

Efecto de la componente vertical de un sismo en el comportamiento estructural de un puente típico construido en Colombia de concreto reforzado, de dos vanos y pila intermedia tipo pórtico.

Santiago Andrés Pineda Ruiz

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Civil

Director

Gustavo Chío Cho

PhD. en ingeniería de caminos, canales y puertos

Codirector

José Miguel Benjumea Royero

PhD. En ingeniería Civil y Ambiental

Universidad Industrial de Santander

Facultad de ingenierías fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2023

Dedicatoria

A mis padres Nelly y Reinaldo, por enseñarme el poder de la fortaleza, el respeto y la resiliencia, y el significado de vivir la vida con integridad.

A las personas que ya no están con nosotros y que me han enseñado a que hay que esforzarse y luchar hasta el último suspiro de nuestra vida.

A mis compañeros y profesores, que de alguna manera me han mostrado lo importante del proceso y como disfrutarlo.

A la mejor universidad, mi universidad, la gloriosa Universidad Industrial de Santander, mi paso ha sido un sueño que siempre quise cumplir y lo logré.

A mis hermanos, por mostrarme ese apoyo condicional, de lo que significa estar en las buenas y en las malas.

A mis mejores amigos Bryam, Ferney, Dayanna y Katia, por ser esas personas que siempre voy a querer que estén en mi vida hasta el último suspiro.

A mis compañeras colegas Juleicy y Stefhany, porque a pesar de la dificultad en el proceso, las risas nunca faltaron.

Santiago Andrés Pineda Ruiz

Agradecimientos

En primer lugar, a aquello que es más grande que la naturaleza misma, por hacer posible este proceso.

A la Universidad Industrial de Santander, por haberme dado la oportunidad de cumplir este sueño.

Agradecimiento a mi director de proyecto, Gustavo Chío Cho y a mi codirector José Miguel Benjumea Royero por la paciencia y oportunidad que me brindaron en el desarrollo de la tesis y por ser la guía en este proceso.

Finalmente a toda mi familia y amigos, que contribuyeron a que el camino fuese más ameno y sin su apoyo incondicional, esto no hubiese sido posible.

Santiago Andrés Pineda Ruiz

Contenido

	Pág.
Introducción	15
1. Objetivos	17
1.1 Objetivo General	17
1.2 Objetivos Específicos.....	17
2. Alcances y resultados esperados	18
2.1 Alcances del proyecto	18
2.2 Resultados esperados	19
3. Marco Teórico.....	19
3.1 Puente.....	19
3.2 Tipologías de puente	20
3.3 Estructuración transversal.....	21
3.4 Puentes simplemente apoyados.....	23
3.5 Juntas de dilatación	24
3.6 Análisis lineal elástico modal cronológico	25
3.7 Relación V/H	25
3.8 Características del movimiento vertical del suelo	26
4. Metodología	27
4.1 Selección del caso de estudio.....	27
4.2 Geometría del puente de estudio.....	27

4.3 Propiedades mecánicas asignadas a las secciones.	29
4.4 Modelamiento estructural	29
4.5 Asignación de cargas y verificación de carga muerta.....	31
4.6 Método constructivo.	35
4.7 Parámetros de selección de los registros sísmicos	37
4.8 Espectro de diseño de caracterización sísmica	38
4.9 Escalamiento y ajuste de los registros sísmicos.....	39
4.10 Selección de los registros sísmicos	40
4.11 Paralelo de respuestas sísmicas.....	41
4.12 Elementos de análisis principales	42
5. Analisis y Resultados	43
5.1 Análisis preliminar modal espectral.....	43
5.2 Registros sísmicos escalados	45
5.3 Respuestas sísmicas en la superestructura	51
5.3.1 Fuerzas internas en vigas	51
5.3.2 Deformaciones en vigas.....	65
5.4 Respuestas sísmicas de la subestructura	75
5.4.1 Fuerzas internas en la viga cabezal	75
5.5 Respuestas en los apoyos	79
5.6 Reacciones	82
6. Conclusiones	85
Referencias Bibliográficas	87
Apéndices.....	90

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Propiedades mecánicas de los materiales.	29
Tabla 2. Calculo manual del peso de la estructura.....	31
Tabla 3. Reacciones pesos de los elementos no estructurales y valor de distribucion para los elementos estructurales	33
Tabla 4. Reacciones de los apoyos debido a la carga muerta.	34
Tabla 5. Factores de sitio según CCP14.	38
Tabla 6. Registros sísmicos seleccionados.	41
Tabla 7. Periodos de la estructura para cada grado de libertad registro Córdoba.....	44
Tabla 8. Periodos de la estructura para cada grado de libertad registro Calima.	44
Tabla 9. Periodos de la estructura para cada grado de libertad registro Mesetas.	44
Tabla 10. Escalas seleccionadas con el menor error cuadrático.	45
Tabla 11. Variación de fuerzas internas en el centro de luz 1 R1.....	51
Tabla 12. Variación porcentual de fuerzas internas en el centro de luz 1 R1.....	52
Tabla 13. Variación de fuerzas internas en el centro de luz 2 R1.....	52
Tabla 14. Variación porcentual de fuerzas internas en el centro de luz 2 R1.....	52
Tabla 15. Variación de fuerzas internas en el centro de luz 1 R2.....	53
Tabla 16. Variación porcentual de fuerzas internas en el centro de luz 1 R2.....	53
Tabla 17. Variación de fuerzas internas en el centro de luz 2 R2.....	53
Tabla 18. Variación porcentual de fuerzas internas en el centro de luz 2 R2.....	54

Tabla 19. Variación de fuerzas internas en el centro de luz 1 R3.....	54
Tabla 20. Variación porcentual de fuerzas internas en el centro de luz 1 R3.....	55
Tabla 21. Variación de fuerzas internas en el centro de luz 2 R3.....	55
Tabla 22. Variación porcentual de fuerzas internas en el centro de luz 2 R3.....	56
Tabla 23. Variación de fuerzas internas de las vigas sobre el estribo 1 R1.....	56
Tabla 24. Variación porcentual de fuerzas internas de las vigas sobre el estribo 1 R1.....	57
Tabla 25. Variación de fuerzas internas de las vigas sobre el estribo 1 R2.....	57
Tabla 26. Variación porcentual de fuerzas internas de las vigas sobre el estribo 1 R2.....	57
Tabla 27. Variación de fuerzas internas de las vigas sobre en el estribo 1.....	58
Tabla 28. Variación porcentual de fuerzas internas de las vigas sobre en el estribo 1 R3.....	58
Tabla 29. Variación de fuerzas internas de las vigas sobre en el estribo 2 R1.....	59
Tabla 30. Variación porcentual de fuerzas internas de las vigas sobre en el estribo 2 R1.....	59
Tabla 31. Variación de fuerzas internas de las vigas sobre en el estribo 2 R2.....	59
Tabla 32. Variación porcentual de fuerzas internas de las vigas sobre en el estribo 2 R2.....	60
Tabla 33. Variación de fuerzas internas de las vigas sobre en el estribo 2 R3.....	60
Tabla 34. Variación porcentual de fuerzas internas de las vigas sobre en el estribo 2 R3.....	60
Tabla 35. Variación de fuerzas internas de las vigas de luz 1 sobre la pila R1.....	61
Tabla 36. Variación porcentual de fuerzas internas de las vigas de luz 1 sobre la pila R1.....	61
Tabla 37. Variación de fuerzas internas de las vigas de luz 1 sobre la pila R2.....	62
Tabla 38. Variación porcentual de fuerzas internas de las vigas de luz 1 sobre la pila R2.....	62
Tabla 39. Variación de fuerzas internas de las vigas de luz 1 sobre la pila R3.....	62
Tabla 40. Variación porcentual de fuerzas internas de las vigas de luz 1 sobre la pila R3.....	63
Tabla 41. Variación de fuerzas internas de las vigas de luz 1 sobre la pila R1.....	63

Tabla 42. Variación porcentual de fuerzas internas de las vigas de luz 1 sobre la pila R1.	63
Tabla 43. Variación de fuerzas internas de las vigas de luz 2 sobre la pila R2.	64
Tabla 44. Variación porcentual de fuerzas internas de las vigas de luz 2 sobre la pila R2.	64
Tabla 45. Variación de fuerzas internas de las vigas de luz 2 sobre la pila R3.	64
Tabla 46. Variación porcentual de fuerzas internas de las vigas de luz 1 sobre la pila R3.	65
Tabla 47. Variación de deformaciones de las vigas sobre las dos luces R1.	65
Tabla 48. Variación porcentual de deformaciones de las vigas sobre las dos luces R1.	66
Tabla 49. Variación de deformaciones de las vigas sobre las dos luces R2.	66
Tabla 50. Variación porcentual de deformaciones de las vigas sobre las dos luces R2.	67
Tabla 51. Variación de deformaciones de las vigas sobre las dos luces R3.	67
Tabla 52. Variación porcentual de deformaciones de las vigas sobre las dos luces R3.	68
Tabla 53. Variación de deformaciones de las vigas sobre estribos R1.	68
Tabla 54. Variación porcentual de deformaciones de las vigas sobre estribos R1.	69
Tabla 55. Variación de deformaciones de las vigas sobre estribos R2.	69
Tabla 56. Variación porcentual de deformaciones de las vigas sobre estribos R2.	70
Tabla 57. Variación de deformaciones de las vigas sobre estribos R3.	70
Tabla 58. Variación porcentual de deformaciones de las vigas sobre estribos R3.	71
Tabla 59. Variación de deformaciones de las vigas sobre pila R1.	71
Tabla 60. Variación porcentual de deformaciones de las vigas sobre pila R1.	72
Tabla 61. Variación de deformaciones de las vigas sobre pila R2.	72
Tabla 62. Variación porcentual de deformaciones de las vigas sobre pila R2.	73
Tabla 63. Variación de deformaciones de las vigas sobre pila R3.	73
Tabla 64. Variación de deformaciones de las vigas sobre pila R3.	74

Tabla 65. Variación de fuerzas internas de la viga cabezal R1.	75
Tabla 66. Variación porcentual de fuerzas internas de las vigas de la viga cabezal R1.	75
Tabla 67. Variación de fuerzas internas sobre viga cabezal R2.	76
Tabla 68. Variación porcentual de fuerzas internas de las vigas de la viga cabezal R2.	77
Tabla 69. Variación de fuerzas internas de la viga cabezal R3.	77
Tabla 70. Variación porcentual de fuerzas internas de las vigas de la viga cabezal R3.	78
Tabla 71. Variación y variación porcentual de fuerzas internas de los pilares R1, R2, R3.	79
Tabla 72. Variación de deformaciones de los pilares R1.	80
Tabla 73. Variación porcentual de deformaciones de los pilares R1.	80
Tabla 74. Variación de deformaciones de los pilares R2.	80
Tabla 75. Variación porcentual de deformaciones de los pilares R2.	81
Tabla 76. Variación de deformaciones de los pilares R3.	81
Tabla 77. Variación porcentual de deformaciones de los pilares R3.	81
Tabla 78. Variación en las reacciones de los apoyos R1.	82
Tabla 79. Variación porcentual en las reacciones de los apoyos R1.	82
Tabla 80. Variación en las reacciones de los apoyos R2.	83
Tabla 81. Variación porcentual en las reacciones de los apoyos R2.	83
Tabla 82. Variación porcentual en las reacciones de los apoyos R3.	84
Tabla 83. Variación porcentual en las reacciones de los apoyos R3.	84

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Clasificación de los componentes de los puentes.....	20
Figura 2. Tipología de viga y losa. A. Una viga B. Dos vigas rectangulares C. Cuatro vigas rectangulares D. Cinco vigas “I” preesforzadas	22
Figura 3. Tipología de viga y losa E. Cuatro vigas armadas de acero con arrostramiento y partes numeradas	22
Figura 4. Ejemplo de puente simplemente apoyado.	23
Figura 5. Clases de juntas de dilatación.....	24
Figura 6. Espectro de respuesta modal cronológico.	25
Figura 7. Detalle sección transversal vigas principales.	28
Figura 8. Detalle sección transversal subestructura y superestructura.	28
Figura 9. Detalle sección longitudinal de la estructura.....	28
Figura 10. Detalle modelamiento estructural CAD extruido.	30
Figura 11. Detalle modelamiento links elásticos.....	30
Figura 12. Detalle modelamiento links rígidos.....	31
Figura 13. Detalle modelamiento de las cargas muertas de los elementos no estructurales.....	33
Figura 14. Detalle modelamiento estructural y sus reacciones. Fuente:.....	34
Figura 15. Detalle sistema constructivo in situ.....	36
Figura 16. Detalle sistema constructivo prefabricado.....	36
Figura 17. Espectro de diseño para la ciudad de Bucaramanga, suelo tipo C.	39

Figura 18. Puntos de interés para análisis comparativo en la subestructura.	42
Figura 19. Puntos de interés para análisis comparativo en la superestructura.	43
Figura 20. Espectros sísmicos horizontales escalados.	46
Figura 21. Espectros sísmicos verticales escalados.	46
Figura 22. Componente EW original y escalada para R1.	47
Figura 23. Componente NS original y escalada para R1.	47
Figura 24. Componente V original y escalado para R1.	48
Figura 25. Componente EW original y escalada para R2.	48
Figura 26. Componente NS original y escalada para R2.	49
Figura 27. Componente V original y escalado para R2.	49
Figura 28. Componente EW original y escalada para R3.	50
Figura 29. Componente NS original y escalada para R3.	50
Figura 30. Componente V original y escalado para R3.	50

Lista de Apéndices

	pág.
Apéndice A. Detalles del modelo computacional desarrollado en Midas Civil 2022.	90

Resumen

Título: Efecto de la componente vertical de un sismo en el comportamiento estructural de un puente típico construido en Colombia de concreto reforzado, de dos vanos y pila intermedia tipo pórtico*

Autor: Santiago Andrés Pineda Ruiz**

Palabras Clave: Mínimo tres, máximo ocho separadas por comas

Descripción:

Esta investigación tiene como termino analizar cómo el efecto de la componente vertical de 3 registros sísmicos de diferentes regiones de Colombia mayores a 4.0 en magnitudes de momento y distancias epicentrales menores a 50 km y picos de aceleración horizontales (PGA_H) mayores a 0.02g, tiene sobre un puente viga-losa simplemente apoyado de dos vanos simétricos y pila intermedia de concreto reforzado, estructuras comúnmente utilizadas en el diseño y ya existentes en la infraestructura de Colombia, principalmente en sus fuerzas internas y externas y sus desplazamientos, utilizando un análisis dinámico modal con historia en el tiempo, usando el software de diseño y análisis de puentes MIDAS CIVIL, en donde se han tomado los acelerogramas y calculando sus espectros de respuesta sísmica, se han escalado sobre el espectro de diseño de referencia, calculando el menor error cuadrático relativo, obteniendo valores de escala de 0.34, 1.30 y 2.21. Los resultados obtenidos indican que la variación porcentual de las fuerzas internas y en las reacciones de sus apoyos son muy pequeñas, es decir, sus desplazamientos relativos son nulos, debido a la relación V/H de los registros y principalmente a que es una estructura isostática y el movimiento de su base se comporta como un elemento rígido.

* Trabajo de grado

** Facultad de ingenierías fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Ingeniería Civil. Director: Gustavo Chío Cho. Doctor en Ingeniería de caminos, canales y puertos. Codirector: José Miguel Benjumea Royero. Doctor en Ingeniería Civil y Ambiental

Abstract

Title: Seismic vertical component effect in the structural behavior of a typical bridge built in Colombia of reinforced concrete, two spans and intermediate pile type frame *

Author(s): Santiago Andres Pineda Ruiz**

Key Words: Reinforced concrete, internal forces, isostatic structure, V/H ratio, displacements.

Description:

The purpose of this research is to analyze how the effect of the vertical component of 3 seismic records from different regions of Colombia greater than 4.0 in moment magnitudes and epicentral distances less than 50 km and peak ground horizontal acceleration (PGA_H) greater than 0.02g, has on a beam-slab bridge simply supported by two symmetrical spans and an intermediate reinforced concrete pier, structures commonly used in the design and already existing in the infrastructure of Colombia, mainly in their internal and external forces and their displacements, using a modal dynamic analysis with history in time, using MIDAS CIVIL bridge design and analysis software, accelerograms have been taken and their seismic response spectra calculated, they have been scaled over the reference design spectrum, calculating the least relative squared error, obtaining scale values of 0.34, 1.30 and 2.21. The results obtained indicate that the percentage variation of the internal forces and the reactions of their supports are very small, that is, their relative displacements are zero, due to the V/H ratio of the records and mainly because it is an isostatic structure. and the movement of its base behaves like a rigid element.

