitiendo una evaluación detallada de las variaciones en las respuestas estructurales.

La elección de este enfoque radica en la importancia de comprender cómo diferentes puentes pueden reaccionar ante un evento sísmico, lo que, a su vez, contribuirá al desarrollo de estrategias de diseño más efectivas y a la mejora de las prácticas de ingeniería estructural.

A lo largo de este estudio, se abordarán aspectos clave, desde la revisión bibliográfica hasta la implementación práctica de señales sísmicas, con el objetivo de identificar patrones y diferencias en las respuestas estructurales de los puentes seleccionados. Los resultados obtenidos proporcionarán información valiosa para la toma de decisiones en el diseño y mantenimiento de puentes, contribuyendo así al avance de la ingeniería estructural.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

10

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Analizar las respuestas sísmicas en 4 puentes, a partir de señales de aceleraciones y desplazamientos de un sismo frente a un espectro de respuesta.

3.2 Objetivos específicos

1. Estudiar el comportamiento de las estructuras frente a las actividades sísmicas, mediante el programa de análisis estructural SAP2000.
2. Identificar diferencias y similitudes entre las señales sísmicas y un espectro de respuesta
3. Comparar los resultados obtenidos por los diversos métodos identificando virtudes y dificultades de cada método.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

11

4. Marco teórico

Colombia, por su ubicación geográfica, destaca como uno de los países más propensos a actividad sísmica, siendo afectado por la interacción de las placas tectónicas Nazca, Caribe y Suramericana (Taboada, Dimaté, & Fuenzalida, 1998). Esta interacción genera deformaciones en la corteza continental, actividad volcánica y elevada actividad sísmica. Los sismos, como consecuencia, se componen de dos tipos de ondas: ondas de volumen y ondas superficiales.

En el grupo de ondas de volumen, las ondas P, también conocidas como ondas de presión o longitudinales, se generan al interior de la tierra, mientras que las ondas S, llamadas ondas de cortante, tienen una dirección de movimiento perpendicular a la propagación de la onda. A raíz de las transformaciones de estas ondas de volumen, surgen las ondas de superficie, específicamente las ondas Love y Rayleigh, que se generan en interfaces de dos superficies diferentes, con velocidades de propagación más altas y mayor influencia en el comportamiento estructural ante excitaciones sísmicas (Baya, 2005)

Este contexto sísmico ha motivado la aplicación de diversas metodologías para el análisis de puentes frente a demandas sísmicas, principalmente basadas en fuerzas y desplazamientos. La estructura de un puente, al interactuar con un sismo, debe tener la capacidad de resistir y disipar la energía generada en pro de la seguridad de las personas. Entre los métodos utilizados se destacan los estáticos y los dinámicos.

Los métodos dinámicos, a su vez, se dividen en análisis modal-espectral y análisis tiempo-historia. En el primero, se consideran las formas modales y sus respuestas espectrales, mientras que, en el segundo, se aborda la descripción del sistema en todos los instantes dentro del período de estudio, implicando esfuerzos analíticos y numéricos considerables, a menudo apoyados por herramientas computacionales (Mora, Villalba, & Maldonado, 2006).

Los métodos dinámicos, se pueden dividir en el análisis modal-espectral y el análisis tiempo-historia, los cuales se describirán a continuación

4.1. Método de Análisis Modal Espectral

El método modal espectral toma en cuenta las propiedades dinámicas de la estructura, tales como su forma de vibrar y la contribución en cada modo en la respuesta. Esto con la finalidad de

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

12

reproducir con mayor aproximación el comportamiento estructural real ante acciones sísmicas (Presichi, 2007).

De modo que este método implica los valores máximos de los desplazamientos y las aceleraciones en cada modo de vibración, utilizando un espectro de diseño el cual representa una envolvente de los espectros de respuesta según la actividad de la zona sísmica donde se encuentre la estructura. A su vez, este método tiene consideraciones como la obtención de los modos de vibración, en los cuales se emplean un número de modos en el que participe al menos el 90% de la masa total de la estructura, la respuesta espectral modal, en la cual se obtiene una respuesta sísmica en función del periodo (T) representado en cada modo de vibración y las respuestas máximas modales o respuestas totales de la estructura frente a los movimientos sísmicos de diseño (Isaza, 2019).

Ecuación 1. Ecuación de Movimiento en Coordenadas Modales

$$M \cdot U'' + C \cdot U' + K \cdot U = F(t)$$

Donde:

- M es la matriz de masa modal,
- C es la matriz de amortiguamiento modal,
- K es la matriz de rigidez modal,
- U es el vector de desplazamientos modales,
- U'' es el vector de aceleraciones modales,
- U' es el vector de velocidades modales, y
- $F(t)$ es el vector de fuerzas aplicadas en función del tiempo.

La solución a la ecuación de movimiento se puede encontrar mediante la descomposición modal, que permite expresar los desplazamientos modales como una combinación lineal de las formas modales (ϕ_i):

Ecuación 2. Descomposición Modal

$$U(t) = \sum_{i=1}^n q_i(t) \cdot \phi_i$$

Donde:

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

13

- n es el número de modos considerados,
- $q_i(t)$ es la coordenada modal asociada al modo i
- ϕ_i es la forma modal correspondiente al modo i .

Frecuencias Naturales:

Las frecuencias naturales (ω_i) están relacionadas con los autovalores de la ecuación modal, que se obtienen al resolver el siguiente problema de autovalores:

Ecuación 3. Frecuencias Naturales

$$\det(K - \omega^2 M) = 0.$$

Donde:

- ω_i son las frecuencias naturales.

Estas ecuaciones forman la base del análisis modal espectral, que se utiliza para entender y predecir el comportamiento dinámico de las estructuras. Es importante señalar que las ecuaciones pueden variar dependiendo de la formulación específica utilizada y las simplificaciones hechas en el análisis.

4.2. Método de Análisis Tiempo-Historia

Este método de análisis se emplea para analizar la respuesta dinámica de una estructura cuando está sometida a una carga determinada, la cual varía respecto al tiempo (Estrada, 2019). Igualmente, este es un análisis paso a paso en el que la carga y el historial de respuesta se evalúa con respecto a un sucesivo incremento de tiempo estipulado. La respuesta se evalúa comparando las condiciones existentes en el comienzo del análisis (desplazamiento y velocidad) versus el incremento de carga en el respectivo intervalo (Costa, 2003).

La ecuación de movimiento para una estructura sometida a cargas dinámicas en coordenadas temporales puede expresarse de la siguiente manera:

Ecuación 4. Ecuación de Movimiento en Coordenadas Temporales

$$M \cdot \ddot{U}(t) + C \cdot \dot{U}(t) + K \cdot U(t) = F(t)$$

Donde:

- M es la matriz de masa,

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

14

- C es la matriz de amortiguamiento (puede ser omitida en algunos casos),
- K es la matriz de rigidez,
- $U(t)$ es el vector de desplazamientos en función del tiempo,
- $U''(t)$ es el vector de aceleraciones en función del tiempo,
- $U'(t)$ es el vector de velocidades en función del tiempo, y
- $F(t)$ es el vector de fuerzas aplicadas en función del tiempo.

Dado que las ecuaciones diferenciales resultantes no siempre tienen soluciones analíticas, es común utilizar métodos de integración numérica para obtener soluciones aproximadas. Algunos métodos comunes incluyen el método de Euler, el método de Runge-Kutta y métodos más avanzados como el método de Newmark.

Las fuerzas aplicadas $F(t)$ pueden representar diversas excitaciones dinámicas, como cargas sísmicas. Estas se definen en función del tiempo y pueden provenir de datos sísmicos históricos o ser

En algunos casos, se incluye un término de amortiguamiento $C \cdot U'(t)$ en la ecuación de movimiento para representar la disipación de energía en el sistema debido a factores como la fricción interna o la deformación viscosa del material.

En resumen, las ecuaciones del análisis de tiempo historia se centran en describir el comportamiento dinámico de una estructura a lo largo del tiempo, teniendo en cuenta las fuerzas dinámicas aplicadas y las características de masa, rigidez y amortiguamiento de la estructura.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

15

5. Metodología

La metodología empleada para los análisis de las señales sísmicas modal-espectral y tiempo-historia consistirá en un estudio descriptivo con un enfoque mixto. Este enfoque se entiende como un proceso que recopila, analiza y presenta datos tanto cuantitativos como cualitativos, con el objetivo de exponer las características generales de cada uno de estos métodos y demostrar las relaciones entre ellos.

5.1. Obtención de los registros sísmicos

En una primera etapa, se lleva a cabo un proceso informativo que implica la recopilación de la información necesaria. Esto incluye la obtención de los registros sísmicos del sismo de Loma Prieta de 1989 a través del sitio web oficial del Pacific Earthquake Engineering Research Center. Una vez obtenidos estos registros, se emplea el software seismosignal para ingresar la información. Este software permite visualizar las señales de aceleraciones y desplazamientos, en función del tiempo por medio de gráficos, en la figura 1 se muestra el ingreso del sismo al software seismosignal.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