* Bachelor Thesis

** Facultad de ingenierías fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Ingeniería Civil. Director: Gustavo Chío Cho. Doctor en Ingeniería de caminos, canales y puertos. Codirector: José Miguel Benjumea Royero. Doctor en Ingeniería Civil y Ambiental

Introducción

Los estudios e investigaciones de las componentes verticales de un sismo han sido la fuente de una extensiva discusión entre los ingenieros estructurales (Palaskas, He, & Chegini, 1996). La revisión de daños estructurales por efectos de la componente vertical del movimiento del suelo ha mostrado que los sismos con alta intensidad en este fenómeno pueden incrementar los momentos flectores en un 109% de vigas de gran extensión en comparación con los estáticos. (Varevac, Draganic, & Gazic, 2010)

El riesgo de colapso de las estructuras incrementa a medida que estas se construyen en sitios cercanos a fallas activas. (Burton, Cronin, & Mayes, 2002) La relación V/H o también conocida como radio de respuesta espectral, es la relación del espectro de respuesta vertical sobre su componente horizontal, (Aguiar-Falconi, López-Moreno, & Quinzaga-Martine, 2017), dicha relación espectral $V/H=2/3$ planteado en los códigos de diseño estructural es un promedio presentado para suelos comúnmente rocosos y sus valores varían si se encuentra cerca del sitio de falla (Xinle, Huijan, & Xi, 2007). En algunos sismos que han ocurrido, los datos medidos de la relación V/H han presentado picos de aceleración superiores a los registrados en la componente horizontal, el sismo de Northridge en California (1994) se midieron relaciones V/H de 1.79 y el sismo de Hyogo-Ken Nanbu en Japón (1995) se registró un valor de V/H de 1.63. (Vilera, Rivero, & Lobo, 2008)

El estudio realizado sobre las infraestructuras que fallaron en el terremoto de Northridge concluyó que los sobreesfuerzos por compresión o tensión directa indujeron fallas por cortante y flexión (Papazoglou & Elnashai, 1996). En la evaluación de daños del terremoto de Christchurch

en 2011 se produjeron fallas por aplastamiento y fracturas en las pilas en un puente debido a martilleos bajo grandes excitaciones verticales, debido a que sus vigas son levantadas de sus soportes e impactan sobre los mismos cuando entran en contacto de nuevo con ellos. (Yang, Yin, Hao, & Bi, 2015)

En Colombia según la base de datos de SIPUCOL (sistema de administración de puentes de Colombia), el 83% de los puentes registrados son de la tipología de viga y losa, con juntas de dilatación ubicados entre las pilas donde se apoyan los tableros o entre el acceso al tablero, generalmente en los estribos. (Muñoz Diaz, 2012) Conociendo la tipología mayormente usada en Colombia, este estudio plantea modelar y analizar, dicha tipología de puente de concreto reforzado de dos vanos y pila intermedia tipo pórtico utilizando el software de análisis estructural MIDAS CIVIL introduciendo una familia de sismos seleccionados de los registros de la base de datos del servicio geológico Colombiano (SGC), incluyendo su relación espectral, extrayendo los datos obtenidos de su respuesta bajo la componente vertical utilizando un análisis dinámico lineal cronológico y describir las variaciones de sus fuerzas internas y desplazamientos, usando una familia de acelerogramas que se compone de 3 diferentes registros representativos a los movimientos esperados del terreno.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Determinar el efecto que genera la componente vertical sísmica en respuesta a un puente de concreto reforzado de dos vanos, con tablero de viga y losa con juntas de dilatación, simplemente apoyado en estribos y una pila intermedia al considerar la componente vertical de un sismo para una familia de acelerogramas de Colombia.

1.2 Objetivos Específicos

Seleccionar 3 registros sísmicos que generen una amenaza compatible con la amenaza sísmica de diseño.

Determinar la respuesta del puente con o sin la componente vertical mediante un análisis dinámico lineal cronológico, utilizando un modelo tridimensional en un software de análisis estructural.

Comparar la respuesta y los valores máximos de los resultados más importantes en el análisis estructural del puente (reacciones, desplazamientos, deformaciones, fuerzas internas y diagramas de fuerzas internas) y de los elementos que componen el puente (viga, losa continua, riostras, pila, apoyos y cimentaciones) respecto a la respuesta de la aplicación y no aplicación de la componente vertical.

2. Alcances y resultados esperados

2.1 Alcances del proyecto

La estructura para analizar es un puente típico de Colombia es de concreto reforzado de dos vanos con tablero de viga y losa continua con juntas de dilatación simplemente apoyado sobre estribos en los extremos y sobre una pila intermedia en mitad de la luz del puente. Los estribos son tipo estribo cerrado de muro frontal de concreto reforzado sobre cimentación superficial y la pila intermedia es una pila tipo pórtico de varios pilares de concreto reforzado unidos por una viga cabezal de concreto reforzado. El tablero estará conformado por vigas de concreto reforzado o presforzado y losa de concreto reforzado simplemente apoyado con juntas de dilatación sobre apoyos de neopreno.

Se construirá un modelo tridimensional del puente en un software de análisis estructural (SAP2000 o MIDAS), se realizará un análisis dinámico modal cronológico, tridimensional lineal elástico, sometido a las cargas gravitacionales y componentes horizontales y verticales de una familia de sismos de Colombia según el Código de diseño sísmico de puentes de Colombia vigente en la actualidad. Los registros de la familia de acelerogramas se hará en base al estudio realizado en el proyecto de grado para optar al título de ingeniero civil realizado por (Fernandez Wilches & Ardila Hurtado, 2020).

2.2 Resultados esperados

Una tabla de comparación de los desplazamientos, reacciones y fuerzas internas en los elementos de la estructura con y sin la componente vertical del sismo. Diferencia porcentual respecto a la variación en los resultados de análisis dinámico al considerar el efecto de la componente vertical del sismo.

Grafica de variación de los desplazamientos y fuerzas en función del parámetro V/H que caracteriza al sismo.

Análisis de los resultados obtenidos exponiendo una discusión de los resultados, conclusiones y recomendaciones.

Esta investigación hace parte del proyecto de investigación “Respuesta de puentes viga cajón durante construcción por voladizos sucesivos bajola acción combinada demovimientos sísmicos horizontales y verticales” (Código VIE FM 2019-1), avalado por la vicerrectoría de investigación y extensión de la Universidad Industrial de Santander.

3. Marco Teórico

3.1 Puente

Un puente es una estructura destinada a salvar obstáculos naturales, como ríos, valles, cañones, lagos o brazos de mar; y obstáculos artificiales, como vías férreas o carreteras, con el fin

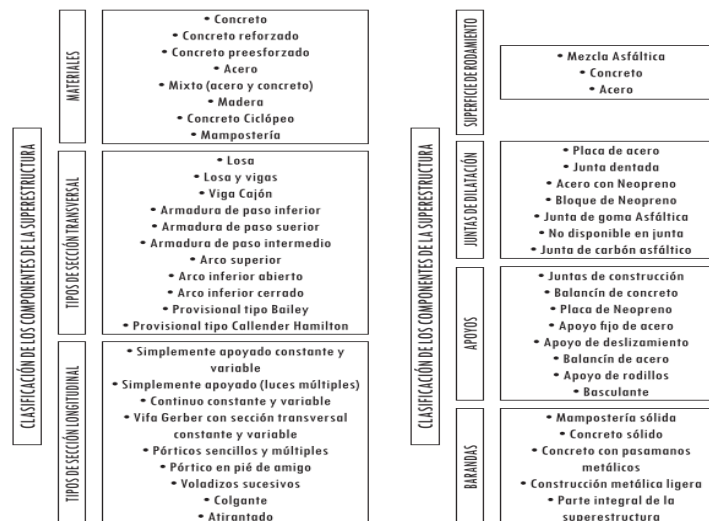
de unir caminos de viajeros y propiciar transporte de animales y mercancías entre otras. (Muñoz Diaz, 2012)

3.2 Tipologías de puente

Las partes principales de los puentes se clasifican en superestructura e infraestructura. La superestructura incluye todos aquellos componentes que hacen parte de su tablero tales como: losas, vigas, riostras, armadura, arco, cables, tirantes, pendolones, catenaria, anclajes, bordillos, andenes, barandas, juntas de dilatación, apoyos, pavimento, drenes y separadores. En tanto la infraestructura abarca pilas, pilones, estribos, cimentaciones, torres y las aletas con su correspondiente cimentación; también las losas de aproximación o de acceso, el terraplén de acceso, los conos y taludes hacen parte de esta. (Muñoz Diaz, 2012)

Figura 1.

Clasificación de los componentes de los puentes.



Nota. Tomado de: (Muñoz Diaz, 2012)

3.3 Estructuración transversal

Es una clasificación de SIPUCOL, basada en el tipo de sección transversal de la superestructura (Muñoz Diaz, 2012). Se clasifican de la siguiente manera:

- Losa
- Losa y viga
- Viga cajón
- Armaduras de paso inferior
- Armaduras de paso superior
- Armaduras de paso intermedio
- Arco superior
- Arco inferior cerrado
- Arco abierto
- Provisionales tipo Bailey
- Provisionales tipo Callender
- Provisionales tipo Hamilton
- Puentes tipo viga y losa

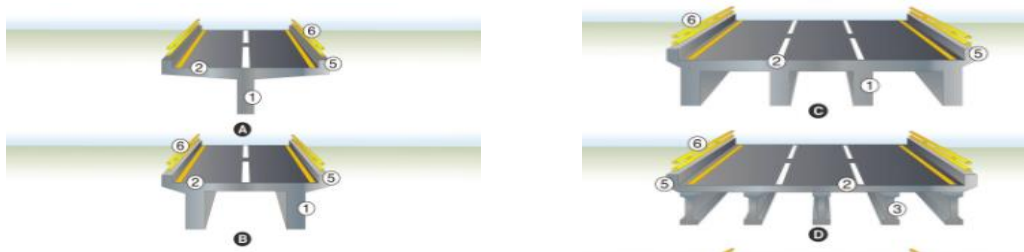
Consiste en losas de concreto reforzado (con refuerzo perpendicular al tráfico) apoyadas en vigas longitudinales y riostras, las cuales pueden ser de concreto postensado, concreto reforzado o acero armado (sección mixta).

En el sentido longitudinal pueden ser simplemente apoyadas, simplemente apoyadas múltiples o continuas, generalmente este tipo de entepiso tiene vigas transversales o riostras distribuidas simétricamente en la longitud del puente, que tienen la función de ayudar en la

distribución de las cargas en el sentido transversal y de suministrar rigidez de torsión al tablero.
(Muñoz Diaz, 2012)

Figura 2.

Tipología de viga y losa. A. Una viga B. Dos vigas rectangulares C. Cuatro vigas rectangulares D. Cinco vigas "I" preesforzadas



Nota. Tomado de: (Muñoz Diaz, 2012)

Figura 3.

Tipología de viga y losa E. Cuatro vigas armadas de acero con arrostramiento y partes numeradas



Nota. Tomado de: (Muñoz Diaz, 2012)

3.4 Puentes simplemente apoyados

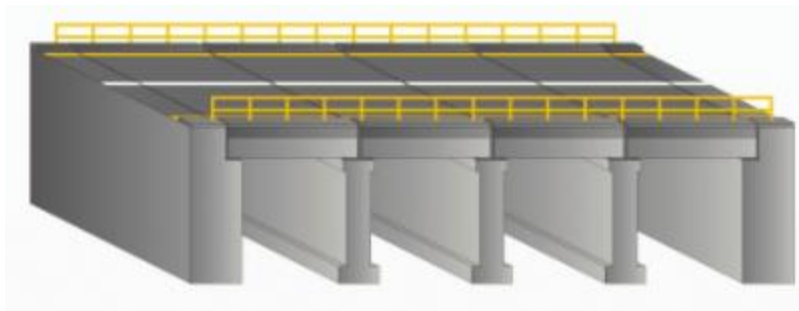
Son superestructuras no continuas, estáticamente determinadas y con las siguientes posibilidades:

- De una sola luz con sección transversal constante.
- De una sola luz con sección transversal variable.
- De múltiples luces con sección transversal constante.

Este tipo de distribución longitudinal se presenta en la mayoría de los puentes de Colombia con varias juntas de dilatación intermedias y externas. (Muñoz Diaz, 2012)

Figura 4.

Ejemplo de puente simplemente apoyado.



Nota. Tomado de: (Muñoz Diaz, 2012)

3.5 Juntas de dilatación

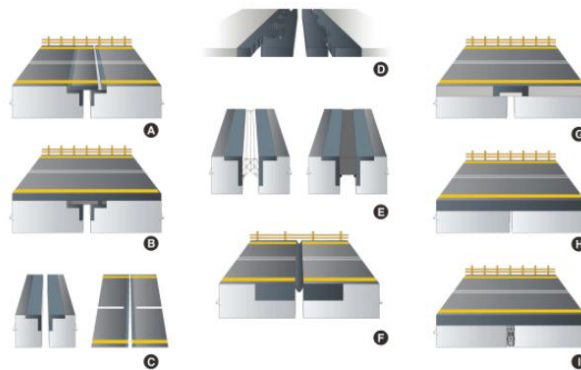
Son los elementos encargados de desplazamientos relativos (desplazamientos y rotaciones), entre dos partes en el puente, las cuales pueden ser:

La zona de acceso y el tablero (losa, vigas, etc.) del puente, generalmente en los estribos.

-Dos partes del tablero, que se presentan generalmente en las pilas.

Figura 5.

Clases de juntas de dilatación.



Nota. Tomado de: (Muñoz Diaz, 2012)

Placas de acero con ángulos. B. Placas de acero más ángulos con asfalto C. Ángulos sin placa de acero D. Dentada E. Acero con sello de neopreno comprimido F. Bloque de neopreno G. Goma asfáltica H. No dispositivo de junta I. Cartón asfáltico (Muñoz Diaz, 2012)

3.6 Análisis lineal elástico modal cronológico

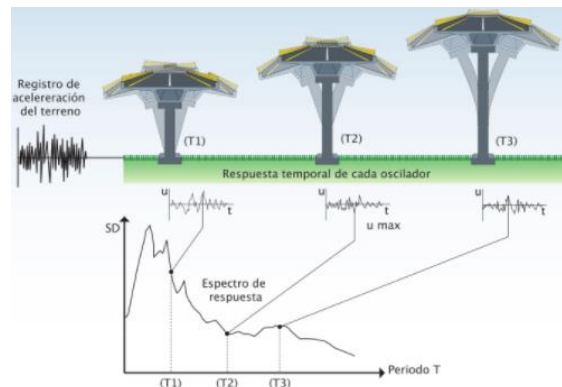
Es el método que considera una excitación arbitraria de la base de la estructura, para la ingeniería civil, de una estructura sometida a un evento sísmico. (Chio Cho & Maldonado, 1995)

En este caso se identifica

- El desplazamiento de la base $U_S(t)$
- El desplazamiento absoluto de cada grado de libertad i , $U_i(t)$
- El desplazamiento relativo de cada grado de libertad i , denotado $y_i(t) = U_i(t) - U_S(t)$

Figura 6.

Espectro de respuesta modal cronológico.



Nota. Tomado de: (Muñoz Diaz, 2012)

3.7 Relación V/H

En la literatura la funcionalidad de la componente vertical y horizontal de un movimiento de tierra fue usada para ser identificada por el ratio de V/H para el pico de aceleración del terreno o para la aceleración espectral, donde V representa la componente vertical y H la componente

horizontal del sismo. Este radio jugó un rol principal en muchos estudios que identificaron el impacto de la componente vertical sobre la respuesta estructural y sus características para diferentes parámetros de los sismos como el sitio o la distancia de la fuente, la magnitud del sismo y varias clases de suelo entre otras propiedades. El valor más común de la relación es $2/3$, sin embargo, este valor puede variar e incrementarse según la distancia de falla y características del suelo. (ALMahdi, Fahjan, & Adem, 2020)

3.8 Características del movimiento vertical del suelo

Cuando se produce un sismo se generan ondas que viajan a través del suelo una de ellas es la onda primaria o “P” que se comporta con un movimiento longitudinal que provoca efectos de dilatación y compresión. Otra onda es la de cortante o “S”, que es de corte o de cizalla y viaja más lentamente comparada con la anterior, pero tiene más amplitud y produce movimientos transversales que precisamente son los que más afectan las estructuras en la superficie. (Muñoz Díaz, 2012)

4. Metodología

4.1 Selección del caso de estudio

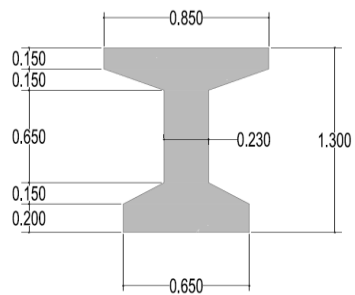
El puente seleccionado es una estructura de concreto reforzado simplemente apoyada con juntas de dilatación sobre el apoyo intermedio con dos pilas tipo pórtico de dos vanos longitudinales con la losa no continua en la mitad de la luz, simplemente apoyado en los estribos basado en la tipología I del trabajo de grado de (Rodriguez & Urrea, 2020) y el puente Rio Frio entre la autopista del proyecto “Prolongación de la paralela oriental de la autopista Bucaramanga-Floridablanca”.

4.2 Geometría del puente de estudio

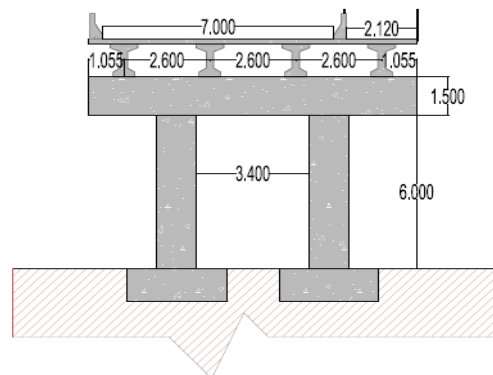
La estructura tipo puente viga-losa con base en los planos de diseño está compuesta de 8 vigas tipo I con un patín superior de 0.85 m e inferior de 0.65 m, distribuidas en 4 filas por cada luz, de concreto reforzado; la losa tiene una dimensión de 9.91 m de ancho por 0.2 m de alto, con carpeta asfáltica de 0.05 m. Le corresponden dos luces de 38 m de largo, la subestructura compuesta por un pórtico de dos pilares de sección circular de 1.2 m de diámetro y la viga cabezal se compone de una sección rectangular de 1.7 m de ancho por 1.5 m de alto, equidistante se distribuyen 3 riostras intermedias con sección rectangular de 0.3 m y 1.3 de ancho y 2 en los extremos por cada luz.

Figura 7.

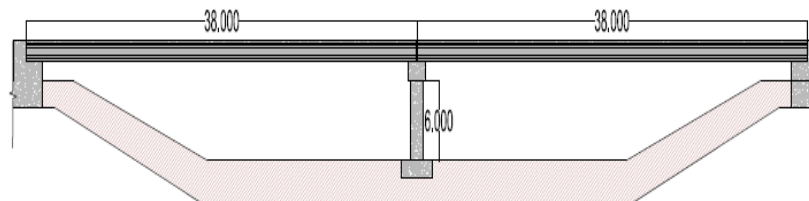
Detalle sección transversal vigas principales.

**Figura 8.**

Detalle sección transversal subestructura y superestructura.

**Figura 9.**

Detalle sección longitudinal de la estructura.



4.3 Propiedades mecánicas asignadas a las secciones.

Las propiedades de resistencia de las secciones asignadas a los elementos principales de la estructura están basadas bajo los parámetros establecidos en el software bajo la norma estándar de ASTM(RC) de 28 MPa [grado 4000] y 35 MPa [grado 5000]. La resistencia asignada a las vigas es de 35 MPa y para el resto de los elementos estructurales y no estructurales la resistencia del material es 28MPa.

Tabla 1.

Propiedades mecánicas de los materiales.

CONCRETO		
Densidad [kN/m³]	f'c [MPa]	Ec [MPa]
23.56	35 [Vigas]	28091
23.56	28	25126
ACERO		
Grado 60	420	200000

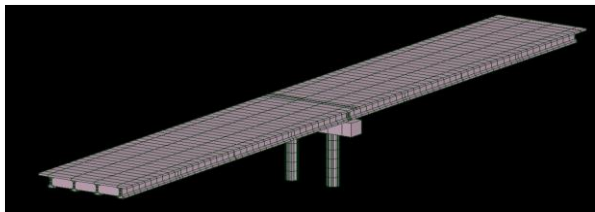
4.4 Modelamiento estructural

El modelamiento de la estructura del puente en el software de MIDAS CIVIL y tomando en cuenta las etapas constructivas y su aplicabilidad en el programa computacional. Como primera medida se introdujo la geometría de las secciones transversales de los elementos, segundo, el trazado de la superestructura se trazó como con elementos tipo frame en todos sus elementos, en dirección longitudinal se componen con vigas tipo I, en dirección trasversal las secciones rectangulares completan el mallado simulando la losa, las riostras intermedias y las riostras de los extremos completan la geometría de la superestructura. Por último, el modelamiento de la

subestructura se estableció de acuerdo con las especificaciones de los planos base con pilares de sección circular y la viga cabezal con sección rectangular completan la geometría del puente.

Figura 10.

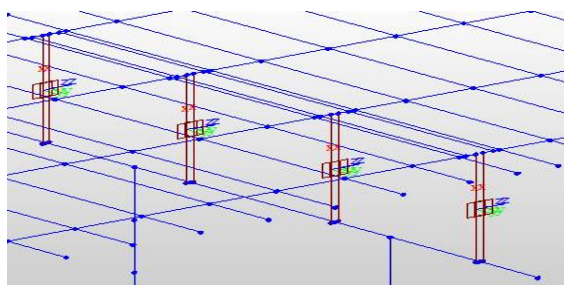
Detalle modelamiento estructural CAD extruido.



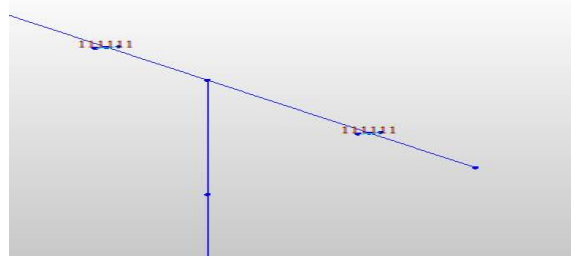
Para conectar la superestructura con la subestructura se utilizaron elementos de conexión elástico tipo Elastic link, que simulan la conexión de las vigas con la viga cabezal y en los estribos con los apoyos de neopreno tomando sus valores de rigidez de la tesis de (Rodriguez & Urrea, 2020), estos a su vez están conectados con elementos de rigidez infinita tipo rigid link en la que se intenta simular una conexión total en todos sus elementos siendo estos valores de rigidez axial de 89100 kN/m y rigidez lateral 4304 kN/m.

Figura 11.

Detalle modelamiento links elásticos.



Nota. Tomado de: (Technology, 2022).

Figura 12.*Detalle modelamiento links rígidos**Nota.* Tomado de: (Technology, 2022).**4.5 Asignación de cargas y verificación de carga muerta**

Una vez completado el modelamiento del puente, de manera manual se calculo el peso propio de la estructura con los siguientes resultados:

Tabla 2.*Calculo manual del peso de la estructura.*

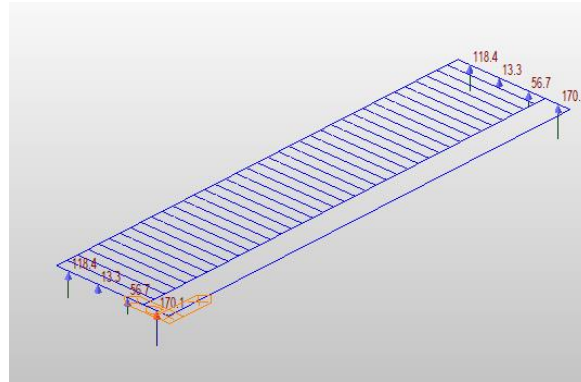
Elemento	Valor
# Vigas	8
Longitud vigas [m]	37.95
Area Transversal vigas [m ²]	0.554
Area transversal losa [m ²]	1.982
Area transversal Riostras [m ²]	0.33
Longitud Riostras [m]	7.8
# Riostras	10
Densidad concreto [kN/m ³]	23.6
Total peso propio losa kN	3550.2
Total peso propio Vigas [kN]	3969.4
Total peso propio Riostras[kN]	607.5
área de la viga cabezal [m ²]	2.55
Longitud viga cabezal [m]	9.91

Elemento	Valor
área de los pilares [m ²]	1.13
Longitud de los pilares [m ²]	6
Total peso propio viga cabezal [kN]	596.4
Total peso propio pilar [kN]	320.3
Total peso propio [kN]	9043.8
Densidad asfalto [kN/m ³]	14.71
área parapeto [m ²]	0.238
área capa asfáltica [m ²]	0.35
Peso parapeto [kN]	1278.9
Peso capa asfáltica [kN]	195.6
Peso elementos no estructurales [kN]	1474.6
Total peso propio [kN]	10518.4

Después del cálculo manual del peso total del puente como paso intermedio se simularon las reacciones de los elementos no estructurales como parapetos, la capa asfáltica y barandas, mediante un modelo de emparrillado que simula la forma y ubicación de los parapetos y de la capa asfáltica con respecto a la ubicación de las vigas principales, de tal manera que las reacciones resultantes se distribuyan en la viga de forma idealizada, ya lo que el objetivo es distribuir las cargas de los elementos no estructurales sobre los elementos estructurales, entonces el modelo planteado se presenta en la Figura 13.

Figura 13.

Detalle modelamiento de las cargas muertas de los elementos no estructurales



Nota. Tomado de: (Technology, 2022)

Tabla 3.

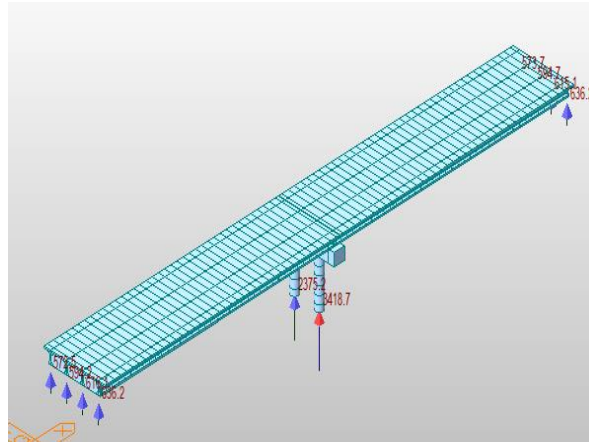
Reacciones pesos de los elementos no estructurales y valor de distribución para los elementos estructurales

	Reacciones [kN]	kN/m
Reacciones a los elementos no estructurales [kN]	118.4	6.2
	13.3	0.7
	56.7	2.98
	170.1	8.95
	118.4	6.2
	13.3	0.7
	56.7	2.98
	170.1	8.95

Dichos valores fueron los introducidos como cargas distribuidas a través de los elementos y dejando como calculo automático de las cargas muertas los elementos estructurales propios del puente. El modelo definitivo del puente es como el que se muestra en la Figura 14.

Figura 14.

Detalle modelamiento estructural y sus reacciones. Fuente:



Nota. Tomado de: (Technology, 2022)

La suma de los valores de las reacciones indica un error de exceso de 1.09%, con respecto al cálculo manual; para fines de investigación el error será despreciable y dentro del rango de error permisible, sea una posible fuente de error el manejo de las cifras significativas del software MIDAS CIVIL. Los apoyos están numerados tomando en consideración su posición respecto a los ejes siendo los del rango A, los apoyos en los estribos cerca del origen sobre el eje X y los del rango B los apoyos sobre los estribos más alejados del eje X, así como el orden incrementa desde el más cerca sobre el eje Y hasta el más alejado del eje Y.

Tabla 4.

Reacciones de los apoyos debido a la carga muerta.

Apoyos	Reacciones carga muerta
Apoyo pilar 2	2375.2
Apoyo pilar 1	3418.7
apoyo estribo 4.A	572.4

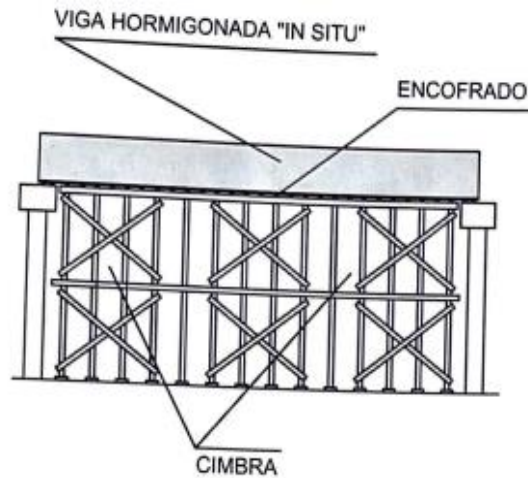
Apoyos	Reacciones carga muerta
apoyo estribo 3.A	594.2
apoyo estribo 2.A	616.1
apoyo estribo 1.A	636.2
apoyo estribo 4.B	573.7
apoyo estribo 3.B	594.7
apoyo estribo 2.B	615.1
apoyo estribo 1.B	636.2
Total peso calculos software [kN]	10632.5
Total peso calculos manuales [kN]	10518.4
Error	-1.09%

4.6 Método constructivo.

El método constructivo para puentes viga losa simplemente apoyados se basa concretamente en dos parámetros que se pueden definir durante su diseño, uno de ellos es la fundida en sitio como se evidencia en la figura 15, apoyadas sobre cimbras o andamios y encofradas in situ, una vez ya establecidos y fundidos los estribos y el pórtico intermedio.

Figura 15.

Detalle sistema constructivo in situ.

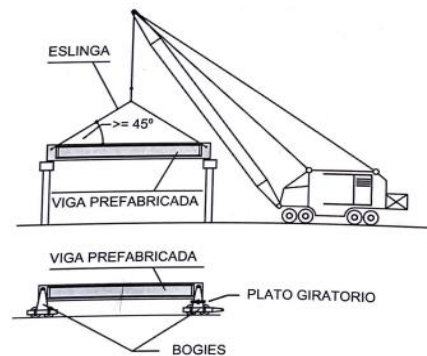


Nota. Tomado de. (Somenson, 2017)

El otro método constructivo se basa en vigas prefabricadas que una vez instaladas sobre los neoprenos con la ayuda de grúas o sistemas mecánicos en los estribos y la pila tipo pórtico quedan simplemente apoyadas como se observa en la figura 10.

Figura 16.

Detalle sistema constructivo prefabricado.



Nota. Tomado de. (Somenson, 2017)

4.7 Parámetros de selección de los registros sísmicos

Los registros seleccionados hacen parte de los archivos del SGC registrados en sus estaciones de monitoreo en todo el ancho del territorio colombiano y algunos de ellos tomados para el estudio previo de la tesis de (Fernandez Wilches & Ardila Hurtado, 2020). Los registros fueron medidos entre el 1 de junio de 1993 hasta el 30 de abril de 2020 y previamente se le trataron las señales, de manera que estuvieran totalmente corregidos para el escalado y posteriormente modelarlos en MIDAS CIVIL.

A continuación, se enumera la lista de criterios a tener en cuenta en la selección de los registros sísmicos en su componente vertical del caso de estudio (Elnashai & Di Sarno, 2015).

- I. Distancia epicentral: Distancia entre la estación de medición de los registros y el epicentro de los movimientos del suelo.
- II. Aceleración pico efectiva (PGA): Máxima aceleración registrada en los movimientos del suelo por parte de las estaciones de medición.
- III. Intervalo entre picos: Diferencia de tiempo entre los valores máximos registrados de aceleración, velocidad y desplazamientos de las componentes de los sismos de cada evento registrado.[14]
- IV. Relación V/H: Relación entre la aceleración vertical del suelo durante un sismo registrado con respecto a su aceleración horizontal.

Los sismos tenidos en cuenta para el análisis y escalado son lo que comprenden entre 4.0 a 7.0 en magnitud de momento, distancias epicentrales menores a 50km y con una aceleración pico horizontal (PGAH) mayores a 0.02 g, además de su relación V/H de los registros y su intervalo entre picos horizontales y verticales como cuantificación adicional.

4.8 Espectro de diseño de caracterización sísmica

En este estudio se escogió como ubicación teórica del puente la ciudad de Bucaramanga, con perfil de suelo tipo C, para estimar sus factores de sitio según la norma CCP14 mostrados en la tabla 5 como se muestra a continuación:

Tabla 5.

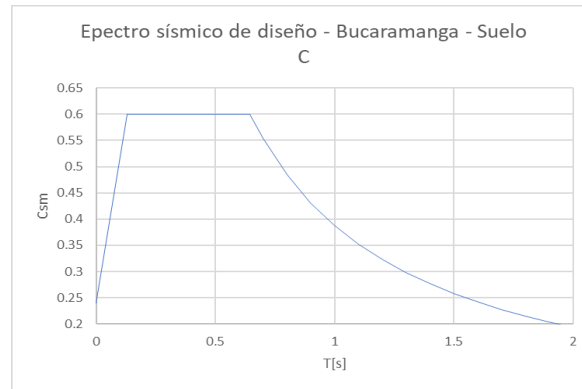
Factores de sitio según CCP14.

Coefficientes	
PGA sitio	0.2
Ss	0.5
S1	0.25
Factores del sitio	
Fpga	1.2
Fa	1.2
Fv	1.55

Utilizando los factores de sitio antes mencionados se construyó el espectro de diseño característico de la ciudad de Bucaramanga mostrado en la figura 17 para implementarlo de manera preliminar con el método modal espectral del software para evaluar modos y frecuencias, en el caso de estudio se evaluaron 30 modos de vibración y el periodo natural de vibración del puente.

Figura 17.

Espectro de diseño para la ciudad de Bucaramanga, suelo tipo C.



4.9 Escalamiento y ajuste de los registros sísmicos

En diversas situaciones se hace necesario emplear registros obtenidos en campo, empleando el análisis tiempo historia ajustado al terreno, la zona a analizar, en las cuales estos estén escalados en los periodos de importancia (CCP-14, 2014). En diversos códigos este intervalo varía entre $0.2T$ a $2T$ como en el caso de (Eurocode, 2004), siendo T el periodo natural de la estructura. En el caso de las recomendaciones de (ASCE/SEI, 2007), este sugiere que el periodo de importancia se encuentre entre $0.2T$ a $1.5 T$.

Para el caso de estudio los intervalos de importancia van desde $0.2T$ a $1.5T$ del ASCE, una vez implementado el código de tratamiento de señales [11], con los datos de las componentes EW, NS, V y el vector tiempo, se calculó la media geométrica de las componentes horizontales (Ec.1) y se multiplicó por un valor de escala de tal manera que el error cuadrático medio (Ec.2) se ajustara al menor error posible entre el registro sísmico y el valor del espectro de diseño caracterizado del lugar de estudio.

$$SRSS = ESC \sqrt{\sum_{i=1}^n E^2_i} \quad \text{Ec.1}$$

Siendo: $n \rightarrow$ Cantidad de datos

$E_i \rightarrow$ datos a combinar

$ESC \rightarrow$ Valor de escala

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_0)^2}{n}} \quad \text{Ec.2}$$

Siendo: $n \rightarrow$ Numero de intervalos o pasos

$x_0 \rightarrow$ dato actual

$x_1 \rightarrow$ Dato siguientes

4.10 Selección de los registros sísmicos

Como inconveniente durante la selección de los registros para el estudio se encontró que la mayoría de los sismos presentaban factores de escala mayores a 2.5 e inmediatamente descartados para su selección, además se contrastaron visualmente los espectros de aceleraciones escalados. En la tabla 6 se describen los sismos seleccionados.

Tabla 6.*Registros sísmicos seleccionados.*

Sismo	Córdoba, Quindío	Calima, Valle del Cauca	Mesetas, Meta
Fecha y Hora	25/01/1999 18:19	24/12/1999 18:40	24/12/2019 19:03
MI	6.3	6.6	6.0
ID	R1	R2	R3
Prof [Km]	0	102	13
Dist. Epic [Km]	28.85	47.44	18.00
PGA HMG [g]	0.61	0.11	0.18
PGA V [g]	0.19	0.08	0.27
V/HMG	0.31	0.73	1.50
Δt_{EW}	0.01	7.77	1.49
Δt_{NS}	0.79	8.46	0.98

4.11 Paralelo de respuestas sísmicas

Para poder comparar los cambios que produce una componente sobre otra, primero se han establecido puntos esenciales y de enfoque sobre la estructura, ya sea en la subestructura o la superestructura, que permitieron una comparación de los resultados de los efectos que producen los diferentes movimientos sobre los elementos del puente, la Ec.3 equivale a la diferencia absoluta al incluir (V) y las componentes horizontales más las cargas muertas (D+H). La Ec.4 representa dichos cambios en forma porcentual con respecto a la componente horizontal más la carga muerta.

$$\Delta 1 = (D + H + V) - (D + H) \quad \text{Ec.3}$$

$$\Delta 2 = \frac{(D + H + V) - (D + H)}{(D + H)} * 100 \quad \text{Ec.4}$$

Siendo:

(D+H) Los efectos de las componentes horizontales del sismo adicionado con las cargas muertas.