16

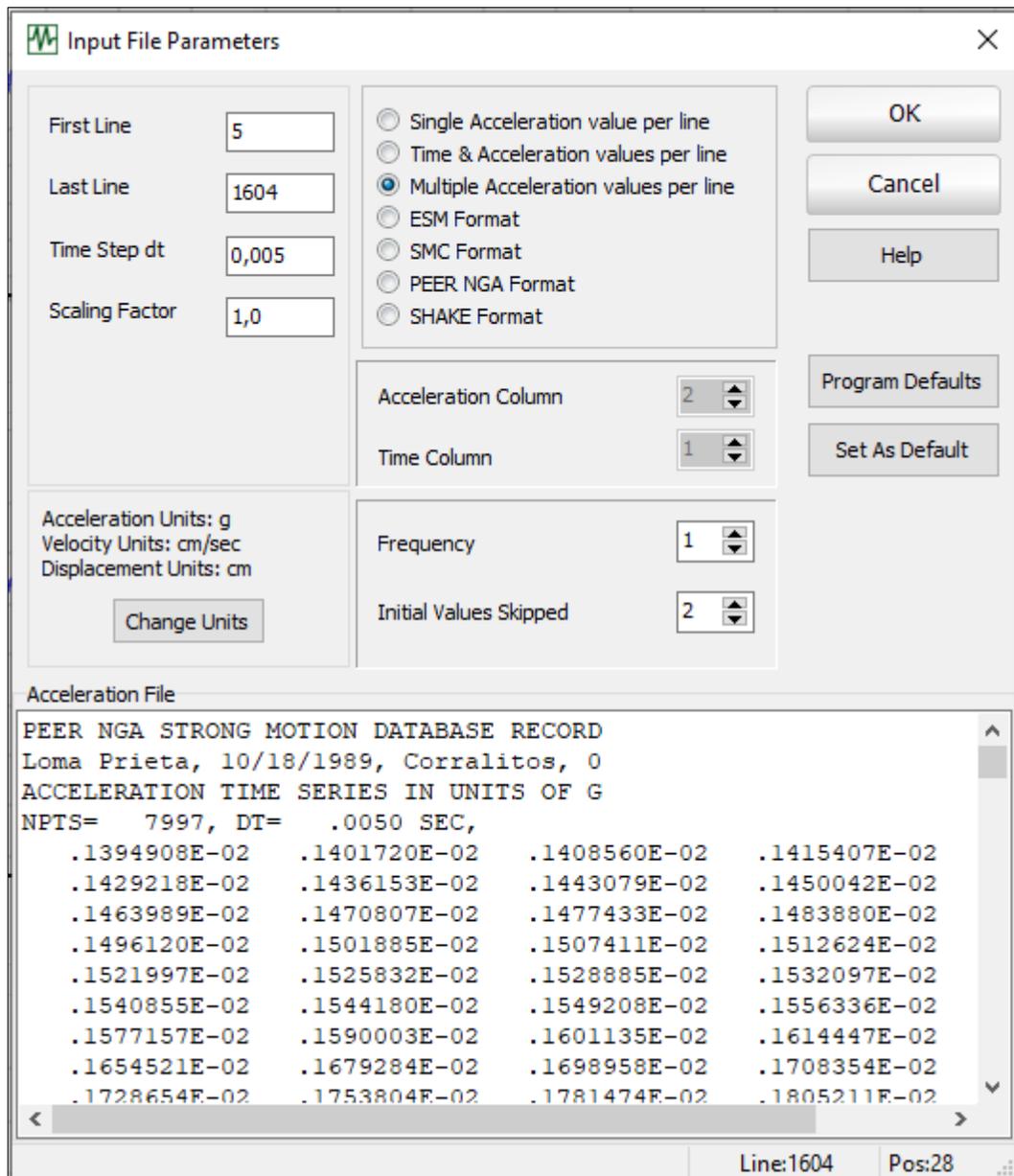


figura 1 Registro señales sísmica – seismosignal

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

17

Se procedió a emplear los modelos de diseño en SAP2000 correspondientes a los cuatro puentes distintos que serán objeto de análisis. Estos modelos se someterán a los métodos de análisis mencionados con el propósito académico de identificar similitudes y diferencias en sus comportamientos. Es importante destacar que se utiliza un registro de aceleración específico (Loma prieta) asociado al sismo de Loma Prieta, registrado el 17 de octubre de 1989, en la región de California. Es crucial señalar que los resultados obtenidos tienen un uso exclusivamente académico, como se indicó anteriormente, y se emplean para lisis aplicados a estructuras susceptibles a actividades sísmicas.

5.2. Descripción geométrica de las estructuras

5.2.1. Puente A

Esta estructura es un puente construido por medio de voladizos sucesivos, que cuenta con seis (6) apoyos y cinco (5) luces, con una longitud de 370 m aproximadamente, donde las fundaciones de los ejes intermedios son columnas con alturas variables desde los 18m hasta aproximadamente los 27m de longitud, apoyadas sobre pilotes distribuidos según los requerimientos. En la *figura 2* se muestra la ilustración del puente A.

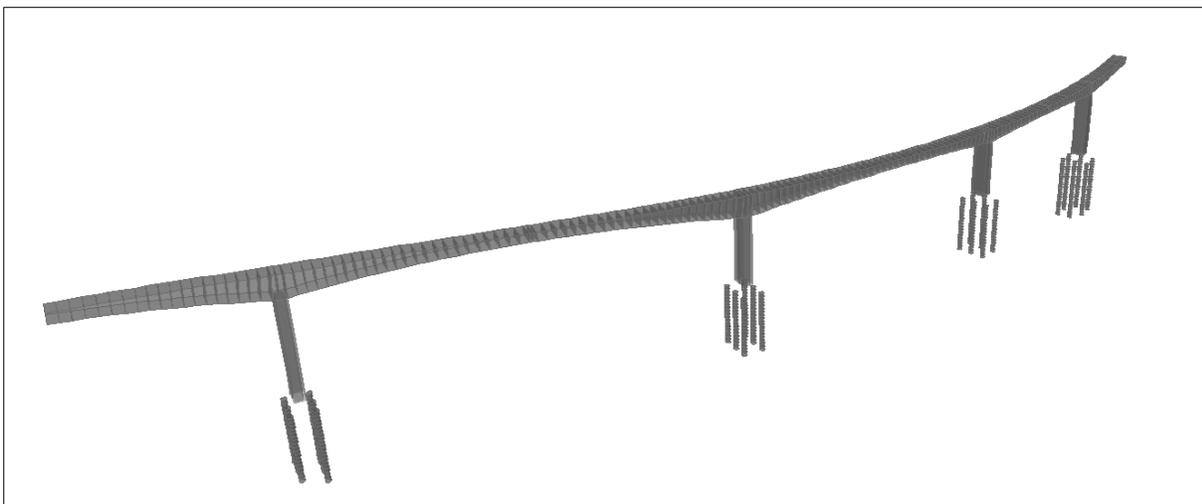


figura 2 Ilustración puente A

5.2.2. Puente B

Esta estructura es un puente que cuenta con diez (10) apoyos y nueve (9) luces, con una longitud de 762.79m aproximadamente, donde está conformado en sus cuatro primeras luces por tres vigas

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

18

postensadas y en el resto de su longitud se compone de vigas cajón de sección variable puestas por medio de voladizos sucesivos apoyados sobre columnas, que estas a su vez transfieren la carga al suelo por medio de pilotes. En la figura 3 se muestra la ilustración del puente B.

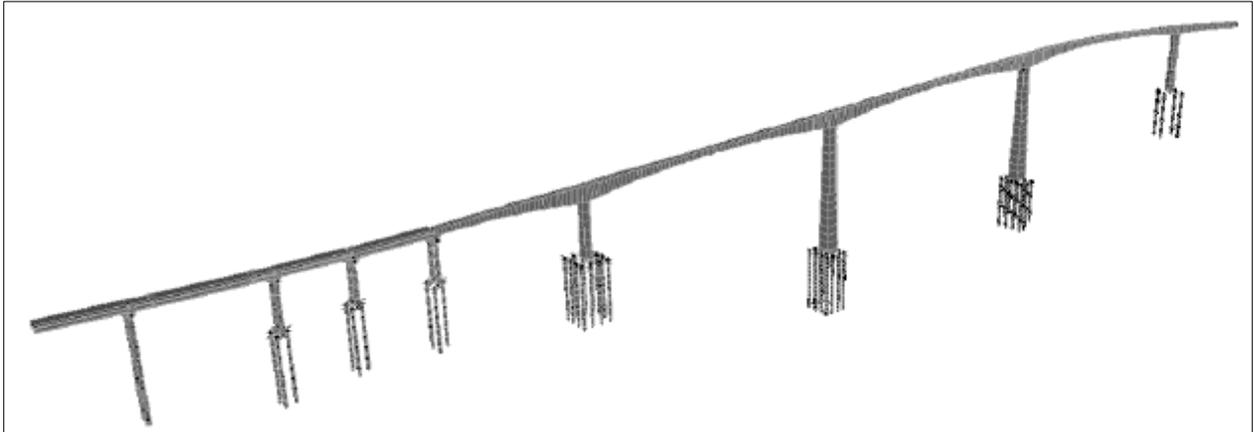


figura 3 Ilustración puente B

5.2.3. Puente C

La estructura de este puente cuenta con vigas cajón de altura variable construidas por el proceso constructivo de dovelas por voladizos sucesivos, con una longitud de 833m, cuenta con seis (6) luces y siete (7) apoyos donde estos apoyos intermedios son columnas con alturas variables que van desde los 20m hasta los 86m aproximadamente y estas a su vez están apoyadas sobre pilotes. En la figura 4 se muestra la ilustración del puente C.

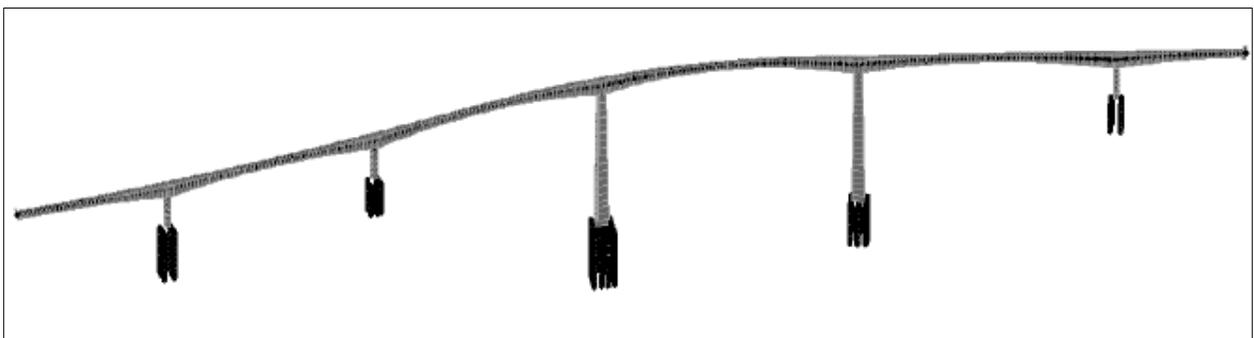


figura 4 Ilustración puente C

5.2.4. Puente D

La estructura de este puente cuenta con vigas cajón de altura variable construidas por el método de dovelas por voladizos sucesivos, con una longitud de 416m, cuenta con cuatro (4) luces y cinco (5)

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

19

apoyos donde estos apoyos intermedios son columnas con alturas variables que van desde los 16.50m hasta los 63.50m y estas a su vez están apoyadas sobre pilotes. En la figura 5 se muestra la ilustración del puente D.

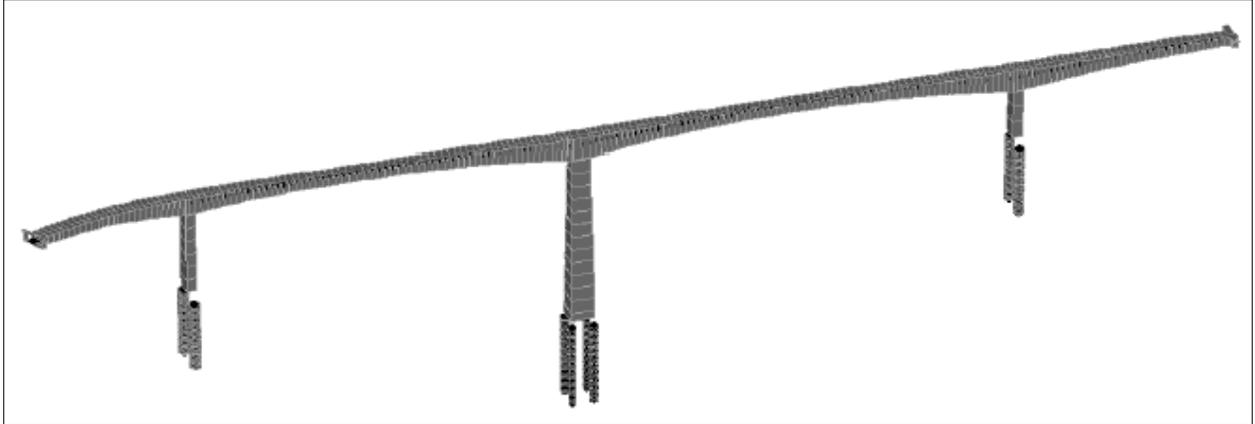


figura 5 Ilustración puente D

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

20

5.3. Procedimiento

5.3.1. Análisis tiempo historia

Para realizar el análisis de las señales del sismo, se define la función tiempo-historia en el software SAP2000 para cada uno de los registros de aceleraciones y desplazamientos. Posteriormente, se procede a definir los casos de carga para cada una de las funciones. En la figura 6 y figura 7 se ilustra cada una de las funciones mencionadas anteriormente, mientras que en la figura 8 y figura 9 se definen los casos de carga para cada una de las funciones.

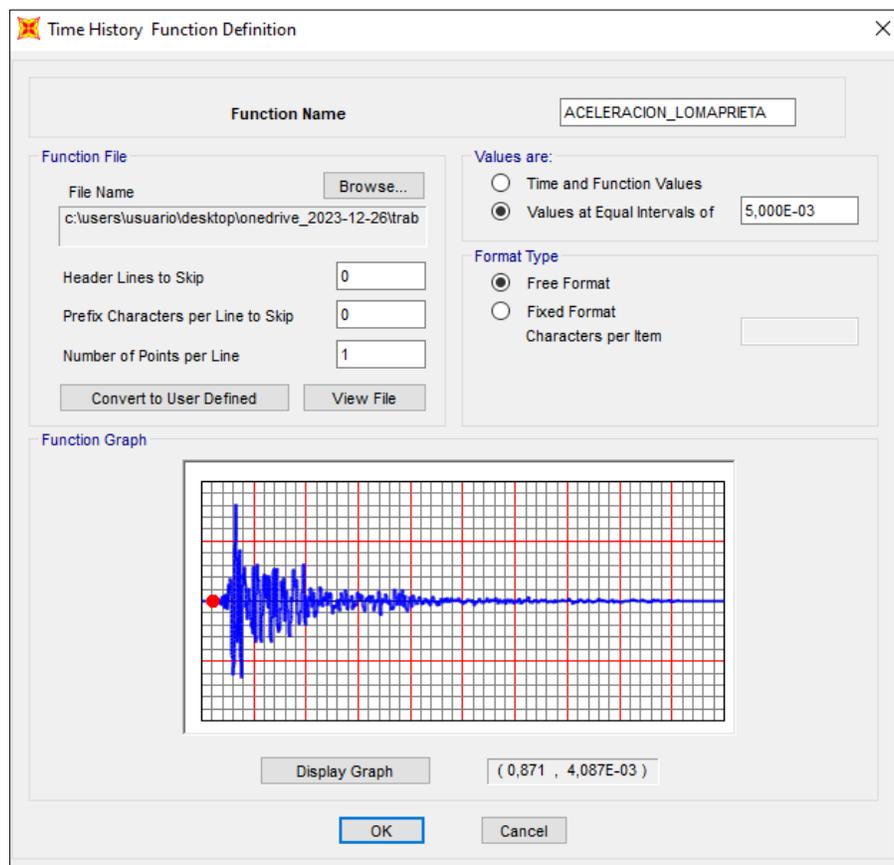


figura 6 Definición de función Aceleración vs tiempo, Análisis tiempo-historia

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

21

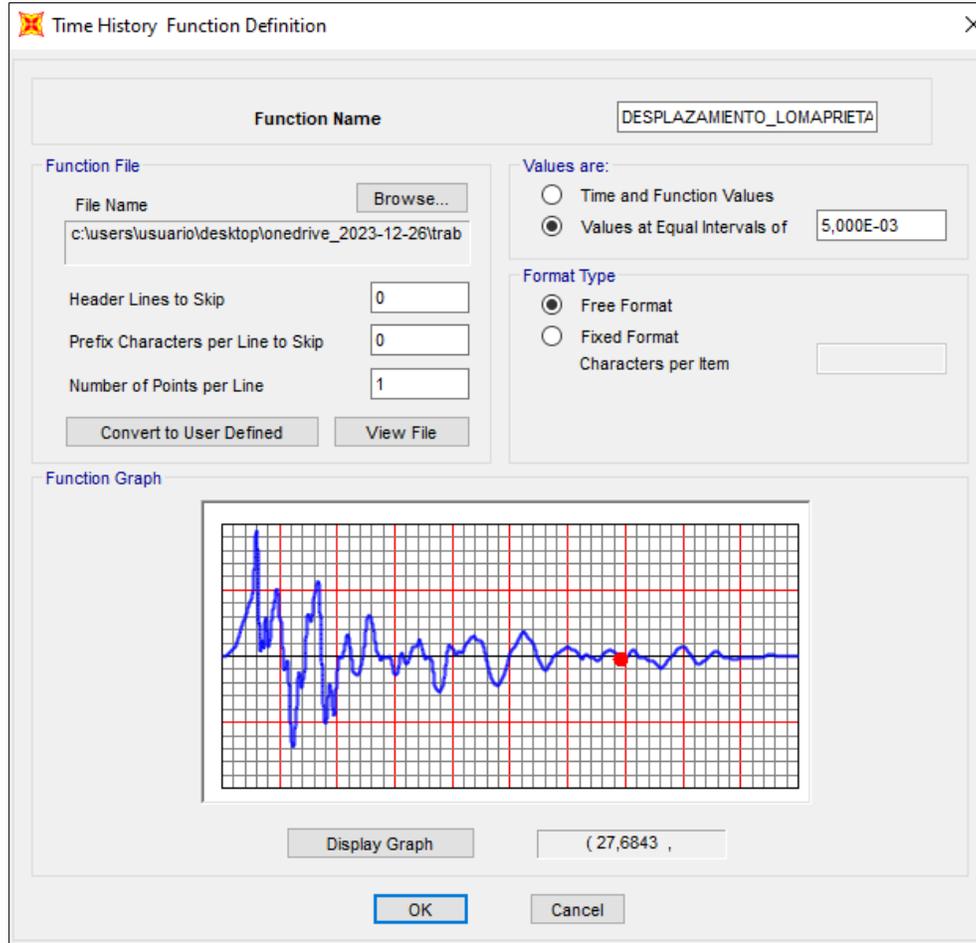


figura 7 Definición función Desplazamiento vs tiempo, Análisis tiempo-historia

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

22

The screenshot shows the 'Load Case Data - Linear Modal History' dialog box for a case named 'Sx_Aceleracion'. The 'Load Case Name' is 'Sx_Aceleracion'. The 'Load Case Type' is 'Time History'. The 'Analysis Type' is 'Linear', and the 'Solution Type' is 'Modal'. The 'History Type' is 'Transient'. The 'Modal Load Case' is 'MODAL'. The 'Mass Source' is 'Previous (MSSSRC1)'. The 'Initial Conditions' are set to 'Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State'. The 'Loads Applied' table is as follows:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	ACELERACK	9,81
Accel	U1	ACELERACION	9,81

figura 8 caso de carga Sx Aceleraciones- tiempo-historia.

The screenshot shows the 'Load Case Data - Linear Modal History' dialog box for a case named 'Sx_Desplazamiento'. The 'Load Case Name' is 'Sx_Desplazamiento'. The 'Load Case Type' is 'Time History'. The 'Analysis Type' is 'Linear', and the 'Solution Type' is 'Modal'. The 'History Type' is 'Transient'. The 'Modal Load Case' is 'MODAL'. The 'Mass Source' is 'Previous (MSSSRC1)'. The 'Initial Conditions' are set to 'Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State'. The 'Loads Applied' table is as follows:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Load Pattern	SX_D	DESPLAZAM	1,
Load Pattern	SX_D	DESPLAZAMEN	1,

figura 9 caso de carga Sx Desplazamientos- tiempo-historia.