(D+H+V) Los efectos de las componentes horizontales del sismo adicionado con las cargas muertas y la respuesta de la componente vertical.

4.12 Elementos de análisis principales

Los principales elementos para analizar en la estructura establecidos fueron los apoyos en los que reposan las vigas sobre los estribos y la pila, el centro de luz de las vigas y el centro de luz del pórtico intermedio, y los puntos de unión de la viga cabezal con las pilas incluyendo los apoyos empotrados en la base de las pilas como se presenta en la Figura 18 y la Figura 19.

Figura 18.

Puntos de interés para análisis comparativo en la subestructura.

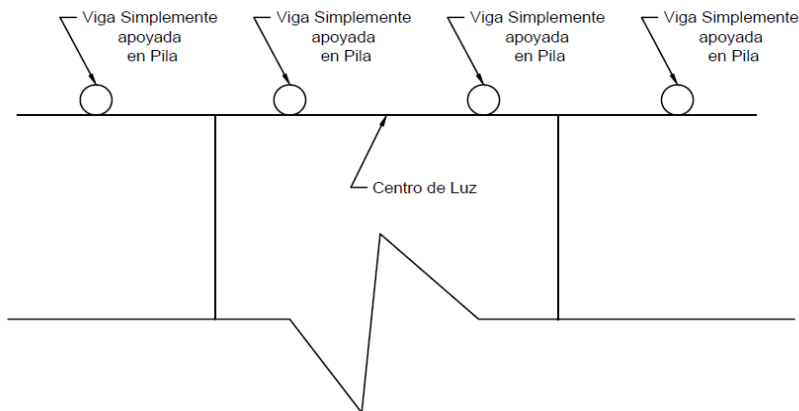
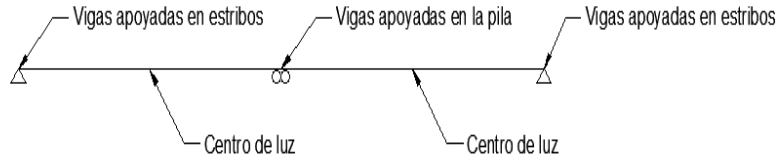


Figura 19.

Puntos de interés para análisis comparativo en la superestructura.



5. Analisis y Resultados

5.1 Análisis preliminar modal espectral

En el análisis modal espectral se ha utilizado el espectro de diseño de la ciudad de Bucaramanga con un amortiguamiento de 5% corriendo el programa MIDAS CIVIL con 30 modos de vibración con el objetivo de determinar el porcentaje de participación modal acumulada (%PMMA) para cada grado de libertad (DX, DY, DZ, RX, RY, RZ) y el periodo natural de la estructura para el modo de vibración de mayor participación, los resultados se muestran en las tablas 7, 8 y 9.

Tabla 7.*Periodos de la estructura para cada grado de libertad registro Córdoba.*

RESPUESTA MODAL SEGUN DIRECCION			
Dirección	Modo	T(s)	%PPMA
DX	15	0.225	97.24
DY	5	0.752	92.28
DZ	2	1.027	83.21
RX	30	0.063	83.95
RY	8	0.444	92.94
RZ	9	0.386	95.08

Tabla 8.*Periodos de la estructura para cada grado de libertad registro Calima.*

RESPUESTA MODAL SEGUN DIRECCION			
Dirección	Modo	T(s)	%PPMA
DX	15	0.225	97.24
DY	5	0.752	92.28
DZ	14	0.258	89.85
RX	30	0.063	83.95
RY	8	0.444	92.94
RZ	9	0.386	73.55

Tabla 9.*Periodos de la estructura para cada grado de libertad registro Mesetas.*

RESPUESTA MODAL SEGUN DIRECCION			
Dirección	Modo	T(s)	%PPMA
DX	15	0.226	96.90
DY	5	0.736	92.34
DZ	3	0.869	83.3
RX	30	0.061	28.8
RY	30	0.061	30.73
RZ	30	0.061	0.13

El periodo natural de mayor participación en dirección rotacional (DY) fue obtenido de los modos 5 y 6, y con un valor de $T=0.752$ s, $T=0.752$ s, $T=0.736$ s.

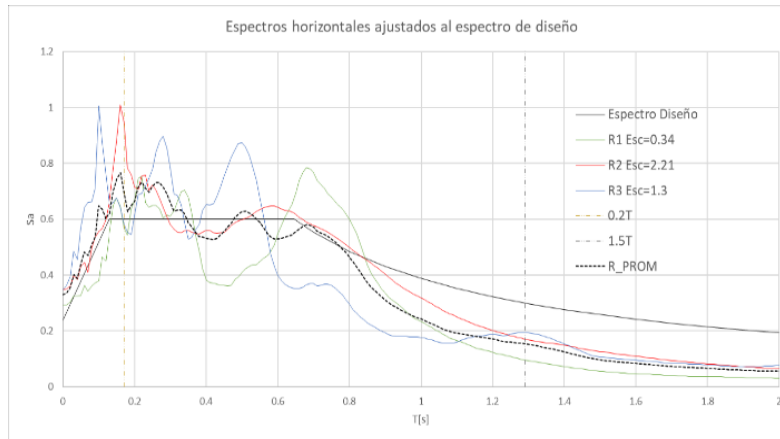
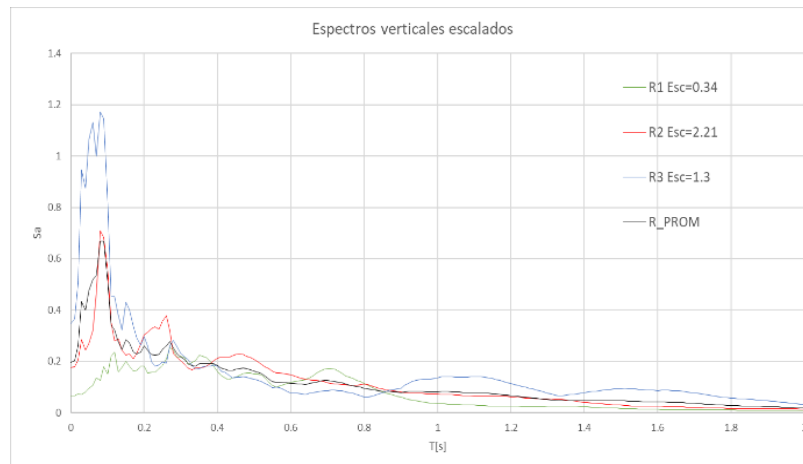
5.2 Registros sísmicos escalados

En el procedimiento descrito en el numeral 2.9 de este artículo, se combinaron de las componentes sísmicas horizontales con el objetivo de reducir el error cuadrático medio (RMSE) en los rangos de periodos de importancia. Los resultados obtenidos para cada registro sísmico están plasmados en la tabla 10. Donde describen los valores de error cuadrático medio y el valor de la escala que mejor ajusta los registros. Igualmente, en la tabla 10, se han concentrado los espectros sísmicos horizontales escalados y en la figura y, los espectros sísmicos verticales escalados para cada uno de los registros seleccionados.

Tabla 10.

Escalas seleccionadas con el menor error cuadrático.

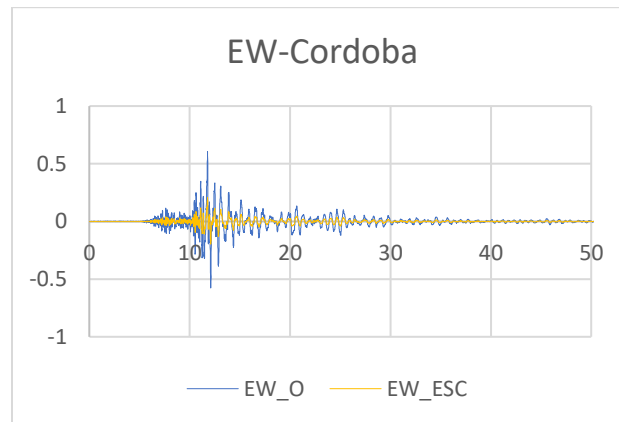
Registro	SRSS		RMSE
	ID	Escala	
Córdoba	R1	0.34	0.156
Calima	R2	2.21	0.078
Mesetas	R3	1.30	0.178

Figura 20.*Espectros sísmicos horizontales escalados.***Figura 21.***Espectros sísmicos verticales escalados.*

De manera individual también se muestra desde la figura 21 hasta la figura 29, los registros escalados y no escalados para cada una de las componentes sísmicas de los 3 registros seleccionados.

Figura 22.

Componente EW original y escalada para R1.

**Figura 23.**

Componente NS original y escalada para R1.

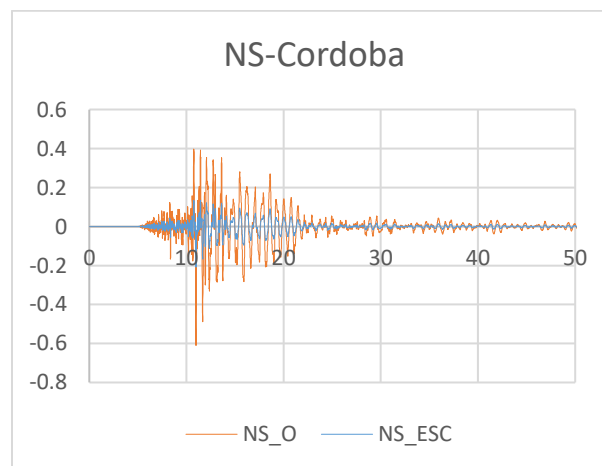
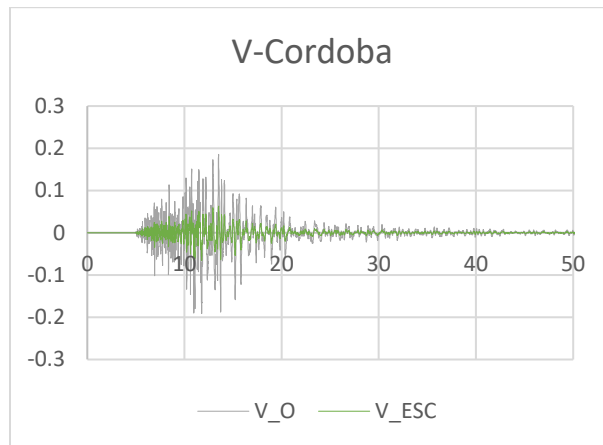


Figura 24.

Componente V original y escalado para R1.

**Figura 25.**

Componente EW original y escalada para R2.

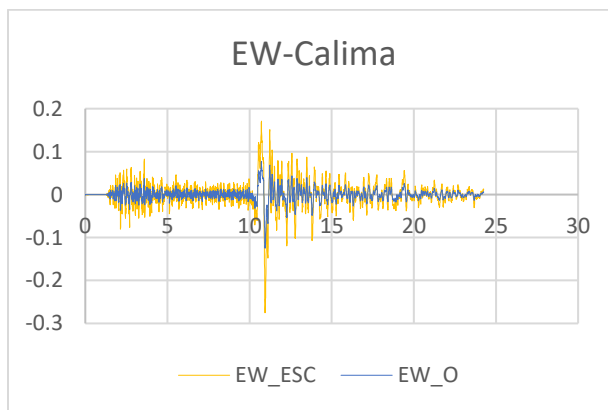
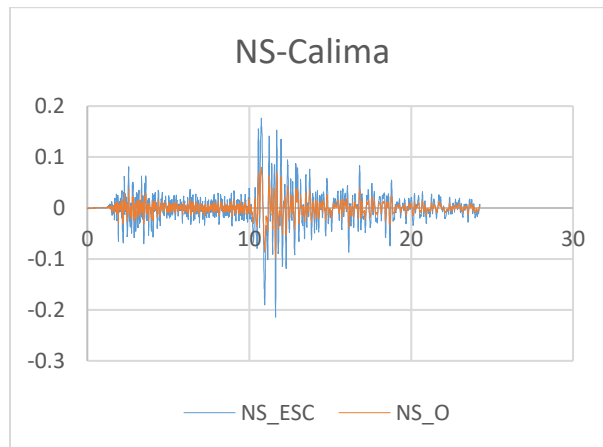


Figura 26.

Componente NS original y escalada para R2.

**Figura 27.**

Componente V original y escalado para R2.

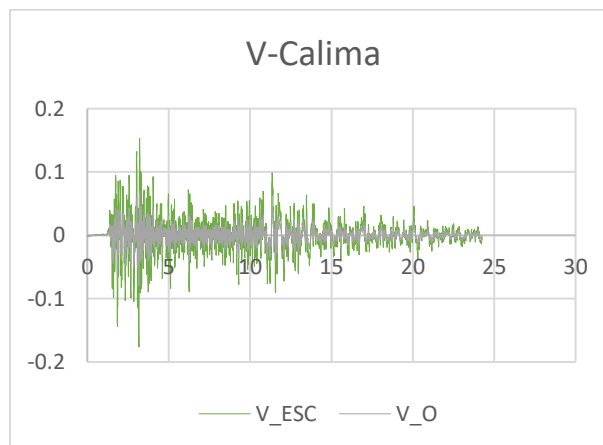
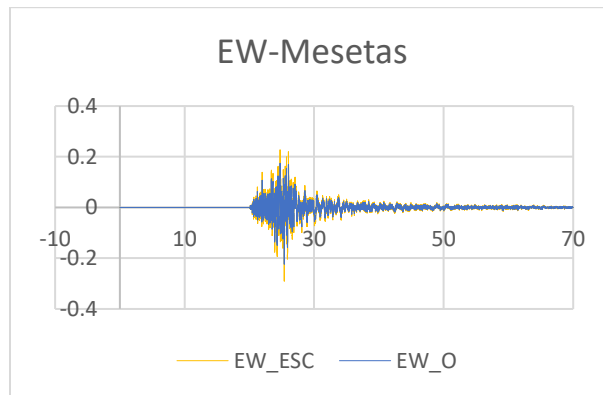
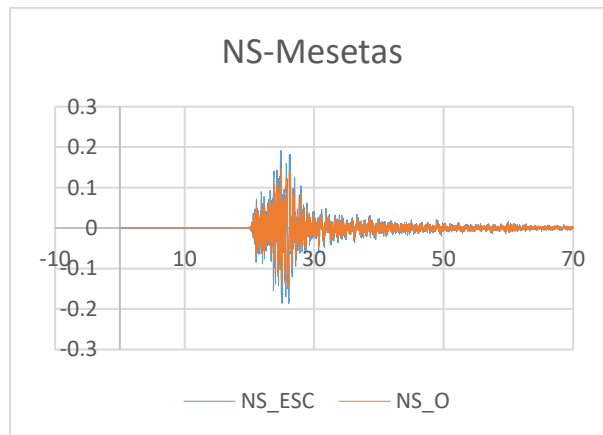


Figura 28.

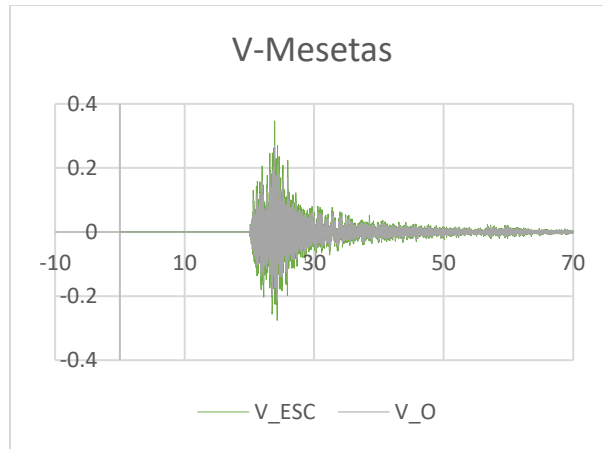
Componente EW original y escalada para R3.

**Figura 29.**

Componente NS original y escalada para R3.

**Figura 30.**

Componente V original y escalado para R3.



5.3 Respuestas sísmicas en la superestructura

5.3.1 Fuerzas internas en vigas

Una vez realizados los cálculos en el software para cada uno de los registros se han tomado los compilados de sus fuerzas internas y sus deformaciones, en los puntos objetivos escogidos como lo son sus centros de luz y en los puntos de apoyo sobre los estribos y viga cabezal, mostrados en las tablas 11 a la 46.

Tabla 11.

Variación de fuerzas internas en el centro de luz 1 R1.