Además, para la señal de desplazamientos se deben agregar estos patrones de carga con un valor unitario en los puntos que representan el suelo tal como se muestra en la figura 10.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

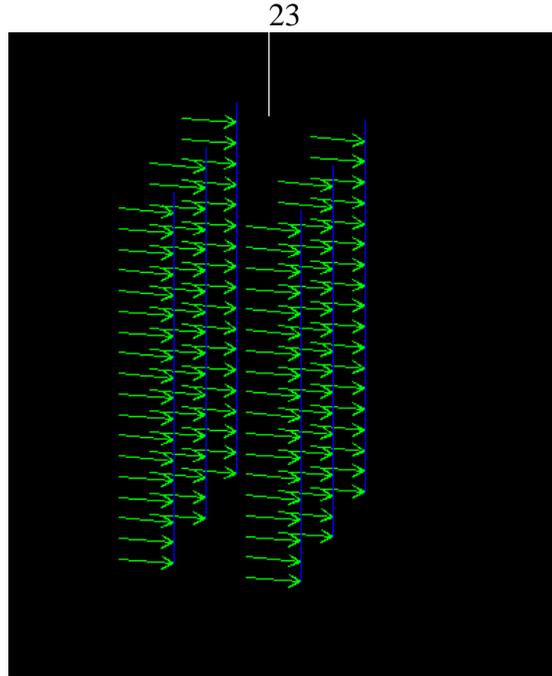


figura 10 asignación de patrón de carga en los puntos que representan al suelo

5.3.2. Análisis modal espectral

En base al acelerograma del sismo de Loma prieta se procede a crear un espectro mediante la identificación de puntos que abarquen dicho acelerograma. Esto se realiza con el propósito de realizar una comparación entre el análisis de tiempo-historia, que refleja la señal original del sismo, y el análisis del espectro de esa señal, que sirve como una especie de envolvente para la misma. En la figura 11 se muestra el grafico de respuesta de aceleración vs periodo.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

24

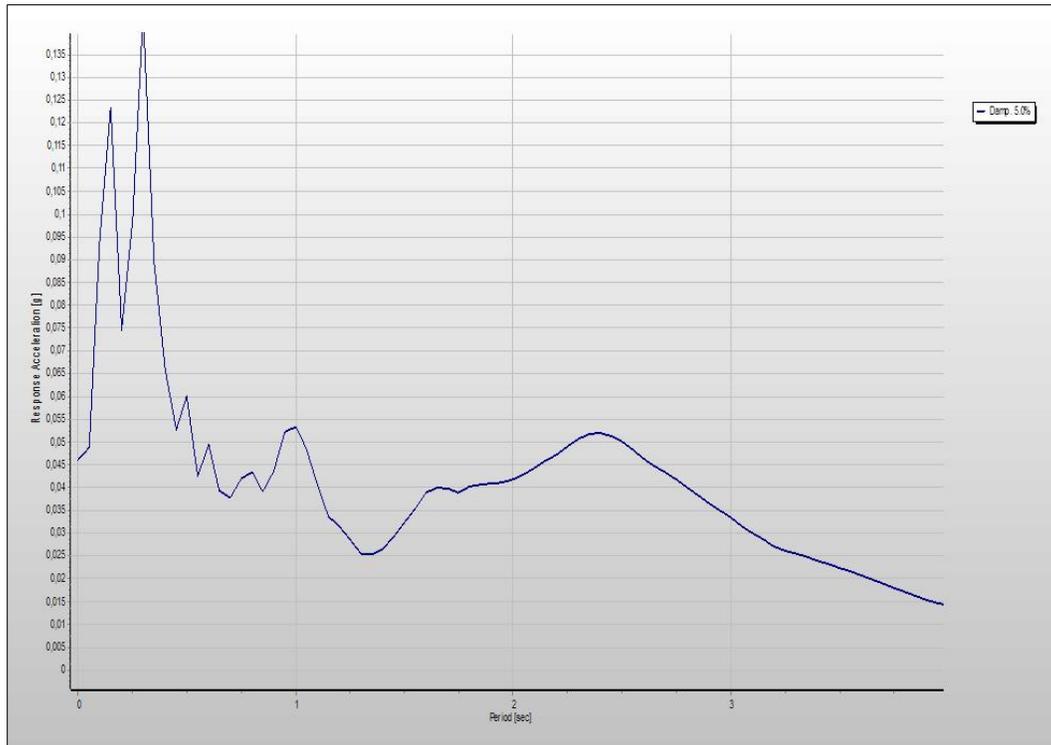


figura 11 respuesta de aceleración vs Periodo-sismo Loma prieta2 - 1986

Es importante señalar que el espectro construido no abarca completamente la señal sísmica, limitándose a aproximadamente 2.5 segundos de su periodo. Esta restricción implica que los resultados obtenidos pueden desviarse ligeramente de las expectativas, ya que no se considera el periodo completo de la señal sísmica. Por lo tanto, es necesario tener en cuenta esta limitación al interpretar los resultados del análisis del espectro en comparación con el análisis de tiempo-historia. En la figura 12 se muestra la definición de la función construida a partir de la señal de aceleraciones.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

25

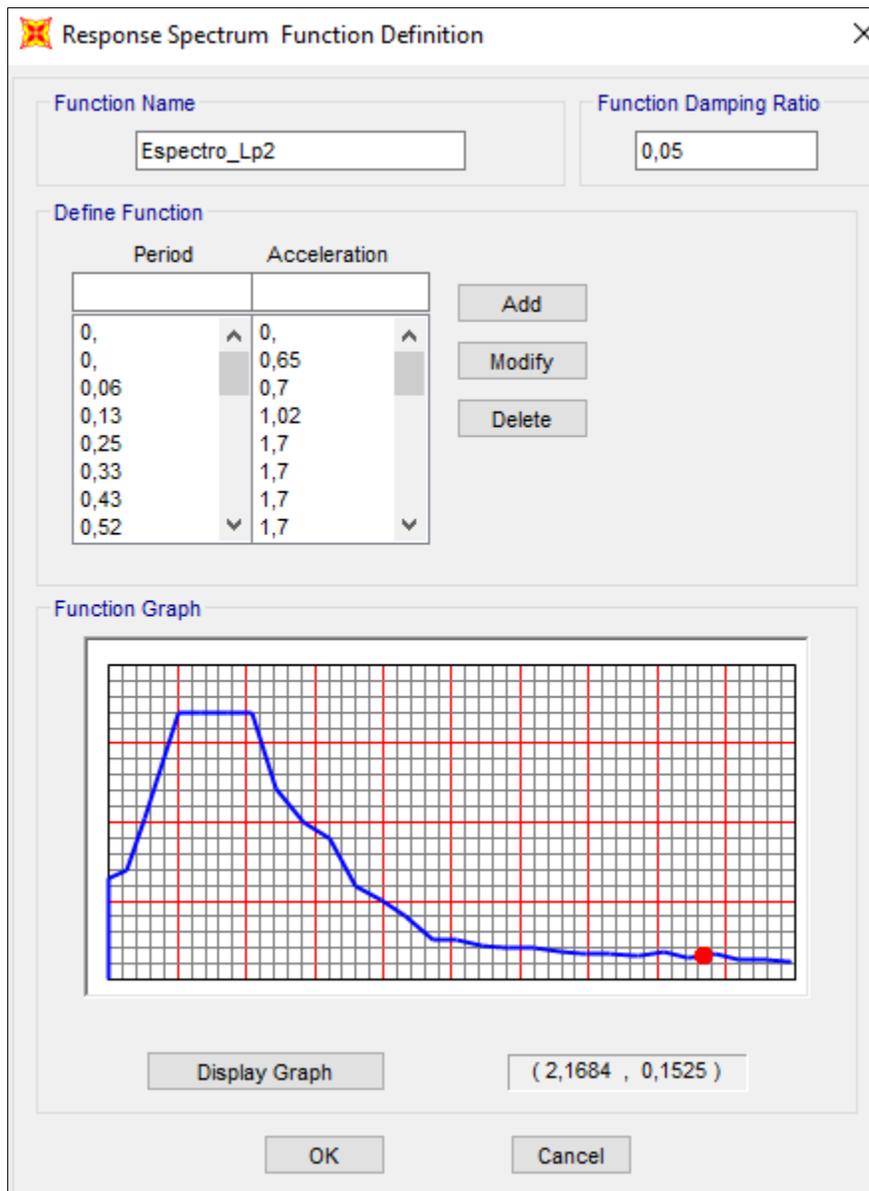


figura 12 Definición función del Espectro del sismo Loma prieta.

De igual manera se crean cada uno de los casos de carga S_x y S_y en función del espectro de respuesta se muestra en las figura 13 y figura 14

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

26

Load Case Name: Sx_LP2

Load Case Type: Response Spectrum

Modal Combination: CQC

Directional Combination: SRSS

Modal Load Case: MODAL

Use Modes from this Modal Load Case: MODAL

Standard - Acceleration Loading

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	Espectro_Lp2	9.81

Modal Damping: Constant at 0,05

figura 13 definición de caso de carga Sx espectro Loma prieta- Análisis modal espectral

Load Case Name: Sy_LP2

Load Case Type: Response Spectrum

Modal Combination: CQC

Directional Combination: SRSS

Modal Load Case: MODAL

Use Modes from this Modal Load Case: MODAL

Standard - Acceleration Loading

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U2	Espectro_Lp2	9.81

Modal Damping: Constant at 0,05

figura 14 definición de caso de carga Sy espectro Loma prieta -Análisis modal espectral

vinculados a nuestra actividad sísmica, denominados Sx y Sy. Estos casos de carga están diseñados para transmitir la carga longitudinal (Sx) y transversal (Sy) al puente una vez se definieron cada una

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

27

de las funciones y los casos de carga se procede a ejecutar cada uno de los modelos de cada puente en la figura 15 se muestra la ejecución del modelo.

```
LINEAR MODAL HISTORY ANALYSIS                                22:06:42
CASE: SX_ACELERACION
ANALYSIS TYPE = LINEAR
USING MODES FROM CASE: MODAL
NUMBER OF DYNAMIC MODES TO BE USED = 36
NUMBER OF STATIC-LOAD MODES TO BE USED = 1
MODES ARE TREATED AS STATIC BELOW PERIOD = 1.0E-101

TOTAL HISTORY LENGTH (TIME) = 1.000000
LENGTH OF TIME-STEPS (TIME) = 0.010000
NUMBER OF TIME-STEPS TO BE INTEGRATED = 100

EFFECTIVE MODAL DAMPING RATIOS (CROSS-COUPLING TERMS ARE NEGLECTED)
  1  1.971976  0.050000
  2  1.536104  0.050000
  3  1.338202  0.050000
  4  1.274632  0.050000
```

figura 15 Ejecución del Modelo software Sap2000

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

28

6. Resultados

A partir del uso del software seismosignal se obtienen los gráficos de las señales de aceleraciones y desplazamientos del sismo Loma prieta. Estos gráficos se presentan en la Figura 16 y Figura 17.