Registro Córdoba				
Elemento	Centro de luz 1			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$
Axial[kN]	-4.99	4.96	-4.96	-4.96
Cortante Y [KN]	-0.02	0.06	0.06	0.07
Cortante Z[KN]	0.23	0.22	0.22	0.23
Torsion [KN*m]	-0.05	-0.02	-0.02	-0.03
Momento Y [KN*m]	34.43	23.03	-23.02	-22.97

Tabla 12.*Variación porcentual de fuerzas internas en el centro de luz 1 R1.*

Registro Córdoba				
Elemento	Centro de luz 1			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$
Axial[kN]	-1.11%	0.53%	-0.54%	-0.58%
Cortante Y [KN]	1.79%	-0.40%	-2.16%	0.19%
Cortante Z[KN]	-1.87%	-0.15%	-0.13%	0.10%
Torsion [KN*m]	-1.79%	-0.65%	-0.34%	0.02%
Momento Y [KN*m]	0.69%	0.46%	-0.45%	-0.46%

Tabla 13.*Variación de fuerzas internas en el centro de luz 2 R1.*

Registro Cordoba				
Elemento	Centro de luz 2			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$
Axial[kN]	-4.94	-4.95	-4.94	1.64
Cortante Y [KN]	-0.08	-0.06	-0.06	-0.07
Cortante Z[KN]	0.20	0.00	0.02	0.02
Torsion [KN*m]	0.04	0.02	-0.01	-0.03
Momento Y [KN*m]	-34.41	-34.46	-34.46	-34.42

Tabla 14.*Variación porcentual de fuerzas internas en el centro de luz 2 R1.*

Registro Cordoba				
Elemento	Centro de luz 2			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$
Axial[kN]	-8.23%	0.46%	-0.12%	-3.19%
Cortante Y [KN]	-0.57%	1.05%	0.61%	1.94%
Cortante Z[KN]	-0.27%	0.01%	-0.04%	2.70%
Torsion [KN*m]	-0.68%	-0.68%	-0.69%	-0.67%
Momento Y [KN*m]	0.75%	-2.55%	0.51%	0.81%

Tabla 15.*Variación de fuerzas internas en el centro de luz 1 R2.*

Registro Calima				
Elemento	Centro de luz 1			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$
Axial[kN]	-6.05	-6.04	-6.03	32.37
Cortante Y [KN]	0.01	-0.03	0.03	-0.26
Cortante Z[KN]	-0.02	-0.01	-0.01	-0.06
Torsion [KN*m]	0.02	0.01	-0.02	0.16
Momento Y [KN*m]	-34.78	-34.81	-34.80	186.88

Tabla 16.*Variación porcentual de fuerzas internas en el centro de luz 1 R2.*

Registro Calima				
Elemento	Centro de luz 1			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$
Axial[kN]	-0.61%	-0.51%	-0.63%	3.38%
Cortante Y [KN]	-3.48%	0.56%	-1.06%	-5.11%
Cortante Z[KN]	-1.64%	-1.20%	-0.47%	85.66%
Torsion [KN*m]	0.98%	0.25%	1.41%	-0.25%
Momento Y [KN*m]	-0.73%	-0.74%	-0.75%	3.79%

Tabla 17.*Variación de fuerzas internas en el centro de luz 2 R2.*

Registro Calima				
Elemento	Centro de luz 2			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$
Axial[kN]	-6.06	-6.04	32.64	-6.03
Cortante Y [KN]	0.01	-0.03	-0.16	-0.01
Cortante Z[KN]	-0.02	0.00	0.03	-0.02
Torsion [KN*m]	0.03	0.01	0.09	-0.03

Registro Calima				
Elemento	Centro de luz 2			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$
Momento Y [KN*m]	-34.78	-34.81	186.73	-34.76

Tabla 18.

Variación porcentual de fuerzas internas en el centro de luz 2 R2.

Registro Calima				
Elemento	Centro de luz 2			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$
Axial[kN]	-0.57%	-0.51%	3.52%	-0.66%
Cortante Y [KN]	-2.99%	0.24%	0.32%	-0.94%
Cortante Z[KN]	-2.57%	-1.73%	2.99%	-1.68%
Torsion [KN*m]	0.96%	0.34%	-8.81%	1.61%
Momento Y [KN*m]	-0.73%	-0.74%	3.90%	-0.65%

Como se evidencia en las tablas 11 a la 18 los registros R1 y R2 se evidencia una variación porcentual mínima en las fuerzas axiales y momentos alrededor del eje transversal de los centros de luz de la estructura con valores entre -0.73% y -8.23%, es decir, los momentos y cortantes en los registros R1 y R2, disminuyen en una proporción menor al 1.00%.

Tabla 19.

Variación de fuerzas internas en el centro de luz 1 R3.

Registro Mesetas				
Elemento	Centro de luz 1			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$
Axial[kN]	32.61	32.69	32.64	32.37
Cortante Y [KN]	0.25	0.17	-0.18	-0.26
Cortante Z[KN]	-0.06	0.01	0.02	-0.06

Registro Mesetas				
Elemento	Centro de luz 1			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$
Torsion [KN*m]	-0.13	-0.08	0.11	0.16
Momento Y [KN*m]	187.19	186.92	186.80	186.88

Tabla 20.

Variación porcentual de fuerzas internas en el centro de luz 1 R3.

Registro Mesetas				
Elemento	Centro de luz 1			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$
Axial[kN]	3.49%	3.40%	3.53%	3.38%
Cortante Y [KN]	-10.83%	-4.18%	-13.14%	-5.11%
Cortante Z[KN]	8.05%	3.27%	3.16%	85.66%
Torsión [KN*m]	-4.98%	-2.71%	-28.65%	-0.25%
Momento Y [KN*m]	3.41%	3.51%	3.78%	3.79%

Tabla 21.

Variación de fuerzas internas en el centro de luz 2 R3.

Registro Mesetas				
Elemento	Centro de luz 2			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$
Axial[kN]	32.61	32.69	32.64	32.37
Cortante Y [KN]	0.26	0.18	-0.16	-0.24
Cortante Z[KN]	-0.04	0.06	0.03	-0.05
Torsión [KN*m]	-0.15	-0.09	0.09	0.14
Momento Y [KN*m]	187.12	186.86	186.73	186.81

Tabla 22.*Variación porcentual de fuerzas internas en el centro de luz 2 R3.*

Registro Mesetas				
Elemento	Centro de luz 2			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$
Axial[kN]	3.49%	3.38%	3.52%	4.46%
Cortante Y [KN]	-5.90%	-0.92%	0.32%	-26.32%
Cortante Z[KN]	8.76%	2.18%	2.99%	8.89%
Torsion [KN*m]	-4.97%	-1.57%	-8.81%	-7.37%
Momento Y [KN*m]	3.61%	3.61%	3.90%	4.04%

Sin embargo, en las tablas 19 y 20, así mismo en las tablas 21 y 22, del registro R3, sus fuerzas axiales y momentos transversales presentan aumentos que oscilan entre 3.38% y el 3.79%, y una disminución en sus fuerzas cortantes y torsionales en el rango de 0.25% al 28.65%, esa misma tendencia se repite en el centro de luz 2, con rangos de 3.52% a 4.46% para sus fuerzas axiales y momentos transversales, sin embargo, los valores que varían son muy pequeños, que se podría inducir al error con esas variaciones.

Tabla 23.*Variación de fuerzas internas de las vigas sobre el estribo 1 R1.*

Registro Córdoba				
Elemento	Vigas sobre Estribo 1			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$
Axial[kN]	-5.43	-5.44	-5.44	-5.44
Cortante Y [KN]	0.01	0.01	-0.01	-0.01
Cortante Z[KN]	3.49	3.49	3.48	3.48
Torsión [KN*m]	-0.01	-0.01	0.01	0.01
Momento Y [KN*m]	3.3	3.305	3.31	3.305

Tabla 24.*Variación porcentual de fuerzas internas de las vigas sobre el estribo 1 R1.*

Registro Córdoba				
Elemento	Vigas sobre Estribo 1			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$
Axial[kN]	-0.79%	-0.76%	-0.46%	-0.45%
Cortante Y [KN]	-0.01%	-0.01%	0.01%	0.01%
Cortante Z[KN]	0.55%	0.59%	0.61%	0.61%
Torsion [KN*m]	-0.02%	-0.02%	0.02%	0.02%
Momento Y [KN*m]	-0.87%	-0.84%	-0.48%	-0.47%

Tabla 25.*Variación de fuerzas internas de las vigas sobre el estribo 1 R2.*

Registro Calima				
Elemento	Vigas sobre Estribo 1			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$
Axial[kN]	-6.13	-6.14	-6.15	-6.15
Cortante Y [KN]	0	0	0	0
Cortante Z[KN]	-3.61	-3.61	-3.6	-3.6
Torsion [KN*m]	0	0	0	0
Momento Y [KN*m]	3.56	3.57	3.57	3.58

Tabla 26.*Variación porcentual de fuerzas internas de las vigas sobre el estribo 1 R2.*

Registro Calima				
Elemento	Vigas sobre Estribo 1			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$
Axial[kN]	-0.61%	-0.61%	-0.63%	-0.47%
Cortante Y [KN]	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Cortante Z[KN]	-0.56%	-0.58%	-0.59%	-0.60%
Torsión [KN*m]	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Momento Y [KN*m]	-0.61%	-0.62%	-0.63%	-0.47%

Tabla 27.*Variación de fuerzas internas de las vigas sobre en el estribo 1.*

Registro Mesetas				
Elemento	Vigas sobre Estribo 1			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$
Axial[kN]	32.84	32.89	32.93	32.94
Cortante Y [KN]	0.02	0.02	0.03	0.03
Cortante Z[KN]	-18.96	-18.96	-18.95	-18.92
Torsión [KN*m]	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02
Momento Y [KN*m]	-19.175	-19.205	-19.235	-19.245

Tabla 28.*Variación porcentual de fuerzas internas de las vigas sobre en el estribo 1 R3.*

Registro Mesetas				
Elemento	Vigas sobre Estribo 1			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$
Axial[kN]	4.08%	4.09%	3.31%	3.03%
Cortante Y [KN]	0.04%	0.04%	0.06%	0.06%
Cortante Z[KN]	-3.28%	-3.12%	-3.23%	-3.03%
Torsión [KN*m]	0.03%	0.06%	0.06%	0.06%
Momento Y [KN*m]	4.24%	4.23%	3.35%	3.04%

En las vigas apoyadas en el estribo 1, los valores observados en el centro de luz también presentan la misma tendencia en esta zona de la estructura, con valores mínimos porcentuales en los registros R1y R2, y un leve aumento en las fuerzas axiales y momentos entre 3.03% a 4.24% en el registro R3 y sus fuerzas cortantes disminuyeron a valores entre 3.03% al 3.28%.

Tabla 29.*Variación de fuerzas internas de las vigas sobre en el estribo 2 R1.*

Registro Córdoba				
Elemento	Vigas sobre Estribo 2			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$
Axial[kN]	-5.42	-5.41	-5.4	5.38
Cortante Y [KN]	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
Cortante Z[KN]	-3.5	-3.5	-3.5	-3.49
Torsión [KN*m]	0.01	0.01	0.01	0.01
Momento Y [KN*m]	3.315	3.305	3.305	-0.055

Tabla 30.*Variación porcentual de fuerzas internas de las vigas sobre en el estribo 2 R1.*

Registro Córdoba				
Elemento	Vigas sobre Estribo 2			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$
Axial[kN]	-0.45%	-0.46%	-0.76%	0.78%
Cortante Y [KN]	0.09%	0.09%	0.09%	0.09%
Cortante Z[KN]	-0.59%	-0.57%	-0.55%	-0.55%
Torsión [KN*m]	0.15%	0.15%	0.15%	0.15%
Momento Y [KN*m]	-0.46%	-0.47%	-0.81%	-0.06%

Tabla 31.*Variación de fuerzas internas de las vigas sobre en el estribo 2 R2.*

Registro Calima				
Elemento	Vigas sobre Estribo 2			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$
Axial[kN]	-6.15	-6.15	-6.14	-6.14
Cortante Y [KN]	0	0	0	0
Cortante Z[KN]	-3.59	-3.59	-3.6	-3.6
Torsion [KN*m]	0	0	0	0
Momento Y [KN*m]	3.655	3.645	3.645	3.64

Tabla 32.*Variación porcentual de fuerzas internas de las vigas sobre en el estribo 2 R2.*

Registro Calima				
Elemento	Vigas sobre Estribo 2			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$
Axial[kN]	-0.47%	-0.48%	-0.47%	-0.61%
Cortante Y [KN]	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Cortante Z[KN]	-0.64%	-0.62%	-0.60%	-0.60%
Torsion [KN*m]	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Momento Y [KN*m]	-0.47%	-0.59%	-0.47%	-0.61%

Tabla 33.*Variación de fuerzas internas de las vigas sobre en el estribo 2 R3.*

Registro Mesetas				
Elemento	Vigas sobre Estribo 2			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$
Axial[kN]	32.94	32.92	32.9	32.87
Cortante Y [KN]	-0.03	-0.03	-0.02	-0.02
Cortante Z[KN]	-18.97	-18.99	-19.01	-19.01
Torsión [KN*m]	0.02	0.02	0.01	0.01
Momento Y [KN*m]	-19.61	-19.6	-19.585	-19.565

Tabla 34.*Variación porcentual de fuerzas internas de las vigas sobre en el estribo 2 R3.*

Registro Mesetas				
Elemento	Vigas sobre Estribo 2			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$
Axial[kN]	3.03%	3.04%	3.68%	4.09%
Cortante Y [KN]	0.06%	0.06%	0.04%	0.04%
Cortante Z[KN]	-3.03%	-3.18%	-3.08%	-3.28%
Torsion [KN*m]	0.06%	0.06%	0.03%	0.03%
Momento Y [KN*m]	3.04%	3.05%	3.74%	4.19%

La misma tendencia que se observa en las fuerzas internas en el estribo 1, se presentan sobre el estribo 2 en los registros R1, R2, con valores de aumento en fuerzas cortantes transversales y torsionales mínimos porcentuales, así como sus aumentos en el registro R3 para sus momentos transversales y fuerzas axiales en sus elementos.

Tabla 35.

Variación de fuerzas internas de las vigas de luz 1 sobre la pila R1.

Registro Córdoba				
Elemento	Viga luz 1 sobre pila			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$
Axial[kN]	5.38	-5.38	-5.39	-5.39
Cortante Y [kN]	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02
Cortante Z[kN]	3.47	-3.49	-3.49	-3.47
Torsión [kN*m]	0.01	0.01	0.01	0.01
Momento Y [kN*m]	-3.285	3.295	3.295	3.295

Tabla 36.

Variación porcentual de fuerzas internas de las vigas de luz 1 sobre la pila R1.

Registro Córdoba				
Elemento	Viga luz 1 sobre pila			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$
Axial[kN]	0.59%	-0.58%	-0.56%	-0.56%
Cortante Y [kN]	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%
Cortante Z[kN]	0.60%	-0.61%	-0.55%	-0.57%
Torsión [kN*m]	-0.02%	-0.02%	-0.02%	-0.02%
Momento Y [kN*m]	0.61%	-0.60%	-0.58%	-0.58%

Tabla 37.*Variación de fuerzas internas de las vigas de luz 1 sobre la pila R2.*

Registro Calima				
Elemento	Viga luz 1 sobre pila			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$
Axial[kN]	-6.13	-6.14	-6.15	-6.16
Cortante Y [KN]	0	0	0.01	-0.01
Cortante Z[KN]	-3.58	-3.6	-3.61	-3.58
Torsión [KN*m]	0	0	0	0
Momento Y [KN*m]	3.635	3.645	3.645	3.655

Tabla 38.*Variación porcentual de fuerzas internas de las vigas de luz 1 sobre la pila R2.*

Registro Calima				
Elemento	Viga luz 1 sobre pila			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$
Axial[kN]	-0.68%	-0.67%	-0.66%	-0.66%
Cortante Y [KN]	0.00%	0.00%	-0.30%	0.30%
Cortante Z[KN]	-0.61%	-0.59%	-0.57%	-0.55%
Torsión [KN*m]	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Momento Y [KN*m]	-0.69%	-0.68%	-0.67%	-0.65%

Tabla 39.*Variación de fuerzas internas de las vigas de luz 1 sobre la pila R3.*

Registro Mesetas				
Elemento	Viga luz 1 sobre pila			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$
Axial[kN]	32.87	32.92	32.96	32.98
Cortante Y [KN]	-0.03	-0.03	0.03	0.03
Cortante Z[KN]	-18.95	-19.07	-19.1	-18.97
Torsión [KN*m]	0.02	0.02	0.02	-0.02
Momento Y [KN*m]	-19.57	-19.595	-19.615	-19.635

Tabla 40.*Variación porcentual de fuerzas internas de las vigas de luz 1 sobre la pila R3.*

Registro Mesetas				
Elemento	Viga luz 1 sobre pila			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$
Axial[kN]	3.44%	3.46%	3.47%	3.43%
Cortante Y [kN]	0.27%	0.27%	-0.27%	-0.27%
Cortante Z[kN]	-3.66%	-3.39%	-3.08%	-3.29%
Torsión [kN*m]	0.29%	0.28%	0.28%	-0.29%
Momento Y [kN*m]	3.55%	3.50%	3.51%	3.48%

Tabla 41.*Variación de fuerzas internas de las vigas de luz 1 sobre la pila R1.*

Registro Córdoba				
Elemento	Viga luz 2 sobre pila			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$
Axial[kN]	-5.4	-5.37	-5.39	5.38
Cortante Y [kN]	0.02	0.02	0.02	0.02
Cortante Z[kN]	-3.5	-3.47	-3.5	3.47
Torsión [kN*m]	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
Momento Y [kN*m]	3.28	3.26	0.08	-3.265

Tabla 42.*Variación porcentual de fuerzas internas de las vigas de luz 1 sobre la pila R1.*

Registro Córdoba				
Elemento	Viga luz 2 sobre pila			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$
Axial[kN]	-0.56%	-0.55%	-0.58%	0.59%
Cortante Y [kN]	0.18%	0.19%	0.19%	0.19%
Cortante Z[kN]	-0.55%	-0.53%	-0.61%	0.63%
Torsión [kN*m]	0.15%	0.15%	0.15%	0.15%
Momento Y [kN*m]	-0.60%	-0.59%	0.04%	0.63%

Tabla 43.*Variación de fuerzas internas de las vigas de luz 2 sobre la pila R2.*

Registro Calima				
Elemento	Viga luz 2 sobre pila			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$
Axial[kN]	-6.16	-6.15	-6.14	-6.13
Cortante Y [kN]	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
Cortante Z[kN]	-3.6	-3.62	-3.61	-3.59
Torsión [kN*m]	0	0	0	0
Momento Y [kN*m]	3.58	3.57	3.57	3.565

Tabla 44.*Variación porcentual de fuerzas internas de las vigas de luz 2 sobre la pila R2.*

Registro Calima				
Elemento	Viga luz 2 sobre pila			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$
Axial[kN]	-0.66%	-0.66%	-0.67%	-0.65%
Cortante Y [kN]	-0.32%	-0.31%	-0.31%	-0.32%
Cortante Z[kN]	-0.54%	-0.55%	-0.57%	-0.59%
Torsión [kN*m]	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Momento Y [kN*m]	-0.65%	-0.68%	-0.68%	-0.68%

Tabla 45.*Variación de fuerzas internas de las vigas de luz 2 sobre la pila R3.*

Registro Mesetas				
Elemento	Viga luz 2 sobre pila			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$
Axial[kN]	32.98	32.96	32.92	32.87
Cortante Y [kN]	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04
Cortante Z[kN]	-18.91	-19.04	-19.01	-18.9
Torsión [kN*m]	0.02	0.02	0.02	0.02
Momento Y [kN*m]	-19.26	-19.24	-19.22	-19.195

Tabla 46.