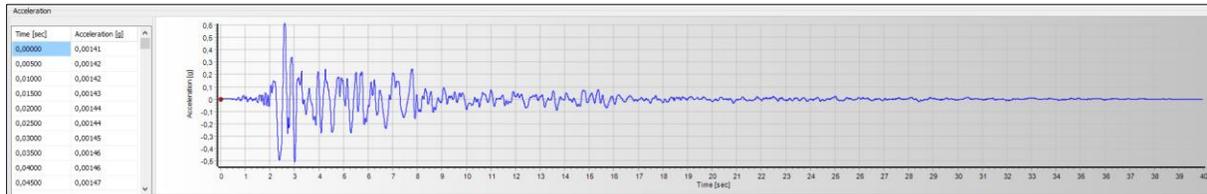


Figura 16 Grafico aceleración vs tiempo - Loma Prieta

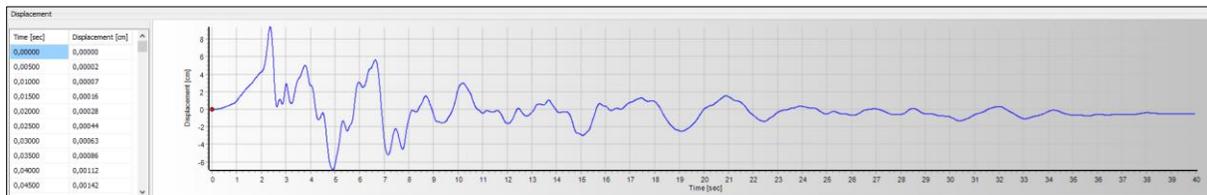


Figura 17 Grafico desplazamiento vs tiempo - Loma Prieta

Una vez ejecutado los modelos de cada uno de los puentes, para nuestro análisis nos centraremos en las columnas de los puentes donde se obtuvieron los momentos y cortantes tanto en la parte superior de la columna como en la parte inferior para observar las diferencias en las reacciones debido a las cargas sísmicas. En la Tabla 1 a la Tabla 4 se presentan los resultados mencionados anteriormente.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

29

Tabla 1. Puente A Reacciones Momentos (M) y Cortantes (V) por cargas sísmicas Sx y Sy en columnas

PUENTE A- SOLICITACIONES MOMENTOS Y CORTANTES PARA PILAS DE DIFERENTES ALTURAS									
ANÁLISIS MODAL- ESPECTRO DE RESPUESTA LOMAPRIETA2									
Elemento	Casos de carga	V2[ton]/parte superior columna	V3[ton]/parte superior columna	M2[ton*m]/parte superior columna	M3[ton*m]/parte superior columna	V2[ton]/parte inferior columna	V3[ton]/parte inferior columna	M2[ton*m]/parte inferior columna	M3[ton*m]/parte inferior columna
Eje 2	Sx	330.9015	82.6759	568.23196	6055.97236	367.6476	89.7283	1750.55461	3436.86299
	Sy	117.6135	339.6733	1288.23373	2052.56112	126.0774	358.1535	8056.36953	1251.98228
Eje 3	Sx	454.3761	96.3219	387.73778	6124.7398	481.3547	101.0539	1918.74304	3710.32432
	Sy	95.7647	392.3793	976.80411	1144.00697	99.769	406.9693	9046.31774	912.54997
Eje 4	Sx	578.394	180.9707	232.10158	6972.27638	602.4897	189.6443	3372.78432	3749.03034
	Sy	126.0992	289.9048	770.78473	1522.57156	127.9532	301.9882	5797.86378	788.12688
Eje 5	Sx	379.5309	131.1971	408.85215	5782.36132	410.4211	136.4054	2749.11217	3437.72857
	Sy	129.3581	278.1337	722.55	1846.48092	126.5734	293.6613	5911.34778	1177.28947
ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA-ACELERACIONES LOMAPRIETA2									
Elemento	Casos de carga	V2[ton]/parte superior columna	V3[ton]/parte superior columna	M2[ton*m]/parte superior columna	M3[ton*m]/parte superior columna	V2[ton]/parte inferior columna	V3[ton]/parte inferior columna	M2[ton*m]/parte inferior columna	M3[ton*m]/parte inferior columna
Eje 2	Sx	145.3987	27.5127	194.54691	2730.09429	149.7477	30.8515	1015.00477	352.6681
	Sy	117.7067	346.0751	1308.25508	2031.97794	123.5023	359.6809	8734.52353	1289.39662
Eje 3	Sx	106.2796	56.5539	94.39297	973.2313	110.0869	59.97	1200.13865	350.45182
	Sy	79.2533	367.7903	1367.63929	1022.55478	83.1724	377.621	9065.58518	924.15246
Eje 4	Sx	276.4253	140.0108	144.39946	3560.84273	287.4297	153.0874	548.07563	601.34917
	Sy	99.9182	338.497	921.65862	1195.12883	103.7641	301.8184	8409.91672	681.24629
Eje 5	Sx	151.8998	25.0042	76.89206	2239.29307	161.7631	42.9933	1401.21164	837.29943
	Sy	130.0948	291.9734	608.08099	1859.47445	130.3429	255.6445	6778.55692	1246.40134
ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA-DESPLAZAMIENTOS LOMAPRIETA2									
Elemento	Casos de carga	V2[ton]/parte superior columna	V3[ton]/parte superior columna	M2[ton*m]/parte superior columna	M3[ton*m]/parte superior columna	V2[ton]/parte inferior columna	V3[ton]/parte inferior columna	M2[ton*m]/parte inferior columna	M3[ton*m]/parte inferior columna
Eje 2	Sx	804.3081	302.9473	1283.98599	5084.36849	1702.602	78.433	1410.6622	5574.56445
	Sy	165.7596	966.1457	8935.74246	1999.08376	263.5821	375.2102	7939.5637	1916.04202
Eje 3	Sx	814.7504	68.0572	511.42286	7853.10528	1822.1666	175.9403	1739.60167	11555.08221
	Sy	370.3877	1296.3988	8745.89866	988.11438	358.7335	1251.1851	16043.23906	3478.94248
Eje 4	Sx	711.7371	208.0649	2189.53354	6352.70904	1933.3364	361.0085	3400.29612	5548.79008
	Sy	94.3167	419.8289	2651.06031	1097.83223	93.7649	519.1746	10675.11543	691.78747
Eje 5	Sx	476.2792	511.1728	2537.88667	6019.04172	436.8792	424.3795	3710.37927	3504.86692
	Sy	174.1966	303.2352	2505.92317	1794.27254	112.5497	418.4266	6985.9716	1195.70778

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

30

Tabla 2. Puente B Reacciones Momentos (M) y Cortantes (V) por cargas sísmicas Sx y Sy en columnas

PUENTE B- SOLICITACIONES MOMENTOS Y CORTANTES PARA PILAS DE DIFERENTES ALTURAS									
ANÁLISIS MODAL- ESPECTRO DE RESPUESTA LOMAPRIETA2									
Elemento	Casos de carga	V2[ton]/parte superior columna	V3[ton]/parte superior columna	M2[ton*m]/parte superior columna	M3[ton*m]/parte superior columna	V2[ton]/parte inferior columna	V3[ton]/parte inferior columna	M2[ton*m]/parte inferior columna	M3[ton*m]/parte inferior columna
Eje 2	Sx	937.7186	101.0146	409.09219	13080.73538	969.0403	112.2677	3161.63433	16511.25503
	Sy	250.2589	500.8905	2543.81166	3001.13989	255.5479	542.9513	17505.67073	4675.97125
Eje 3	Sx	630.8867	78.2909	566.83529	14658.17329	867.6469	130.7882	3591.15585	14403.91214
	Sy	149.4216	692.297	2567.60906	3382.45921	156.631	1049.0628	46577.8546	5044.14061
Eje 4	Sx	539.2814	99.7803	1190.05357	11291.75094	639.6224	133.7715	5973.09843	12073.79596
	Sy	101.0452	664.9484	2137.62136	3082.66687	115.3456	1231.6243	37442.89537	3082.04084
Eje 5	Sx	427.0796	151.0542	1732.34655	8499.58794	442.478	182.6592	4510.16304	8159.28231
	Sy	260.4438	185.4192	1935.35467	5109.00217	265.693	206.7582	4248.76738	5242.31422
ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA-ACELERACIONES LOMAPRIETA2									
Elemento	Casos de carga	V2[ton]/parte superior columna	V3[ton]/parte superior columna	M2[ton*m]/parte superior columna	M3[ton*m]/parte superior columna	V2[ton]/parte inferior columna	V3[ton]/parte inferior columna	M2[ton*m]/parte inferior columna	M3[ton*m]/parte inferior columna
Eje 2	Sx	1164.0739	118.9936	288.70546	15643.39246	1135.2357	126.0482	3152.1848	18919.56631
	Sy	165.5572	502.3845	1615.67715	1907.7299	171.2184	513.1887	17543.30531	3167.55484
Eje 3	Sx	603.0236	48.6537	457.4208	16447.89171	860.5366	85.4559	2288.90136	15831.43021
	Sy	97.5269	556.4605	1869.05142	2642.59133	112.558	659.9805	12645.32607	3115.84348
Eje 4	Sx	365.188	93.7165	1302.25367	9884.85182	498.4945	119.0728	4852.22414	13310.63384
	Sy	83.1236	593.858	1704.66975	2439.80868	87.2389	778.3684	12408.89022	2191.9136
Eje 5	Sx	453.8062	140.918	1698.85581	9685.95811	523.9709	175.1546	4304.05535	9265.69904
	Sy	164.9163	214.7584	1796.30283	3095.26211	145.3595	154.4144	4229.96766	2875.88904
ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA-DESPLAZAMIENTOS LOMAPRIETA2									
Elemento	Casos de carga	V2[ton]/parte superior columna	V3[ton]/parte superior columna	M2[ton*m]/parte superior columna	M3[ton*m]/parte superior columna	V2[ton]/parte inferior columna	V3[ton]/parte inferior columna	M2[ton*m]/parte inferior columna	M3[ton*m]/parte inferior columna
Eje 2	Sx	2375.2856	116.5439	389.9457	18068.48543	3206.0293	130.5861	3277.09705	21762.66599
	Sy	140.9438	1708.1978	7068.88734	1983.92884	183.4263	4289.3475	18698.66807	2604.55522
Eje 3	Sx	813.8829	51.5202	778.13138	15976.82726	1241.951	288.7529	2726.80246	24172.18172
	Sy	100.3973	1251.2703	6757.78528	2386.45696	228.3124	2378.3613	15839.2916	2605.33715
Eje 4	Sx	1131.6449	86.2866	1268.50363	11819.18934	2360.6157	160.2996	5041.84625	21700.50501
	Sy	81.1589	1297.7286	7992.82838	2277.4973	134.272	1151.4047	11387.15206	2719.03196
Eje 5	Sx	645.3223	139.9078	2110.92394	11575.8409	574.9367	943.3046	5737.60295	9374.4978
	Sy	122.1728	311.4415	2586.37246	2511.87898	222.9883	225.4769	4508.23865	2587.77973

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

31

Tabla 3. Puente C Reacciones Momentos (M) y Cortantes (V) por cargas sísmicas Sx y Sy en columnas

PUENTE C- SOLICITACIONES MOMENTOS Y CORTANTES PARA PILAS DE DIFERENTES ALTURAS									
ANÁLISIS MODAL- ESPECTRO DE RESPUESTA LOMAPRIETA2									
Elemento	Casos de carga	V2[ton]/parte superior columna	V3[ton]/parte superior columna	M2[ton*m]/parte superior columna	M3[ton*m]/parte superior columna	V2[ton]/parte inferior columna	V3[ton]/parte inferior columna	M2[ton*m]/parte inferior columna	M3[ton*m]/parte inferior columna
Eje 2	Sx	703.9146	89.4018	303.17864	9171.34921	718.9385	80.6533	1319.45228	5426.38151
	Sy	403.2196	412.6616	1066.37576	5287.26882	400.9575	406.9417	8510.85823	3027.24843
Eje 3	Sx	795.347	86.5723	469.32203	9815.82837	813.6993	126.4595	1771.54271	6709.70786
	Sy	505.1817	388.4551	1585.75142	6539.80218	504.5906	470.4486	8946.0933	3803.92419
Eje 4	Sx	371.7679	190.3496	2657.26116	12559.91301	460.3075	346.2042	11486.84265	18945.05547
	Sy	115.8756	602.7829	3032.19739	4017.76556	158.6313	1088.753	34682.37461	6276.95579
Eje 5	Sx	464.969	165.3578	762.15085	14288.2678	1119.306	608.3163	13933.3249	12664.56615
	Sy	274.8444	444.5063	2045.6023	7381.20294	540.7361	1526.6861	39311.3012	9216.14216
Eje 6	Sx	997.5733	247.6319	690.50222	11437.26983	1028.1858	258.7739	5214.01846	9355.8429
	Sy	777.6731	517.6102	1885.70674	9077.44491	780.9957	549.2829	11162.2592	6824.46177
ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA-ACELERACIONES LOMAPRIETA2									
Elemento	Casos de carga	V2[ton]/parte superior columna	V3[ton]/parte superior columna	M2[ton*m]/parte superior columna	M3[ton*m]/parte superior columna	V2[ton]/parte inferior columna	V3[ton]/parte inferior columna	M2[ton*m]/parte inferior columna	M3[ton*m]/parte inferior columna
Eje 2	Sx	726.8388	74.7714	243.1703	9709.9349	776.8978	74.273	1343.17984	5344.30765
	Sy	204.8645	478.7694	1008.32571	3004.44457	212.1764	396.297	9483.20163	1714.50533
Eje 3	Sx	844.2904	68.6964	290.87123	10985.94859	913.4213	83.4125	1443.47875	6611.09839
	Sy	242.368	421.0933	1085.20903	3374.16475	253.6834	377.1105	7905.5183	2148.76987
Eje 4	Sx	340.2229	126.3853	2849.30043	10535.96024	507.836	277.4907	8301.20607	19845.90471
	Sy	87.5264	418.3815	2619.35135	3420.54731	105.4528	822.7624	23161.42777	6284.09326
Eje 5	Sx	419.7543	107.6865	645.08582	15802.5718	1068.1849	519.4922	4710.72565	12639.92035
	Sy	225.1631	252.125	1629.1078	5563.64894	491.5711	1201.7477	9860.76088	3400.48194
Eje 6	Sx	1049.5267	163.8643	392.54373	11883.42913	1068.4422	183.2078	3758.89658	9344.88229
	Sy	341.2794	340.5287	943.48667	3927.44346	282.2638	378.5941	7711.1223	2449.15817
ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA-DESPLAZAMIENTOS LOMAPRIETA2									
Elemento	Casos de carga	V2[ton]/parte superior columna	V3[ton]/parte superior columna	M2[ton*m]/parte superior columna	M3[ton*m]/parte superior columna	V2[ton]/parte inferior columna	V3[ton]/parte inferior columna	M2[ton*m]/parte inferior columna	M3[ton*m]/parte inferior columna
Eje 2	Sx	667.0752	80.4454	276.19654	8992.14465	783.8123	82.9085	1371.94662	4905.38649
	Sy	228.6647	431.0932	1262.78762	3321.26154	189.2237	419.1148	7633.90282	1618.00646
Eje 3	Sx	818.0543	68.6378	354.4432	11286.49472	989.5946	92.2621	1459.12071	6172.39708
	Sy	242.2126	404.4992	1672.11675	3128.76338	234.9311	657.7896	7519.39685	2121.735
Eje 4	Sx	421.2677	139.1086	2416.21572	11932.04572	675.249	246.2362	8034.96728	18952.58546
	Sy	113.7179	500.4381	2981.06799	3229.8485	138.9215	645.02	26248.70706	7460.04605
Eje 5	Sx	660.6705	128.9556	533.96769	15336.28167	1529.5016	981.6917	4585.4511	13236.59381
	Sy	351.4084	343.1853	1184.1304	7174.97461	894.7873	2763.648	10830.03045	3320.05046
Eje 6	Sx	1151.5966	144.773	647.03636	15129.04691	1371.8366	218.2955	2983.2502	8941.85771
	Sy	263.3145	344.5272	1863.98642	3286.36261	287.2978	667.7324	6487.79069	2434.53589

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

32

Tabla 4. Puente D Reacciones Momentos (M) y Cortantes (V) por cargas sísmicas Sx y Sy en columnas

PUENTE D- SOLICITACIONES MOMENTOS Y CORTANTES PARA PILAS DE DIFERENTES ALTURAS									
ANÁLISIS MODAL- ESPECTRO DE RESPUESTA LOMAPRIETA2									
Elemento	Casos de carga	V2[ton]/parte superior columna	V3[ton]/parte superior columna	M2[ton*m]/parte superior columna	M3[ton*m]/parte superior columna	V2[ton]/parte inferior columna	V3[ton]/parte inferior columna	M2[ton*m]/parte inferior columna	M3[ton*m]/parte inferior columna
Eje 2	Sx	456.8382	33.0763	455.63753	7773.46398	516.8138	44.1231	762.052	2559.30959
	Sy	40.4732	441.4922	2659.67708	608.63081	38.2946	521.2331	11590.92058	212.93967
Eje 3	Sx	611.8322	43.1212	177.07794	16210.97289	821.7372	66.9227	1925.3121	21167.52716
	Sy	53.2847	644.1027	2936.11287	1428.13703	60.9827	1040.2384	29951.98582	1272.77037
Eje 4	Sx	861.1315	59.2371	560.66098	8861.82388	901.1491	63.0329	920.67695	4006.72941
	Sy	51.0404	780.2133	7270.93766	604.08762	54.8999	825.073	12051.27335	331.02758
ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA-ACELERACIONES LOMAPRIETA2									
Elemento	Casos de carga	V2[ton]/parte superior columna	V3[ton]/parte superior columna	M2[ton*m]/parte superior columna	M3[ton*m]/parte superior columna	V2[ton]/parte inferior columna	V3[ton]/parte inferior columna	M2[ton*m]/parte inferior columna	M3[ton*m]/parte inferior columna
Eje 2	Sx	401.172	36.5686	399.56979	7508.09623	437.7604	57.6171	670.84302	2650.78598
	Sy	33.6303	547.3259	3647.78082	472.94877	33.6378	495.9574	13999.63948	167.089
Eje 3	Sx	608.4585	41.9037	156.74235	14496.06211	601.1223	69.1672	1745.81449	17929.46039
	Sy	44.6167	732.6801	2949.58736	1552.80275	46.2778	1190.1252	26911.4487	1367.15469
Eje 4	Sx	788.6182	58.5372	567.94451	7538.89972	808.3003	59.5556	905.74984	3816.57063
	Sy	52.8023	911.3911	8708.612	448.34402	55.1798	873.1356	14121.9949	229.47193
ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA-DESPLAZAMIENTOS LOMAPRIETA2									
Elemento	Casos de carga	V2[ton]/parte superior columna	V3[ton]/parte superior columna	M2[ton*m]/parte superior columna	M3[ton*m]/parte superior columna	V2[ton]/parte inferior columna	V3[ton]/parte inferior columna	M2[ton*m]/parte inferior columna	M3[ton*m]/parte inferior columna
Eje 2	Sx	665.4294	35.3448	530.42825	6611.77741	418.5254	89.8698	550.87113	13705.39976
	Sy	41.5647	676.0831	3568.60154	481.36335	44.4758	2670.5018	19074.07438	159.93229
Eje 3	Sx	651.1315	116.4246	572.94827	13587.75691	3583.9054	320.6257	1775.16942	24718.76852
	Sy	47.4166	1068.1375	7113.05814	1354.91848	323.7022	5278.1267	31418.27285	1903.30352
Eje 4	Sx	1944.3147	128.2822	742.88565	8411.97482	806.8206	129.7406	1241.78658	15579.23401
	Sy	162.7921	2087.857	13217.31139	504.57755	55.2047	2432.6767	19963.52495	1081.07262

Con el objetivo de visualizar mejor los resultados se grafican los momentos máximos tanto M2 como M3 y los cortantes de máximos tanto V2 como V3 por cada eje del puente en la figura 18 a la figura 21 se muestran los gráficos mencionados anteriormente.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