Variación porcentual de fuerzas internas de las vigas de luz 1 sobre la pila R3.

Registro Mesetas				
Elemento	Viga luz 2 sobre pila			
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4
Carga	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$
Axial[kN]	3.44%	3.51%	3.51%	3.53%
Cortante Y [kN]	-0.36%	-0.36%	-0.36%	-0.36%
Cortante Z[kN]	-2.77%	-2.94%	-3.23%	-3.03%
Torsión [kN*m]	-0.29%	-0.29%	-0.29%	-0.29%
Momento Y [kN*m]	3.48%	3.55%	3.58%	3.60%

En general sobre los elementos que reposan sobre la subestructura los registros R1 y R2, la suma de los efectos presenta disminuciones en sus fuerzas axiales y momentos en el orden de 0.65% a 0.69% en sus valores de magnitud y en el registro R3, en tendencia con los efectos generados en los demás elementos de la superestructura sus fuerzas axiales incrementan entre 3.4% y 3.51%, y valores similares en sus momentos transversales.

5.3.2 Deformaciones en vigas

Tabla 47.

Variación de deformaciones de las vigas sobre las dos luces R1.

Registro Córdoba								
	Nodos	Carga	DX [m]	DY [m]	DZ [m]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
Centro de luz 1	Viga 1	$\Delta 1$	-2E-06	-3E-06	0.001678	1E-06	0	0
	Viga 2	$\Delta 1$	-1E-06	-3E-06	0.001675	1E-06	0	0
	Viga 3	$\Delta 1$	-1E-06	-3E-06	0.001674	-1E-06	0	0
	Viga 4	$\Delta 1$	-1E-06	3E-06	0.001673	-1E-06	0	0
Centro de luz 2	Viga 1	$\Delta 1$	1E-06	-3E-06	0.001675	-1E-06	1E-06	0
	Viga 2	$\Delta 1$	-1E-06	-3E-06	0.001675	-1E-06	1E-06	0

Registro Córdoba								
	Nodos	Carga	DX [m]	DY [m]	DZ [m]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
	Viga 3	$\Delta 1$	-1E-06	-3E-06	0.001674	-1E-06	-1E-06	0
	Viga 4	$\Delta 1$	-1E-06	-3E-06	-0.001674	-1E-06	-1E-06	0

Tabla 48.

Variación porcentual de deformaciones de las vigas sobre las dos luces R1.

Registro Córdoba								
	Nodos	Carga	DX [m]	DY [m]	DZ [m]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
Centro de luz 1	Viga 1	$\Delta 2$	0.06%	0.01%	-0.44%	0.03%	0.00%	0.00%
	Viga 2	$\Delta 2$	0.03%	0.01%	-0.45%	0.03%	0.00%	0.00%
	Viga 3	$\Delta 2$	-0.30%	0.01%	-0.45%	-0.03%	0.00%	0.00%
	Viga 4	$\Delta 2$	-0.28%	-0.01%	-0.46%	-0.03%	0.00%	0.00%
Centro de luz 2	Viga 1	$\Delta 2$	0.27%	0.01%	-0.44%	-0.03%	-100.00%	0.00%
	Viga 2	$\Delta 2$	-0.28%	0.01%	-0.44%	-0.03%	-1.59%	0.00%
	Viga 3	$\Delta 2$	0.03%	0.01%	-0.45%	-0.03%	1.61%	0.00%
	Viga 4	$\Delta 2$	0.03%	0.01%	0.46%	-0.03%	1.82%	0.00%

Tabla 49.

Variación de deformaciones de las vigas sobre las dos luces R2.

Registro Calima								
	Nodos	Carga	DX [m]	DY [m]	DZ [m]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
Centro de luz 1	Viga 1	$\Delta 1$	0	2E-06	0.002349	-1E-06	0	0
	Viga 2	$\Delta 1$	0	2E-06	0.002347	-1E-06	0	0
	Viga 3	$\Delta 1$	0	2E-06	0.002346	1E-06	0	0
	Viga 4	$\Delta 1$	0	2E-06	0.002344	1E-06	0	0
Centro de luz 2	Viga 1	$\Delta 1$	0	2E-06	0.002349	-1E-06	1E-06	0
	Viga 2	$\Delta 1$	0	2E-06	0.002347	-1E-06	1E-06	0
	Viga 3	$\Delta 1$	0	2E-06	0.002346	1E-06	1E-06	0
	Viga 4	$\Delta 1$	0	2E-06	0.002344	1E-06	1E-06	0

Tabla 50.*Variación porcentual de deformaciones de las vigas sobre las dos luces R2*

Registro Calima								
	Nodos	Carga	DX [m]	DY [m]	DZ [m]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
Centro de luz 1	Viga 1	$\Delta 2$	0.00%	0.68%	-0.62%	-0.03%	0.00%	0.00%
	Viga 2	$\Delta 2$	0.00%	0.68%	-0.64%	-0.03%	0.00%	0.00%
	Viga 3	$\Delta 2$	0.00%	0.67%	-0.65%	0.03%	0.00%	0.00%
	Viga 4	$\Delta 2$	0.00%	0.66%	-0.67%	0.03%	0.00%	0.00%
Centro de luz 2	Viga 1	$\Delta 2$	0.00%	0.74%	-0.62%	-0.03%	-1.59%	0.00%
	Viga 2	$\Delta 2$	0.00%	0.74%	-0.63%	-0.03%	-1.59%	0.00%
	Viga 3	$\Delta 2$	0.00%	0.73%	-0.64%	0.03%	-0.61%	0.00%
	Viga 4	$\Delta 2$	0.00%	0.72%	-0.63%	0.03%	-1.92%	0.00%

Tabla 51.*Variación de deformaciones de las vigas sobre las dos luces R3.*

Registro Mesetas								
	Nodos	Carga	DX [m]	DY [m]	DZ [m]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
Centro de luz 1	Viga 1	$\Delta 1$	2E-06	8E-06	-0.01222	3E-06	0.000001	0
	Viga 2	$\Delta 1$	2E-06	9E-06	-0.012216	4E-06	1E-06	0
	Viga 3	$\Delta 1$	1E-06	9E-06	-0.012208	5E-06	1E-06	0
	Viga 4	$\Delta 1$	1E-06	9E-06	-0.012196	5E-06	0.000001	0
Centro de luz 2	Viga 1	$\Delta 1$	1E-06	8E-06	-0.01222	3E-06	-3E-06	0
	Viga 2	$\Delta 1$	1E-06	9E-06	-0.012216	3E-06	-3E-06	0
	Viga 3	$\Delta 1$	-2E-06	9E-06	-0.012208	5E-06	-3E-06	0
	Viga 4	$\Delta 1$	-2E-06	9E-06	-0.012197	5E-06	3E-06	0

Tabla 52.*Variación porcentual de deformaciones de las vigas sobre las dos luces R3.*

Registro mesetas								
	Nodos	Carga	DX [m]	DY [m]	DZ [m]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
Centro de luz 1	Viga 1	$\Delta 2$	-0.09%	0.05%	3.03%	0.04%	12.50%	0.00%
	Viga 2	$\Delta 2$	-0.09%	0.06%	3.21%	0.06%	1.79%	0.00%
	Viga 3	$\Delta 2$	-0.05%	0.06%	3.29%	0.07%	-7.69%	0.00%
	Viga 4	$\Delta 2$	0.05%	0.06%	3.22%	0.07%	-5.56%	0.00%
Centro de luz 2	Viga 1	$\Delta 2$	0.05%	0.05%	3.18%	0.04%	2.11%	0.00%
	Viga 2	$\Delta 2$	-0.05%	0.06%	3.16%	0.04%	4.29%	0.00%
	Viga 3	$\Delta 2$	0.09%	0.06%	3.30%	0.07%	4.55%	0.00%
	Viga 4	$\Delta 2$	0.25%	0.06%	3.52%	0.07%	16.67%	0.00%

Tabla 53.*Variación de deformaciones de las vigas sobre estribos R1.*

Registro Córdoba								
	Nodos	Carga	DX [m]	DY [m]	DZ [m]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
Vigas sobre Estribo 1	Viga 1	$\Delta 1$	-6.1E-05	3E-06	-0.000816	-1E-06	-0.000107	0
	Viga 2	$\Delta 1$	-6.1E-05	3E-06	-0.000815	-1E-06	-0.000108	0
	Viga 3	$\Delta 1$	-6.1E-05	-3E-06	-0.000814	1E-06	-0.000107	0
	Viga 4	$\Delta 1$	-6.1E-05	-3E-06	-0.000813	1E-06	-0.000107	0
Vigas sobre Estribo 2	Viga 1	$\Delta 1$	6.1E-05	3E-06	0.000817	-1E-06	-0.000108	0
	Viga 2	$\Delta 1$	6.1E-05	3E-06	0.000817	-1E-06	0.000108	0
	Viga 3	$\Delta 1$	6.1E-05	3E-06	0.000816	1E-06	0.000108	0
	Viga 4	$\Delta 1$	-6E-05	3E-06	0.000815	1E-06	0.000108	0

Tabla 54.*Variación porcentual de deformaciones de las vigas sobre estribos R1.*

Registro Córdoba								
	Nodos	Carga	DX [m]	DY [m]	DZ [m]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
Vigas sobre Estribo 1	Viga 1	$\Delta 2$	-0.79%	-0.01%	0.55%	-0.05%	-0.55%	0.00%
	Viga 2	$\Delta 2$	-0.76%	-0.01%	0.59%	-0.05%	-0.55%	0.00%
	Viga 3	$\Delta 2$	-0.46%	0.01%	0.61%	0.05%	-0.56%	0.00%
	Viga 4	$\Delta 2$	-0.45%	0.01%	0.61%	0.05%	-0.59%	0.00%
Vigas sobre Estribo 2	Viga 1	$\Delta 2$	-0.45%	0.12%	-0.59%	-0.06%	0.59%	0.00%
	Viga 2	$\Delta 2$	-0.46%	0.12%	-0.57%	-0.06%	-0.58%	0.00%
	Viga 3	$\Delta 2$	-0.76%	0.12%	-0.56%	0.06%	-0.58%	0.00%
	Viga 4	$\Delta 2$	0.78%	0.12%	-0.55%	0.06%	-0.55%	0.00%

Tabla 55.*Variación de deformaciones de las vigas sobre estribos R2.*

Registro Calima								
	Nodos	Carga	DX [m]	DY [m]	DZ [m]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
Vigas sobre Estribo 1	Viga 1	$\Delta 1$	-6.9E-05	-1E-06	0.00084	0	-0.000123	0
	Viga 2	$\Delta 1$	-6.9E-05	-1E-06	0.000839	0	-0.000123	0
	Viga 3	$\Delta 1$	-6.9E-05	-1E-06	0.000839	-1E-06	-0.000123	0
	Viga 4	$\Delta 1$	-6.9E-05	-1E-06	0.000838	-1E-06	-0.000123	0
Vigas sobre Estribo 2	Viga 1	$\Delta 1$	6.9E-05	-1E-06	0.000835	-1E-06	0.000123	0
	Viga 2	$\Delta 1$	6.9E-05	-1E-06	0.000836	-1E-06	0.000123	0
	Viga 3	$\Delta 1$	6.9E-05	-1E-06	0.000837	0	0.000123	0
	Viga 4	$\Delta 1$	6.9E-05	-1E-06	0.000837	0	0.000123	0

Tabla 56.*Variación porcentual de deformaciones de las vigas sobre estribos R2.*

Registro Calima								
	Nodos	Carga	DX [m]	DY [m]	DZ [m]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
Vigas sobre Estribo 1	Viga 1	$\Delta 2$	-0.61%	0.23%	-0.56%	0.00%	-0.65%	0.00%
	Viga 2	$\Delta 2$	-0.61%	0.23%	-0.58%	0.00%	-0.62%	0.00%
	Viga 3	$\Delta 2$	-0.63%	0.23%	-0.59%	-0.06%	-0.63%	0.00%
	Viga 4	$\Delta 2$	-0.47%	0.23%	-0.60%	-0.06%	-0.65%	0.00%
Vigas sobre Estribo 2	Viga 1	$\Delta 2$	-0.47%	0.22%	-0.64%	-0.06%	-0.69%	0.00%
	Viga 2	$\Delta 2$	-0.48%	0.23%	-0.62%	-0.06%	-0.68%	0.00%
	Viga 3	$\Delta 2$	-0.47%	0.23%	-0.60%	0.00%	-0.67%	0.00%
	Viga 4	$\Delta 2$	-0.61%	0.22%	-0.60%	0.00%	-0.65%	0.00%

Tabla 57.*Variación de deformaciones de las vigas sobre estribos R3.*

Registro Mesetas								
	Nodos	Carga	DX [m]	DY [m]	DZ [m]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
Vigas sobre Estribo 1	Viga 1	$\Delta 1$	0.000369	6E-06	0.004414	2E-06	0.000659	1E-06
	Viga 2	$\Delta 1$	0.000369	6E-06	0.004414	2E-06	0.000659	0
	Viga 3	$\Delta 1$	0.00037	6E-06	0.004411	-2E-06	0.000659	0
	Viga 4	$\Delta 1$	0.00037	6E-06	0.004406	-3E-06	0.000659	0
Vigas sobre Estribo 2	Viga 1	$\Delta 1$	-0.00037	6E-06	0.004414	-3E-06	-0.000658	0
	Viga 2	$\Delta 1$	-0.00037	6E-06	0.00442	-3E-06	-0.000659	0
	Viga 3	$\Delta 1$	-0.000369	6E-06	0.004423	2E-06	-0.000659	0
	Viga 4	$\Delta 1$	-0.000369	5E-06	0.004423	2E-06	-0.000659	0

Tabla 58.*Variación porcentual de deformaciones de las vigas sobre estribos R3.*

Registro Mesetas								
Vigas sobre Estribo	Nodos	Carga	DX [m]	DY [m]	DZ [m]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
1	Viga 1	$\Delta 2$	4.08%	0.05%	-3.28%	0.18%	3.39%	-0.83%
	Viga 2	$\Delta 2$	4.08%	0.05%	-3.12%	0.18%	3.60%	0.00%
	Viga 3	$\Delta 2$	3.31%	0.05%	-3.23%	-0.18%	3.37%	0.00%
	Viga 4	$\Delta 2$	3.03%	0.05%	-3.02%	-0.26%	3.57%	0.00%
2	Viga 1	$\Delta 2$	3.04%	0.05%	-3.02%	-0.26%	3.56%	0.00%
	Viga 2	$\Delta 2$	3.04%	0.05%	-3.18%	-0.26%	3.37%	0.00%
	Viga 3	$\Delta 2$	3.68%	0.05%	-3.08%	0.18%	3.60%	0.00%
	Viga 4	$\Delta 2$	4.09%	0.04%	-3.28%	0.17%	3.39%	0.00%

Tabla 59.*Variación de deformaciones de las vigas sobre pila R1.*

Registro Córdoba								
Vigas sobre pila	Nodos	Carga	DX [m]	DY [m]	DZ [m]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
1	Viga 1	$\Delta 1$	6.1E-05	-4E-06	0.000819	-1E-06	0.000107	0
	Viga 2	$\Delta 1$	6.1E-05	-4E-06	0.000818	-1E-06	0.000107	0
	Viga 3	$\Delta 1$	6.1E-05	-4E-06	0.000816	1E-06	0.000107	0
	Viga 4	$\Delta 1$	6.1E-05	-4E-06	-0.000815	1E-06	0.000107	0
2	Viga 1	$\Delta 1$	-6.1E-05	-4E-06	0.000821	1E-06	-0.00011	0
	Viga 2	$\Delta 1$	6.2E-05	-4E-06	0.000821	1E-06	-0.000107	0
	Viga 3	$\Delta 1$	6.2E-05	-4E-06	0.000819	-1E-06	0.000107	0
	Viga 4	$\Delta 1$	6.2E-05	-4E-06	-0.000817	-1E-06	0.000108	0

Tabla 60.*Variación porcentual de deformaciones de las vigas sobre pila R1*

Registro Córdoba								
	Nodos	Carga	DX [m]	DY [m]	DZ [m]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
Vigas sobre pila 1	Viga 1	$\Delta 2$	-0.44%	0.01%	-0.53%	-0.05%	-0.56%	0.00%
	Viga 2	$\Delta 2$	-0.45%	0.01%	-0.55%	-0.06%	-0.56%	0.00%
	Viga 3	$\Delta 2$	-0.81%	0.01%	-0.61%	0.06%	-0.57%	0.00%
	Viga 4	$\Delta 2$	-0.61%	0.01%	0.60%	0.05%	-0.56%	0.00%
Vigas sobre pila 2	Viga 1	$\Delta 2$	-0.44%	0.01%	-0.56%	0.05%	-0.56%	0.00%
	Viga 2	$\Delta 2$	0.45%	0.01%	-0.55%	0.05%	-0.58%	0.00%
	Viga 3	$\Delta 2$	0.82%	0.01%	-0.61%	-0.05%	0.55%	0.00%
	Viga 4	$\Delta 2$	0.84%	0.01%	0.61%	-0.05%	0.58%	0.00%

Tabla 61.*Variación de deformaciones de las vigas sobre pila R2.*

Registro Calima								
	Nodos	Carga	DX [m]	DY [m]	DZ [m]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
Vigas sobre pila 1	Viga 1	$\Delta 1$	6.9E-05	2E-06	0.000844	-1E-06	0.000123	0
	Viga 2	$\Delta 1$	6.9E-05	2E-06	0.000843	-1E-06	0.000123	0
	Viga 3	$\Delta 1$	6.9E-05	2E-06	0.000841	-1E-06	0.000123	0
	Viga 4	$\Delta 1$	6.9E-05	2E-06	0.000839	1E-06	0.000123	0
Vigas sobre pila 2	Viga 1	$\Delta 1$	-6.9E-05	2E-06	0.000847	-1E-06	-0.000123	0
	Viga 2	$\Delta 1$	-6.9E-05	2E-06	0.000846	-1E-06	-0.000123	0
	Viga 3	$\Delta 1$	-6.9E-05	2E-06	0.000844	-1E-06	-0.000123	0
	Viga 4	$\Delta 1$	-6.9E-05	2E-06	0.000842	-1E-06	-0.000123	0