33

SOLICITACIONES PUENTE A



figura 18 Gráficos solicitaciones puente A

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

34

SOLICITACIONES PUENTE B



figura 19 Gráficos solicitaciones Puente B

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

35

SOLICITACIONES PUENTE C



ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

36

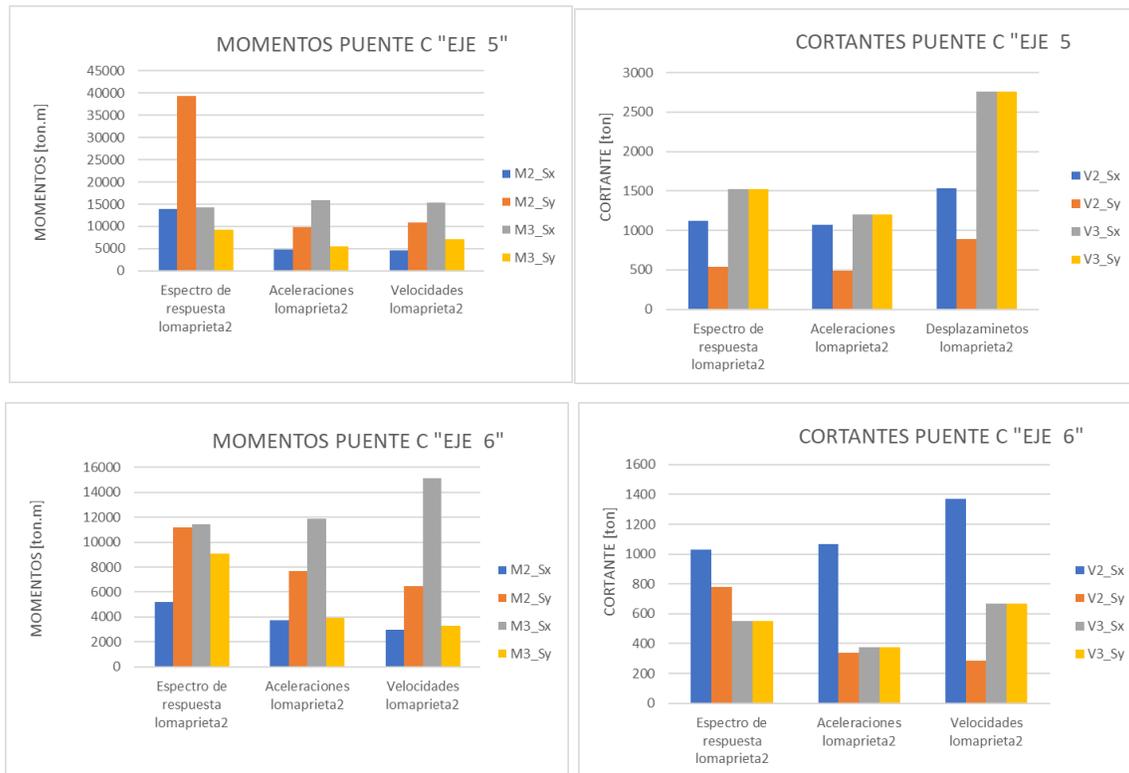


figura 20 Gráficos solicitaciones Puente C

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

37

SOLICITACIONES PUENTE D

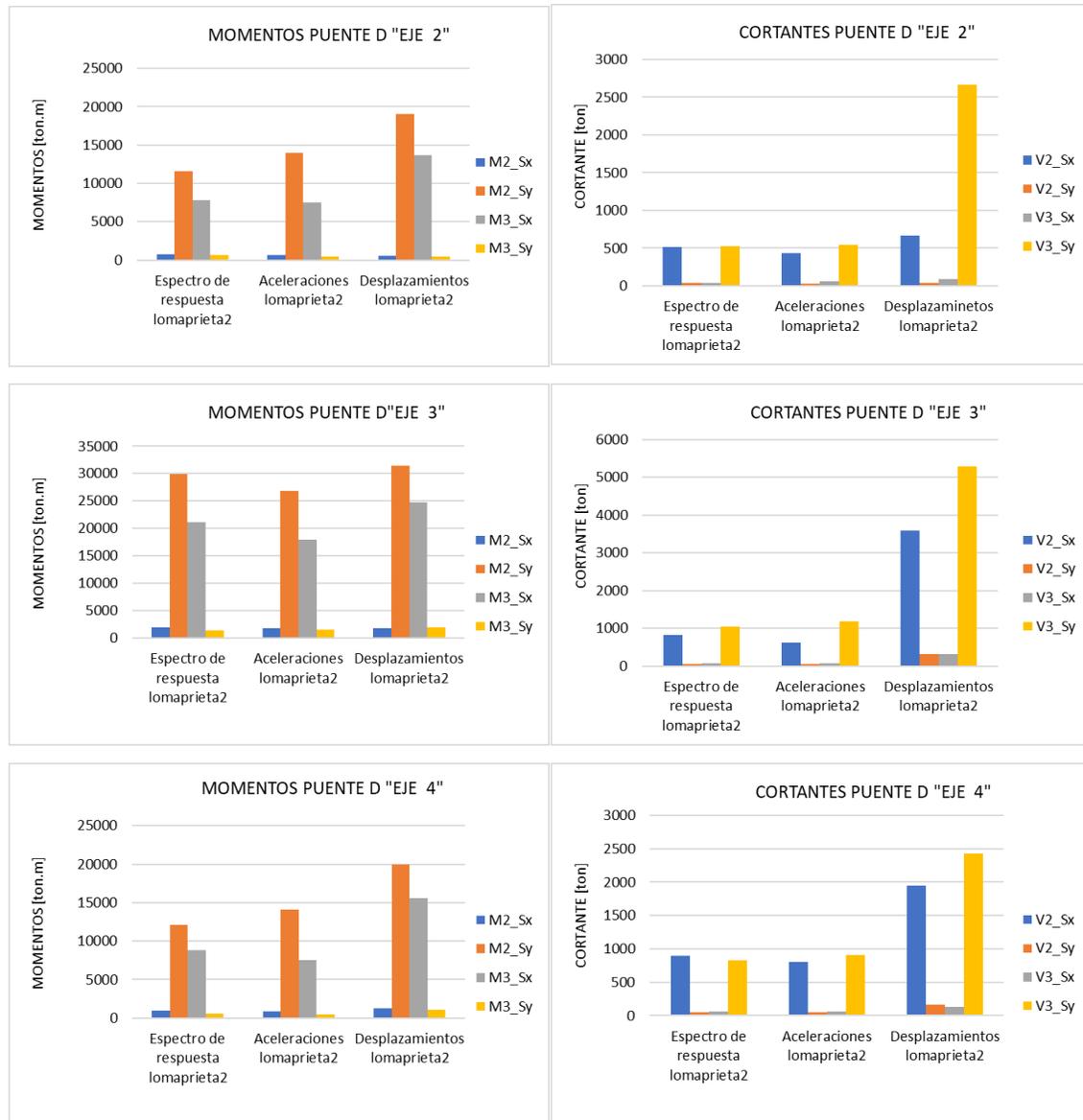


figura 21 Gráficos solicitaciones Puente D

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

38

Igualmente, se presentan las tablas con las comparaciones para los análisis estudiados, se comparan el análisis tiempo historia con respecto al espectro hallado a través del acelerograma de la señal sísmica Loma Prieta. De la Tabla 5 a la Tabla 8 se muestran las comparaciones mencionadas anteriormente.

Análisis Tiempo Historia Análisis Espectral Loma Prieta

Para entender mejor las tablas de debe entender que entre mas cercanos los valores al 100% mayor similitud hay en cada una de las comparaciones realizadas

Tabla 5. Puente A - Comparaciones Análisis Modal Espectral vs Análisis Tiempo Historia - Análisis Espectral Loma Prieta

ESPECTRO vs ACELERACIONES LOMAPRIETA2									
Elemento	Casos de carga	V2/parte superior columna	V3/parte superior columna	M2/parte superior columna	M3/parte superior columna	V2/parte inferior columna	V3/parte inferior columna	M2/parte inferior columna	M3/parte inferior columna
Eje 2	Sx	44%	33%	34%	45%	41%	34%	58%	10%
	Sy	100%	102%	102%	99%	98%	100%	108%	103%
Eje 3	Sx	23%	59%	24%	16%	23%	59%	63%	9%
	Sy	83%	94%	140%	89%	83%	93%	100%	101%
Eje 4	Sx	48%	77%	62%	51%	48%	81%	16%	16%
	Sy	79%	117%	120%	78%	81%	100%	145%	86%
Eje 5	Sx	40%	19%	19%	39%	39%	32%	51%	24%
	Sy	101%	105%	84%	101%	103%	87%	115%	106%
ESPECTRO VS DESPLAZAMIENTOS LOMAPRIETA2									
Elemento	Casos de carga	V2/parte superior columna	V3/parte superior columna	M2/parte superior columna	M3/parte superior columna	V2/parte inferior columna	V3/parte inferior columna	M2/parte inferior columna	M3/parte inferior columna
Eje 2	Sx	243%	366%	226%	84%	463%	87%	81%	162%
	Sy	141%	284%	694%	97%	209%	105%	99%	153%
Eje 3	Sx	179%	71%	132%	128%	379%	174%	91%	311%
	Sy	387%	330%	895%	86%	360%	307%	177%	381%
Eje 4	Sx	123%	115%	943%	91%	321%	190%	101%	148%
	Sy	75%	145%	344%	72%	73%	172%	184%	88%
Eje 5	Sx	125%	390%	621%	104%	106%	311%	135%	102%
	Sy	135%	109%	347%	97%	89%	142%	118%	102%

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

39

Tabla 6. Puente B - Comparaciones Análisis Modal Espectral vs Análisis Tiempo Historia - Análisis Espectral Loma Prieta

ESPECTRO vs ACELERACIONES LOMAPRIETA2									
Elemento	Casos de carga	V2/parte superior columna	V3/parte superior columna	M2/parte superior columna	M3/parte superior columna	V2/parte inferior columna	V3/parte inferior columna	M2/parte inferior columna	M3/parte inferior columna
Eje 2	Sx	124%	118%	71%	120%	117%	112%	100%	115%
	Sy	66%	100%	64%	64%	67%	95%	100%	68%
Eje 3	Sx	96%	62%	81%	112%	99%	65%	64%	110%
	Sy	65%	80%	73%	78%	72%	63%	27%	62%
Eje 4	Sx	68%	94%	109%	88%	78%	89%	81%	110%
	Sy	82%	89%	80%	79%	76%	63%	33%	71%
Eje 5	Sx	106%	93%	98%	114%	118%	96%	95%	114%
	Sy	63%	116%	93%	61%	55%	75%	100%	55%
ESPECTRO VS DESPLAZAMIENTOS LOMAPRIETA2									
Elemento	Casos de carga	V2/parte superior columna	V3/parte superior columna	M2/parte superior columna	M3/parte superior columna	V2/parte inferior columna	V3/parte inferior columna	M2/parte inferior columna	M3/parte inferior columna
Eje 2	Sx	253%	115%	95%	138%	331%	116%	104%	132%
	Sy	56%	341%	278%	66%	72%	790%	107%	56%
Eje 3	Sx	129%	66%	137%	109%	143%	221%	76%	168%
	Sy	67%	181%	263%	71%	146%	227%	34%	52%
Eje 4	Sx	210%	86%	107%	105%	369%	120%	84%	180%
	Sy	80%	195%	374%	74%	116%	93%	30%	88%
Eje 5	Sx	151%	93%	122%	136%	130%	516%	127%	115%
	Sy	47%	168%	134%	49%	84%	109%	106%	49%