Tabla 62.*Variación porcentual de deformaciones de las vigas sobre pila R2.*

	Nodos	Carga	DX [m]	DY [m]	DZ [m]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
Vigas sobre pila 1	Viga 1	$\Delta 2$	-0.67%	0.01%	-0.55%	-0.06%	-0.67%	0.00%
	Viga 2	$\Delta 2$	-0.46%	0.01%	-0.57%	-0.06%	-0.69%	0.00%
	Viga 3	$\Delta 2$	-0.46%	0.01%	-0.65%	-0.06%	-0.70%	0.00%
	Viga 4	$\Delta 2$	-0.47%	0.01%	-0.67%	0.06%	-0.68%	0.00%
Vigas sobre pila 2	Viga 1	$\Delta 2$	-1.07%	0.01%	-0.54%	-0.05%	-0.67%	0.00%
	Viga 2	$\Delta 2$	-1.10%	0.01%	-0.55%	-0.05%	-0.68%	0.00%
	Viga 3	$\Delta 2$	-0.62%	0.01%	-0.57%	-0.05%	-0.62%	0.00%
	Viga 4	$\Delta 2$	-0.63%	0.01%	-0.59%	-0.05%	-0.63%	0.00%

Tabla 63.*Variación de deformaciones de las vigas sobre pila R3.*

Registro Mesetas								
	Nodos	Carga	DX [m]	DY [m]	DZ [m]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
Vigas sobre pila 1	Viga 1	$\Delta 1$	-0.00037	1.2E-05	0.00447	5E-06	-0.000657	0
	Viga 2	$\Delta 1$	-0.00037	1.2E-05	0.004462	5E-06	-0.000657	0
	Viga 3	$\Delta 1$	-0.000369	1.2E-05	0.004452	-5E-06	-0.000657	0
	Viga 4	$\Delta 1$	-0.000369	1.2E-05	0.00444	-5E-06	-0.000657	0
Vigas sobre pila 2	Viga 1	$\Delta 1$	0.00037	-1.2E-05	0.004458	4E-06	0.000657	0
	Viga 2	$\Delta 1$	0.00037	-1.2E-05	0.004451	4E-06	0.000658	0
	Viga 3	$\Delta 1$	0.000369	1.2E-05	0.004441	-5E-06	0.000658	0
	Viga 4	$\Delta 1$	0.000369	1.2E-05	0.004429	-5E-06	0.000658	0

Tabla 64.*Variación de deformaciones de las vigas sobre pila R3.*

		Registro Mesetas						
	Nodos	Carga	DX [m]	DY [m]	DZ [m]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
Vigas sobre pila 1	Viga 1	$\Delta 2$	2.76%	0.08%	-3.29%	0.19%	3.41%	0.00%
	Viga 2	$\Delta 2$	3.21%	0.08%	-3.08%	0.19%	3.34%	0.00%
	Viga 3	$\Delta 2$	2.89%	0.08%	-3.39%	-0.19%	3.65%	0.00%
	Viga 4	$\Delta 2$	3.81%	0.08%	-3.66%	-0.19%	3.57%	0.00%
Vigas sobre pila 2	Viga 1	$\Delta 2$	3.21%	-0.08%	-2.76%	0.15%	3.39%	0.00%
	Viga 2	$\Delta 2$	4.38%	-0.08%	-2.94%	0.15%	3.33%	0.00%
	Viga 3	$\Delta 2$	3.81%	0.08%	-3.23%	-0.19%	3.65%	0.00%
	Viga 4	$\Delta 2$	4.71%	0.08%	-3.32%	-0.19%	3.55%	0.00%

En general en el registro R1 y R2, las mayores deformaciones porcentuales presentadas en sus diferentes grados de libertad corresponden en el mayor de los casos a disminuciones en DX y DZ para el registro R1, con valores entre 0.03% y el 1.10%, valores similares presentados para el registro R2 en DY, para los centros de luz con valores entre 0.68% y 0.74% y en DZ, valores similares, entre -0.66% y -0.74%.

Para el registro R3 el valor de las deflexiones presentaron aumentos en DZ entre el 3.00% y 4.00% para todos los elementos de la estructura.

5.4 Respuestas sísmicas de la subestructura

5.4.1 Fuerzas internas en la viga cabezal

Tabla 65.

Variación de fuerzas internas de la viga cabezal R1.

Elemento Carga	Registro Córdoba															
	Viga cabezal															
	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$
Axial[kN]	-0.01	-0.01	-0.05	-0.05	0.43	0.43	-0.39	-0.39	0.43	0.43	0.05	0.05	0.01	0.01	0.07	0.07
Cortante Y [KN]	0	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	-0.02	-0.02	-0.03	-0.03	0	0	-0.03	-0.03
Cortante Z[KN]	0.01	0.01	-6.97	-6.97	-5.16	-5.16	2.23	2.23	9.22	9.22	6.98	6.98	-0.01	-0.01	6.99	6.99
Torsión [KN*m]	0	0	0	0	-0.02	-0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0
Momento Y [KN*m]	0	-0.01	-0.01	11.16	-9.85	-4.69	-4.69	-10.09	-10.09	-13.78	11.18	-0.01	-0.01	0	15.37	11.18

Tabla 66.

Variación porcentual de fuerzas internas de las vigas de la viga cabezal R1.

Elemento Carga	Registro Córdoba															
	Viga cabezal															
	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$
Axial[kN]	0.34%	0.34%	-0.22%	-0.22%	0.79%	0.79%	-0.51%	-0.51%	0.43%	0.43%	-0.22%	-0.22%	0.34%	0.34%	-0.29%	-0.29%

Elemento	Registro Córdoba															
	Carga	Viga cabezal														
	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	
Cortante Y [KN]	0.00%	0.00%	-0.78%	-0.78%	0.47%	0.47%	-16.67%	-16.67%	0.35%	0.35%	2.52%	2.52%	0.00%	0.00%	-6.52%	-6.52%
Cortante Z[KN]	-2.70%	0.02%	-0.58%	-0.53%	0.53%	0.57%	0.80%	0.51%	0.55%	0.55%	-0.49%	-0.53%	0.02%	2.27%	-0.48%	-0.49%
Torsión [KN*m]	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-0.27%	-0.27%	0.77%	0.77%	0.59%	0.59%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Momento Y [KN*m]	0.00%	0.03%	0.03%	-0.55%	0.52%	0.50%	0.50%	0.54%	0.54%	0.54%	-0.50%	0.03%	0.03%	0.00%	-0.50%	-0.50%

Tabla 67.

Variación de fuerzas internas sobre viga cabezal R2.

Elemento	Registro Calima															
	Carga	Viga cabezal														
	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	
Axial[kN]	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.42	-0.42	-0.41	-0.41	-0.4	-0.4	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02
Cortante Y [KN]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cortante Z[KN]	-0.01	-0.01	-7.19	-7.19	5.12	5.12	-2.11	-2.11	-9.35	-9.35	7.2	7.2	0.01	0.01	7.2	7.2
Torsión [KN*m]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Momento Y [KN*m]	0	0.01	0.01	11.5	9.75	4.63	4.63	10.11	10.11	13.85	11.52	0.01	0.01	0	15.84	11.52

Tabla 68.*Variación porcentual de fuerzas internas de las vigas de la viga cabezal R2.*

Elemento Carga	Registro Calima															
	Viga cabezal															
	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$
Axial[kN]	-0.12%	-0.12%	0.30%	0.30%	-0.50%	-0.50%	-0.52%	-0.52%	-0.19%	-0.19%	0.30%	0.30%	-0.12%	-0.12%	0.19%	0.19%
Cortante Y [KN]	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Cortante Z[KN]	-0.93%	-0.02%	-0.58%	-0.54%	-0.59%	-0.64%	-0.54%	-0.38%	-0.42%	-0.42%	-0.50%	-0.53%	-0.02%	100.00%	-0.49%	-0.50%
Torsión [KN*m]	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Momento Y [KN*m]	0.00%	-0.03%	-0.03%	-0.55%	-0.58%	-0.55%	-0.55%	-0.49%	-0.49%	-0.38%	-0.51%	-0.03%	-0.03%	0.00%	-0.50%	-0.51%

Tabla 69.*Variación de fuerzas internas de la viga cabezal R3.*

Elemento Carga	Registro Mesetas															
	Viga cabezal															
	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$
Axial[kN]	0.04	0.04	0.12	0.12	-2.23	-2.23	-2.15	-2.15	-2.18	-2.18	-0.12	-0.12	-0.04	-0.04	-0.19	-0.19
Cortante Y [KN]	0	0	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01
Cortante Z[KN]	-0.02	-0.02	-37.94	-37.94	27.29	27.29	-11.49	-11.49	-49.69	-49.69	38.01	38.01	0.03	0.03	38.04	38.04

Elemento	Registro Mesetas															
	Carga	Viga cabezal														
	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	$\Delta 1$	
Torsión [KN*m]	0	0	0	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	
Momento Y [KN*m]	0	0.01	0.01	60.71	51.98	24.69	24.69	53.93	53.93	73.81	60.84	0.02	0.02	0	83.67	60.85

Tabla 70.

Variación porcentual de fuerzas internas de las vigas de la viga cabezal R3.

Elemento	Registro Mesetas															
	Carga	Viga cabezal														
	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	$\Delta 2$	
Axial[kN]	0.37%	0.37%	-0.41%	-0.41%	-2.12%	-2.12%	-2.77%	-2.77%	-1.12%	-1.12%	-0.41%	-0.41%	0.37%	0.37%	0.13%	0.13%
Cortante Y [KN]	0.00%	0.00%	-0.05%	-0.05%	0.06%	0.06%	0.00%	0.00%	0.05%	0.05%	-0.07%	-0.07%	0.00%	0.00%	-0.04%	-0.04%
Cortante Z[KN]	-1.60%	-0.03%	-3.21%	-2.97%	-3.54%	-3.84%	10.50%	-24.58%	-2.66%	-2.63%	-2.63%	-2.82%	-0.05%	1.99%	-2.57%	-2.63%
Torsión [KN*m]	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-1.41%	-1.41%	0.78%	0.78%	-2.15%	-2.15%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Momento Y [KN*m]	0.00%	-0.03%	-0.03%	-3.03%	-1.95%	-1.86%	-1.86%	-2.46%	-2.46%	-2.51%	-2.68%	-0.06%	-0.06%	0.00%	-2.66%	-2.68%

5.5 Respuestas en los apoyos

Tabla 71.

Variación y variación porcentual de fuerzas internas de los pilares R1, R2, R3.

Registro Córdoba				
Elemento	Pilar 1	Pilar 1	Pilar 2	Pilar 2
	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 1$	$\Delta 2$
Axial[kN]	-16.2	0.41%	12.13	-0.72%
Cortante Y [kN]	-0.51	0.41%	0.54	1.92%
Cortante Z[kN]	0.04	-0.51%	-0.04	0.38%
Torsión [kN*m]	-0.02	0.34%	-0.01	0.39%
Momento Y [kN*m]	0.04	0.41%	0.24	0.37%

Registro Calima				
Elemento	Pilar 1	Pilar 1	Pilar 2	Pilar 2
	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 1$	$\Delta 2$
Axial[kN]	16.55	-0.42%	12.31	-0.65%
Cortante Y [kN]	0.4	-0.73%	-0.43	-0.43%
Cortante Z[kN]	0	0.00%	0	0.00%
Torsión [kN*m]	0	0.00%	0	0.00%
Momento Y [kN*m]	-0.02	0.00%	-0.02	0.00%

Registro Mesetas				
Elemento	Pilar 1	Pilar 1	Pilar 2	Pilar 2
	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 1$	$\Delta 2$
Axial[kN]	87.74	-2.58%	65.02	-3.17%
Cortante Y [kN]	2.37	-0.66%	-2.42	1.23%
Cortante Z[kN]	-0.01	-0.02%	-0.01	-0.02%
Torsión [kN*m]	-0.01	0.37%	-0.01	4.00%
Momento Y [kN*m]	0.02	-0.04%	-0.02	-0.70%

Tabla 72.*Variación de deformaciones de los pilares R1.*

Registro Córdoba							
	Carga	DX [m]	DY [m]	DZ [m]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
Pilar 1	$\Delta 1$	-1E-06	-3E-06	-4E-06	2E-06	0	0
	$\Delta 1$	0	0	0	0	0	0
	Carga	DX [m]	DY [m]	DZ [m]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
Pilar 2	$\Delta 1$	-1E-06	-3E-06	3E-06	-1E-06	0	0
	$\Delta 1$	0	0	0	0	0	0

Tabla 73.*Variación porcentual de deformaciones de los pilares R1.*

Registro Córdoba							
	Carga	DX [m]	DY [m]	DZ [m]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
Pilar 1	$\Delta 2$	-0.29%	-1.22%	0.42%	0.38%	0.00%	0.00%
	$\Delta 2$	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	Carga	DX [m]	DY [m]	DZ [m]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
Pilar 2	$\Delta 2$	-0.27%	-1.20%	-0.79%	0.61%	0.00%	0.00%
	$\Delta 2$	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Tabla 74.*Variación de deformaciones de los pilares R2.*

Registro Calima							
	Carga	DX [m]	DY [m]	DZ [m]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
Pilar 1	$\Delta 1$	0	-2E-06	4E-06	-2E-06	0	0
	$\Delta 1$	0	0	0	0	0	0
	Carga	DX [m]	DY [m]	DZ [m]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
Pilar 2	$\Delta 1$	0	-2E-06	3E-06	1E-06	0	0
	$\Delta 1$	0	0	0	0	0	0

Tabla 75.*Variación porcentual de deformaciones de los pilares R2.*

Registro Calima							
	Carga	DX [m]	DY [m]	DZ [m]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
Pilar 1	$\Delta 2$	0.00%	0.33%	-0.44%	-0.56%	0.00%	0.00%
	$\Delta 2$	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	Carga	DX [m]	DY [m]	DZ [m]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
Pilar 2	$\Delta 2$	0.00%	0.33%	-0.70%	-0.75%	0.00%	0.00%
	$\Delta 2$	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Tabla 76.*Variación de deformaciones de los pilares R3.*

Registro Mesetas							
	Carga	DX [m]	DY [m]	DZ [m]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
Pilar 1	$\Delta 1$	0	1.2E-05	0.000021	-0.000009	0	0
	$\Delta 1$	0	0	0	0	0	0
	Carga	DX [m]	DY [m]	DZ [m]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
Pilar 2	$\Delta 1$	0	1.2E-05	0.000015	0.000005	0	0
	$\Delta 1$	0	0	0	0	0	0

Tabla 77.*Variación porcentual de deformaciones de los pilares R3.*

Registro Mesetas							
	Carga	DX [m]	DY [m]	DZ [m]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
Pilar 1	$\Delta 2$	0.00%	0.38%	-2.55%	-2.36%	0.00%	0.00%
	$\Delta 2$	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	Carga	DX [m]	DY [m]	DZ [m]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
Pilar 2	$\Delta 2$	0.00%	0.38%	-2.95%	-4.63%	0.00%	0.00%
	$\Delta 2$	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Las variaciones porcentuales en las deformaciones en la subestructura observan valores bajos menores a 1.2% y llegando a valores mínimos de casi 0% para los registros R1 y R2, y para

el registro R3, presenta una variabilidad en sus deformaciones DZ entre -2.55% y -2.95%, en los pilares y en la viga cabezal valores entre 2.52% y 3.29%. Sin embargo, se hace salvedad que los aumentos porcentuales son muy pequeños tomando en cuenta que las deformaciones son casi decimas de milímetro.

5.6 Reacciones

Tabla 78.

Variación en las reacciones de los apoyos R1.

Registro Córdoba						
Carga	FX [KN]	FY [KN]	FZ [KN]	MX [KN*m]	MY [KN*m]	MZ [KN*m]
$\Delta 1$	-0.04	0.54	-12.13	-1.50	-0.24	0.01
$\Delta 1$	0.04	-0.53	16.20	1.15	0.26	0.02
$\Delta 1$	5.43	-0.01	3.51			
$\Delta 1$	5.44	-0.01	3.51			
$\Delta 1$	5.45	0.01	3.50			
$\Delta 1$	5.44	0.01	3.50			
$\Delta 1$	-5.42	-0.01	-3.51			
$\Delta 1$	-5.41	-0.01	-3.51			
$\Delta 1$	-5.40	-0.01	-3.51			
$\Delta 1$	5.38	-0.01	-3.51			

Tabla 79.

Variación porcentual en las reacciones de los apoyos R1.

Registro Córdoba						
Carga	FX [KN]	FY [KN]	FZ [KN]	MX [KN*m]	MY [KN*m]	MZ [KN*m]
$\Delta 2$	-0.05%	0.11%	-0.40%	-0.12%	-0.05%	0.53%
$\Delta 2$	0.05%	-0.15%	0.40%	0.07%	0.05%	0.27%
$\Delta 2$	-0.79%	-0.01%	0.54%			
$\Delta 2$	-0.76%	-0.01%	0.56%			
$\Delta 2$	-0.77%	0.01%	0.57%			

Registro Córdoba						
Carga	FX [KN]	FY [KN]	FZ [KN]	MX [KN*m]	MY [KN*m]	MZ [KN*m]
Δ2	-0.84%	0.01%	0.59%			
Δ2	-0.45%	-0.01%	-0.59%			
Δ2	-0.46%	-0.01%	-0.57%			
Δ2	-0.46%	-0.01%	-0.56%			
Δ2	0.43%	-0.01%	-0.54%			

Tabla 80.

Variación en las reacciones de los apoyos R2.