Tabla 7. Puente C - Comparaciones Análisis Modal Espectral vs Análisis Tiempo Historia - Análisis Espectral Loma Prieta

ESPECTRO vs ACELERACIONES LOMAPRIETA2									
Elemento	Casos de carga	V2/parte superior columna	V3/parte superior columna	M2/parte superior columna	M3/parte superior columna	V2/parte inferior columna	V3/parte inferior columna	M2/parte inferior columna	M3/parte inferior columna
Eje 2	Sx	103%	84%	80%	106%	108%	92%	102%	98%
	Sy	51%	116%	95%	57%	53%	97%	111%	57%
Eje 3	Sx	106%	79%	62%	112%	112%	66%	81%	99%
	Sy	48%	108%	68%	52%	50%	80%	88%	56%
Eje 4	Sx	92%	66%	107%	84%	110%	80%	72%	105%
	Sy	76%	69%	86%	85%	66%	76%	67%	100%
Eje 5	Sx	90%	65%	85%	111%	95%	85%	34%	100%
	Sy	82%	57%	80%	75%	91%	79%	25%	37%
Eje 6	Sx	105%	66%	57%	104%	104%	71%	72%	100%
	Sy	44%	66%	50%	43%	36%	69%	69%	36%
ESPECTRO VS DESPLAZAMIENTOS LOMAPRIETA2									
Elemento	Casos de carga	V2/parte superior columna	V3/parte superior columna	M2/parte superior columna	M3/parte superior columna	V2/parte inferior columna	V3/parte inferior columna	M2/parte inferior columna	M3/parte inferior columna
Eje 2	Sx	95%	90%	91%	98%	109%	103%	104%	90%
	Sy	57%	104%	118%	63%	47%	103%	90%	53%
Eje 3	Sx	103%	79%	76%	115%	122%	73%	82%	92%
	Sy	48%	104%	105%	48%	47%	140%	84%	56%
Eje 4	Sx	113%	73%	91%	95%	147%	71%	70%	100%
	Sy	98%	83%	98%	80%	88%	59%	76%	119%
Eje 5	Sx	142%	78%	70%	107%	137%	161%	33%	105%
	Sy	128%	77%	58%	97%	165%	181%	28%	36%
Eje 6	Sx	115%	58%	94%	132%	133%	84%	57%	96%
	Sy	34%	67%	99%	36%	37%	122%	58%	36%

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

40

Tabla 8. Puente D - Comparaciones Análisis Modal Espectral vs Análisis Tiempo Historia - Análisis Espectral Loma Prieta

ESPECTRO vs ACELERACIONES LOMAPRIETA2									
Elemento	Casos de carga	V2/parte superior columna	V3/parte superior columna	M2/parte superior columna	M3/parte superior columna	V2/parte inferior columna	V3/parte inferior columna	M2/parte inferior columna	M3/parte inferior columna
Eje 2	Sx	88%	111%	88%	97%	85%	131%	88%	104%
	Sy	83%	124%	137%	78%	88%	95%	121%	78%
Eje 3	Sx	99%	97%	89%	89%	73%	103%	91%	85%
	Sy	84%	114%	100%	109%	76%	114%	90%	107%
Eje 4	Sx	92%	99%	101%	85%	90%	94%	98%	95%
	Sy	103%	117%	120%	74%	101%	106%	117%	69%
ESPECTRO vs DESPLAZAMIENTOS LOMAPRIETA2									
Elemento	Casos de carga	V2/parte superior columna	V3/parte superior columna	M2/parte superior columna	M3/parte superior columna	V2/parte inferior columna	V3/parte inferior columna	M2/parte inferior columna	M3/parte inferior columna
Eje 2	Sx	146%	107%	116%	85%	81%	204%	72%	536%
	Sy	103%	153%	134%	79%	116%	512%	165%	75%
Eje 3	Sx	106%	270%	324%	84%	436%	479%	92%	117%
	Sy	89%	166%	242%	95%	531%	507%	105%	150%
Eje 4	Sx	226%	217%	133%	95%	90%	206%	135%	389%
	Sy	319%	268%	182%	84%	101%	295%	166%	327%

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

41

7. Análisis de resultados

Los resultados obtenidos revelan una variabilidad significativa en las respuestas sísmicas de los puentes A, B, C y D. La diferencia en el impacto de las señales se atribuye, en gran medida, a la ubicación geográfica de cada puente y las características del suelo en esa región. Es crucial considerar que los suelos de diferentes lugares pueden amplificar o atenuar las ondas sísmicas, lo que afecta directamente las respuestas estructurales.

Los puentes con columnas más grandes revelan ser menos rígidos, afectando las respuestas sísmicas. Este hallazgo sugiere que la rigidez de las columnas juega un papel crucial en la manera en que las estructuras responden a eventos sísmicos por ejemplo el puente C es el que tiene las columnas más grandes y por lo tanto los momentos y cortantes tienen los valores más altos mientras que el puente A tiene las solicitaciones con valores más bajos debido a que es el puente con columnas más cortas.

En el Puente A, el 28% de las respuestas de la señal de aceleraciones y el 34% de las respuestas de la señal de desplazamientos muestran una variación del 10% o menos con respecto a las obtenidas del espectro del sismo Loma prieta. Esto sugiere que la respuesta a las señales de desplazamientos del sismo Loma Prieta tiene un comportamiento más cercano al espectro de dicho sismo, mientras que la señal de aceleraciones es menor en comparación.

Puente B: El 25% de las respuestas de la señal de aceleraciones y el 16% de la respuesta de la señal de desplazamientos tienen una variación del 10% o menos respecto a las obtenidas del espectro del sismo lomaprieta. Esto sugiere que la respuesta a las señales de desplazamientos del sismo Loma Prieta tiene un comportamiento más cercano al espectro de dicho sismo, mientras que la señal de aceleraciones es menor en comparación.

Puente C: El 29% de las respuestas de la señal de aceleraciones y el 30% de la respuesta de la señal de desplazamientos tienen una variación del 10% o menos respecto a las obtenidas del espectro del sismo loma prieta. Este puente en particular es el único que la respuesta a la señal de desplazamientos y de aceleraciones tienen un comportamiento similar a la respuesta obtenida por el espectro del sino Loma prieta.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

42

Puente D: El 40% de las respuestas de la señal de aceleraciones y el 17% de la respuesta de la señal de desplazamientos tienen una variación del 10% o menos respecto a las obtenidas del espectro del sismo Loma prieta Esto sugiere que la respuesta a las señales de aceleraciones del sismo Loma Prieta tiene un comportamiento más cercano al espectro de dicho sismo, mientras que la señal de desplazamientos es menor en comparación.

Los puentes podrían tener diferentes características estructurales que influyen en cómo responden a los sismos. Por ejemplo, el Puente D es el que mejor responde a las señales de aceleraciones, pero no tan bien a las señales de desplazamientos.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

43

8. Conclusiones

La variación en las respuestas sísmicas destaca la influencia significativa de factores geotécnico como el tipo de suelo como la ubicación del puente, el tipo de suelo y la longitud de las columnas. estos elementos deben ser cuidadosamente considerados ya que cada uno afecta como será el comportamiento del puente además de que influirá en que tanto se verá afectada la estructura ante eventos sísmicos.

Las solicitaciones obtenidas por la señal de desplazamientos del sismo loma prieta son en su mayoría mucho mayor a las del espectro de respuesta lo que indica que no es adecuado usar la señal de desplazamientos para realizar el análisis sísmico debido a que se estaría sobreestimando la respuesta sísmica y es preferible seguir usando espectros para analizar la respuesta sísmica.

La señal de aceleraciones del sismo de Loma Prieta es la que más se acerca a los resultados del espectro del mismo sismo. Sin embargo, solo el 30 % de las solicitaciones se acercan con un margen del 10 %. Por lo tanto, se concluye que no es viable usar acelerogramas, ya que tanto la señal de aceleraciones como la de desplazamientos se alejan considerablemente de los resultados obtenidos por el espectro del sismo de Loma Prieta.

El espectro de respuesta del sismo loma prieta en la mayoría de las solicitaciones estuvo por debajo estos resultados muestran una ventaja respecto a los otros dos métodos empleados ya que en caso de que se fuera a diseñar las estructuras teniendo en cuenta los eventos sísmicos no se estaría sobreestimando esta respuesta sísmica, aunque se considera que se hagan nuevos estudios para que se verifique dicha información.

Se deberían hacer análisis con diferentes sismos con diferentes magnitudes y diferentes duraciones para reafirmar los resultados obtenidos en este trabajo ya que este solo se limitó a un solo sismo y los resultados obtenidos podrían ser valido solo para este sismo en específico.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESPUESTAS SÍSMICAS EN PUENTES:

Explorando Diferencias en señales de Aceleraciones y Desplazamientos de un sismo frente a un Espectro de Respuesta

44

9. Referencias

- Baya, C. M. (Junio de 2005). Análisis del comportamiento de estructuras de puentes ante solicitaciones sísmicas dependiendo de la tipología de la cimentación y la interacción suelo-estructura. Sevilla, España.
- Costa, J. L. (2003). Standard Methods for Seismic Analyses. Lyngby: Report - BYG·DTU R-064 - 2003 - ISSN 1601-2917 - ISBN 87-7877-126-9.
- Estrada, G. Y. (2019). Análisis Dinámico comparativo Modal espectral Vs Tiempo historia de una estructura con muros de ductilidad limitada. Villa el Salvador - 2019. Lima, Perú: Universidad César Vallejo - Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil.
- Isaza, A. V. (2019). Comparación de Métodos de Análisis Dinámico en Estructuras Irregulares de Concreto Reforzado. Envigado, Colombia.
- Mora, M. A., Villalba, J. D., & Maldonado, E. (2006). Deficiencias, limitaciones, ventajas y desventajas de las metodologías de análisis sísmico no lineal. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 59-74.
- Presichi, G. D. (2007). Aplicación de los métodos estático y dinámico modal para el diseño sísmico de edificios con disipadores de energía. México: Repositorio Digital de la Facultad de Ingeniería, UNAM. Obtenido de <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/1928>
- Rodriguez, S. T. (2005). Analisis modal operacional: Teoria y practica. Sevilla, España
- Taboada ', A., Dimaté, C., & Fuenzalida, A. (s/f). *Física ele la 'Tierra Sismotectónica de Colombia: deformación continental activa y subducción.*