Registro Calima						
Carga	FX [KN]	FY [KN]	FZ [KN]	MX [KN*m]	MY [KN*m]	MZ [KN*m]
Δ1	0.00	-0.43	-12.31	1.13	0.02	0.00
Δ1	0.00	0.40	-16.55	-0.71	0.02	0.00
Δ1	6.13	0.00	-3.61			
Δ1	6.14	0.00	-3.61			
Δ1	6.15	0.00	-3.61			
Δ1	6.15	0.00	-3.61			
Δ1	-6.15	0.00	-3.59			
Δ1	-6.15	0.00	-3.60			
Δ1	-6.14	0.00	-3.60			
Δ1	-6.14	0.00	-3.60			

Tabla 81.

Variación porcentual en las reacciones de los apoyos R2.

Registro Calima						
Carga	FX [KN]	FY [KN]	FZ [KN]	MX [KN*m]	MY [KN*m]	MZ [KN*m]
Δ2	0.00%	-0.43%	-0.65%	-0.40%	0.00%	-1.17%
Δ2	0.00%	-0.73%	-0.42%	-1.36%	0.00%	0.33%
Δ2	-0.61%	0.25%	-0.56%			
Δ2	-0.61%	0.25%	-0.58%			
Δ2	-0.63%	0.25%	-0.59%			
Δ2	-0.47%	0.25%	-0.60%			
Δ2	-0.47%	0.24%	-0.64%			
Δ2	-0.48%	0.24%	-0.62%			
Δ2	-0.47%	0.24%	-0.60%			

Registro Calima						
Carga	FX [KN]	FY [KN]	FZ [KN]	MX [KN*m]	MY [KN*m]	MZ [KN*m]
$\Delta 2$	-0.61%	0.24%	-0.60%			

Tabla 82.

Variación porcentual en las reacciones de los apoyos R3.

Registro Mesetas						
Carga	FX [KN]	FY [KN]	FZ [KN]	MX [KN*m]	MY [KN*m]	MZ [KN*m]
$\Delta 1$	-0.01	-2.50	-65.03	6.74	-0.07	0.01
$\Delta 1$	-0.01	2.42	-87.75	-4.81	0.05	0.01
$\Delta 1$	-32.84	-0.02	-19.00			
$\Delta 1$	-32.89	-0.02	-19.00			
$\Delta 1$	-32.93	-0.03	-18.99			
$\Delta 1$	-32.94	-0.03	-18.96			
$\Delta 1$	32.94	-0.03	-19.00			
$\Delta 1$	32.92	-0.03	-19.02			
$\Delta 1$	32.90	-0.02	-19.04			
$\Delta 1$	32.87	-0.02	-19.04			

Tabla 83.

Variación porcentual en las reacciones de los apoyos R3.

Registro Mesetas						
Carga	FX [KN]	FY [KN]	FZ [KN]	MX [KN*m]	MY [KN*m]	MZ [KN*m]
$\Delta 2$	-0.02%	1.15%	-2.92%	0.81%	-0.02%	4.15%
$\Delta 2$	-0.02%	-0.65%	-2.47%	-0.41%	0.01%	0.42%
$\Delta 2$	4.08%	0.04%	-3.28%			
$\Delta 2$	4.09%	0.05%	-3.12%			
$\Delta 2$	3.31%	0.05%	-3.23%			
$\Delta 2$	3.03%	0.05%	-3.02%			
$\Delta 2$	3.03%	0.05%	-3.02%			
$\Delta 2$	3.04%	0.05%	-3.18%			
$\Delta 2$	3.68%	0.05%	-3.08%			
$\Delta 2$	4.09%	0.04%	-3.28%			

Las variaciones en las reacciones de los apoyos para cada registro presentan dos matices, para los registros R1 y R2, se presenta una variación casi nula, menores al 1.00% en todas sus direcciones, en contraste el registro R3, presenta una variación en las reacciones que oscila entre el 1.00% y el 4.09% presentando este cambio en la restricción de sus desplazamientos tanto en la subestructura como en la superestructura.

6. Conclusiones

Para una estructura isostática como la utilizada en este estudio se observa que la componente vertical de los registros utilizados sus variaciones porcentuales en sus fuerzas internas o fuerzas externas van del orden del 0.00% hasta un máximo de 5.00%, esto quiere decir que la respuesta de la estructura se comporta de manera ideal o de manera rígida en todo su sistema, sus cambios porcentuales indican que la estructura se excita, en magnitudes despreciables.

Los registros utilizados el de mayores cambios porcentuales genera en la estructura es el registro de Mesetas (R3) con un orden de 4.6% y el que menor lo hace es el registro de Córdoba (R1), con una ligera diferencia con el registro de Calima (R2), donde las diferencias porcentuales las dobla, pero del orden de 0.2% al 0.4%, siendo las fuerzas axiales y los momentos M_y y las deformaciones DZ , los de mayor variación en la estructura, sin embargo, todos los resultados son esencialmente excitaciones de valores mínimos.

Se observa que las respuestas sísmicas que tienen la relación V/H mayor, tienen mayores respuestas en sus elementos, el registro con menor relación V/H Córdoba (R1) con 0.31 es que

menor excita la estructura, hasta el registro con mayor relación V/H Mesetas (R3), con 1.49, con los mayores cambios en sus excitaciones, es decir las relaciones V/H mayores a 1, logran excitar en mayor magnitud las estructuras, así mismo, sucede el mismo patrón en las reacciones en sus apoyos, a mayor es la relación V/H, el cambio porcentual es mayor, no obstante, la componente vertical no produce grandes excitaciones en la estructura objeto de este estudio, dado que sus desplazamientos relativos son muy pequeños o nulos.

Referencias Bibliográficas

- Aguiar-Falconi, R., López-Moreno, E., & Quinzaga-Martine, D. (2017). Relaciones V/H para espectros asociados a las fallas inversas de la ciudad de Quito. *Revista boletín de ciencias de la tierra* 42, 25-35.
- ALMahdi, F., Fahjan, Y., & Adem, D. (2020). Scaling of vertical component of seismic ground motion. *Alexandria engineering journal* 59, 3827-3845.
- ASCE/SEI. (2007). Seismic rehabilitation of existing buildings. *American society of civil engineers*.
- Burton, M. R., Cronin, C. J., & Mayes, R. L. (2002). Effect of vertical motion on seismic response of highway bridges. *Journal of structural engineering* 128(12), 1551-1564.
- CCP-14. (2014). Norma Colombiana de diseño de puentes. *CCP14*.
- Chio Cho, G., & Maldonado, E. (1995). *Dinamica estructural*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Escuela de ingeniería civil .
- Elnashai, A. S., & Di Sarno, L. (2015). Fundamentals of earthquake engineering: from source to fragility. *Jhon Wiley & Sons, Ltd*.
- Eurocode, 8. (2004). Eurocode 8: Design of structure for earthquake resistance- part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. *Eurocode 8*.
- Fernandez Wilches, M. A., & Ardila Hurtado, J. A. (2020). Caracterización de la componente vertical de los sismos moderados y fuertes en Colombia. *Revista Uis Ingenierías-Revista de la facultad de ingenierías fisico mecánicas*.

- Muñoz Diaz, E. E. (2012). *Ingeniería de puentes, Reseña histórica, Tipología y recuperación*. (Vol. 1). Bogotá D.C., Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- Palaskas, M., He, L., & Chegini, M. (1996). Vertical seismic forces on elevated concrete slabs. *Practice periodical on structural design and construction*. 1(3), 88-90.
- Papazoglou, A., & Elnashai, A. (1996). Analytical and field evidence of the damaging effect of vertical earthquake ground motion. *Earthquake engineering and structural dynamics* 25, 1109-1137.
- Rodriguez, D. E., & Urrea, J. A. (2020). Comparación del comportamiento estructural y de la constructibilidad de un puente viga-losa de dos vanos en función del tipo de continuidad y conexión entre la superestructura y el apoyo intermedio. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- Somenson, H. M. (2017). *Estudio y proyecto de puentes de hormigon armado*. España: Ediciones Diaz de Santos.
- Technology, M. I. (2022). Ltd.
- Varevac, D., Draganic, H., & Gazic, G. (2010). Influence of the vertical component of earthquake on large span RC beams. *Technical gazette* 17(3), 357-366.
- Vilera, L., Rivero, P., & Lobo, W. (Diciembre de 2008). Efectos sismicos de la componente vertical en edificios aporticados de acero. *Ciencia e ingeniería*, 29(1), 79-87.
- Xinle, L., Huijan, D., & Xi, Z. (2007). Engineering Characteristics of near-fault vertical ground motion and their effect on the seismic response of bridges. *Earthquake engineering and engineering vibration* 6(4), 345-350.

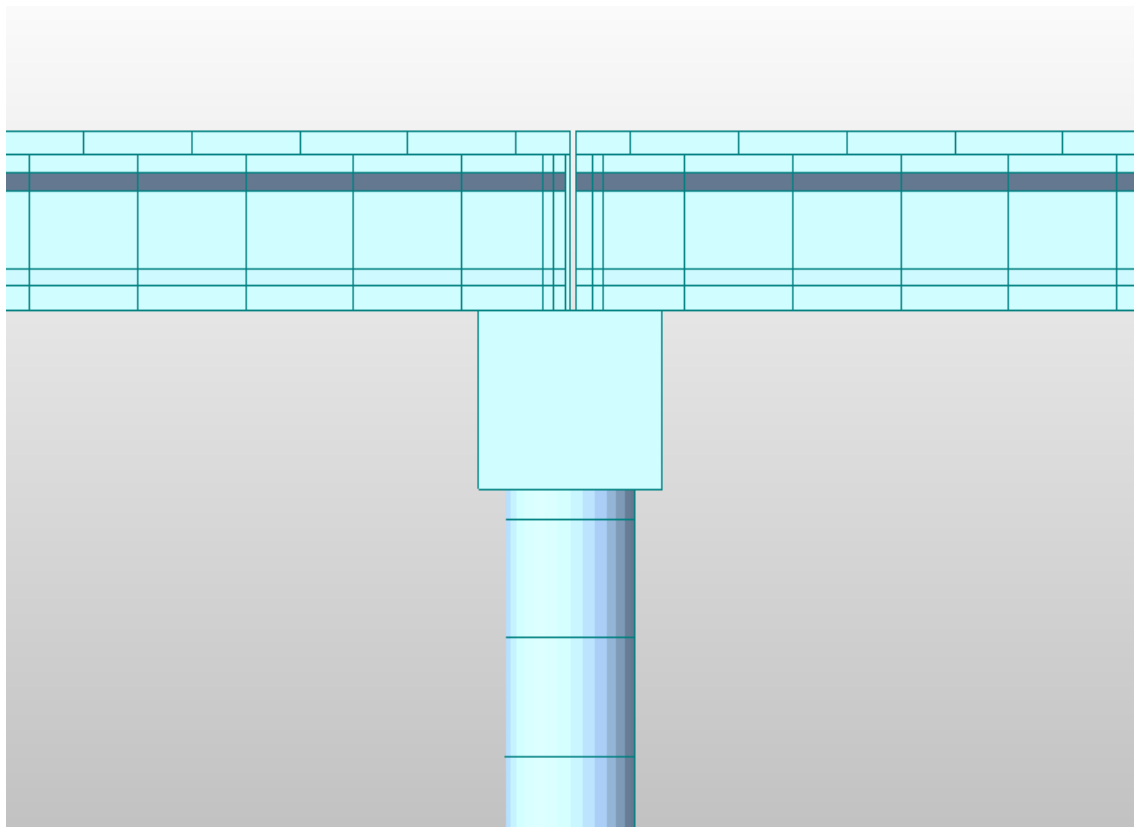
Yang, H., Yin, X., Hao, H., & Bi, K. B. (2015). Theoretical investigation of bridge seismic responses with pounding under near-fault vertical ground motion. *Advances in structural engineering* 18(4), 453-465.

Apéndices

Apéndice A. Detalles del modelo computacional desarrollado en Midas Civil 2022.

Figura A1.

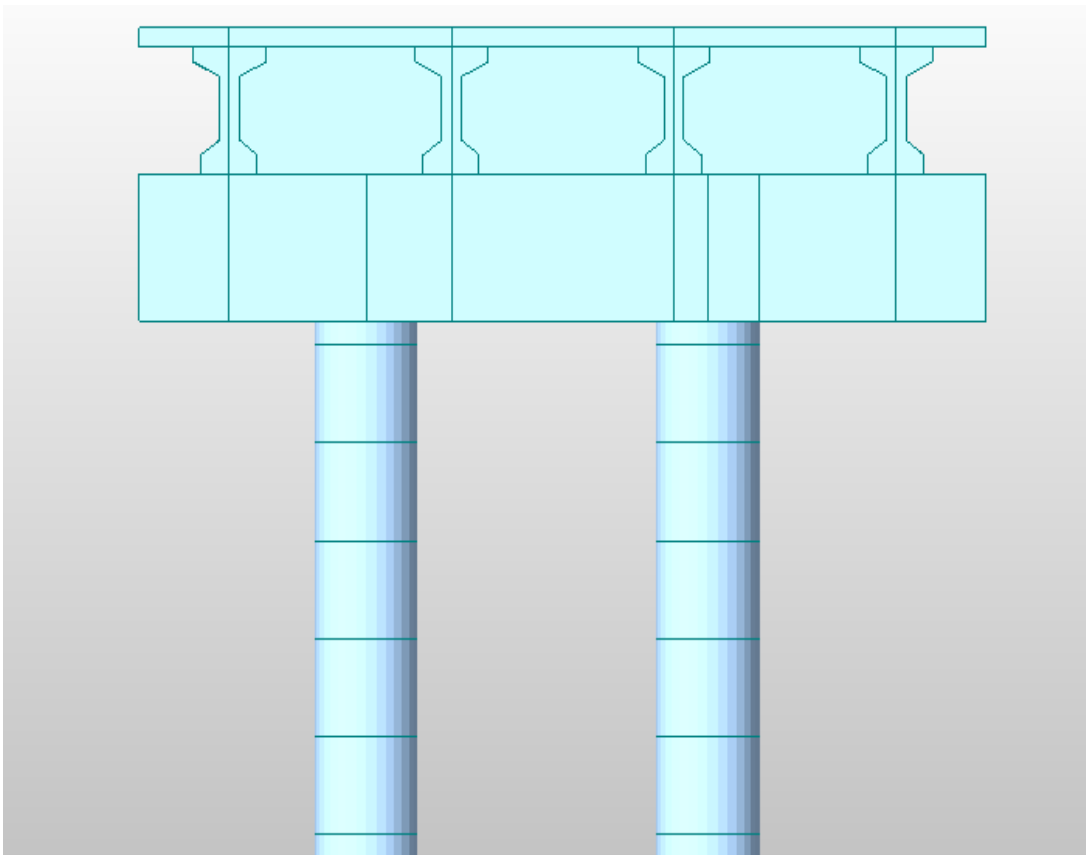
Vista lateral del modelamiento computacional extruido.



Nota. Tomado de: (MIDAS Information Technology Co., Ltd., 2022)

Figura A2.

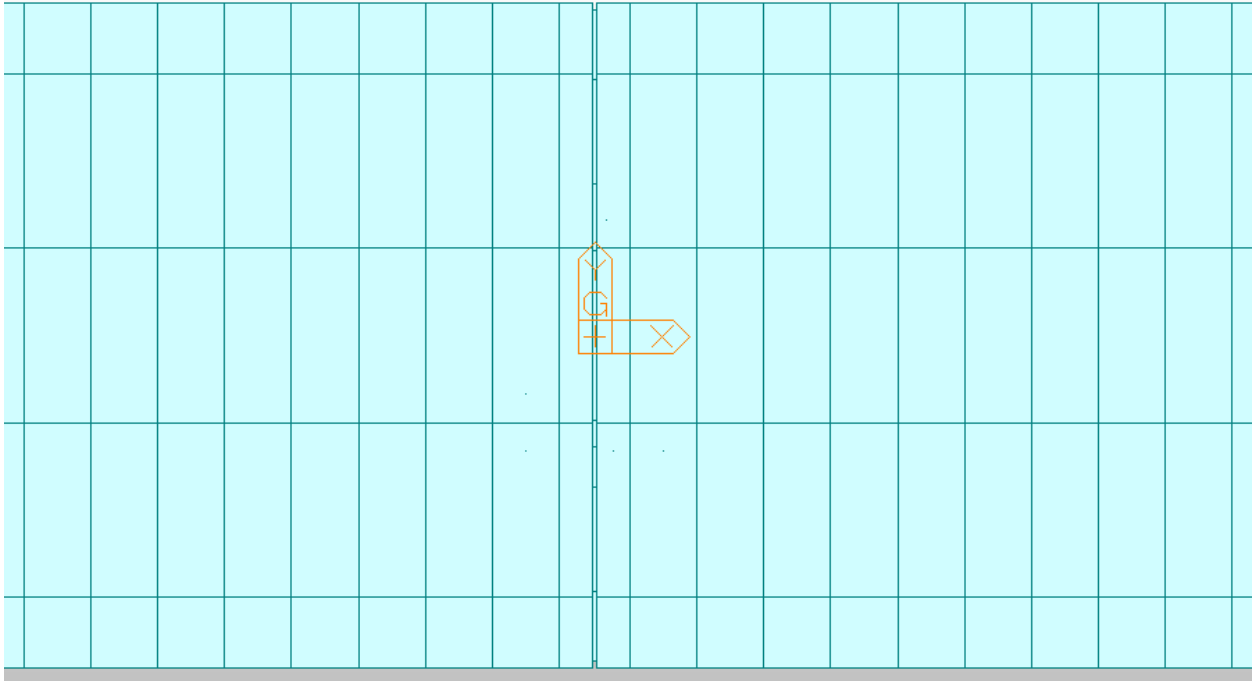
Vista frontal del modelamiento computacional extruido.



Nota. Tomado de: (MIDAS Information Technology Co., Ltd., 2022)

Figura A3.

Vista en planta del modelamiento computacional de la junta de dilatación extruido.



Nota. Tomado de: (MIDAS Information Technology Co., Ltd., 2022)

Figura A4.

Vista isométrica del modelamiento computacional en la parte central.

